

Kako pravilno protumačiti kemijsku analizu tla?

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

[Kemijska analiza tla](#) ključna je za dobivanje visokih priroda, odnosno racionalnu, [profitabilnu i učinkovitu primjenu agrotehnike, posebice gnojidbe](#), ali i svih drugih agrotehničkih zahvata od plodosmjene, obrade, sjetve pa sve do žetve. U tom smislu treba shvatiti da cjelovit i učinkovit [sustav kontrole plodnosti tla](#) koji sustavno prikuplja sve relevantne fizikalno-kemijske podatke o tlu, njegovoj [plodnosti](#) i korištenju, doprinosi boljoj raspodjeli mineralnih i organskih gnojiva, uklanjanju akutnih deficita hraniva, kemijskoj i fizikalnoj popravci tla, profitabilnijoj proizvodnji, odnosno očuvanju i podizanju efektivne plodnosti tla čime su prirodi viši i stabilniji te manje podložni promjeni uslijed različitih vremenskih prilika. [Uzorkovanje tla](#) za kemijsku analizu potrebno je obaviti nakon žetve (svakako prije gnojidbe) tako da prosječan uzorak dobro reprezentira proizvodnu površinu (parcelu), pazeći da se proporcionalno obuhvate manje nehomogenosti, a kod većih (razlika u boji parceli, izgledu, nagibu itd.) moraju se uzeti posebni uzorci tla.

Tlo sadrži vrlo veliku količinu, ali uglavnom nepristupačnih, tzv. *ukupnih* ili *rezervnih hraniva*, a *raspoloživa* ([bioraspoloživa hraniva](#)) su samo ona koja se trenutno nalaze ili pak mogu u kratkom vremenu prijeći u kemijski oblik koji biljke mogu usvojiti (tzv. *kemijska raspoloživost*), a uz to se moraju nalaziti u zoni korijena, odnosno *rizosferi* (tzv. *fizikalna raspoloživost*).

U cilju utvrđivanja raspoloživosti hraniva koristi se čitav niz različitih metoda kao što su [kemijska analiza tla i biljaka, mikrobiološke metode, poljski pokusi, pokusi u nadziranim uvjetima i druge metode](#), a na ovom mjestu ukratko se tumače rezultati samo standardnih i najčešće korištenih metode u Republici Hrvatskoj. Također, potrebno je naglasiti kako svaka metoda kemijske analize tla, uključujući fizikalne i biološke metode, uvodi [objektivan pristup u utvrđivanju potencijala plodnosti](#), odnosno kvalitete tla. Koristeći rezultate analize tla moguće je objektivno i uz prihvatljiv rizik pogreške [utvrditi potrebu za gnojidbom](#) pomoću kvantitativno izmjerene intenziteta relevantnih indikatora [efektivne plodnosti tla](#).

Jedinice mjere

Kemijska analiza tla od *organskih elemenata* (ugljik - C, kisik - O i vodik - H) najčešće obuhvaća samo ugljik, a iskazuje se kao postotni udio u tlu (%) i preračunava u koncentraciju humusa množenjem faktorom 1,724 (humus sadrži približno 58 % ugljika i 5 % dušika; $100/58 = 1,724$). Premda su dušik (N), fosfor (P), kalij (K) i sumpor (S) građevni elementi organske tvari, u agrokemijskom smislu ubrajaju se u [mineralne elemente](#) jer ih biljke pretežito usvajaju u mineralnoj formi (Tablica 1.), nakon razgradnje (mineralizacije) organske tvari (biljnih i životinjskih ostataka, žetvenih ostataka, organskih gnojiva i dr.).

[Glavni elementi ishrane](#) (dušik - N, fosfor - P i kalij - K), kao i [sekundarnih elementi](#) (sumpor - S, kalcij - Ca i magnezij - Mg) iskazuju se najčešće u tlu kao udio u zrakosuhom masi tla (mg/100 g tla) i to P, K, Ca i Mg tradicionalno kao oksidi (P_2O_5 , K_2O , CaO i MgO), a dušik (N) i sumpor (S) kao elementi, premda ih biljke ne usvajaju u tom obliku (Tablica 1.). Elementi ishrane izražavaju se kao udjel u masi zrakosuhog tla (ili suhe biljne tvari), a kad se iskazuju u nativnom tlu (uzorak tla u prirodnom stanju i s trenutnim sadržajem vlage) to mora biti posebno naglašeno.

Kad su elementi ishrane iskazani kao kationi ili anioni (npr.: kalij (K^+), vodik (H^+), kalcij (Ca^{2+}), željezo (Fe^{2+} , Fe^{3+}), nitrat (NO_3^-), sekundarni fosfat (HPO_4^{2-}), borat (BO_3^{3-}) i dr.), mogu biti izraženi u smislu njihove relativne sposobnosti zamijene drugih kationa na kationskom izmjenjivačkom kompleksu tla ([KIK](#)) u miliekvivalentima (meq/100 g ili kao $cmol^{(+)} kg^{-1}$). Npr., jedan miliekvivalent kalija zamijenit će točno jedan miliekvivalent magnezija, odnosno $\frac{1}{2} Mg^{2+}$, jer je magnezij dvovalentni kation pa ga moraju zamijeniti dva iona kalija.

[Mikroelementi](#) (željezo; Fe, mangan; Mn, bor; B, cink; Zn, bakar; Cu, molibden; Mo, klor; Cl i nikal; Ni) iskazuju se također kao udio u zrakosuhom tlu (ili suhoj tvari biljke), ali u *ppm* (*parts per million*, dio na milijun dijelova). Masa oraničnog sloja tla do 25 cm dubine prosječno teži 3 - 4 mil. kg/ha pa se množenjem rezultata iskazanih u ppm s $\sim 3,5$ dobije vrijednost raspoloživih mikroelemenata u kg/ha. Npr. ako je u tlu utvrđeno 1 ppm vodotopljivog bora (B), u tlu ga ima u bioraspoloživom obliku 3,5 kg/ha.

Granične vrijednosti

Analitičke vrijednosti indikatora plodnosti tla iskazane su kvantitativno (numerički), ponekad i kvalitativno (opisna ocjena) kad se koriste *polukvantitativni, brzi, priručni testovi* na terenu, najčešće kad je potrebno brzo reagirati, npr. obaviti prihranu. [Brze test-metode](#) tla (i biljne tvari) temelje se na karakterističnim obojenim produktima mikrokemijskih reakcija hraniva za što se sve više rabe specijalni štapići ili trake koje navlažene u ekstrakt ili ponekad vodenu otopinu tla (ili iscijeđeni biljni sok) pokazuju jednu ili više nijansi (više kemijskih reakcija) određene boje te se prema intenzitetu boje na standardnoj karti boja (ili priručnim *kolorimetrom, reflektometrom, denzitometrom* i dr.) determinira

koncentracija pojedinog elementa ishrane. Brze test metode su orijentacijskog karaktera, odnosno nisu posve točne i pouzdane, ali su dobre za donošenje odluke što treba poduzeti u vremenskoj oskudici.

A	B	C	D	E	porast koncentracije hraniva
akutni manjak	prikriveni manjak	dobra opskrbljenost	luksuzna opskrbljenost	toksična količina	
	granično područje simptoma	granično područje prinosa		granično područje toksičnosti	

Slika 1. Stupnjevi opskrbe tla biogenim elementima i odgovarajuće granične vrijednosti

Nakon kvantitativne, laboratorijske analize indikatora plodnosti uobičajeno je da se numeričkoj vrijednosti pridruži ocjena (Slika 1.) od A - E ili u nekoj drugoj klasifikaciji od pet ili samo 3 stupnja: npr., 1. vrlo nisko, 2. nisko, 3. srednje, 4. visoko i 5. vrlo visoko, odnosno 1. nisko, 2. dobro i 3. visoko. Svrha ocjene je osigurati opće smjernica za određivanje optimalnih razina

hranjivih tvari u tlu za dobar porast usjeva i postizanje visokih i stabilnih prinosa. Dobar primjer su granične vrijednosti za raspoloživost fosfora i kalija prema [AL metodi](#), standardnoj u RH (Tablica 2.).

Tablica 1. Kemijski oblik usvajanja i osnovne fiziološke funkcije biljnih hraniva (Mengel i Kirkby, 1987.)

Element ishrane	Relativna konc. prema N	Oblik usvajanja	Fiziološke funkcije elemenata biljne ishrane
Elementi koji čine organske spojeve biljaka			
N	100	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻	Konstituent aminokiselina, amida, proteina, nukleinskih kiselina, nukleotida, koenzima.
S	3	SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ²⁻	Komponenta cisteina, cistina i metionina, lipoične kiseline, koenzima A, tiamina, pirofosfata, glutaciona, biotina, ATP.
Elementi važni za akumulaciju energije i strukturni integritet biljaka			
P	6	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Konstituent fosfata šećera, nukleinskih kiselina, nukleotida, koenzima, fosfolipida, fitinske kiseline, itd. Ključna uloga u reakcijama ATP-a.
B	0,2	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻ , H ₃ BO ₃	Kompleksi s manitolom, mananima, poliuronskim kiselinama i drugim komponentama staničnih zidova. Uključen u elongaciju stanica i metabolizam RNA.
Si		Si(OH) ₄	Ugrađen kao amorfni silicij u zidovima stanica. Doprinosi boljim mehaničkim svojstvima stanične stjenke, uključujući njihovu krutost i elastičnost.
Elementi koji ostaju u obliku iona			
K	25	K ⁺	Potreban kao kofaktor (modulator) za više od 40 enzima. Glavni kation u uspostavljanju i održavanju turgora stanica te elektroneutralnosti protoplazme.
Na		Na ⁺	Uključen u regeneraciji fosfoenolpiruvata kod biljaka s C4 i CAM tipom fotosinteze. Zamjena za kalij u nekim funkcijama.
Mg	8	Mg ²⁺	Potreban za djelovanje velikog broja enzima uključenih u prijenos fosfata. Sastavni dio klorofila.
Ca	12,5	Ca ²⁺	Sastavni dio srednje lamele staničnih zidova, kofaktor enzima uključenih u hidrolizu ATP-a i fosfolipida. Funkcija "drugog glasnika" regulacije metabolizma.
Mn	0,1	Mn ²⁺	Potreban za aktivnost dehidrogenaza, dekarboksilaza, kinaza, oksidaza i peroksidaze. Aktivira i mnoge enzime i fotosintetsko izdvajanje O ₂ .
Cl	0,3	Cl ⁻	Neophodan u fotooksidaciji vode (fotosintetsko izdvajanje O ₂).
Elementi uključeni u transfer elektrona			
Fe	0,2	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Sastavni dio citokroma i proteina s neheminskim željezom uključenih u fotosintezu, N ₂ fiksacija i disanje.
Cu	0,01	Cu ²⁺	Komponenta oksidaze askorbinske kiseline, tirozinaze, monoamin oksidaza, uratne oksidaze (urikaze), citokrom oksidaza, fenolaza, lakaze i plastocijanina.
Zn	0,03	Zn ²⁺ , Zn(OH) ⁺	Sastavni dio alkoholne dehidrogenaze, glutaminske dehidrogenaze, karboanhidraze itd.
Mo	0,0001	MoO ₄ ²⁻	Konstituent nitrogenaze, nitratne reduktaze i dehidrogenaze ksantina.
Ni		Ni ²⁺	Sastavni dio ureaze, a kod N ₂ fiksirajućih bakterija i hidrogenaza.

Granične vrijednosti treba shvatiti kao referentne vrijednosti koje za različite produkcijske sustave (šume, travnjaci, usjevi, trajni nasadi, povrće i dr.) mogu znatno varirati te stoga imaju samo orijentacijsku vrijednost u procjeni kapaciteta produkcije, s obzirom na primijenjenu razinu i tip (intenzitet agrotehnike) proizvodnje, agroekološke, ekonomske i druge uvjete. Granične vrijednosti koje su kalibrirane (umjerene) pomoću pokusa u različitim proizvodnim uvjetima (tlo, klima, agrotehnika, sortiment i dr.), nipošto ne treba nekritički primijeniti u konkretnim agroekološkim uvjetima. Umjesto graničnih vrijednosti, suvremena interpretacija rezultata analize tla i biljaka koristi [stupnjevine indekse](#) i sve više [skor funkcije](#) koje omogućuju interakciju više indikatora (pokazatelja) te kompjutorsku i puno pouzdaniju obradu rezultata analize. U poljoprivrednoj praksi uglavnom se ograničava samo na procjenu [efektivne plodnosti](#), a da se pri tome ne uzima u obzir i ostale aspekte produktivnosti zemljišta koji su često jednako važni. Dakle, referentne granične vrijednosti

Tablica 2. Granične vrijednosti AL-P₂O₅ i AL-K₂O za usjeve na području ist. Hrvatske (V. Vukadinović)

Razred raspoloživosti	AL-P ₂ O ₅ mg 100 g ⁻¹		AL-K ₂ O mg 100 g ⁻¹ tla		
	pH < 6	pH ≥ 6	lako	srednje	teško
(A) jako siromašno	< 5	< 8	< 8	< 12	< 15
(B) siromašno	5 - 12	8 - 16	9 - 15	13 - 19	16 - 24
(C) dobro	13 - 20	17 - 25	16 - 25	20 - 30	25 - 35
(D) visoko	21 - 30	26 - 45	26 - 35	30 - 45	36 - 60
(E) ekstremno visoko	> 30	> 45	> 35	> 45	> 60

su na neki način standard s primjenom za specifične i konkretne uvjete proizvodnje, a to isključuje „šablonizirane recepture“ gnojidbe kojima se generalno i netočno utvrđuje potreba za gnojidbom.

Organska tvar

Organska tvar u tlu podrijetlom je od ostataka živih organizama koji su više ili manje razloženi i zatim najvećim dijelom iznova grade humus u procesu [humifikacije](#) koji je strukturno bitno različite u odnosu na živu tvar. U odnosu na mineralni dio tla, količina organske tvari je mala, no ipak je od suštinskog značenja, te ona izrazito utječe na čitav niz vrlo značajnih fizičkih i kemijskih svojstava tla, kao što su struktura, kapacitet za vodu, sorpcija iona, sadržaj neophodnih (biogenih) elemenata i drugo. Organska tvar tla je osnovni izvor energije za životnu aktivnost mikroorganizama, a od ukupne količine nežive organske tvari tla, na humus otpada 60 - 80 %. Humus je relativno rezistentna organska rezerva (otporan na razgradnju) za mnoge esencijalne hranjive tvari, posebice dušik, fosfor i sumpor, jer tijekom vegetacije kroz proces njegove razgradnje (*mineralizacija*) manji dio tih elemenata ishrane postaje dostupan za usvajanje korijenom. Naime, premda humus sadrži prosječno 4 - 6 % dušika samo 2 - 4 % od te količine bit će mineralizirano tijekom jedne sezone.

Granične vrijednosti za koncentraciju humusa u poljoprivrednim tlima pod intenzivnom agrotehnikom u našoj suvremenoj literaturi su zastarjele i uglavnom se još uvijek koristi klasifikacija po Gračaninu iz 1947. god. (Tablica 3.). [Temeljem vlastitih istraživanja koncentracije humusa](#) i ogromnog broja uzoraka tla iz [Kontrole plodnosti OBŽ](#) (>25.000), navodim preporuke koje koristim kod izrade kompjutorskih preporuka gnojidbe usjeva kad je niska koncentracija humusa u tlu:

Tablica 3. Granične vrijednosti za humus (Gračanin, 1947.)

Opskrbljenost tla humusom	Humus %
A. Vrlo slabo humozno tlo	< 1
B. Slabo humozno tlo	1 - 3
C. Humozno tlo	3 - 5
D. Jako humozno tlo	5 - 10
E. Vrlo jako humozno tlo	> 10

- kad je konc. humusa u tlu > 2 % mjere humizacije nisu potrebne,
- kod 1,5 - 2,0 % humusa u tlu poželjno je primjenjivati zelenu gnojidbu (sideraciju),
- kod niskog sadržaja humusa (< 1,5 %) treba uvesti redovitu primjenu organskog gnoja, najbolje pod okopavine,
- nipošto ne uklanjati ili spaljivati žetvene ostatke i
- uz kalcijaciju kiselih tala obavezno provesti i humizaciju i/ili uvesti redovitu primjenu siderata.

Dušik

Dušik ima poseban položaj u grupi neophodnih elemenata. Podrijetlom je iz atmosfere, ali se usvaja u mineralnom obliku i građevni je element vitalnih spojeva (Tablica 1.) koji čine osnovu života pa se kemija ovog elementa opravdano smatra najvažnijim dijelom *agrokemije*, odnosno *ishrane bilja*. [Značaj dušika](#) je to veći što ga samo mali broj organizama može koristiti iz atmosfere (gdje ga ima 78,1 % volumno ili 75,51 % po masi, odnosno ukupno $3,8 \cdot 10^{15}$ t, ili $86,5 \text{ t ha}^{-1}$) u plinovitom, molekularnom obliku (N_2). Za prevođenje molekularnog oblika dušika do amonijaka ili nitrata, u kojem ga obliku biljke usvajaju, potrebna je ogromna količina energije [$\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ ($\Delta H = -92,4 \text{ kJ mol}^{-1}$)]. S druge strane, dušik se lako vraća u molekularno stanje u kojem je i najstabilniji pa se lako gubi iz tla gdje se njegova količina procjenjuje na ukupno $4 \cdot 10^{14}$ tona.

U poljoprivrednim tlima ukupna količina dušika je najčešće 0,05 - 0,3 % (~1500 - 10000 kg po ha), odnosno [prosječno se mineralizira](#) svega 30 - 100 kg N po ha godišnje, što najviše ovisi o mikrobiološkoj aktivnosti te uvjetima u tlu (pH, toplina, voda, organska tvar, C/N omjer organske tvari i dr.). Važnost i potreba za dušikom najbolje se ogleda u činjenici da oko 70 % svih korijenom usvojenih iona otpada na NO_3^- ili NH_4^+ , što snažno utječe na usvajanje svih drugih elemenata ishrane. Budući da biljke pretežito usvajaju mineralni dušik tla (nitrati NO_3^- i amonijski NH_4^+), najviše u fenofazama brzog porasta, izuzetno je važno znati koliko ima raspoloživog mineralnog dušika u tlu kada je biljkama najpotrebniji (npr. u busanju i vlatanju ozimih žita, u startu jarih usjeva, brzom porastu i razvoju lisne mase itd.). U tu svrhu se najčešće koristi [N_{min} metoda](#) kojom se analizira *nativno tlo* (prirodno i svježe uzeto) uzorkovano u točno određenim fenofazama, a rezultati se preračunavaju u potrebu za N-prihranom i to posebno za [ozimine](#) i [jare usjeve](#). N_{min} metoda je veoma korisna jer se količina mineralnog dušika u tlu brzo mijenja zbog brzog premještanja vodom iz zone korijena, npr. ispiranje, kretanje s vodom, premještanje difuzijom, ali i drugih vrsta gubitaka (*biološka fiksacija, denitrifikacija, volatilizacija*, usvajanje usjevom i korovima i sl.).

Dušik se može uspješno primjenjivati i [folijarno](#) (preko lista) kad treba brzo reagirati zbog pojave simptoma deficita, opasnosti od pada prinosa i kvalitete. Naime, [biljke mogu usvajati male molekule](#) (<1000 u ili $1 < kDa$), npr. vodu, ureu, sekvestren i dr. kelate, kao i ione, npr. K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , HPO_4^{2-} itd. preko lista i korijena, praktično istim fiziološkim mehanizmima.

Fosfor i kalij

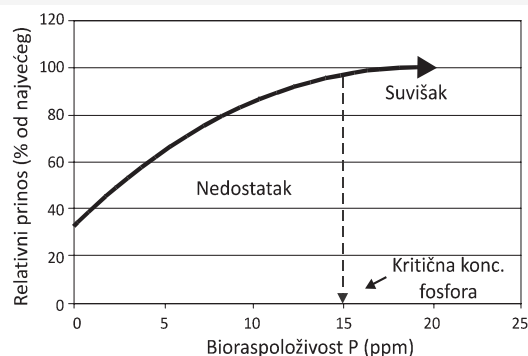
U RH standardna metoda za utvrđivanje raspoloživosti fosfora i kalija je [AL metoda](#) koja koristi amonijev acetatlaktat (pH = 3,75) kao sredstvo za ekstrakciju fosfata i kalijevih iona, a u RH se najčešće primjenjuje varijanta *Egnér-Riehm-Domingo*. Granične vrijednosti za AL metodu prikazuje Tablica 1. uz napomenu kako su rezultati na karbonatnim i

alkalnim tlima često niži od stvarno raspoložive količine fosfora (zbog neutralizacije ekstrakcijske AL otopine). Budući da praktično sva tla sadrže organski vezani fosfor (20 - 60 %), a naročito tzv. *organska tla* (npr. tresetišta i tla s većom količinom humusa), treba znati da tada AL metoda pokazuje manjak raspoloživog fosfora, ali biljke ipak veoma dobro uspijevaju.

AL metoda na teškim i glinastim tlima često pokazuje veću raspoloživost kalija od količine koju biljke mogu usvojiti. Razlog je *defiksacija* K (čvrsto vezani kalij u međulamelarnim prostorima nekih sekundarnih minerala). [Fiksacija elemenata ishrane](#) je trajna ili tijekom dužeg vremena transformacija raspoloživih hraniva u nepristupačne oblike, a može biti *kemijska* (npr. fosfati željeza i aluminija), *fizička* (npr. kalij unutar lamela vermikulita i ilita) i *biološka* (npr. dušik ugrađen u mikrobnu masu tla).

Koncentracija fosfatnih iona u vodenoj fazi tla veoma je niska (< 1 kg ha⁻¹). Međutim, *kritična koncentracija*, odnosno ravnoteža između vodotopljivih i manje topljivih oblika fosfora ovisi prije svega o količini fosfora koja se već nalazi u tlu (Slika 2.) pa primjena fosfora i kalija na siromašnim tlima ne daje odmah očekivano povećanje prinosa uz niži stupanj efikasnosti, prvenstveno fosfora.

Naime, [agronomska efikasnost](#) fosfora (iskoristivost aktivne tvari iz gnojiva u prvoj godini primjene) obično je 10 - 30 %, kalija ~50 %, a dušika i do 70 %, kad je primijenjen u manjim dozama, a kod primjene visokih N doza često ne prelazi je 40 %.



Slika 2. Korelacija između raspoloživosti P i visine prinosa kao determinanta kritične koncentracije fosfora u tlu

Kationski izmjenjivački kapacitet (KIK ili CEC) i njegova saturacija bazama

[Kationski izmjenjivački kapacitet](#) označava ukupan potencijal tla za adsorpciju kationa, a izražava se u cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ (ili meq/100 g tla). KIK je razmjernan količini *koloidne frakcije tla*, odnosno sadržaju gline i humusa, pri čemu niska pH vrijednost značajno utječe na pad sorptivnog svojstva gline i humusa. KIK je mjera sposobnosti tla da spriječi ispiranje hraniva, odnosno zadrži katione u raspoloživom obliku za usvajanje (npr. kalij, magnezij i kalcij, natrij, vodik i većinu mikroelemenata). Empirijska procjena KIK-a često se izračunava sljedećim izrazom:

$$KIK_{\text{cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}} = \frac{200 \times \text{humus } \%}{100} + \frac{50 \times \text{glina } \%}{100}$$

Vrijednost KIK-a varira uglavnom između 5 i 35 meq/100 g tla. Teža tla s više gline, kao i humozna tla, imaju višu vrijednost KIK-a, bolje zadržavaju katione u zoni korijenja, omogućuju produžno djelovanje te bolje podnose više doze gnojiva. Također, veoma je važno znati kod proračuna potrebe [kalcizacije](#) kiselih tala (*vapnjenje*) koliko je KIK popunjen baznim (Ca²⁺, Mg²⁺ i Na⁺) i kiselim kationima (H⁺).

U ekstremno kiselim tlima (pH_{HOH} < 4,0, Tablica 4.) dolazi do izravne toksičnosti vodikovih iona (H⁺), a više biljke ne uspijevaju ispod pH ≤ 3,7. Kad je pH < 5,0 česta je toksičnost iona Al³⁺ i Mn²⁺, a kad je pH > 4,2 toksičnost H⁺ iona je neizravne naravi i to putem aktivacije teških metala i uz poremećaj u sastavu korisne mikroflore (npr., naročito je slaba *nodulacija* leguminoza bakterijama iz roda *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*). Temeljem brojnih istraživanja smatra se optimalnim kada je na KIK-u 65 - 85 % Ca, 5 - 15 % Mg i 2,0 - 3,5 % K, a za šećernu repu i većinu leguminoza povoljno je da KIK čini 85 % baza (ne manje od 65 % uz ≥ 70 % Ca) i manje od 15 % kiselih iona, pretežito vodika. Što je pH tla viši, to je manje kiselih kationa vezanih na adsorpcijski kompleks tla, a učešće alkalnih kationa raste.

pH i hidrolitička kiselost tla

Reakcija tla se mjeri i iskazuje kao pH-vrijednost koja je pokazatelj niza veoma važnih agrokemijskih (fizikalnih, kemijskih i bioloških) svojstava tla važnih za rast i razvitak bilja te visinu i kvalitetu prinosa. [pH vrijednost tla](#), kao i njegov [oksidoredukcijски potencijal](#), određen je podjednako mineralnim i organskim dijelom tla. Budući da vodikovi i drugi kiselici kationi mogu u tlu biti vezani na više načina, kao i različitom čvrstoćom na mineralni i organski dio tla, razlikuje se [aktualna, izmjenjiva i hidrolitička pH-reakcija tla](#). U tablici 4. prikazana je klasifikacija aktualne kiselosti (pH_{HOH}).

[Hidrolitička kiselost tla](#) (označava se H_k ili H_v) utvrđuje se pri neutralizaciji tla više baznim solima pri čemu se svi vodikovi ioni ne zamjenjuju kod iste pH-vrijednosti sredine. Najčešća primjena hidrolitičke kiselosti je kod utvrđivanja potreba za kalcizacijom ili kada se želi znati kolika je *ukupna potencijalna kiselost* nekog tla. Hidrolitička kiselost izražava se u

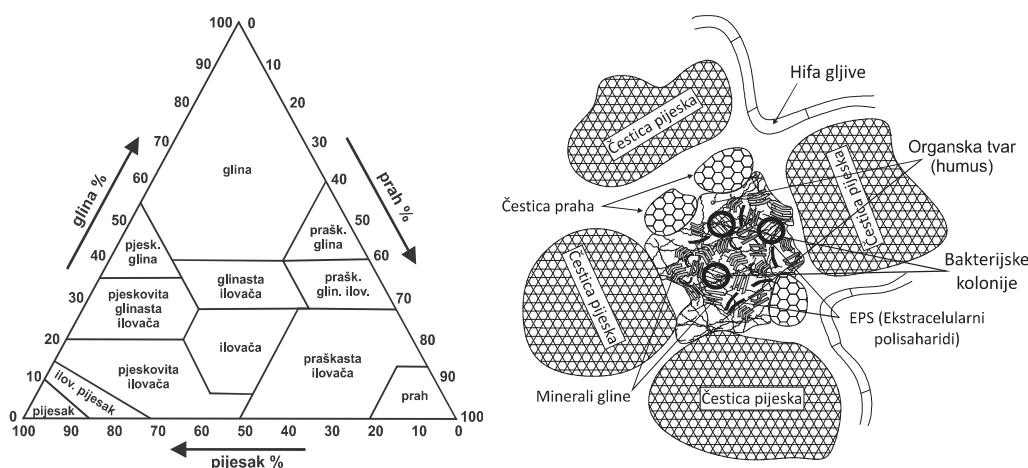
Tablica 4. Kategorije aktualne pH-vrijednosti tla (tlo/voda 1:5)

Kategorija pH-reakcije tla	pH-vrijednost
Ekstremno kiselo	3,50 - 4,50
Vrlo jako kiselo	4,51 - 5,00
Jako kiselo	5,01 - 5,50
Umjereno kiselo	5,51 - 6,00
Slabo kiselo	6,01 - 6,50
Neutralno	6,51 - 7,30
Slabo alkalno	7,31 - 7,80
Jako alkalno	7,81 - 8,50
Ekstremno alkalno	8,51 - 9,00

$\text{cmol H}^{(+)} \text{kg}^{-1}$. Tla čija je $H_v \leq 2$ su neutralna, kad je $H_v 2 - 4$ su slabo kisela, a kad je $H_v > 4$ tlo je kiselo i treba razmotriti potrebu kalcizacije. Ekstremno kisela tla (npr. vrištine i tresetišta) mogu imati $H_v > 15 \text{ meq H}^+/100 \text{ g tla}$.

Mehanička analiza tla (tekstura tla)

Čvrstu fazu tla čine čestice *primarnih* i *sekundarnih minerala* različite veličine, koje su međusobno prostorno povezane, a prisutne pore između njih ispunjene su vodom i zrakom. Dakle, pod [teksturom](#) se podrazumijeva udio pojedinih čestica ovisno o njihovoj veličini, a [struktura \(pedaliti\)](#) označava njihov međusobni raspored. Ta svojstva su međusobno čvrsto povezana i predstavljaju veoma važno svojstvo svakog tla. [Povoljna struktura i tekstura tla](#) podrazumijevaju dobre uvjete za rast korijena, povoljan vodozračni režim, odnosno dobru vododrživost i prozračnost tla. Stoga se tekstura s pravom smatra mjerom kojom se pouzdano procjenjuje potencijalna plodnost nekog tla. Veličina čestica tla u principu ovisi o materijalu na kojem je tlo u procesu *pedogeneze* nastalo, odnosno o svojstvima *matičnog supstrata* (ili stijene), a određuje se laboratorijskim metodama *mehaničke analize tla*. Ovisno o promjeru, čestice se svrstavaju u najmanje tri klase: 1. *pijesak* ($\varnothing 0,02 - 2,00 \text{ mm}$ ili $0,05 - 2,00 \text{ mm}$), 2. *prah* ($\varnothing 0,002 - 0,02 \text{ mm}$ ili $0,002 - 0,05 \text{ mm}$) i 3. *glina* ($\varnothing < 0,002 \text{ mm}$) temeljem kojih se determinira tekstura tla (Slika 3. lijevo).



Slika 3. Trokut za determinaciju teksture (lijevo) i shema mikroagregata tla

Povezivanjem pojedinih krutih (mehaničkih) čestica tla pomoću organske tvari tla nastaju sekundarne čestice (Slika 3.; desno), odnosno **mikro i makro strukturni agregati**. Sitniji **mikroagregati** se povezuju u veće, **strukturne makroagregate**, koji zapravo čine strukturu tla (Slika 4.). Tla kod kojih je agregacija mehaničkih elemenata slabo izražena su *nestrukturalna* i u tu grupu ulazi većina pjeskovitih, ali i neka teška glinovita tla. *Strukturalna tla* imaju *zrnaste* (danas vrlo rijetko), *mrvičaste* ili *sitnogradaste* strukturne agregate (Slika 4.). Stabilnost agregata važno je svojstvo tla, a određena je kvalitetom organske tvari koja povezuje mehaničke čestice tla. Najčešće se smatra kako je granica između te dvije kategorije promjer $0,25 \text{ mm}$, pa one čiji je promjer veći od toga svrstavamo u makro, a manje u mikroagregate.

Osim teksture i strukture, važna je i volumna gustoća tla (ρ_v), odnosno masa prirodnog, nenarušenog tla (prirodni izvadak tla) po jedinici zapremine (g cm^{-3}) kao dobar indikator zbijenosti. ρ_v tla najviše ovisi o ukupnom sadržaju pora u tlu i sadržaju organske tvari, odnosno što je tlo poroznije i sadrži više humusa, manja je njegova volumna gustoća. U oraničnim horizontima ρ_v najčešće iznosi $1,0 - 1,6 \text{ g cm}^{-3}$, a u zbijenim horizontima i znatno više (do $2,0 \text{ g cm}^{-3}$). Za određivanje ρ_v tlo se uzima na terenu (obično iz pedološkog profila) pomoću Kopecky cilindra poznatog volumena (100 cm^3). Osim pomoću teksturnog trokuta (Slika 3.), determinacija teksture tla i empirijska procjena volumne gustoće tla lako se obavlja pomoću [kalkulatora teksture](#).

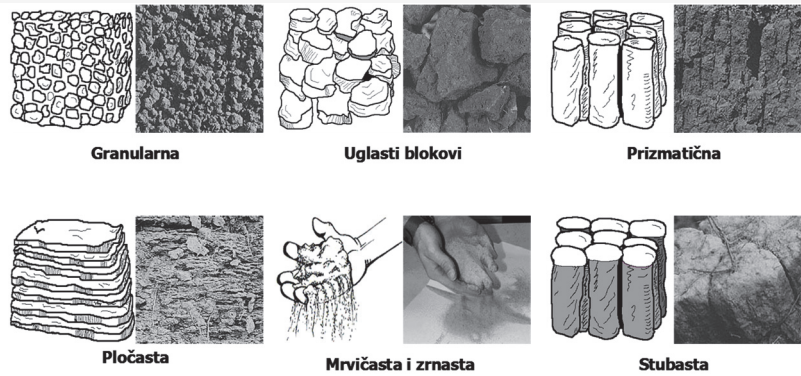
Dodatne analize

Pored uobičajenih metoda za utvrđivanje plodnosti tla, te za potrebe [kondicioniranja tla](#) (kalcizacija, humizacija, gipsanje i dr.), često je potrebno obaviti i dopunske analize. Npr., za rješavanje probleme slatina, kao i za određivanje kvalitete vode za navodnjavanje potrebno je utvrditi električni [konduktivitet tla](#) (provodljivost, EC u dS m^{-1}), ukupne lakotopljive soli (TDS mg dm^{-3}), aktivitetni omjer natrija (SAR $\text{cmol}^{(+)} \text{dm}^{-3}$), lužnatost vode za irigaciju (RSC mmol dm^{-3}), sposobnost upijanja (*infiltracija*) i provođenja (*konduktivitet*) vode u tlu i dr.

Pojedine biljne vrste ne podnose suvišak kalcija i/ili magnezija (pojava vapnene kloroze ili *Fe-kloroze* u vinogradima, voćnjacima te usjevima), krstašice i leguminoze (*Cruciferae* i *Leguminosae*) imaju veću [potrebu za sumporom \(S\)](#), šećerna repa za borom (B), krstašice za molibdenom (Mo) itd., pa je potrebno utvrditi njihovu raspoloživost, kao i druga svojstva tla. Također, u visoko profitabilnoj proizvodnji, npr. povrća i voća, ne smije se dopustiti nedostatak mikroelemenata i pojava simptoma njihovog deficita, jer će to izvjesno prouzročiti niži prinos, kao i lošiju kvalitetu i izgled proizvoda.

Zaključno

Dobro opremljene laboratorije za ispitivanje kvalitete tla i biljne tvari, koje raspolažu obučanim terenskim i laboratorijskim osobljem, naročito iskusnim analitičarima, ali i suvremenim laboratorijskim instrumentima, u mogućnosti su analizirati veoma veliki broj svojstava tla, organska i mineralna gnojiva, biljnu tvar, tehnološku kvalitetu prinosa, vodu za irigaciju i dr. Na žalost, mnoge naše agrokemijske laboratorije nisu u stanju kvalitetno interpretirati rezultate analize, jer laboratorijske, danas uglavnom visoko



Slika 4. Izgled strukturnih makroagregata

automatizirane instrumente, moguće je kupiti, ali za točnu interpretaciju potrebno je izvrsno znanje, poznavanje problema proizvodnje, odnosno dugogodišnje iskustvo. Također, poljoprivredni proizvođač mora biti uključen u proces analize tla, budući da najbolje poznaje vlastite probleme i specifičnosti biljne proizvodnje s kojima se susreće, Naime, dopunske informacije o tlu, agrotehnici, sortimentu, prethodno postignutim prinosima, plodosmjeni, količini žetvenih ostatak i dr., olakšavaju izradu tehnoloških preporuka za gnojidbu, popravke i uređenje tla, agrotehniku itd.

U Osijeku, 26. travnja 2017.