

# Potencijal organskog fosfora u tlima istočne Hrvatske

---

Čolić, Monika

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*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:151:125033>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**



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

Monika Čolić

Sveučilišni diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**POTENCIJAL ORGANSKOG FOSFORA U TLIMA ISTOČNE HRVATSKE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2022.**

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

Monika Čolić

Sveučilišni diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**POTENCIJAL ORGANSKOG FOSFORA U TLIMA ISTOČNE HRVATSKE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2022.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Monika Čolić

Sveučilišni diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**POTENCIJAL ORGANSKOG FOSFORA U TLIMA ISTOČNE HRVATSKE**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za obranu diplomskog rada:

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

**Osijek, 2022.**

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Cilj istraživanja</b> .....	2
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	3
<b>3. MATERIJALI I METODE</b> .....	8
<b>3.1. Laboratorijska istraživanja</b> .....	8
<b>3.1.1. Osnovne kemijske analize uzoraka tla</b> .....	8
3.1.1.1. <i>pH reakcija</i> .....	8
3.1.1.2. <i>Određivanje sadržaja organske tvari (humusa) bikromatnom metodom</i> .....	9
3.1.1.3. <i>Određivanje biljci pristupačnog fosfora i kalija AL metodom</i> .....	9
3.1.1.4. <i>Određivanje karbonata u tlu</i> .....	10
<b>3.1.2. Određivanje ukupnog organskog fosfora</b> .....	10
<b>3.2. Statistička obrada podataka</b> .....	13
<b>4. REZULTATI</b> .....	14
<b>4.1. Rezultati osnovne analize tla</b> .....	14
4.1.1. <i>Klasifikacija kiselosti tla</i> .....	17
4.1.2. <i>Klasifikacija tla prema rezultatima koncentracije fosfora AL-metodom</i> .....	18
<b>4.2. Rezultati analize organskog fosfora</b> .....	19
4.2.1. <i>Klasifikacija opskrbljenosti tla organskim fosforom</i> .....	20
<b>4.3. Karte raspodjele organskog fosfora</b> .....	23
<b>5. RASPRAVA</b> .....	25
<b>5.1. Osnovna svojstva tla</b> .....	25
<b>5.2. Organski fosfor u tlu</b> .....	29
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	33
<b>7. POPIS LITERATURE</b> .....	34
<b>8. SAŽETAK</b> .....	40
<b>9. SUMMARY</b> .....	41
<b>10. POPIS TABLICA</b> .....	42
<b>11. POPIS SLIKA</b> .....	43
<b>12. POPIS GRAFIKONA</b> .....	44
<b>TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA</b> .....	45
<b>BASIC DOCUMENTATION CARD</b> .....	46

## 1. UVOD

Fosfor je nemetal koji ulazi u sastav značajnih organskih spojeva kao što su nukleoproteidi, fosfolipidi, enzimi i mnogih drugih, naročito spojeva koji povezuju endergone i egzergone reakcije. U prirodi, tlu i biljkama javlja se u peterovalentnom obliku. Među elementima važnih za rast i prihranu biljaka, fosfor je jedan od manje zastupljen u litosferi (0,1 %). Fosfor se snažno adsorbira na koloide tla i ne stvara hlapljive spojeve, stoga se njegov ciklus isključivo odvija u biosferi, a gubici fosfora ispiranjem općenito su mali (između 1 i 12 g P/ha godišnje; Bielecki i Ferguson, 1983.). Samo se 1 % fosfora u tlu ugrađuje u biljke tijekom vegetacije.

Sadržaj organskog fosfora u tlu znatno varira. U gornjim horizontima tla organski fosfor predstavlja između 20 % i 80 % ukupnog fosfora, iako su zabilježene i ekstremne vrijednosti od 4% ukupnog fosfora u podzolskom tlu te 90 % fosfora u alpskom humusu (Williams i Steinbergs, 1958.).

Postoji uska korelacijska veza između sadržaja ugljika u tlu i organske frakcije fosfora. Organski oblici u tlu su fosfolipidi, nukleinske kiseline (38-58 %) i heksafosforni ester inozitola fitin (41-49 %). Intenzitet mineralizacije organskog fosfora značajno će zavisiti od temperature a najbolja razgradnja odvija se na temperaturama od 30-40 °C i količine svježeg organske tvari u tlu kao neophodnom izvoru energije za razvoj mikroorganizama. Slično mineralizaciji dušika, vrlo je važan omjer između ugljika i fosfora u organskoj tvari. Do imobilizacije fosfora će doći ako je omjer C/P veći od 300:1, a do mobilizacije tek kad se omjer suzi na 200:1. Obzirom na navedeno smatra se da količina raspoloživog fosfora za ishranu bilja pretežito zavisi od sadržaja neorganskog fosfora u tlu.

Fosfomineralizacija ili mineralizacija organskih fosforinih spojeva, fosfomobilizacija tj. razlaganje anorganskih spojeva fosfora te defosforifikacija ili redukcija oksidiranih anorganskih oblika fosfora smatraju se postupcima koji obuhvaćaju mikrobiološku transformaciju. U neutralnim i alkalnim tlima sa slabijom sposobnošću fiksacije fosfora na minerale gline, te tlima sa većim sadržajem organske tvari mineralizacija organskog fosfora se odvija brže.

Biljke isključivo usvajaju fosfor u anionskom obliku i to kao  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  i  $\text{HPO}_4^{2-}$ , a ugrađuju ga, za razliku od dušika i sumpora, u organsku tvar bez redukcije. Ortofosfatna kiselina različito disocira zavisno od njene pH reakcije, često je mišljenje da se aktivno usvaja samo ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  što objašnjava bolje usvajanje fosfora u slabo kiseloj sredini. Usvajanje fosfora iz vodene faze tla je poprilično brz proces, ali je  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  u tlu vrlo malo (približno 10-

5 mol/dm<sup>3</sup>), dok je nadoknada iona fosfata iz topljivih oblika fosfora, znatno sporiji proces. Stoga procjena raspoloživosti fosfora preko utvrđivanja njegovog hranidbenog potencijala često ne daje dobre rezultate, naročito za biljke sa kraćom vegetacijom.

Prosječna koncentracija fosfora u biljkama je 0.3-0.5 %. Relativno više anorganskog fosfora sadrže reprodukcijски dijelovi i mlađa tkiva. Najveće potrebe biljaka za fosforom su u intenzivnom razvoju korijenovog sustava i kod prijelaza iz vegetacijske u reprodukcijску fazu života. Pokretljivost fosfora u biljci je dobra u oba smjera.

Kaila (1956) je izjavio da neka netaknuta tresetna zemljišta mogu sadržavati ukupno čak 95 % fosfora u organskom obliku, osobito na manjim dubinama. Visok sadržaj fosfora bio je povezan s visokim sadržajem organske tvari. Uočen je inverzni odnos između stupnja polimerizacije huminskih tvari i humata organskog sadržaj fosfora (Jacquin i Fares, 1974.). Organski fosfor bio je povezan uglavnom s fulvičkom frakcijom; smanjivao se redom: fulvokiseline > huminske kiseline > humin.

Ostali čimbenici koji utječu na sadržaj organskog fosfora u tlu su:

- Drenaža- slabo drenirana tla sadrže manje organskog fosfora nego dobro drenirana tla (Williams i Saunders, 1956.),
- pH tla- sadržaj organskog fosfora općenito raste kako se pH tla smanjuje (Thompson i sur., 1954.; Kaila, 1963.),
- uzgoj- koji smanjuje sadržaj organskog fosfora zbog veće mineralizacije organske tvari (Black, 1968.),
- sadržaj anorganskog fosfora matičnog materijala (Walker i Adams, 1958.),
- sadržaj sumpora u područjima niske atmosferske povrate (Walker i Adams, 1958.).

## 1.1. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je da se temeljem prikupljenih rezultata analize organskog fosfora u tlima istočne Hrvatske prikaže potencijal organskog fosfora u ishrani bilja. Na bazi prikupljenih rezultata biti će izrađena karta sadržaja organskog fosfora u tlima istočne Hrvatske te prikazan potencijal iskoristivosti fosfora iz organskih oblika u ishrani bilja.

Sadržaj humusa u tlu ima veliki utjecaj na sadržaj organskog fosfora u tlu, pod tom pretpostavkom cilj je utvrditi korelacije među tim svojstvima tla.

## 2. PREGLED LITERATURE

Organski fosfor definiramo kao fosfor vezan na neki način s ugljikom. Organski fosfor u tlu sintetiziraju organizmi u tlu, a potječe iz životinjskih i biljnih ostataka. Fosforna veza je uvijek kovalentna, a u prirodi fosfor ostaje u svom najvećem oksidacijskom stanju (Goldwhite, 1981.). Organski fosforni spojevi su razvrstani u ortofosfatne estere, fosfonate i anhidride na temelju prirode fosforne veze.

Sintetski organski fosforni spojevi u tlo se mogu uvesti kao insekticidi, herbicidi, fungicidi ili regulatori rasta biljaka (Fest i Schmidt, 1982.; Corbridge, 2000.). Zbog raširene uporabe sintetskih organo fosfatnih pesticida, njihov utjecaj na organski fosforni ciklus nekih tala može biti značajan.

Kemijski i fizički zaštićeni oblici organskog fosfora često predstavljaju najmanje 90 % od ukupnog organskog fosfora (Hedley i Stewart, 1982.; Hedley i sur., 1982.). Ovi oblici polako se degradiraju, i time pridonose labilan bazen organskog fosfora.

Veće količine organskog fosfora nalazimo u tlima dobivena od bazalta i osnovnog magmatskog matičnog materijala za razliku od onih dobivenih iz granita, iako manji postotak njihovog ukupnog fosfora prisutan je kao organski fosfor (Williams i Steinbergs, 1958.; Williams i sur., 1960.).

Paralelno s nastankom fosfora, iz primarnih minerala dolazi do pojave sekundarnih oblika anorganskih fosfata povezanih s aluminijem i željezom, koji s kontinuiranim razvojem tla poprimaju sve više okludirane (nedostupne) oblike (Walker i Syers, 1976.).

Kaila (1963.) tvrdi da glinena tla imaju općenito više organskog fosfora od grubih tla, ali niže od humusa tla.

Walker i Adams (1959.) su proučavali učinak padalina na sličan roditeljski materijal, te dokazali da je sadržaj organskog fosfora u materijalu opadao povećanjem padalina pri srednjoj temperaturi.

Nekoliko studija je jasno prikazalo da organski oblici fosfora u tlu daju značajan doprinos fosfora u ishrani biljaka (Firsching i Claassen, 1996.; Oehl i sur., 2001.; Chen i sur., 2002.).



Oehl i sur. (2001.) su otkrili da dnevna mineralizacija organskog fosfora u švicarskom obradivom tlu bila je ekvivalentna ravnotežnoj koncentraciji ortofosfata u otopini tla. Određene su količine, oblici i dinamika organskog fosfora u tlu kombinacijom bioloških, kemijskih i fizičkih čimbenika.

Prema Ottabong i sur., (1997.) te Zhang i MacKenzie (1997.) kontinuirani dugoročni inputi fosfora kao mineralno gnojivo i/ili životinjski gnoj povećavaju količine organskog fosfora u tlu.

Organski fosfor u tlu može se značajno smanjiti kao odgovor na dugotrajni uzgoj i uklanjanje usjeva (Tiessen i sur., 1982.) ili nakon pošumljavanja travnjaka (Condrón i sur., 1996.; Chen i sur., 2000.).

Al-Jaloud i sur. (1998.) izjavljuju da je koncentracija fosfora u tlu značajno vezana s količinom organske tvari u tlu, a unošenje svježih organskih tvari u tlo povećava količinu biljci pristupačnog fosfora.

Borie i Rubio (2003.) su postojanje organskog fosfora u tlu svrstali u dvije frakcije: jedna kao dio humusa zajedno sa ugljikom, dušikom i sumporom, te druga, nezavisna frakcija organskog fosfora, kao dio spojeva visoke molekularne mase.

Ne postoje izravne metode za određivanje ukupne koncentracije organskog fosfora u tlu. Organski fosfor se procjenjuje neizravno žarenjem ili ekstrakcijom. Metode žarenja koriste ili niske temperature (Legg i Black, 1955.) ili visoke temperature (Saunders i Williams, 1955.) za uništavanje organske tvari u tlu (pepeo). Ukupni organski fosfor u tlu se zatim izračunava kao razlika između sadržaja organskog fosfora koji se može ekstrahirati kiselinama u zapaljenom i nezapaljenom tlu (Kuo, 1996.). Metode ekstrakcije uključuju tretiranje tla kiselinama, bazama ili oboje, nakon čega slijedi određivanje fosfora u ekstraktu prije i poslije oksidacije organske tvari. Organski fosfor u tlu se izračunava kao razlika u sadržaju anorganskog fosfora u ekstraktu prije i nakon oksidacije. Na primjer, metoda ekstrakcije Mehta i sur. (1954.) uključuje sekvencijalni tretman tla koncentriranom HCl, NaOH pri sobnoj temperaturi, i NaOH na 90°C (Kuo, 1996.).

Metode žarenja i ekstrakcije sklone su pogreškama koje mogu precijeniti ili podcijeniti pravu koncentraciju organskog fosfora u tlu.

Prema Williamsu i sur. (1970.), te Condronu i sur. (1990.) metoda žarenja teži da precijeni organski fosfor u većini tala zbog povećane topljivosti spojeva anorganskog fosfora nakon paljenja. Ove pogreške mogu biti najveće u tlima s visokim vremenskim utjecajem.

Harrap (1963.) međutim tvrdi da žarenje također može podcijeniti organski fosfor u tlu zbog kisele hidrolize tijekom ekstrakcije nezapaljenih uzoraka ili zbog nepotpune ekstrakcije fosfora koji se oslobađa tijekom paljenja (Williams i sur., 1970.), iako ovi gubici su minimalni pri temperaturama paljenja < 800 °C (Saunders i Williams, 1955.).

Kiseli reagensi koji ekstrahiraju nezapaljene uzorke mogu hidrolizirati organski fosforne spojeve kao što je ATP kada se dodaju u tlo (Jayachandran i sur., 1992.).

Postupci ekstrakcije mogu uzrokovati hidrolizu ili nepotpunu ekstrakciju organskih fosfornih spojeva (Condron i sur., 1990.; Turner i sur., 2002.), a mogu postojati poteškoće u kolorimetrijskom određivanju anorganskog fosfora u neprobavljenim ekstraktima tla s visokim sadržajem organske tvari zbog tamno obojenih ekstrakata (Cade-Menun i Lavkulich, 1997.). Osim toga, tijekom analiza se mjeri samo ortofosfat za anorganski fosfor, tako složeni anorganski fosforni oblici, kao što su pirofosfat i polifosfat, uključeni su u organsku frakciju, što zauzvrat može dovesti do precjenjivanja organskog fosfora.

Diferencijalna reaktivnost organskih i anorganskih fosfornih vrsta u tlu ima važne implikacije na prijenos organskog fosfora, jer neke organske vrste fosfora, posebice monoesteri jednofosfatnog ortofosfata, pokretljiviji su u tlu nego u organskom ortofosfatu (Anderson i Arlidge, 1962.; Frossard i sur., 1989.).

Anderson i sur. (1974.) navode da slabije zadržavanje organskog fosfora u odnosu na organski ortofosfat ne vrijedi za sve organske fosfatne spojeve, jer se esteri ositol fosfata snažno zadržavaju u tlu, u mjeri u kojoj mogu istisnuti anorganski ortofosfat u otopinu uspješno se natječući za vezna mjesta. To ima važne implikacije za prijenos fosfora iz gnojiva, jer mnoga životinjska gnojiva, osobito ona iz mono želuca (svinje, perad), sadrže znatne količine inozitol fosfata (Peperzak i sur., 1959.). Primjena ovog gnojiva na poljoprivredno zemljište može, dakle, povećati pokretljivost anorganskog ortofosfata u tlu.

Pokretni organski fosforni oblici su također labilni oblici u okolišu tla, većina fosfatnih estera (osim viših inozitol fosfata) brzo se degradiraju u roku od nekoliko sati ili dana nakon oslobađanja (Bowman i Cole, 1978.; Harrison, 1982.). Stoga, hidrološki tokovi koji olakšavaju brzo kretanje oborina s kopna, bilo preko površine ili kroz povlaštene putove protoka,

pripomažu prijenos organskog fosfora. Na primjer, organski fosfor otopljen sušenjem tla i ponovnim vlaženjem ima veliki potencijal za prijenos u vodotoke, jer se oborine na suhim tlima brzo kreću preko površine tla ili kroz pukotine i druge povlaštene puteve protoka (Simard i sur., 2000.), s malom šansom da otpušteni organski fosforni spojevi stupe u interakciju s tlom.

Općenito je poznato da mikroorganizmi (osobito bakterije i protozoe) igraju vitalnu ulogu u kontroli transformacije organskog fosfora u tlu u različitim agroekosustavima (Magid i sur., 1996.; Frossard i sur., 2000.).

Prema Van Veenu i sur. (1984.) tlo je mikrobna biomasa, može se smatrati transformacijskom stanicom u kojoj se materijali preuzimaju, pretvaraju u nove proizvode i nakon toga aktivno ili pasivno puštaju u promet. Sukladno tome, kemijska priroda organskog fosfora u tlu određena je mikrobnim produktima i dinamikom mikrobne biomase tla, a to su ključni čimbenici razumijevanje kratkoročne dinamike organskog fosfora u različitim ekosustavima.

Pretpostavlja se da mineralizacija organskog fosfora može biti uzrokovana enzimima abiotičke fosfataze dobivene iz biljaka ili mikroorganizama. McGill i Cole (1981.) su predložili da se organski fosfor stabilizira kroz povezanost s ugljikom koji je mineraliziran kao rezultat biološke mineralizacije ugljika, dok se esterski vezan fosfor može također biokemijski mobilizirati ekstracelularnom ili periplazmatskom hidrolizom.

Anderson (1980.) tvrdi da aktivnost slobodnih enzima može biti odgovorna za pojavu novih izomera. Razlika između biološke i biokemijske mineralizacije može dovesti u zabludu, budući da prisutnost biološke aktivnosti može dovesti do stvaranja topljivih ekstracelularnih enzima, koji mijenjaju topljivost fosfora u tlu što ga zauzvrat čini podložnim hidrolizi. Stoga biološka aktivnost može posredovati solubilizaciji i naknadnoj "abiotičkoj" mineralizaciji organskog fosfora.

Ryszkowski i sur. (1989.) odredili su sadržaj fosfora u glavnim komponentama u hranidbenoj mreži tla, te su u suradnji sa de Ruiten i sur. (1993.) i Andrén i sur. (1990.) zaključili da su glavne komponente u pogledu mase tla (biomasa) bakterije i gljive.

U ukupnoj biomasi tla npr. amebe i nematode imaju mali doprinos, stoga ne predstavljaju značajan organski bazen fosfora, mogu biti presudni u određivanju smrtnosti gljivica i bakterija, te poticanju njihove aktivnosti, stoga igraju ključnu ulogu u neto mineralizaciji fosfora (Coleman i sur., 1978.; Elliott i sur. 1980.).

Osim što posreduju u prometu organskog fosfora, mikrobi mogu činiti značajan rezervoar fosfora (Brookes i sur., 1982.; Hedley i Stewart, 1982.).

Brookes i sur. (1984.) procijenili su mikrobni fosfor preko raspona tala te su utvrđene izražene razlike u sadržaju ovisno o vegetaciji. Tako je u šest obradivih tala procijenjeno da biomasa sadrži između 6 i 24 kg P/ha, što prosječno iznosi ukupno 3 % organskog fosfora. Za razliku od njih, osam travnjačkih tala sadrži između 18 i 101 kg P/ha u mikrobnoj biomasi, što odgovara otprilike 14 % ukupnog organskog fosfora u tlu. Ovim istraživanjem dokazao je da fosfor iz biomase tla može značajno pridonijeti fosforu dostupnom biljkama u umjerenj poljoprivredi tla.

Dugotrajni uzgoj može povećati mineralizaciju organskog fosfora, i ukupna količina fosfora u tlu se može smanjiti izvozom usjeva ili životinjskih proizvoda. S druge strane, primjena topljivog anorganskog fosfornog gnojiva zajedno sa primjerenom biljnih ostataka, ili uspostavljanje višegodišnjeg biljnog pokrivača može značajno povećavaju razine organske tvari u tlu i organskog fosfora (Harrison, 1985.).

Primjena anorganskih gnojiva može u određenoj mjeri spriječiti pad organskog fosfora. Povećanje organskog fosfora kao rezultat anorganske gnojidbe fosforom dokumentiran je za umjereni tla po Sadleru i Stewartu (1975.) i za tropska tla po Tiessenu i sur. (1992.).

Prisutnost visoko nabijenih fosfatnih skupina spriječit će većinu fosfora da uđe u jako humificirane materijale i tlo, obično se nalazi u reaktivnim bočnim dijelovima organske tvari tla (Jaquin i Fares, 1974; Batsula i Krivonosova, 1973.).

Utvrđeno je da se organski fosfor nakuplja u tlima kao rezultat gnojidbe anorganskim fosforom (Jackman, 1955.; Williams i Donald, 1957.; Sadler i Stewart, 1975.; Dalal, 1977.).

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Laboratorijska istraživanja

Na dubini od 0-30 cm uzorkovani su uzorci tla sa ratarskih površina Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije, nakon čega su provedene laboratorijske analize osnovnih kemijskih svojstava tla: pH tla (ISO 10390, 1994.), sadržaj humusa u tlu bikromatnom metodom (ISO 14235, 1994.), koncentracija AL-pristupačnog fosfora (Egner i sur., 1960.), te analize dopunskih svojstava tla: određivanje sadržaja karbonata u tlu (ISO 10693, 1995.). Određivanje ukupnog organskog fosfora obavljeno je metodom žarenja uzoraka tla (Kuo, 1996), te su spektrofotometrijski na spektrofotometru Cary 50 izmjerene količine ukupnog organskog fosfora.

Prosječni uzorci tla za osnovni set uzimani su s različitih ratarskih površina Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije. Svaki od uzoraka težio je 0,5-1 kg, a sačinjen je od 20-25 dobro izmješanih pojedinačnih uzoraka ravnomjerno uzetih sa ratarskih površina. Pojedinačni uzorci uzimali su se do dubine oraničnog sloja (0-30 cm) dijagonalnim rasporedom uz ravnomjerne razmake.

##### 3.1.1. Osnovne kemijske analize uzoraka tla

###### 3.1.1.1. pH reakcija

Jedan od pokazatelja niza agrokemijskih svojstava tla važnih za ishranu bilja je reakcija tla izražena kao pH vrijednost. Jedinica pH vrijednosti predstavlja negativan logaritam aktiviteta  $H^+$ , a kao jedno od temeljnih svojstava tla kontrolira fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla (Vukadinović i Lončarić, 1998.).

Supstitucijska ili izmjenjiva kiselost ( $pH_{KCl}$ ) određena je u suspenziji tla s otopinom 1 M KCl ( $c = 1 \text{ mol/dm}^3$ ), dok je trenutna ili aktualna kiselost ( $pH_{H_2O}$ ) određena u suspenziji tla s destiliranom vodom.

Reakcije tla u navedenim otopinama određuju se na način da se na tehničkoj vagi odvaži 10 g tla koje se prenosi u čašu od 100 ml. Uzorci se zatim preliju s 25 ml destilirane vode, odnosno 1 M KCl, te dobro promiješaju staklenim štapićem. Nakon 30 minuta pH metrom (Iskra MA 5730) koji je propisno kalibriran standardnim pufernim otopinama poznate pH vrijednosti (ISO 10390, 1994.) mjeri se pH vrijednost u suspenziji tla (1:5 w/v).

### 3.1.1.2. Određivanje sadržaja organske tvari (humusa) bikromatnom metodom

Humus u tlu utječe na niz kemijskih i fizikalnih svojstava. Humizacijom tla postaju rahlija i lakša, a samim time se poboljšavaju i druga svojstva tla, kao što su struktura tla, vodozračni režim, sadržaj neophodnih elemenata, sorpcija iona, toplina tla i dr. Humus također povoljno utječe na biološka svojstva tla, sadrži potrebna biljna hraniva, te je izvor ugljika potrebnog za rast i razvoj mikroorganizama.

Sadržaj humusa u tlu određuje se bikromatnom metodom (ISO 14235, 1994.) koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalij-bikromatom. U čašu od 150 ml najprije se odvaže 0,5 g zrakosuhog tla prosijanog kroz sito promjera 2 mm. Uzorku se zatim doda 5 ml otopine 0,33 M  $K_2Cr_2O_7$  i 7,5 ml koncentrirane sulfatne kiseline. Dobivena vruća smjesa odmah se stavlja u sušionik na temperaturu 135 °C na 30 minuta. Čaše se nakon toga vade iz sušionika te naglo hlade u vodenoj kupelji, nakon čega se u svaku od njih doda 50 ml destilirane vode. Uzorci se potom kvantitativno prenose u odmjerne tikvice od 100 ml, nadopune destiliranom vodom i promućkaju. Nakon sat vremena dekantira se dio otopine u kivete za centrifugiranje, centrifugira se 10 minuta na 2000 okretaja te se mjeri sadržaj humusa spektrofotometrijski na valnoj duljini 585 nm uz prethodno dekantiranje otopine u kivetu za mjerenje. Rezultati ove metode prikazuju količinu organske tvari (humusa) u tlu izraženu u postocima [%].

### 3.1.1.3. Određivanje biljci pristupačnog fosfora i kalija AL metodom

Prema Egner-Riehm-Domingu AL metodom (Egner i sur., 1960.) ekstrakcijom tla s amonij laktatom određeni su lakopristupačni fosfor i kalij u tlu. Fosfor određen ovom metodom odnosi se na frakciju topivu u vodi, te u slabim kiselinama koja je najznačajnija za ishranu bilja.

Ukupno 5 g zrakosuhog tla prenosi se u plastične boce za izmućkavanje. Svi uzorci se preliju sa 100 ml ekstrakcijske AL – otopine (amonij laktat – pH 3,75) i mućkaju na rotacijskoj mućkatici pri 20 °C brzinom 30 – 40 okretaja u minuti, u trajanju od 2 - 4 sata. Ekstrakt tla se profiltrira u čaše tako da se prva, mutna količina baci. Ukoliko je filtrat i dalje mutan, bistri se dodavanjem 0,5 grama aktivnog ugljena nakon čega se ponovo filtrira.

Pristupačnost fosfora određuje se kolorimetrijski tzv. plavom metodom. 10 ml bistrog filtrata tla odpipetira se u odmjernu tikvicu od 100 ml, u koju se dodaje 9 ml 4 mol $dm^{-3}$   $H_2SO_4$  (213,2 ml konc.  $H_2SO_4$  /1000 ml) zatim dopunjuje destiliranom vodom do pola tikvice. Tikvice se potom zagrijavaju na vodenoj kupelji, doda se 10 ml 1,44 % amonij molibdata (1,44 g/100 ml) i 2 ml 2,5 % askorbinske kiseline (2,5 g/100 ml). Zatim se drže još pola sata na vodenoj

kupelji radi razvijanja kompleksa plave boje. Usporedno je proveden isti postupak tijekom pripreme serije standardnih otopina, gdje je umjesto filtrata u odmjerne tikvice pipetirano po 10 ml svakog radnog standarda. Tako priređeni standardi odgovaraju količini od 0, 100, 200, 300, 400, 500 i 800 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> tla. Ohlađene tikvice nadopunjene su do oznake destiliranom vodom. Serija standarda i uzorci mjereni su spektrofotometrijom na 680 nm pri čemu su standardi korišteni za kalibraciju spektrofotometra koji pomoću softvera WinLAB izračunava količinu fosfora u filtratima uzoraka tla, a izražava se u mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup>.

Pristupačnost kalija utvrđuje se direktno iz ekstrakta tla na plamen-fotometru ili emisijskom tehnikom na atomskom apsorpcijskom spektrofotometru (AAS – u) i izražavaju se u mg K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> tla. Za seriju standardnih otopina za kalij koriste se iste standardne otopine kao i za fosfor, a njihove koncentracije odgovaraju od 0, 100, 200, 300, 400, 500 i 800 mg K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> tla.

Rezultatima AL metode su dobivene koncentracije biljkama pristupačnog fosfora i kalija u analiziranom uzorku tla, a izražavaju se u mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup> tla i mg K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> tla. Prema rezultatima AL metode, tla se mogu klasificirati prema opskrbljenosti fosforom i kalijem.

#### 3.1.1.4. Određivanje karbonata u tlu

Volumetrijskom metodom (ISO 10693, 1995.), mjerenjem volumena CO<sub>2</sub> koji se iz karbonata tla razvija djelovanjem 10 % HCl (klorovodične kiseline) određuje se sadržaj karbonata u tlu.

#### 3.1.2. Određivanje ukupnog organskog fosfora

Žarenjem uzoraka tla određuje se ukupni organski fosfor (Kuo, 1996.). Metoda se temelji na postupku žarenja koji organski fosfor prevodi u anorganski oblik, a zatim se određuje ukupna količina organskog fosfora usporedbom utvrđene količine anorganskog fosfora u uzorku sa ili bez prethodnog žarenja. Koncentracija ukupnog fosfora u oba uzorka (bez ili sa žarenjem) izračunava se po jednadžbi:

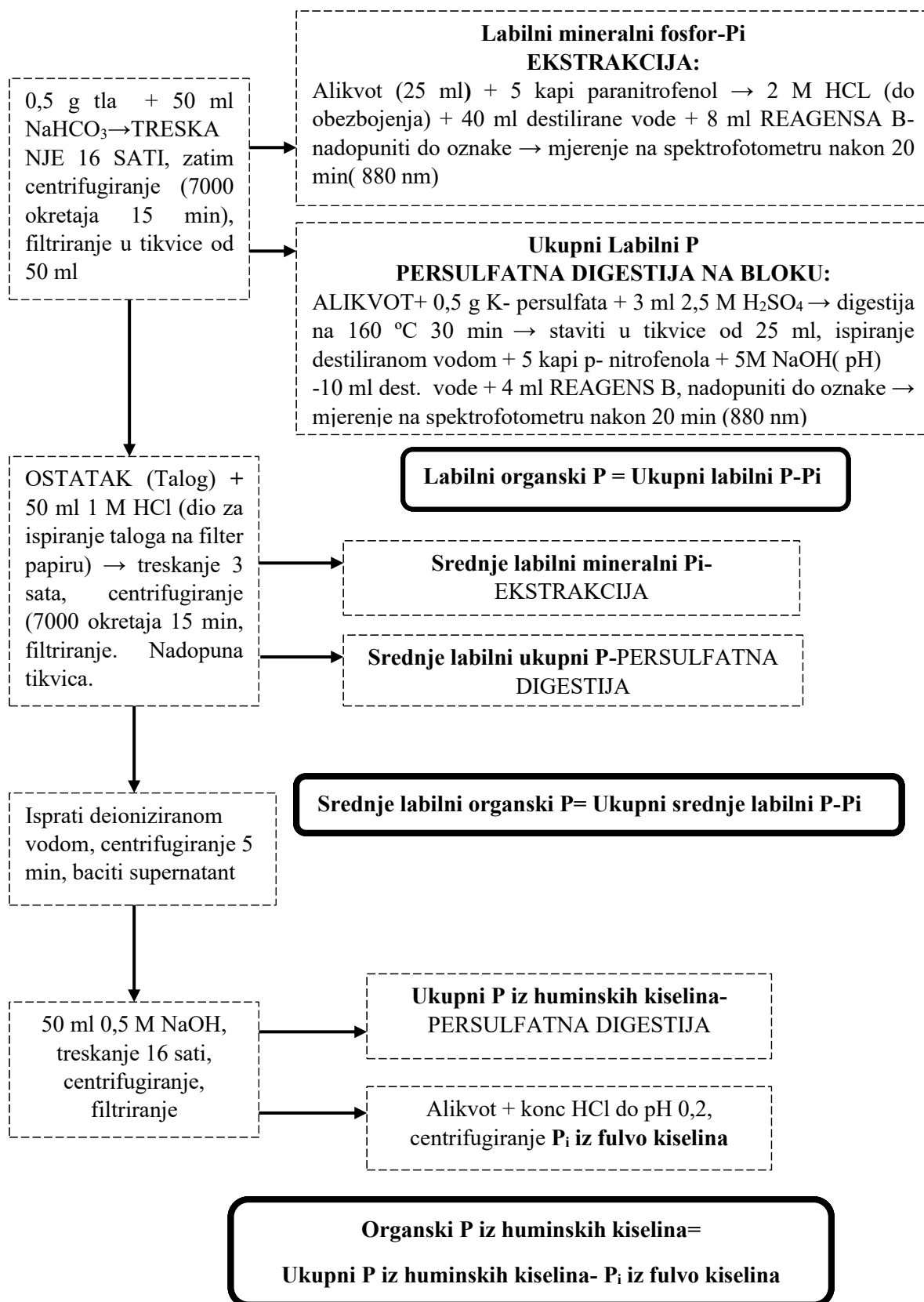
$$\text{ukupni P (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{P konc (}\mu\text{g ml}^{-1}\text{)} \times 50/\text{g}$$

$$\text{g} = \text{odvaga tla}$$

$$\text{organski P} = \text{ukupni P}_{\text{žarenje}} - \text{ukupni P}_{\text{bez žarenja}}$$

Originalnom metodom uzorke prelivene ekstrakcijskom otopinom ( $0,5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$ ), potrebno je mućkati na rotacijskoj mućkalici 16 sati, obzirom da to predstavlja praktični problem, metoda je modificirana (Turner i sur., 2003.). U modificiranoj metodi kao ekstrakcijsko sredstvo koristi se  $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$  i uzorci se mućkaju 2 sata. Postupak metode je sljedeći: 2 g zrakosuhog tla odvaži se u porculansku posudicu za žarenje i prenese u peć za žarenje 1 sat na  $550^\circ \text{ C}$ . Nakon čega se uzorak prenosi u bočicu za izmućkavanje volumena 100 ml. U drugu posudicu za izmućkavanje paralelno se odvaži 2 g istog uzorka tla ali bez prethodnog žarenja. Uzorci se preliju s 50 ml  $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$ , te mućkaju 2 sata na rotacijskoj mućkalici, nakon čega se centrifugiraju 10 min na 4-5 tisuća okretaja kako bi se dobio bistar supernatant. U odmjernu tikvicu od 50 ml odpipetira se 2 ml supernatanta i određuje se koncentracija fosfora plavom metodom, a ukupni organski fosfor se preračunava prema navedenoj formuli, te se treba preračunati u  $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ .





Schema 1. Shematski prikaz postupka određivanja koncentracije organskog fosfora u tlu

### **3.2. Statistička obrada podataka**

Rezultati analiza uzoraka tla statistički su obrađeni pomoću PC aplikacija Microsoft Excel.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Rezultati osnovne analize tla

Osnovna analiza tla izvršena je na 30 uzoraka tala sa područja Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije na dubini od 0-30 cm. Analizom su utvrđene pH vrijednosti tla, koncentracija AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, koncentracija AL-K<sub>2</sub>O i humoznost tla (tablica 1.), te koncentracije organskog fosfora (tablica 3.).

Tablica 1. Rezultati osnovne analize tla ispitivanih uzoraka

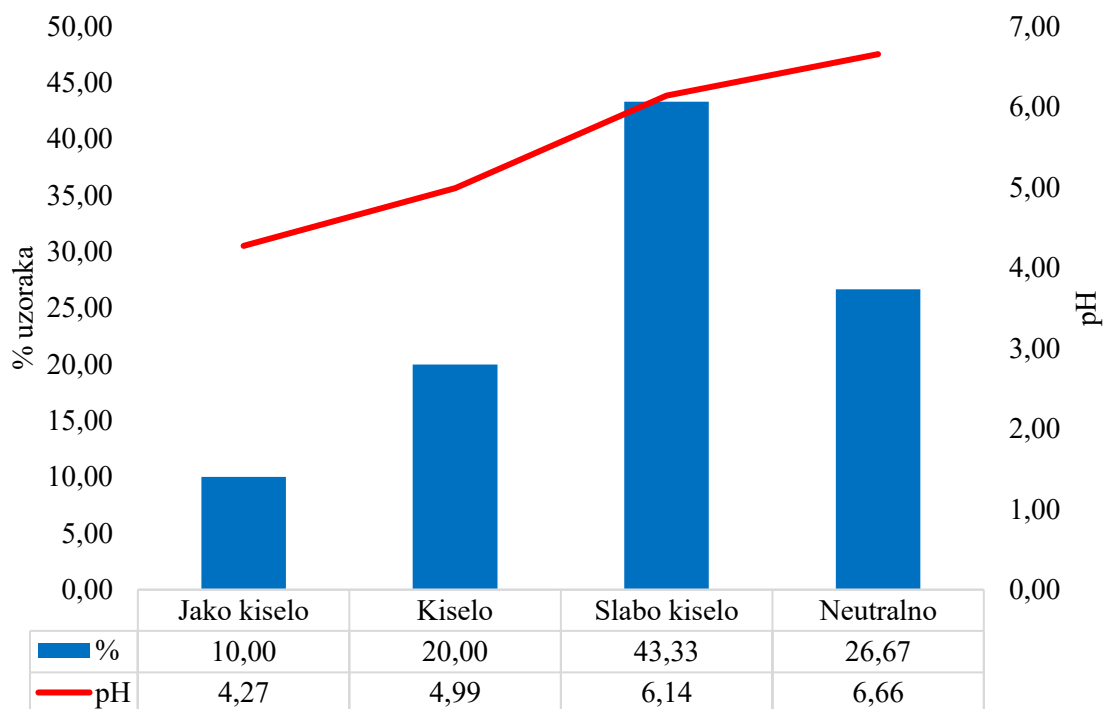
Uzorak	K.O.	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL-K <sub>2</sub> O	Humus
1	Antunovac	5,32	4,25	8,05	11,38	1,78
2	Antunovac	5,48	4,36	12,36	15,96	1,82
3	Tenja	6,89	5,65	14,51	12,36	2,01
4	Sarvaš	6,95	5,85	20,71	18,96	2,21
5	Našice	5,32	4,21	35,47	29,32	1,71
6	Sarvaš	6,66	5,45	95,42	33,66	2,20
7	Đakovo	7,20	6,23	24,46	32,11	1,95
8	Đakovo	6,98	5,95	29,34	36,65	1,89
9	Osijek	7,10	6,25	32,11	39,42	2,25
10	Našice	5,44	4,52	23,33	56,33	1,56
11	Tovarnik	7,21	6,55	25,44	29,32	2,50
12	Tovarnik	7,32	6,89	23,14	35,65	2,42
13	Bijelo Brdo	7,15	6,58	28,95	39,44	2,15
14	Sarvaš	6,98	5,90	25,32	29,32	2,20
15	Sarvaš	7,10	6,59	28,32	36,32	2,15
16	Našice	5,96	4,66	16,32	23,21	1,98
17	Ernestinovo	6,10	5,23	17,32	19,56	1,69
18	Ernestinovo	6,23	5,42	19,56	25,33	1,59
19	Šarengrad	7,56	6,98	30,62	42,23	2,52
20	Antunovac	5,65	4,66	15,36	11,25	1,56
21	Dalj	7,15	6,56	25,33	19,21	2,25
22	Dalj	7,25	6,32	32,11	25,32	3,35
23	Dalj	7,10	6,56	29,32	36,44	3,65
24	Banovci	7,56	6,33	28,36	34,21	3,21
25	Dalj	7,23	6,48	31,25	33,25	2,98
26	Banovci	7,65	6,42	33,32	39,44	3,95
27	Banovci	7,71	6,54	28,98	32,11	3,22
28	Klisa	7,10	6,27	36,32	26,36	3,15
29	Klisa	7,14	6,23	26,33	39,42	2,98
30	Klisa	6,98	5,96	24,23	32,11	3,32

Rezultati akutne kiselosti tla (tablica 1.) kretali su se od pH (H<sub>2</sub>O) 5,32 zabilježeni u uzorcima sa područja Antunovca i Našica, do pH (H<sub>2</sub>O) 7,71 koji je zabilježen u uzorku sa područja Banovca. Supstitucijska kiselost u uzorcima kretala se od pH (KCl) 4,21 u uzorku sa područja Našica, pa do pH (KCl) 6,98 u uzorku sa područja Šarengrada. Navedeni rezultati ukazuju na raspon od jako kisele reakcije do neutralne reakcije u tlu (tablica 2.). Rezultati koncentracije fosfora prema AL-metodi (tablica 1.) kretali su se u kiselim tlima u rasponu od 8,05 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla na području Antunovca, sve do 95,42 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla u uzorku sa područja Sarvaš. U alkalnim tlima koncentracije fosfora kretale su se od 23,14 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla na području Tovarnika, pa do 36,32 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla u uzorku uzorkovanom na području Klise. Prema interpretacijskim vrijednostima rezultata analize uzoraka i služeći se tehnološkim uputama rezultati analize ukazuju na kretanje od slabo opskrbljenog do bogato opskrbljenog tla lako pristupačnim fosforom (tablica 2.). Nadalje, koncentracije kalija prema AL-metodi (tablica 1.) u uzorkovanim tlima kretale su se od 11,25 mg K<sub>2</sub>O/100 g tla na području Antunovca, sve do 56,33 mg K<sub>2</sub>O/100 g tla u uzorku sa područja Našica. Navedeni rezultati ukazuju da je prema količini kalija u tlu utvrđeno kretanje od slabo opskrbljenih tala (6,67 % uzoraka) sve do vrlo bogato opskrbljenih tala (33,33 % uzoraka) kao što je vidljivo u tablici 2. Također dobro opskrbljenih tala je u 20 % uzoraka, dok je najviše uzoraka njih 40 % bogato opskrbljeno kalijem. Sadržaj humusa u tlu (tablica 1.) se kretao od 1,56 % u uzorku sa područja Našica te je iste rezultate pokazivao uzorak sa područja Antunovca, sve do 3,95 % u uzorku sa područja Banovci. Kada govorimo o kretanju i količini humusa u kiselim tlima tada se vrijednosti kreću od 1,56 % u uzorcima sa područja Antunovca i Našica, do 2,21 % u uzorku uzorkovanom na području Sarvaša. U alkalnim tlima vrijednosti humusa se kreću od 1,95 % u uzorku sa područja Đakova, do 3,95 % koje mjeri uzorak sa područja Banovca. Prema rezultatima analize količine humusa u tlu opskrbljenost se kretala od slabo humoznog (36,67 % uzoraka) do dosta humoznog tla (23,33 % uzoraka), 40 % uzoraka klasificirano je kao umjereno humozno tlo (tablica 2.).

Tablica 2. Klasifikacija tala prema interpretacijskim vrijednostima rezultata analize uzoraka

Uzorak	pH(KCl)	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL-K <sub>2</sub> O	Humus
1	Jako kiselo	Slabo opskrbljeno	Slabo opskrbljeno	Slabo humozno
2	Jako kiselo	Slabo opskrbljeno	Dobro opskrbljeno	Slabo humozno
3	Slabo kiselo	Slabo opskrbljeno	Dobro opskrbljeno	Slabo humozno
4	Slabo kiselo	Dobro opskrbljeno	Dobro opskrbljeno	Umjereno humozno
5	Jako kiselo	Bogato	Bogato opskrbljeno	Slabo humozno
6	Kiselo	Vrlo bogato	Bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
7	Slabo kiselo	Bogato	Bogato opskrbljeno	Slabo humozno
8	Slabo kiselo	Bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Slabo humozno
9	Slabo kiselo	Vrlo bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
10	Kiselo	Dobro opskrbljeno	Vrlo bogato opskrbljeno	Slabo humozno
11	Neutralno	Bogato	Bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
12	Neutralno	Bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
13	Neutralno	Bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
14	Slabo kiselo	Bogato	Bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
15	Neutralno	Bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
16	Kiselo	Dobro opskrbljeno	Dobro opskrbljeno	Slabo humozno
17	Kiselo	Dobro opskrbljeno	Dobro opskrbljeno	Slabo humozno
18	Kiselo	Dobro opskrbljeno	Bogato opskrbljeno	Slabo humozno
19	Neutralno	Vrlo bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
20	Kiselo	Slabo opskrbljeno	Slabo opskrbljeno	Slabo humozno
21	Neutralno	Bogato	Dobro opskrbljeno	Umjereno humozno
22	Slabo kiselo	Vrlo bogato	Bogato opskrbljeno	Dosta humozno
23	Neutralno	Bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Dosta humozno
24	Slabo kiselo	Bogato	Bogato opskrbljeno	Dosta humozno
25	Slabo kiselo	Vrlo bogato	Bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
26	Slabo kiselo	Vrlo bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Dosta humozno
27	Neutralno	Bogato	Bogato opskrbljeno	Dosta humozno
28	Slabo kiselo	Vrlo bogato	Bogato opskrbljeno	Dosta humozno
29	Slabo kiselo	Bogato	Vrlo bogato opskrbljeno	Umjereno humozno
30	Slabo kiselo	Dobro opskrbljeno	Bogato opskrbljeno	Dosta humozno

#### 4.1.1. Klasifikacija kiselosti tla



Grafikon 1. Grafički prikaz klasifikacije kiselosti tla

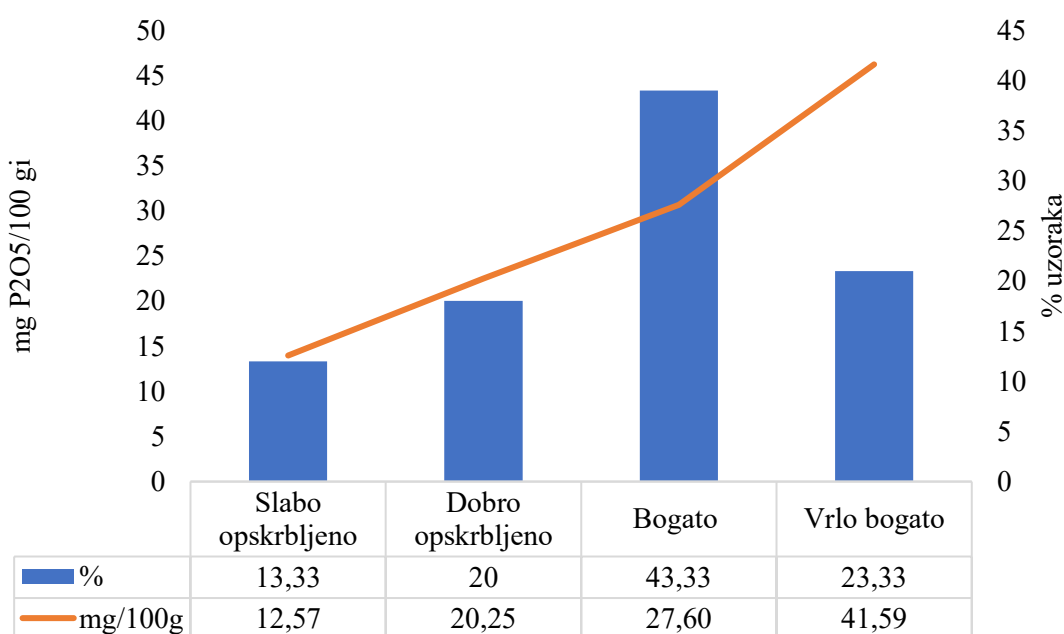
Klasifikacijom kiselosti tla utvrđeno je da se kiselost tla kretala od jako kiselih tala do neutralnih tala. Prosječna vrijednost pH u jako kiselim tlima iznosila je 4,27 u 10 % uzoraka, od čega su dva uzorka sa područja Antunovca i jedan uzorak sa područja Našica. U 20 % uzoraka prosječna vrijednost pH iznosila je 4,99 te je klasificirana u kisela tla. U kisela tla su svrstana dva uzorka sa područja Našica, dva uzorka sa područja Ernestinova, te po jedan uzorak sa područja Antunovca i Sarvaša. Slabo kiselih tala prema rezultatima analize ima 43,33 %, a prosječna vrijednost pH iznosila je 6,14. Od tih 43,33 % uzoraka, tri uzorka su uzorkovana na području Klise, po dva uzorka su sa područja Banovci, Đakovo, Sarvaš i Dalj, te po jedan uzorak iz Osijeka i Tenje. Nadalje, 26,67 % uzoraka prema tehnološkim uputama klasificirano je kao neutralno tlo, sa prosječnom vrijednosti pH 6,66. Neutralnim tlima klasificirana su po dva uzorka uzeta sa područja Tovarnika i Dalja, te uzorci sa područja Bijelog Brda, Sarvaša, Šarengrada te Banovca (grafikon 1.).

#### 4.1.2. Klasifikacija tla prema rezultatima koncentracije fosfora AL-metodom

Prema rezultatima koncentracije fosfora AL-metodom tla su klasificirana u 4 kategorije i to:

- Slabo opskrbljeno tlo
- Dobro opskrbljeno tlo
- Bogato tlo
- Vrlo bogato tlo.

Glavni interferirajući faktor u pogledu klasifikacije opskrbljenosti tla fosforom je pH reakcija tla odnosno kiselost tla.



Grafikon 2. Grafički prikaz klasifikacije tla prema prosječnim vrijednostima koncentracije fosfora AL-metodom

U 30 ispitivanih uzoraka najveći broj uzoraka njih 13 ili 43,33 % klasificirano je kao bogato opskrbljeno tlo sa prosječnom vrijednosti 27,60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, od čega je najniža vrijednost iznosila 23,14 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g zabilježena u Tovarniku, a najviša vrijednost 35,47 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g zabilježena u Našicama. Vrlo bogato opskrbljenim tлом smatra se 23,33 % uzoraka sa prosječnom vrijednosti 41,59 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, od čega je najniža vrijednost iznosila 30,62 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g uzorkovana u Šarengradu, a najviša vrijednost 95,42 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g zabilježena u Sarvašu. U ispitivanim uzorcima 20 % je klasificirano kao dobro opskrbljeno tlo sa prosječnom vrijednosti 20,25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, od čega je najniža vrijednost zabilježena u Našicama sa iznosom od 16,32 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, dok je najviša vrijednost izmjerena je u Klisi sa

iznosom od 24,23 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g. Slabo opskrbljenim tlom smatra se 13,33% uzoraka sa prosječnom vrijednosti od 12,57 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, gdje je najniža vrijednost izmjerena u Antunovcu a iznosi 8,03 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, a najviša vrijednost u toj klasifikaciji iznosi 15,36 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g također izmjerena u Antunovcu (grafikon 2.).

#### 4.2. Rezultati analize organskog fosfora

Analizom 30 uzoraka tala sa područja Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije prikazani su rezultati količine organskog fosfora.

Tablica 3. Rezultati analize organskog fosfora

Osječko-baranjska i Vukovarsko srijemska županija		
Uzorak	K.O.	Organski P (mg/kg)
1	Antunovac	20,25
2	Antunovac	25,00
3	Tenja	84,25
4	Sarvaš	64,75
5	Našice	4,25
6	Sarvaš	59,50
7	Đakovo	170,50
8	Đakovo	119,25
9	Osijek	120,75
10	Našice	42,25
11	Tovarnik	430,00
12	Tovarnik	489,25
13	Bijelo Brdo	468,00
14	Sarvaš	266,25
15	Sarvaš	265,50
16	Našice	6,50
17	Ernestinovo	75,75
18	Ernestinovo	62,75
19	Šarengrad	114,25
20	Antunovac	33,50
21	Dalj	466,75
22	Dalj	479,00
23	Dalj	534,75
24	Banovci	583,75
25	Dalj	338,50
26	Banovci	595,50
27	Banovci	505,25
28	Klisa	321,25
29	Klisa	402,00
30	Klisa	418,25



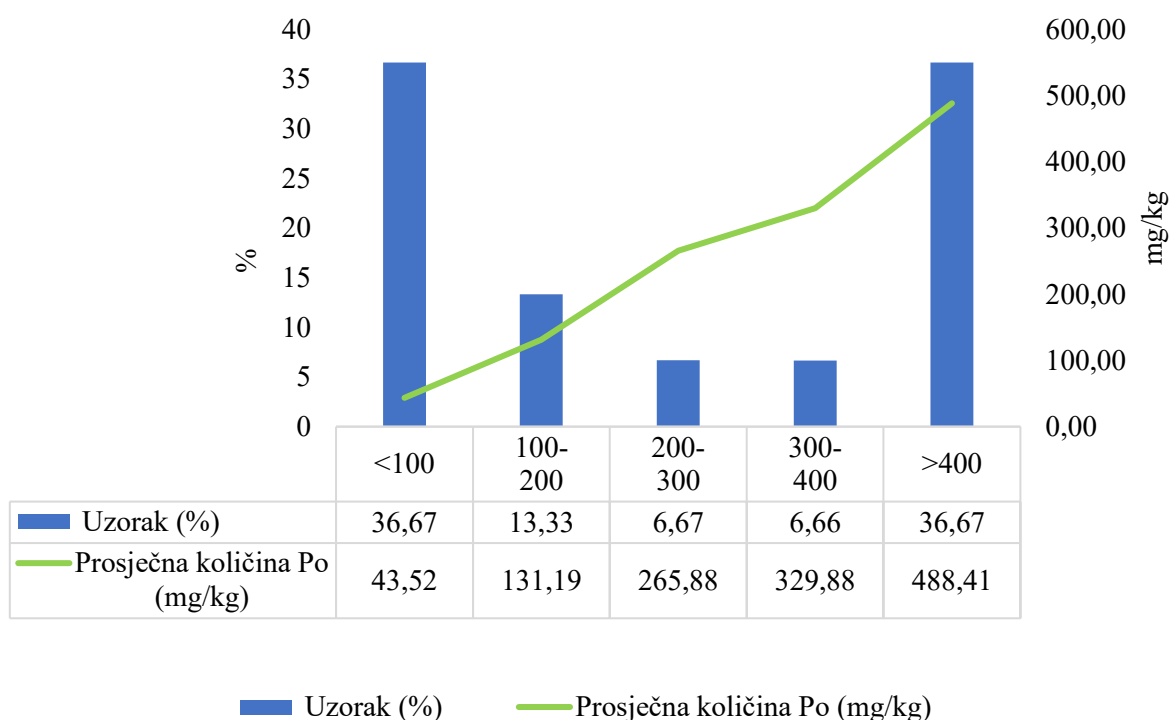
Rezultati su se kretali od 4,25 mg/kg sve do 595,5 mg/kg. Najniže količine organskog fosfora zabilježene su u uzorku 5 uzorkovanom na području Našica sa iznosom od 4,25 mg/kg, također sa područja Našica još je uzorak 10 sa količinom organskog fosfora od 42,25 mg/kg, te uzorak 16 sa količinom 6,5 mg/kg organskog fosfora. Najveće količine organskog fosfora zabilježene su u uzorku 26 uzorkovanom na području Banovci sa iznosom od 595,5 mg/kg. Na području Banovci analizirana su još dva uzorka koja mjere količinu organskog fosfora od 583,75 mg/kg, i 505,25 mg/kg (tablica 3.).

#### 4.2.1. Klasifikacija opskrbljenosti tla organskim fosforom

Tablica 4. Klasifikacija opskrbljenosti tla organskim fosforom

Organski P (mg/kg)	Uzorak (%)	Prosječna količina Po (mg/kg)
<100	36,67	43,52
100-200	13,33	131,19
200-300	6,67	265,88
300-400	6,66	329,88
>400	36,67	488,41

Prema klasifikaciji opskrbljenosti tla organskim fosforom 36,67 % uzoraka, točnije 11 uzorka sadržavalo je manje od 100 mg/kg organskog fosfora prosječne količine 43,52 mg/kg. Od ukupno 30 uzoraka, 13,33 % ili 4 uzorka sadržavali su od 100 do 200 mg/kg organskog fosfora prosječne količine 131,19 mg/kg. Ukupno 6,67 % tj. 2 uzorka sadržavali su 200 do 300 mg/kg organskog fosfora, prosječno 265,88 mg/kg. Također rezultati 6,66 % analiza sadržavali su 300 do 400 mg/kg organskog fosfora prosječne vrijednosti 329,88 mg/kg. Više od 400 mg/kg organskog fosfora, u prosjeku 488,41 mg/kg imalo je ukupno 36,67 % ili 11 uzoraka (tablica 4.).

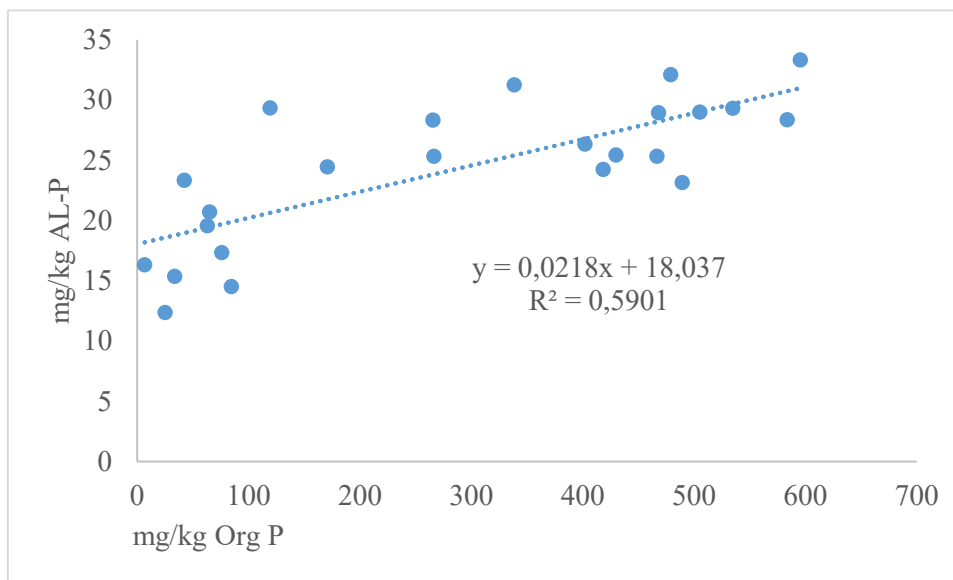


Grafikon 3. Grafički prikaz klasifikacije opskrbljenosti tla organskim fosforom

Na grafičkom prikazu klasifikacije opskrbljenosti tla organskim fosforom vidljivo je da najveći broj uzoraka bilježi manje od 100 mg/kg organskog fosfora čak 36,67 % (grafikon 3). Najmanja količina fosfora zabilježena u toj grupaciji uzorkovana je na području Našica, a iznosila je 4,25 mg/kg, dok je najveća količina u grupaciji iznosila 84,25 mg/kg organskog fosfora uzorkovana na području Tenja. Također najveći broj uzoraka bilježi više od 400 mg/kg organskog fosfora njih čak 11 ili 36,67 %. Najmanja količina organskog fosfora zabilježena u toj grupaciji iznosi 402 mg/kg zabilježena na području Klisa, dok je najveća količina izmjerena na području Banovci u iznosu od 595,5 mg/kg. Na grafičkom prikazu vidljivo je da je 13,33 % uzoraka klasificirano u grupu u kojoj su se vrijednosti kretale od 100 do 200 mg/kg organskog fosfora. U toj grupaciji prosječna količina fosfora iznosi 131,19 mg/kg, najniža količina iznosi 114,25 mg/kg izmjerena na području Šaregrad, dok je najveća količina u toj grupaciji izmjerena na području Đakova sa iznosom od 170,5 mg/kg organskog fosfora. Podjednaki broj uzoraka zabilježen je u grupacijama od 200 do 300 mg/kg i 300 do 400 mg/kg organskog fosfora, njih čak 6.67 %. Najnižu vrijednost organskog fosfora u grupaciji od 200 do 300 mg/kg bilježi uzorak uzet sa područja Sarvaš u iznosu od 265,5 mg/kg, najveća količina u toj grupaciji je nešto malo viša i zabilježena je na istom području a iznosi 266,25 mg/kg. Najnižu vrijednost

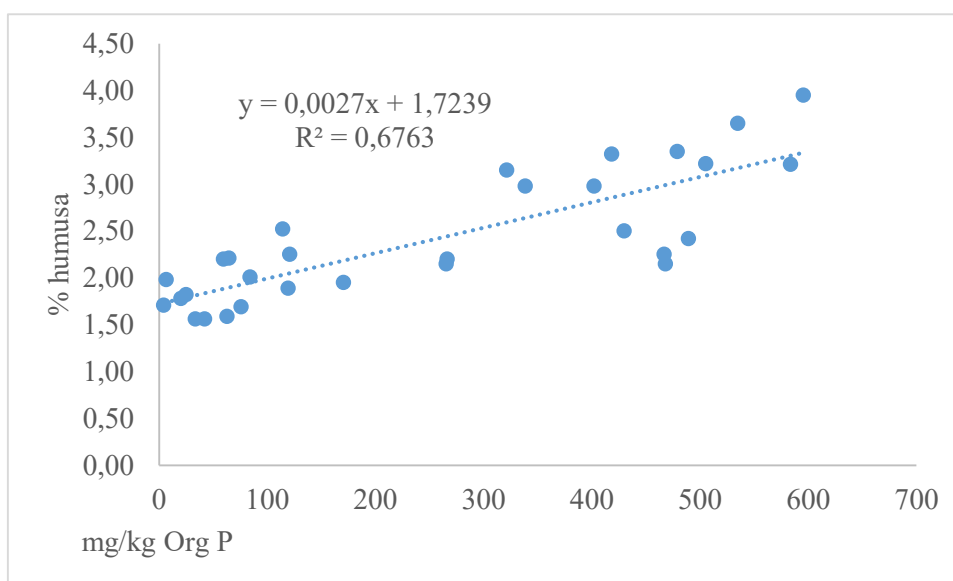
organskog fosfora u grupaciji od 300 do 400 mg/kg sadrži uzorak iz područja Klisa sa iznosom od 321,25 mg/kg, dok je najveća količina izmjerena u toj grupaciji 38,5 mg/kg izmjerena na području Dalj (grafikon 3.).

Statističkom analizom podataka utvrđena je značajna korelacija između koncentracije mineralnog, biljci pristupačnog fosfora i organskog fosfora od  $r=0,77$  (grafikon 4).



Grafikon 4. Korelacije AL i organskog fosfora

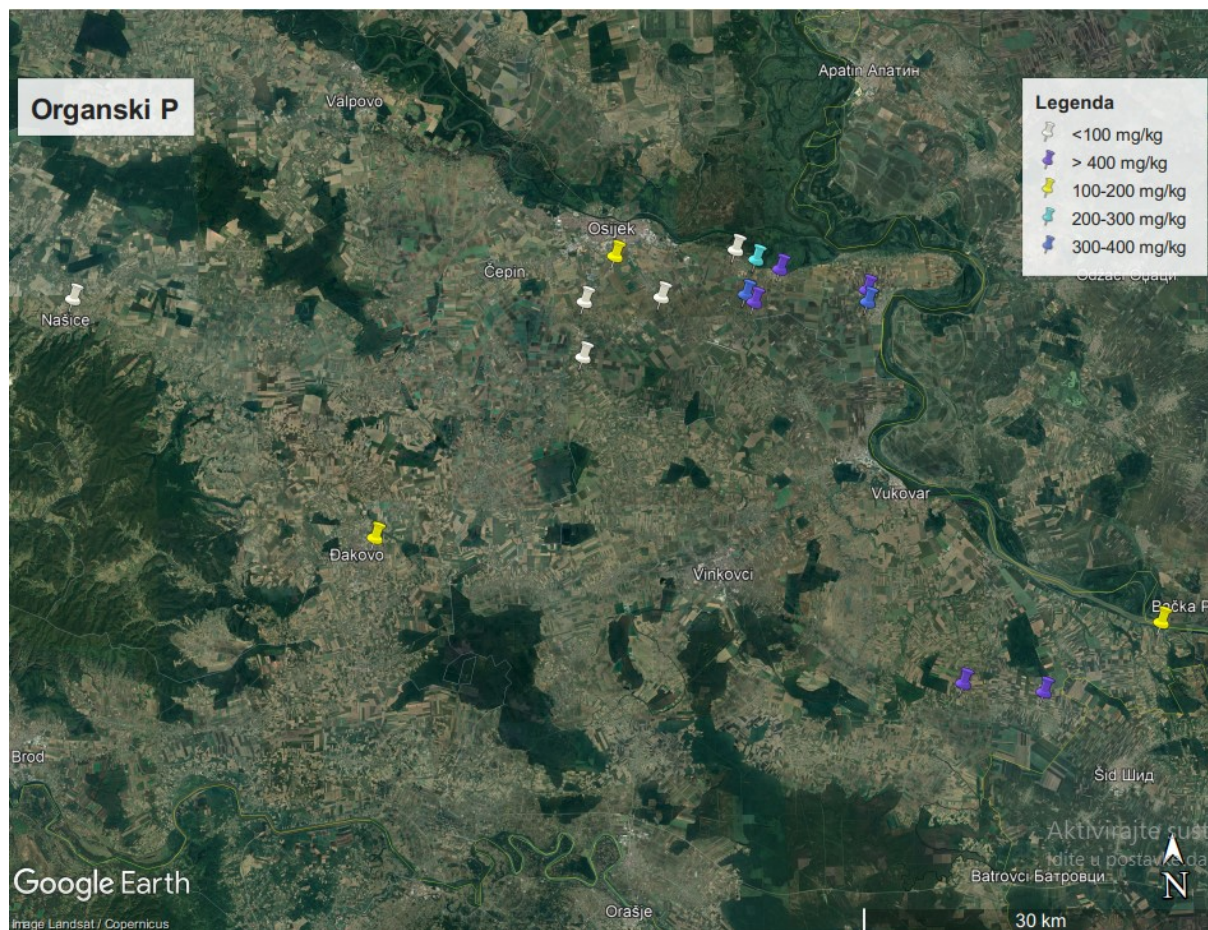
Također, statistički značajna korelacija utvrđena je i između sadržaja organske tvari u tlu (humusa) i sadržaja organskog fosfora  $r=0,82$  (grafikon 5).



Grafikon 5. Korelacije sadržaja humusa u tlu i organskog fosfora

### 4.3. Karte raspodjele organskog fosfora

Temeljem dobivenih rezultata analize organskog fosfora izrađena je karta raspodjele organskog fosfora (Slika 1.).



Slika 1. Kartografski prikaz raspodjele organskog fosfora (Izvor: V. Ivezić)

Na slici 1. vizualni je prikaz raspodjele organskog fosfora na području Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije. U gornjem desnom kutu vidljiva je legenda gdje se bijela oznaka koristi za označavanje područja sa manje od 100 mg/kg organskog fosfora. Nadalje, ljubičasta oznaka označuje područja sa više od 400 mg/kg organskog fosfora, žuta oznaka označuje količinu organskog fosfora od 100 do 200 mg/kg. Svijetlo plavom oznakom označuje se područje od 200 do 300 mg/kg organskog fosfora, te tamno plavom oznakom područja sa količinom organskog fosfora od 300 do 400 mg/kg. Na kartografskom prikazu raspodjele organskog fosfora (slika 1.) pet područja označeno je bijelom bojom, a to su: Našice, Tenja, Antunovac, Sarvaš i Ernestinovo, što ukazuje da su na tim područjima uzorkovani uzorci sadržavali manje od 100 mg/kg organskog fosfora. Ljubičastom bojom također je označeno pet područja i to: Klisa, Banovci, Dalj, Tovarnik i Bijelo Brdo gdje je analizom uzoraka utvrđeno

više od 400 mg/kg organskog fosfora. Osijek, Đakovo i Šarengrad na kartografskom prikazu označeni su žutom bojom, jer je na tim područjima utvrđeno od 100 do 200 mg/kg organskog fosfora. Na području Sarvaša koji je označen svijetlo plavom bojom utvrđena količina organskog fosfora iznosi od 200 do 300 mg/kg. Tamno plavom bojom na kartografskom prikazu označeno je područje Dalja i Klise što ukazuje da se analizom uzoraka na tom području količina organskog fosfora kretala od 300 do 400 mg/kg.

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Osnovna svojstva tla

Jedan od pokazatelja niza agrokemijskih svojstava tla važnih za ishranu bilja je reakcija tla izražena kao pH vrijednost. Jedinica pH vrijednosti predstavlja negativan logaritam aktiviteta  $H^+$ , a kao jedno od temeljnih svojstava tla kontrolira fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla. U Republici Hrvatskoj se većinom koriste vrijednosti pH  $H_2O$  i pH KCl. Pri čemu aktualnu kiselost ili trenutnu kiselost tla označavamo kao pH  $H_2O$  jer mjeri pH vrijednost vodene faze tla, a izmjenjivu ili supstitucijsku kiselost označavamo kao pH KCl jer mjeri pH vrijednost nakon zamjene kationa s adsorpcijskog kompleksa tla (koloidi sekundarnih minerala gline i humusnih tvari). Obzirom da je u suspenziji nakon supstitucije kationa s kompleksa tla uvijek više kationa, izmjenjiva je kiselost uvijek niže pH vrijednosti nego trenutna kiselost. Razlike između ove dvije vrijednosti u prosjeku se kreću oko 1 pH jedinice, ali mogu biti 0,4-1,5 pH jedinica. Veća razlika se očekuje ukoliko su kiselost i kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) veći. Ukoliko je pH vrijednost nekog tla u optimalnom rasponu za određenu kulturu nije potrebno analizirati hidrolitičku kiselost jer nema potrebe za kalcizacijom. Međutim, hidrolitičku kiselost potrebno je odrediti ukoliko je tlo kiselije od optimuma, jer nam daje točnu mjeru kiselosti koju je potrebno neutralizirati. Pri čemu neutralizacija ukupno utvrđene hidrolitičke kiselosti treba dovesti do neutralne reakcije tla.

Kiselost ima značajan utjecaj na biljku koji može biti različitog intenziteta u tlima iste pH vrijednosti, ali različite humoznosti, zaslanjenosti te različitih tipova i količina glinenih minerala. Kisela tla limitiraju rast biljaka izravno toksičnim djelovanjem ili neizravno smanjenjem raspoloživosti hraniva: toksičnost  $Al^{3+}$ , toksičnost  $Mn^{2+}$ , toksičnost vodikovih iona ( $H^+$ ), toksičnost ostalih metalnih kationa, nedostatak ili neraspoloživost hraniva (Ca, Mg, P i Mo) (Lončarić i sur. 2015.).

Lončarić i suradnici (2015.) u svom istraživanju tala u pograničnom području prikazuju zastupljenost tipova tala u Osječko-baranjskoj županiji (Plan navodnjavanja Osječko-baranjske županije) i u Vukovarsko-srijemskoj županiji (Plan navodnjavanja Vukovarsko-srijemske županije). Ukupno su sistematizirali 618.420 ha, od čega 388.014 ha (62,74 %) u Osječko-baranjskoj i 230.406 ha (37,26 %) u Vukovarsko-srijemskoj županiji. Pod šumom je u ove dvije županije sistematizirano ukupno 177.102 ha (28,64 %), a u poljoprivredi 441.318 ha (71,36 %). U ove dvije županije ukupno je oko  $\frac{1}{4}$  kiselih tala, točnije 27,53 % ili 170.228 ha od ukupno

sistematiziranih 618.420 ha. Prema načinu korištenja, 72 % kiselih tala su poljoprivredna tla, a 28 % su pod šumom.

Također autori navode zanimljivost u pogledu distribucije kiselih tala. Značajno više kiselih tala je u Osječko-baranjskoj nego u Vukovarsko-srijemskoj županiji. U Osječko-baranjskoj županiji je ukupno 137.407 ha sistematiziranih kiselih tala što čini čak 35,4 % tala Osječko-baranjske županije. S druge strane, u Vukovarsko-srijemskoj je županiji tek 32.821 ha kiselih tala (4,2 puta manje) što je tek 14,2 % tala Vukovarsko-srijemske županije. Usporedbom županija vidljivo je da je u Osječko-baranjskoj županiji čak  $\frac{4}{5}$  kiselih tala (80,7 %) ove dvije županije, a u Vukovarsko-srijemskoj preostala  $\frac{1}{5}$  kiselih tala (19,3 %).

Promatrani uzorci u ovom istraživanju pokazivali su reakciju od jako kiselih do neutralnih tala. Prosječna vrijednost pH (KCl) u 10 % uzoraka jako kiselih tala iznosila je 4,27, dok je u 20 % uzoraka klasificiranih kao kiselina tla prosječna vrijednost pH (KCl) iznosila 4,99. Nadalje, slabo kiselih tala prema rezultatima analize ima 43,33 %, a prosječna vrijednost pH (KCl) je iznosila 6,14, dok je neutralnim tlima klasificirano 26,67 % uzoraka s prosječnom vrijednosti pH (KCl) od 6,66. Obzirom na neravnomjernu količinu uzoraka sa Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije teško je potkrijepiti tvrdnju prethodno navedenih autora. Sa područja Vukovarsko-srijemske županije analizirani su uzorci sa područja Tovarnika, gdje su rezultati pokazivali slabo kiselu reakciju tla, sa područja Šarengrada gdje je uzorak bio kisele reakcije, te uzorci sa područja Banovaca čiji su uzorci bili neutralne ili slabo kisele reakcije.

Humoznost tla je značajna za fizikalna i kemijska svojstva kao što su struktura, kapacitet za vodu, sorpcija iona te sadržaj neophodnih elemenata u tlu. Humus je značajan i zbog „humat“ efekta zbog toga što na sebe izmjenjivo veže vodotopiva hraniva (prvenstveno fosfor) i tako smanjuje štetnu fiksaciju vodotopivih hraniva nakon unošenja u tlo gnojidbom. Što znači da veći udio humusa u kiselijim tlima povećava učinkovitost hraniva dodanih mineralnom gnojidbom. Također veći sadržaj humusa u kiselom tlu znači manji relativni udio toksičnih  $Al^{3+}$  iona pa stoga niti ciljni pH ne mora biti 6,5–7,0. Promatrano s aspekta pristupačnosti fosfora u tlu, veća količina organske tvari u tlu povezana je s većom pristupačnosti fosfora u tlu. Al-Jaloud i sur. (1998.) izjavljuju da je koncentracija fosfora u tlu značajno vezana s količinom organske tvari u tlu, a unošenje svježije organske tvari u tlo povećava količinu biljci pristupačnog fosfora. Također autori zaključuju kako je velika razlika između ukupnog i biljci pristupačnog fosfora u karbonatnim tlima, te da unošenjem svježije organske tvari u tlo povećava se biljci

pristupačni fosfor. Prema utvrđenim minimalnim i maksimalnim vrijednostima koncentracije humusa, 30 istraživanih uzoraka tla svrstana su u tri kategorije i to slabo humozna (36,67 % uzoraka), umjereno humozna (40 % uzoraka) i dosta humozna tla (23,33 % uzoraka). Sadržaj humusa kretao se od 1,56 % do 3,95 %, od čega je u kiselim tlima kretanje bilo od 1,56 % do 2,21 %, a u alkalnim od 1,95 % do 3,95 %. Ocjenom humoznosti tla prema Gračaninu, utvrđeno je da se radi o slabo humoznim tlima (1-3 % humusa), te o dosta humoznim tlima, sa sadržajem humusa preko 3 %.

Postojeći podatci govore kako je gubitak humusa ubrzanom mineralizacijom organske tvari je posebno velik kod antropogenih tala. Navodi se podatak da je naš černozem, ukupne površine 51.000 ha i eutrično smeđe tlo oko 37.000 ha u zadnjih 100-tinjak godina agrikulture u Istočnoj Slavoniji izgubio približno 50-70% humusa i sa 4-6% spao na 1-2% humusa u prosjeku. Vrijednost humusa kod hidromelioriranih tala je za 20-tak godina sa 6-10% spala na 4-5%, dok se kod luvisola, količina humusa kod oraničnih tala kreće od 1,5-2,5%, kao i kod antropogeniziranog pseudogleja. Dehumizacija je proces prisutan na svim poljoprivrednim tlima Hrvatske, a takve vrijednosti ukazuju na potrebu vraćanja organske tvari u tlo.

Fosfor se snažno adsorbira na koloide tla i ne stvara hlapljive spojeve, stoga se njegov ciklus isključivo odvija u biosferi, a gubici fosfora ispiranjem općenito su mali (između 1 i 12 g P/ha godišnje; Bielecki i Ferguson, 1983.). Samo se 1% fosfora u tlu ugrađuje u biljke tijekom vegetacije. Biljke isključivo usvajaju fosfor u anionskom obliku i to kao  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  i  $\text{HPO}_4^{2-}$ , a ugrađuju ga, za razliku od dušika i sumpora, u organsku tvar bez redukcije. Ortofosfatna kiselina različito disocira zavisno od njene pH reakcije, često je mišljenje da se aktivno usvaja samo ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  što objašnjava bolje usvajanje fosfora u slabo kiseloj sredini. Usvajanje fosfora iz vodene faze tla je poprilično brz proces, ali je  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  u tlu vrlo malo (približno 10-5 mol/dm<sup>3</sup>), dok je nadoknada iona fosfata iz topljivih oblika fosfora, znatno sporiji proces.

Paralelno s nastankom fosfora, iz primarnih minerala dolazi do pojave sekundarnih oblika anorganskih fosfata povezanih s aluminijem i željezom, koji s kontinuiranim razvojem tla poprimaju sve više okludirane (nedostupne) oblike (Walker i Syers, 1976.).

Kako pojedini autori utvrđuju kod tala s nižim sadržajem fosfora i visokim sadržajem humusa može izostati reakcija biljke na preporučene doze gnojiva, što je obrazloženo pretpostavkom da je količina biljci pristupačnog fosfora viša nego što pokazuju rezultati laboratorijske analize (Kovačević, 1992.). Istraživanja provedena u ovom radu vidljivo je da je količina humusa utjecala na međusobni odnos ukupnog, organskog i anorganskog fosfora u tlu.



Postojeći podatci govore da primjenom fosfatnih gnojiva u većim količinama dolazi do smanjene pristupačnosti mikroelemenata biljkama, zbog čega je moguća i opasnost onečišćenja voda zbog obogaćivanja nutrijentima. Porastom pH vrijednosti dolazi do nepovoljnog utjecaja na usvajanje fosfora. Fosfor se iz vodene faze tla vrlo brzo usvaja, no količina dihidrogenfosfat iona u vodenoj fazi tla vrlo mala, a uspostavljanje dinamičke ravnoteže nadoknadom iona fosfata iz topljivih oblika fosfora je sporiji proces. (Lončarić i sur., 2014.)

Dosadašnjim istraživanjima dokazano je da se uz korištenje gnojiva, krčenje šuma, povećani uzgoj i zbrinjavanje gradskog i industrijskog otpada poboljšao prijenos fosfora iz kopnenih u vodene sustave, često popraćen štetnim rezultatima. Na primjer, povišene koncentracije fosfora u vodama dovode do eutrofikacije u nekim jezerima i obalnim područjima, stimulirajući smetnje cvjetanje algi i promicanje hipoksičnih ili anoksičnih stanja štetnih ili smrtonosnih za prirodne populacije.

Fosfor topiv u kiselinama dijeli se u podfrakcije fosfornih spojeva topivih u slabim i topivih u jakim kiselinama. Najveće značenje u ishrani bilja imaju spojevi topivi u slabim kiselinama, a njihova se količina na području Republike Hrvatske određuje uglavnom otopinom amonij-acetatlaktata (AL-otopina). Glavni interferirajući faktor u pogledu klasifikacije opskrbljenosti tla fosforom je pH reakcija tla odnosno kiselost tla. Ukoliko je izmjenjiva kiselost veća od 6 povećavaju se granice siromašne, dobre, bogate i ekstremno bogate opskrbljenosti tla fosforom, a smanjuju se u kiselijim tlama. Prema rezultatima koncentracije fosfora AL-metodom analizirana tla su klasificirana u 4 kategorije i to: slabo opskrbljeno tlo, dobro opskrbljeno tlo, bogato tlo i vrlo bogato tlo.

Vodeći se takvom interpretacijom rezultata ekstrakcije lako pristupačnog fosfora AL metodom, u analiziranim uzorcima je utvrđeno da su se rezultati koncentracije fosfora kretali u kiselim tlama u rasponu od 8,05 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla na području Antunovca, sve do 95,42 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla u uzorku sa područja Sarvaš. U alkalnim tlama koncentracije fosfora kretale su se od 23,14 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla na području Tovarnika, pa do 36,32 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g tla u uzorku uzorkovanom na području Klise. U 30 ispitivanih uzoraka najveći broj uzoraka njih 13 ili 43,33 % klasificirano je kao bogato opskrbljeno tlo sa prosječnom vrijednosti 27,60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, od čega je najniža vrijednost iznosila 23,14 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, a najviša vrijednost 35,47 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g. Vrlo bogato opskrbljenim tlo smatra se 23,33 % uzoraka sa prosječnom vrijednosti 41,59 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, od čega je najniža vrijednost iznosila 30,62 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, a najviša vrijednost 95,42 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g. U ispitivanim uzorcima 20 % je klasificirano kao dobro

opskrbljeno tlo sa prosječnom vrijednosti 20,25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, od čega je najniža vrijednost iznosila 16,32 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, dok je najviša vrijednost 24,23 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g. Slabo opskrbljenim tlom smatra se 13,33 % uzoraka sa prosječnom vrijednosti od 12,57 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, gdje je najniža vrijednost 8,03 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g, a najviša 15,36 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g.

## 5.2. Organski fosfor u tlu

Sadržaj organskog fosfora u tlu znatno varira. U gornjim horizontima tla organski fosfor predstavlja između 20 % i 80 % ukupnog fosfora, iako su zabilježene i ekstremne vrijednosti od 4 % ukupnog fosfora u podzolskom tlu te 90 % fosfora u alpskom humusu (Williams i Steinbergs, 1958).

Prema Ottabong i sur., (1997.) te Zhang i MacKenzie (1997.) kontinuirani dugoročni inputi fosfora kao mineralno gnojivo i/ili životinjski gnoj povećavaju količine organskog fosfora u tlu.

Kaila (1956.) je izjavio da neka netaknuta tresetna zemljišta mogu sadržavati ukupno čak 95 % fosfora u organskom obliku, osobito na manjim dubinama. Visok sadržaj fosfora bio je povezan s visokim sadržajem organske tvari. Uočen je inverzni odnos između stupnja polimerizacije huminskih tvari i humata organskog sadržaj fosfora (Jacquin i Fares, 1974). Organski fosfor bio je povezan uglavnom s fulvičkom frakcijom; smanjivao se redom: fulvokiseline > huminske kiseline > humin.

Neki autori navode da se dublje u sedimentima, mineralizacija organskog fosfora usporava do nemjerljivih razina. Početna brza mineralizacija organskog fosfora obično se pripisuje razaranju labilnijih komponenti, a prema zaključku, pretpostavlja se da je duboko zakopani organski fosfor otporniji (Ruttenberg, 2014.).

Postoji uska korelacijska veza između sadržaja ugljika u tlu i organske frakcije fosfora. Organski oblici u tlu su fosfolipidi, nukleinske kiseline (38-58 %) i heksafosforni ester inozitola fitin (41-49 %). Intenzitet mineralizacije organskog fosfora značajno će zavisiti od temperature a najbolja razgradnja odvija se na temperaturama od 30-40 °C i količine svježije organske tvari u tlu kao neophodnom izvoru energije za razvoj mikroorganizama. Slično mineralizaciji dušika, vrlo je važan omjer između ugljika i fosfora u organskoj tvari. Do imobilizacije fosfora će doći ako je omjer C/P veći od 300:1, a do mobilizacije tek kad se omjer suzi na 200:1. Obzirom na navedeno smatra se da količina raspoloživog fosfora za ishranu bilja pretežito zavisi od sadržaja neorganskog fosfora u tlu.

Sintetski organski fosforni spojevi u tlo se mogu uvesti kao insekticidi, herbicidi, fungicidi ili regulatori rasta biljaka (Fest i Schmidt, 1982.; Corbridge, 2000.). Zbog raširene uporabe sintetskih organo fosfatnih pesticida, njihov utjecaj na organski fosforni ciklus nekih tala može biti značajan.

Kemijski i fizički zaštićeni oblici organskog fosfora često predstavljaju najmanje 90% od ukupnog organskog fosfora (Hedley i Stewart, 1982.; Hedley i sur., 1982.). Ovi oblici polako se degradiraju, i time pridonose labilan bazen organskog fosfora.

Kaila (1963) tvrdi da glinena tla imaju općenito više organskog fosfora od grubih tla, ali niže od humusa tla. Nekoliko studija je jasno prikazalo da organski oblici fosfora u tlu daju značajan doprinos fosfora u ishrani biljaka (Firsching i Claassen, 1996.; Oehl i sur., 2001.; Chen i sur., 2002.).

Organski fosfor u tlu može se značajno smanjiti kao odgovor na dugotrajni uzgoj i uklanjanje usjeva (Tiessen i sur., 1982.) ili nakon pošumljavanja travnjaka (Condon i sur., 1996.; Chen i sur., 2000.), što može biti odgovor na nisku količinu organskog fosfora izmjenjenog na području Našica sa najnižim količinama organskog fosfora od 4,25 mg/kg i 6,5 mg/kg.

Dugotrajni uzgoj može povećati mineralizaciju organskog fosfora. S druge strane, primjena topljivog anorganskog fosfornog gnojiva zajedno sa primjerenom biljnih ostataka, ili uspostavljanje višegodišnjeg biljnog pokrivača može značajno povećavaju razine organske tvari u tlu i organskog fosfora (Harrison, 1985.). Primjena anorganskih gnojiva može u određenoj mjeri spriječiti pad organskog fosfora. Povećanje organskog fosfora kao rezultat anorganske gnojidbe fosforom dokumentiran je za umjerena tla po Sadleru i Stewartu (1975.) i za tropska tla po Tiessenu i sur. (1992.). Utvrđeno je da se organski fosfor nakuplja u tlima kao rezultat gnojidbe anorganskim fosforom (Jackman, 1955.; Williams i Donald, 1957.; Sadler i Stewart, 1975.; Dalal, 1977.).

Ne postoje izravne metode za određivanje ukupne koncentracije organskog fosfora u tlu. Organski fosfor se procjenjuje neizravno paljenjem ili ekstrakcijom. Metode paljenja koriste ili niske temperature (Legg i Black, 1955.) ili visoke temperature (Saunders i Williams, 1955.) za uništavanje organske tvari u tlu (pepeo). Ukupni organski fosfor u tlu se zatim izračunava kao razlika između sadržaja organskog fosfora koji se može ekstrahirati kiselinama u zapaljenom i nezapaljenom tlu (Kuo, 1996.). Metode ekstrakcije uključuju tretiranje tla kiselinama, bazama ili oboje, nakon čega slijedi određivanje fosfora u ekstraktu prije i poslije

oksidacije organske tvari. Organski fosfor u tlu se izračunava kao razlika u sadržaju anorganskog fosfora u ekstraktu prije i nakon oksidacije. Na primjer, metoda ekstrakcije Mehta i sur. (1954.) uključuje sekvencijalni tretman tla koncentriranom HCl, NaOH pri sobnoj temperaturi, i NaOH na 90°C (Kuo, 1996.).

Metode paljenja i ekstrakcije sklone su pogreškama koje mogu precijeniti ili podcijeniti pravu koncentraciju organskog fosfora u tlu. Prema Williamsu i sur. (1970.), te Condronu i sur. (1990.) metoda paljenja teži da precijeni organski fosfor u većini tala zbog povećane topljivosti spojeva anorganskog fosfora nakon paljenja. Ove pogreške mogu biti najveće u tlima s visokim vremenskim utjecajem. Harrap (1963.) međutim tvrdi da paljenje također može podcijeniti organski fosfor u tlu zbog kisele hidrolize tijekom ekstrakcije nezapaljenih uzoraka ili zbog nepotpune ekstrakcija fosfora koji se oslobađa tijekom paljenja (Williams i sur., 1970.), iako ovi gubici su minimalni pri temperaturama paljenja <800°C (Saunders i Williams, 1955.).

Uz osnovne analize tla određena je i količina organskog fosfora u tlu. Većini tala kako ističu Borie i Rubio (2003.) organski fosfor tla predstavlja više od 50 % ukupnog fosfora i to većinom u obliku inositol penta i heksa fosfata vezanih željezom i aluminijem.

Prema klasifikaciji opskrbljenosti tla organskim fosforom 36,67 % uzoraka točnije 11 uzorka sadrži manje od 100 mg/kg organskog fosfora prosječne količine 43,52 mg/kg. Od ukupno 30 uzoraka, 13,33 % ili 4 uzorka sadrže od 100 do 200 mg/kg organskog fosfora prosječne količine 131,19 mg/kg. Ukupno 6,67 % tj. 2 uzorka sadrže 200 do 300 mg/kg organskog fosfora, prosječno 265,88 mg/kg. Također rezultati 6,66 % analiza sadrže 300 do 400 mg/kg organskog fosfora prosječne vrijednosti 329,88 mg/kg. Više od 400 mg/kg organskog fosfora, u prosjeku 488,41 mg/kg imalo je ukupno 36,67 % ili 11 uzoraka.

Borie i Rubio (2003.) također ističu kako količina organskog fosfora u tlu usko je povezana s količinom organske tvari pa je posebno ispitan utjecaj humusa na organski fosfor gdje su se dobili djelomično očekivani rezultati sa ponekim odstupanjima. Dva uzorka slabo humoznih tala sa manje od 2 % humusa sadržavala su od 100 do 200 mg/kg organskog fosfora, dok je u ostalim uzorcima u slabo humusnim tlima izmjerena i najniža količina organskog fosfora (manje od 100 mg/kg). Također u dva uzorka umjerenom humoznih tala zabilježen je niži sadržaj organskog fosfora manje od 100 mg/kg što u ostalim uzorcima u umjerenom humoznim tlima nije slučaj. U ostalim uzorcima primjećuje se korelacijska veza među sadržajem humusa i organske tvari. Različiti udio organskog fosfora u vrlo slabo humoznim tlima u odnosu na

humozna tla, vjerojatno je posljedica različitog intenziteta mineralizacije, C/P, N/P odnosa, te različitoj aktivnosti enzima fosfataze (Anderson, 1980.).

## 6. ZAKLJUČAK

Analiziranim uzorcima raspon supstitucijske kiselosti kretao se od jako kiselog do neutralnog tla.

Koncentracije fosfora AL-metodom u analiziranim uzorcima imale su raspon od slabo opskrbljenih do vrlo bogatih tala.

U analiziranim uzorcima koncentracije kalija određenog AL-metodom kretale su se od slabo opskrbljenih do vrlo bogato opskrbljenih tala.

Humoznost tla u ispitivanim uzorcima kretala se od slabo humoznog (36,67 % uzoraka) do dosta humoznog (23,33 % uzoraka), dok je ostatak uzoraka njih 40 % klasificiran kao umjereno humozno tlo.

Rezultati organskog fosfora u ispitivanim uzorcima kretali su se od 4,25 mg/kg do 595,5 mg/kg. Dosadašnjim prikupljenim podacima rezultati analiza su očekivani, te je usporedbom rezultata analize organskog fosfora i humusa vidljiva međusobna korelacija. U slabo humoznim tlima vrijednost organskog fosfora nije prelazila 100 mg/kg, izuzev dva uzorka kojima je vrijednost organskog fosfora bila u intervalima od 100 do 200 mg/kg, dok je u dosta humoznim i umjereno humoznim tlima zabilježena i veća količina organskog fosfora.

Obzirom na dobivene rezultate i dosadašnje prikupljene informacije može se reći da tla istočne Hrvatske imaju veliki potencijal iskoristivosti organskog fosfora.

U ukupnoj biomasi tla npr. amebe i nematode imaju mali doprinos, stoga ne predstavljaju značajan organski bazen fosfora, no mogu biti presudni u određivanju smrtnosti gljivica i bakterija, te poticanju njihove aktivnosti, stoga igraju ključnu ulogu u neto mineralizaciji fosfora.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Al-Jaloud, A. A., Hussain, G., Bashour, I. I. (1998.): Analytical methods: Evaluation and status of phosphorus fractionation in calcareous soils of Saudi Arabia. *Commun. Soil Sci. Plant anal.* 33: 15-18.
2. Anderson, G. (1980.): Assessing organic phosphorus in soil. 411–431. In F.E. Khasawneh et al. (ed.): *The role of phosphorus in agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
3. Anderson, G. and Arlidge, E.Z. (1962.): The adsorption of inositol phosphates and glycerophosphate by soil clays, clay minerals and hydrated sesquioxides in acid media. *Journal of Soil Science* 13, 216–224.
4. Anderson, G. and Malcom, R.E. (1974.): The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. *Journal of Soil Science* 25, 282–297.
5. Andrén, O., Lindberg, T., Boström, U., Clarholm, M., Hansson, A.C., Johansson, G., Lagerlöf, J., Paustian, K., Persson, J., Pettersson, R., Scnfirer, J., Sohlenius, B. and Wivstad, M. (1990.): Organic carbon and nitrogen flows. In: O. Andrén, T. Lindberg, K. Paustian and T. Rosswal (Eds.), *Ecology of Arable Land-Organisms, Carbon, and Nitrogen-Cycling*. Munksgaard International Booksellers, Copenhagen. pp. 85-125.
6. Batsula, A.A. and Krivonosova, G.M. (1973.): Phosphorus in the humic and fulvic acids of some Ukrainian soils. *Sov. Soil Sci.* 5: 347-350.
7. Bielski, R.L. and Ferguson, I.B. (1983.): Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: A. Laiuchli and R.L. Bielski (Eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology. Inorganic Plant Nutrition*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 422-449
8. Black, C. A. (1968.): "Soil-Plant Relationships," pp. 558-653. Wiley, New York.
9. Borie, F., Rubio, R. (2003.): Total and Organic Phosphorus in Chilean Volcanic Soils. *Gayana Bot.* 60(1): 69-78.
10. Bowman, R.A. and Cole, C.V. (1978.): Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO<sub>3</sub>-extraction. *Soil Sci.* 125: 49-54.
11. Brookes, P.C., Powlson, D.S. and Jenkinson, D.S. (1982.): Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.* 14: 319-329.
12. Brookes, P.C., Powlson, D.S. and Jenkinson, D.S. (1984.): Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 16: 169-175.

13. Cade-Menun, B.J. and Lavkulich, L.M. (1997.): A comparison of methods to determine total, organic and available phosphorus in forest soils. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 28:651–663.
14. Chen, C.R., Condon, L.M., Davis, M.R. and Sherlock, R.R. (2000.): Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil. *Plant Soil* 220:151– 163.
15. Chen, C.R., Condon, L.M., Davis, M.R. and Sherlock, R.R. (2002.): Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Soil Biol. Biochem.* 34:487–499.
16. Coleman, D.C., Anderson, R.V., Cole, C.V., Elliot, E.T., Woods, L. and Campion, M.K. (1978.): Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. IV. Flows of metabolic and biomass carbon. *Micr. Ecol.* 4: 373-380.
17. Condon, L.M., Davis, M.R., Newman, R.H. and Cornforth, I.S. (1996.): Influence of conifers on the forms of phosphorus in selected New Zealand grassland soils. *Biol. Fertil. Soils* 21:37–42.
18. Condon, L.M., Moir, J. O., Tiessen, H. and Stewart, J.W.B. (1990.): Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1261–1266.
19. Corbridge, D.E.C. (2000.): *Phosphorus 2000. Chemistry, biochemistry & technology.* Elsevier, New York.
20. Dalal, R.C. (1977.): Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy* 29:83-117.
21. Egner H., Riehm H., Domingo W. R. (1960.): Investigations on the chemical soil analysis as a basis for assessing the soil nutrient status II: Chemical extraction methods for phosphorus and potassium determination. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26:199–215.
22. Elliot, E.T., Anderson, R.V., Coleman, D.C. and Cole, C.V. (1980.): Habitable pore space and microbial trophic interactions. *Oikos* 35: 327-335.
23. Fest, C. and Schmidt, K.J. (1982.): *The chemistry of organophosphorus pesticides.* 2nd revised ed. Springer-Verlag. Berlin.
24. Firsching, B.M. and Claassen, N. (1996.): Root phosphatase activity and soil organic phosphorus utilization by Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst). *Soil Biol. Biochem.* 28:1417–1424.
25. Frossard, E., Condon, L.M., Oberson, A., Sinaj, S. and Fardeau J.C. (2000.): Processes governing phosphorus availability in temperate soils. *J. Environ. Qual.* 29:15–23.



26. Frossard, E., Stewart, J.W.B. and St. Arnaud, R.J. (1989.): Distribution and mobility of phosphorus in grassland and forest soils of Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 69:401-416.
27. Goldwhite, H. (1981.): Introduction to phosphorus chemistry. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
28. Harrap, F. E. G. (1963.): *J. Soil Sci.* 14, 82-87.
29. Harrison, A.F. (1982.): Labile organic phosphorus mineralisation in relationship to soil, properties. *Soil Biology and Biochemistry* 14:343-351.
30. Harrison, A.F. (1985.): Effects of environment and management on phosphorus cycling in terrestrial ecosystems. *J. Environ. Man.* 20:163-179.
31. Hedley, M.J. and Stewart, J.W.B. (1982.): A method to measure microbial phosphorus in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 14:377-385.
32. Hedley, M.J., Nye, D.H. and White, R.E. (1983.): Plant induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica rapus* var. Emerald) seedlings. IV. The effect of rhizosphere phosphorus status on the pH, phosphatase activity and deletion of phosphorus fractions in the rhizosphere and on cation-anion balance in the plants. *New Phytol.* 95:69-82.
33. Hedley, M.J., Stewart, J.W.B. and Chauhan, B.S. (1982.): Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:970-976.
34. Jackman, R. H. (1955.): *Soil Sci.* 79, 207-213.
35. Jacquin, F. and Fares, F. (1974.): *C.R. Seances Acad. Agr. Fr.* 60, 867-873.
36. Jayachandran, K., Schwab, P.A. and Hetrick, B.A. (1992.): Partitioning dissolved inorganic and organic phosphorus using acidified molybdate and isobutanol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:762-765.
37. Kaila, A. (1956.): *J. Sci. Agric. Soc. Finl.* 28, 142-167.
38. Kaila, A. (1963.): *Soil Sci.* 95,38-44.
39. Kovačević, V., Bertić, B., Josipović, M. (1992.): Kalcizacija i fosfatizacija kao faktori proizvodnje kukuruza u istočnoj bosanskoj Posavini. *Znan. prak. poljopr. tehnol.* 22(2): 331-342.
40. Kuo, S. (1996.): Methods of soil analysis. Part 3 chemical methods. 32: 874-876.
41. Legg, J.O. and Black, C.A. (1955.): Determination of organic phosphorus in soils. II. Ignition method. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:139-143.

42. Magid, J., Tiessen, H. and Condon, L.M. (1996.): Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. p. 429–466. In A. Piccolo (ed.) *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier, Amsterdam.
43. McGill, W.B. and Cole, C.V. (1981.): Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26:267–286.
44. Mehta, N. C., Legg, J. O., Goring, C. A. I., Black, C. A. (1954.): Determination of organic phosphorus in soils: I. Extraction method. *Soil Science Society of America Journal* 18 (4) :443-449.
45. Oehl, F., Oberson, A., Sinaj, S. and Frossard, E. (2001.): Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:780–787.
46. Ottabong, E., J. Persson, Iakimenko, O., and Sadovnikova, L. (1997.): The Ultuna long-term soil organic matter experiment. 2. Phosphorus status and distribution in soils. *Plant Soil* 195:17–23.
47. Peperzak, P., Caldwell, A. G., Hunziker, R. R. and Black, C. A. (1959.): *Soil Sci.* 87, 293-302.
48. Ryszkowski, L., Karg, J., Szpakowska, B. and Zyczynska-Baloniak, I. (1989.): Distribution of phosphorus in meadow and cultivated field ecosystems. In: H. Tiessen (Ed.), *Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems*. Saskatchewan Institute of Pedology, Saskatoon. pp. 178-192.
49. Sadler, J.M. and Stewart, J.W.B. (1975.): Changes in form and availability of residual phosphorus in a catenary sequence of Chernozemic soils. *Can. J. Soil Sci.* 55: 149-159.
50. Saunders, W.M.H., Williams, E.G. (1995): Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *Journal of Soil Science.* 6 (2): 254–267.
51. Simard, R., Beauchem, S. and Haygarth, P.M. (2000.): Potential for preferential pathways for phosphorus transport. *J. Environ. Qual.* 29:97–105. *Soil Biol. Biochem.* 16: 169-175.
52. Thompson, L.M., Black, C.A. and Zoellner J.Z. (1954.): Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soils, with particular reference to associations with nitrogen, carbon and pH. *Soil Science* 77:185-196.
53. Tiessen, H., Salcedo, I.H. and Sampaio, E.V.S.B. (1992.) Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 39:139–151.

54. Tiessen, H., Stewart, J.W.B. and Bettany, J.R. (1982.): Cultivation effect on the amounts and concentrations of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils. *Agron. J.* 74:831–835.
55. Turner, B.L., Cade-Menun, B.J., Condon, L.M., Newman, S. (2003.): Extraction of soil organic phosphorus. *Talanta.* 66294-306.
56. Turner, B.L., Papházy, M.J., Haygarth, P.M. and McKelvie, I.D. (2002.): Inositol phosphates in the environment. *Philos. Trans. R. Soc. London, B* 357:449–469. Under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 39:139–151.
57. Van Veen, J.A., Ladd, J.N. and Frissel, M.J. (1984.): Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. *Plant and Soil* 76: 257-274.
58. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1998). *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet Osijek
59. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet Osijek
60. Walker, T.W. and Adams A.F.R. (1958.): Studies on soil organic matter: 1. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur and brga&c phosphorus in-grassland soils. *Soil Science* 85:307-318.
61. Walker, T.W. and Syers J.K. (1976.): The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 5:1-19.
62. Walker. T.W. and Adams, A.F.R. (1959.): Studies on soil organic matter: 2. Influence of increased leaching at various stages of weathering on levels of carbon, nitrogen, sulfur, organic and inorganic phosphorus. *Soil Science* 87: 1-10.
63. Williams, C. H., Williams, E. G., and Scott, N. M. (1960.): *J. Soil Sci.* 11, 334-346.
64. Williams, C.H. and Donald, CM. (1957.): Changes in organic phosphorus as influenced by subterranean clover and superphosphate. *Australian Journal of Aaricultural Research* 8:179-182.
65. Williams, C.H. and Steinbergs, A. (1958.): Sulphur and Enzymatic Hydrolysis of Organic Phosphorus 111 phosphorus in some eastern Australian soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 9, 483–491.
66. Williams, E.G. and Saunders W.M.H. (1956.): Distribution of phosphorus in profiles and particle size fractions of some Scottish soils. *Journal of Soil Science* 790408.
67. Williams, J.D.H., Syers, J.K., Walker, T.W. and Rex, R.W. (1970.): A comparison of methods for the determination of soil organic phosphorus. *Soil Sci.* 110:3–18.
68. Zhang, T.Q. and Mackenzie, A.F. (1997.): Changes of phosphorus fractions under continuous corn production in a temperate clay soil. *Plant Soil* 192:133–139.

69. <http://www.agroekologija.com/agri-conto-cleen/publikacije/prirucnici/>
70. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/organic-phosphorus>

## 8. SAŽETAK

Organski fosfor definiramo kao fosfor vezan na neki način s ugljikom. Sintetiziraju ga organizmi u tlu, a potječe iz životinjskih i biljnih ostataka. Fosforna veza je uvijek kovalentna, a u prirodi fosfor ostaje u svom najvećem oksidacijskom stanju. Biljke isključivo usvajaju fosfor u anionskom obliku i to kao  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  i  $\text{HPO}_4^{2-}$ , a ugrađuju ga, za razliku od dušika i sumpora, u organsku tvar bez redukcije. Najveće potrebe biljaka za fosforom su u intenzivnom razvoju korijenovog sustava i kod prijelaza iz vegetacijske u reprodukciju fazu života. Cilj istraživanja je da se temeljem prikupljenih rezultata analize organskog fosfora u tlima istočne Hrvatske prikaže potencijal organskog fosfora u ishrani bilja. Sadržaj humusa u tlu ima veliki utjecaj na sadržaj organskog fosfora u tlu, pod tom pretpostavkom cilj je utvrditi korelacije među tim svojstvima tla. Rezultati koncentracije fosfora prema AL-metodi kretali su se u kiselim tlima u rasponu od 8,05 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla, sve do 95,42 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla. U alkalnim tlima koncentracije fosfora kretale su se od 23,14 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla, pa do 36,32 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla. Prema interpretacijskim vrijednostima rezultata analize uzoraka i služeći se tehnološkim uputama rezultati analize ukazuju na kretanje od slabo opskrbljenog do bogato opskrbljenog tla lako pristupačnim fosforom. Analizom 30 uzoraka tala sa područja Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije prikazani su rezultati količine organskog fosfora čiji su se rezultati kretali od 4,25 mg/kg sve do 595,5 mg/kg. Prema rezultatima analize količine humusa u tlu opskrbljenost se kretala od slabo humoznog (36,67 % uzoraka) do dosta humoznog tla (23,33 % uzoraka), 40 % uzoraka klasificirano je kao umjereno humozno tlo. U većini slučajeva veća koncentracija organskog fosfora zabilježena je u uzorcima koji su kategorizirani kao dosta humozna tla i umjereno humozna tla, dok je u većini slučajeva u tlima kategoriziranim kao slabo humozna zabilježena i manja koncentracija organskog fosfora. Obradom rezultata možemo reći da sadržaj organskog fosfora ovisi i o sadržaju humusa u tlu. Također se primjećuje da na području Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije najveći broj uzoraka ima ili visoke količine organskog fosfora (više od 400 mg/kg) ili niske količine organskog fosfora (manje od 100 mg/kg).

## 9. SUMMARY

We define organic phosphorus as phosphorus bound in some way with carbon. It is synthesized by soil organisms and comes from animal and plant remains. The phosphorus bond is always covalent, and in nature phosphorus remains in its highest oxidation state. Plants exclusively adopt phosphorus in anionic form, as  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  and  $\text{HPO}_4^{2-}$ , and incorporate it, unlike nitrogen and sulfur, into organic matter without reduction. The greatest needs of plants for phosphorus are in the intensive development of the root system and during the transition from the vegetative to the reproductive phase of life. The goal of the research is to show the potential of organic phosphorus in plant nutrition based on the collected results of the analysis of organic phosphorus in the soils of eastern Croatia. The content of humus in the soil has a great influence on the content of organic phosphorus in the soil, under this assumption the goal is to determine the correlations between these soil properties. The results of phosphorus concentration according to the AL-method ranged from 8,05 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil to 95,42 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil in acidic soils. In alkaline soils, phosphorus concentrations ranged from 23,14 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil to 36,32 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil. According to the interpretation values of the sample analysis results and using the technological instructions, the analysis results indicate a movement from poorly supplied to richly supplied soil with easily accessible phosphorus. The analysis of 30 soil samples from Osijek-Baranja and Vukovar-Srijem counties showed the results of the amount of organic phosphorus, the results of which ranged from 4,25 mg/kg to 595,5 mg/kg. According to the results of the analysis of the amount of humus in the soil, the supply ranged from low humus (36,67% of samples) to a lot of humus (23,33% of samples), 40% of the samples were classified as moderately humus soil. In most cases, a higher concentration of organic phosphorus was recorded in samples that were categorized as fairly humus and moderately humus soils, while in most cases, a lower concentration of organic phosphorus was recorded in soils categorized as low humus. Processing the results, we can say that the content of organic phosphorus also depends on the content of humus in the soil. It is also noted that in the area of Osijek-Baranja and Vukovar-Srijem counties, the largest number of samples have either high amounts of organic phosphorus (more than 400 mg/kg) or low amounts of organic phosphorus (less than 100 mg/kg).

## **10. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Rezultati osnovne analize tla ispitivanih uzoraka.....	14
Tablica 2. Klasifikacija tla prema interpretacijskim vrijednostima rezultata analize uzoraka....	16
Tablica 3. Rezultati analize organskog fosfora.....	19
Tablica 4. Klasifikacija opskrbljenosti tla organskim fosforom.....	20

## 11. POPIS SLIKA

Slika 1. Kartografski prikaz raspodjele organskog fosfora.....	23
--	----



## 12. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Grafički prikaz klasifikacije kiselosti tla.....	17
Grafikon 2. Grafički prikaz klasifikacije tla prema prosječnim vrijednostima koncentracije fosfora AL-metodom.....	18
Grafikon 3. Grafički prikaz klasifikacije opskrbljenosti tla organskim fosforom.....	21
Grafikon 4. Korelacije AL i organskog fosfora.....	22
Grafikon 5. Korelacije sadržaja humusa u tlu i organskog fosfora.....	22

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij Ekološka poljoprivreda, smjer Ekološka poljoprivreda

Diplomski rad

## Potencijal organskog fosfora u tlima istočne Hrvatske Monika Čolić

### Sažetak:

Organski fosfor definiramo kao fosfor vezan na neki način s ugljikom. Sintetiziraju ga organizmi u tlu, a potječe iz životinjskih i biljnih ostataka. Fosforna veza je uvijek kovalentna, a u prirodi fosfor ostaje u svom najvećem oksidacijskom stanju. Biljke isključivo usvajaju fosfor u anionskom obliku i to kao  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  i  $\text{HPO}_4^{2-}$ , a ugrađuju ga, za razliku od dušika i sumpora, u organsku tvar bez redukcije. Najveće potrebe biljaka za fosforom su u intenzivnom razvoju korijenovog sustava i kod prijelaza iz vegetacijske u reprodukciju fazu života. Cilj istraživanja je da se temeljem prikupljenih rezultata analize organskog fosfora u tlima istočne Hrvatske prikaže potencijal organskog fosfora u ishrani bilja. Sadržaj humusa u tlu ima veliki utjecaj na sadržaj organskog fosfora u tlu, pod tom pretpostavkom cilj je utvrditi korelacije među tim svojstvima tla. Rezultati koncentracije fosfora prema AL-metodi kretali su se u kiselim tlima u rasponu od 8,05 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla, sve do 95,42 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla. U alkalnim tlima koncentracije fosfora kretale su se od 23,14 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla, pa do 36,32 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g tla. Prema interpretacijskim vrijednostima rezultata analize uzoraka i služeći se tehnološkim uputama rezultati analize ukazuju na kretanje od slabo opskrbljenog do bogato opskrbljenog tla lako pristupačnim fosforom. Analizom 30 uzoraka tala sa područja Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije prikazani su rezultati količine organskog fosfora čiji su se rezultati kretali od 4,25 mg/kg sve do 595,5 mg/kg. Prema rezultatima analize količine humusa u tlu opskrbljenost se kretala od slabo humoznog (36,67 % uzoraka) do dosta humoznog tla (23,33 % uzoraka), 40 % uzoraka klasificirano je kao umjereno humozno tlo. U većini slučajeva veća koncentracija organskog fosfora zabilježena je u uzorcima koji su kategorizirani kao slabo humozna tla i umjereno humozna tla, dok je u većini slučajeva u tlima kategoriziranim kao slabo humozna zabilježena i manja koncentracija organskog fosfora. Obradom rezultata možemo reći da sadržaj organskog fosfora ovisi i o sadržaju humusa u tlu. Također se primjećuje da na području Osječko-baranjske i Vukovarsko-srijemske županije najveći broj uzoraka ima ili visoke količine organskog fosfora (više od 400 mg/kg) ili niske količine organskog fosfora (manje od 100 mg/kg).

**Rad je rađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Brigita Popović

**Broj stranica:** 43

**Broj grafikona i slika:** 6

**Broj tablica:** 4

**Broj literaturnih navoda:** 70

**Broj priloga:** /

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** organski fosfor, humus, lako pristupačni fosfor  
**Datum obrane:**

### Stručno povjerenstvo za obranu:

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

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

# BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Graduate thesis

University Graduate Studies, Organic agronomy, course Organic agronomy

## Organic phosphorus potential in the soils of eastern Croatia

Monika Čolić

### Abstract:

We define organic phosphorus as phosphorus bound in some way with carbon. It is synthesized by soil organisms and comes from animal and plant remains. The phosphorus bond is always covalent, and in nature phosphorus remains in its highest oxidation state. Plants exclusively adopt phosphorus in anionic form, as  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  and  $\text{HPO}_4^{2-}$ , and incorporate it, unlike nitrogen and sulfur, into organic matter without reduction. The greatest needs of plants for phosphorus are in the intensive development of the root system and during the transition from the vegetative to the reproductive phase of life. The goal of the research is to show the potential of organic phosphorus in plant nutrition based on the collected results of the analysis of organic phosphorus in the soils of eastern Croatia. The content of humus in the soil has a great influence on the content of organic phosphorus in the soil, under this assumption the goal is to determine the correlations between these soil properties. The results of phosphorus concentration according to the AL-method ranged from 8,05 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil to 95,42 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil in acidic soils. In alkaline soils, phosphorus concentrations ranged from 23,14 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil to 36,32 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g of soil. According to the interpretation values of the sample analysis results and using the technological instructions, the analysis results indicate a movement from poorly supplied to richly supplied soil with easily accessible phosphorus. The analysis of 30 soil samples from Osijek-Baranja and Vukovar-Srijem counties showed the results of the amount of organic phosphorus, the results of which ranged from 4,25 mg/kg to 595,5 mg/kg. According to the results of the analysis of the amount of humus in the soil, the supply ranged from low humus (36,67 % of samples) to a lot of humus (23,33 % of samples), 40 % of the samples were classified as moderately humus soil. In most cases, a higher concentration of organic phosphorus was recorded in samples that were categorized as fairly humus and moderately humus soils, while in most cases, a lower concentration of organic phosphorus was recorded in soils categorized as low humus. Processing the results, we can say that the content of organic phosphorus also depends on the content of humus in the soil. It is also noted that in the area of Osijek-Baranja and Vukovar-Srijem counties, the largest number of samples have either high amounts of organic phosphorus (more than 400 mg/kg) or low amounts of organic phosphorus (less than 100 mg/kg).

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

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Brigita Popović

**Number of pages:** 43

**Number of figures:** 6

**Number of tables:** 4

**Number of references:** 70

**Number of appendices:** /

**Original in:** Croatian

**Key words:** organic phosphorus, humus, easily accessible phosphorus

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Ph.D Zdenko Lončarić, president, full professor
2. Ph.D Brigita Popović, menthor, full professor
3. Ph..D. Vladimir Ivezić, member, associate professor

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