



**REGIONALNI CENTAR
KOMPETENTNOSTI**
Poljoprivredno šumarska
škola Vinkovci



PRIRUČNIK ZA IZVOĐENJE VJEŽBI U PEDOLOGIJI I AGROMELIORACIJI

Aleksandra Bensa
Vedran Rubinić



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.



**REGIONALNI CENTAR
KOMPETENTNOSTI**
Poljoprivredno šumarska
škola Vinkovci

PRIRUČNIK ZA IZVOĐENJE VJEŽBI U PEDOLOGIJI I AGROMELIORACIJI

Aleksandra Bensa

Vedran Rubinić

Vinkovci, 2023.



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Nakladnik:

Regionalni centar kompetentnosti
"Centar za suvremene tehnologije i obrazovanje u poljoprivredi"
Poljoprivredno šumarska škola Vinkovci

Za nakladnika:

Ružica Zucić, dipl. ing., ravnateljica

Autori:

Prof. dr. sc. Aleksandra Bensa
Izv. prof. dr. sc. Vedran Rubinić

Recenzent:

Vehid Ibraković, dipl. ing. agr., izvrstan stavjetnik

Lektura:

Maja Bukna, prof.

Uređenje, grafičko uređenje i oblikovanje naslovne stranice:

Studio HS internet d.o.o., Osijek

Tisak:

Studio HS internet d.o.o., Osijek

Naklada:

150 primjeraka

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu NSK Zagreb

ISBN:



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Sadržaj priručnika isključiva je odgovornost Poljoprivredno šumarske škole Vinkovci.

Za više informacija o EU fondovima posjetite mrežnu stranicu Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije www.strukturnifondovi.hr.

PREDGOVOR

Poštovani korisnici,

ovaj Priručnik daje osnovne smjernice za provođenje laboratorijskih analiza u svrhu utvrđivanja odabranih fizikalnih i kemijskih svojstava tla. Poznavanje svojstava tla osnova je za izbor adekvatnih agrotehničkih mjera (obrade, gnojidbe, navodnjavanja) s ciljem povećanja plodnosti tla i produktivnosti rasta i razvoja biljaka.

U prvom dijelu Priručnik daje uvid u osnove uzorkovanja tla, važnog početnog koraka u postupku analiziranja tla, o kojem značajno ovise rezultati analiza. Slijedi opis postupka pripreme uzoraka tla za laboratorijske analize te sustavan prikaz odabranih kemijskih i fizikalnih analiza tla. U zadnjem dijelu Priručnika obrađena je problematika navodnjavanja tla, odnosno izračuna norme i obroka za navodnjavanje tla.

Uz osnovne informacije o pojedinim svojstvima tla, u Priručniku su opisani analitički postupci njihovog određivanja, uz navođenje potrebnog posuđa, opreme i kemikalija. Svaka analiza potkrijepljena je primjerom izračuna te navođenjem interpretacijskih vrijednosti. Također, ilustracijama smo nastojali olakšati razumijevanje prikazanoga gradiva.

Nadamo se da će ovaj Priručnik olakšati svladavanje znanja i vještina vezanih uz pedološke analize u laboratoriju i omogućiti lakše praćenje nastavnog gradiva iz pedologije.

OSNOVE UZORKOVANJA TLA

Uzorkovanje tla ključan je prvi korak u određivanju svojstava tla budući da o njemu ovisi točnost rezultata. Ovisno o svrsi pedološkog istraživanja razlikujemo **pojedinačne** i **prosječne uzorke tla**. Svaki uzorak mora zadovoljiti kriterij reprezentativnosti, odnosno mora predstavljati površinu s koje se uzima.

Pojedinačni uzorci uzimaju se na jednom mjestu, iz pedoloških profila (poprečnih presjeka tla) (Slika 1), u **prirodnom** i **narušenom stanju**. Uzorci u prirodnom stanju služe za određivanje fizikalnih svojstava tla (npr. gustoća tla, poroznost, kapacitet za vodu i zrak) za što je potrebno poznavati volumen tla u prirodnom stanju. Uzimaju se u valjke poznatog volumena, najčešće 100 cm³, u triplikatu. Uzorci u narušenom stanju, mase cca 500 g, uzimaju se u vrećice, a služe za određivanje kemijskih svojstava i mehaničkog sastava tla. Obje vrste pojedinačnih uzoraka iz pedoloških profila uzimaju se u vertikalnom potezu jedan ispod drugog, iz različitih horizonata tla, prethodno utvrđenih na terenu.



Slika 1. Pedološki profil s uzorcima tla u prirodnom (valjci) i narušenom stanju (vrećice) (Pernar i sur., 2013.)

Prosječni uzorak je homogena smjesa sastavljena od više pojedinačnih uzoraka (npr. 20 - 25) koja predstavlja tlo površine koja se analizira, u pogledu svih njegovih svojstava. Broj prosječnih uzoraka ovisi o heterogenosti površine, vrsti kulture koja se uzgaja te cilju istraživanja. Heterogenost površine procjenjuje se vizualno temeljem mikoreljefa (uzvišenja, depresije), boje tla, znakova stagniranja vode na tlu, prisutnosti kamenja i stijena i sl. Kod homogenih površina dovoljan je manji broj uzoraka po jedinici površine, a kod heterogenih veći. Posebnu pažnju treba posvetiti tlama na padinama, kod kojih treba izdvojiti dijelove padine kao zasebne zone uzorkovanja, ovisno o nagibu i uočljivim znakovima variranja tla. Za ratarske kulture jedan prosječan uzorak uzima se s npr. 3 - 5 ha, kod voćnjaka, vinograda i povrtnih kultura na otvorenim površinama s npr. 1 - 2 ha, a kod uzgoja u plastenicima i staklenicima sa 100 do 5.000 m².

Uzorkovanje tla provodi se različitim alatima, od kojih se najčešće koriste pedološka svrdla i sonde (Slika 2) te lopate i noževi. Svrdla se utiskuju u tlo okretanjem spiralnog završetka, dok se sonde obično samo utiskuju u tlo koje onda ulazi u žljebasti otvor.



Slika 2. Pedološka svrdla i sonde

(izvor: <https://www.royaleijkelkamp.com/products/augers-samplers/soil-augers-samplers/hand-augers/hand-auger-set-bayonet-connection-standard/>)

Pri uzimanju uzorka tla lopatom, nožem se izdvaja samo središnji dio (Slika 3). Miješanjem i homogeniziranjem pojedinačnih uzoraka dobiva se prosječni uzorak. Uobičajena masa prosječnog uzorka za analizu iznosi 0,5 -1 kg. Uzorak je potrebno pravilno označiti (lokacija, dubina, datum).

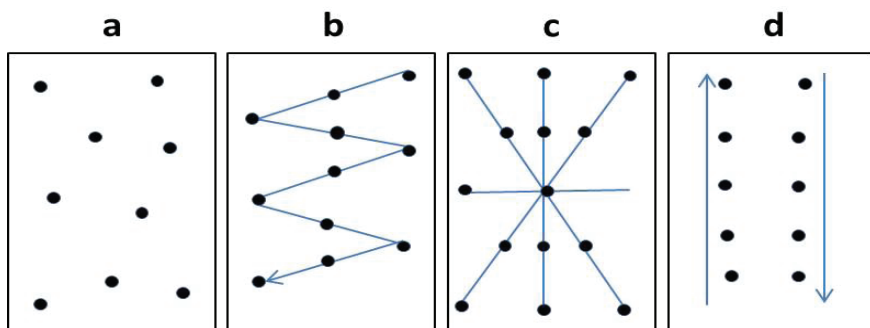


Slika 3. Uzimanje uzorka tla pomoću lopate i noža
(izvor: <https://www.hapih.hr/ct/obraci/>)

Dubina uzorkovanja ovisi o vrsti uzgajane kulture. Uobičajene dubine prosječnih uzoraka tla su:

- 0 - 30 cm za ratarske i povrtne kulture
- 0 - 30 i 30 - 60 cm za višegodišnje nasade

Pojedinačni uzorci koji čine prosječni uzorak mogu se uzimati prema različitim shemama (Slika 4).



Slika 4. Različiti rasporedi uzorkovanja pojedinačnih uzoraka tla za prosječni uzorak (izvor: <https://www.hapih.hr/ct/obraci/>)

PRIPREMA UZORKA TLA ZA ANALIZE

Uzorak tla se pri zaprimanju u laboratorij uvodi u evidenciju i dodjeljuje mu se analitički broj pod kojim se vodi tijekom analiza. Uzorak se rasprostire na pladanj i suši na zraku pri sobnoj temperaturi, bez izravnog sunčevog svjetla, utjecaja prašine i dodira s kemikalijama. Nakon sušenja, zrakosuhi uzorak se očisti od vidljivih organskih tvari (lišće, korijenje) te se usitnjava u mlinu ili tarioniku pomoću tučka.

Usitnjeni uzorak prosijava se kroz sito promjera rupica 2 mm, pri čemu na situ ostaje **skelet** (čestice > 2 mm promjera), a kroz sito prolazi **sitnica tla** (čestice < 2 mm promjera) koja se koristi za analize (Slika 5).



Slika 5. Sijanje tla - odvajanje skeleta od sitnice tla (foto: Bensa, 2023.)

Ukoliko se želi odrediti maseni udio skeleta u tlu, on se izvaži i izračuna se postotak u odnosu na ukupnu masu tla.

Primjer izračuna masenog udjela skeleta u tlu

Ukupna masa uzorka tla 830 g

Masa skeleta 254 g

% mase skeleta = ?

$$830 \text{ g} : 100 \% = 254 \text{ g} : x \%$$

$$X = (254 \times 100) / 830$$

$$X = 30,6 \%$$

KEMIJSKA SVOJSTVA TLA

REAKCIJA (pH) TLA

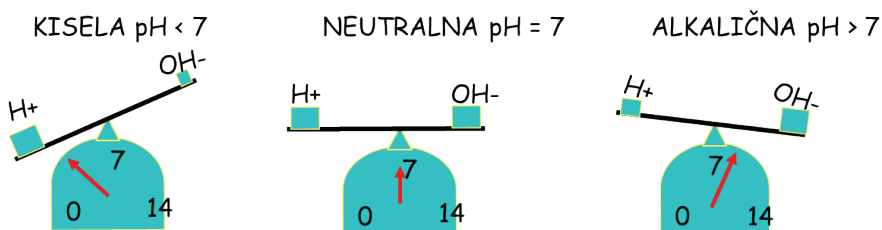
Reakcija tla je mjera kiselosti ili alkaličnosti tla. Njezina analiza neizostavna je u procjeni plodnosti tla jer izravno utječe na rast biljaka i kontrolira niz ostalih svojstava tla te brojne procese u tlu. O njezinom izravnom utjecaju na rast biljaka govori podjela biljaka na acidofilne, neutrofilne i alkalofilne, s obzirom na optimalnu reakciju tla. Tako acidofilne biljke (npr. kesten, borovnica, krumpir) preferiraju kiselu reakciju tla, neutrofilne (npr. lucerna, šećerna repa) najbolje uspijevaju na neutralnim tlima, a alkalofilne (npr. maslina, smokva) na alkalnim tlima.

Reakcija tla utječe na pristupačnost hraniva za biljke, mobilnost i toksičnost elemenata u tlu, mikrobiološku aktivnost te brojne transformacije organske i mineralne tvari tla. Kao mjera kiselosti ili alkaličnosti tla koristi se koncentracija vodikovih iona u otopini tla. Reakcija tla izražena kao pH-vrijednost predstavlja negativni logaritam množinske koncentracije H^+ iona u otopini tla. Dakle, što je više vodikovih iona u otopini tla, pH-vrijednost je niža, kao u donjem primjeru:

$$0,0000001 \text{ mol/dm}^3 H^+ = \text{pH } 7$$

$$0,001 \text{ mol/dm}^3 H^+ = \text{pH } 3$$

Kada u otopini tla dominiraju vodikovi ioni, reakcija je kisela, kada su podjednako zastupljeni H^+ i OH^- reakcija je neutralna, a pri dominaciji OH^- alkalna (Slika 6):



Slika 6. Prikaz odnosa H^+ i OH^- u otopini tla i reakcije tla (Bensa, 2014.)

Određivanje pH tla

Određivanje pH tla obavlja se elektrometrijski pomoću pH-metra. Mjerenjem pH-vrijednosti određuje se koncentracija H^+ u suspenziji tla s

- destiliranom vodom – **aktivna kiselost tla**
- 1 M otopinom kalijevog klorida – **potencijalna kiselost tla**

Aktivna kiselost tla predstavlja vodikove ione prisutne u otopini tla i rjeđe se koristi u praksi, uglavnom u klasifikaciji tala. Potencijalna kiselost obuhvaća i dio vodikovih iona slabije vezanih na adsorpcijski kompleks tla, koji se mogu lako zamijeniti kationima neutralnih soli poput kalijevog klorida (KCl) ili kalcijevog klorida ($CaCl_2$). S obzirom da za biljke nisu štetni samo aktualno prisutni H^+ u otopini tla, već i oni vezani na čestice tla, u praksi se češće koristi pH mjeren u KCl-u.

Elektrokemijsko određivanje pH-vrijednosti pH-metrom podrazumijeva mjerenje razlika potencijala dviju elektroda od kojih je jedna referentna, a druga indikatorska elektroda. Potencijal referentne zasićene kalomelove elektrode je stalan i neovisan o pH suspenzije, a potencijal indikatorske se mijenja u ovisnosti o pH suspenzije tla.

Potrebno posuđe:

- 2 Erlenmeyerove tikvice, 250 ml / 300 ml
- Plastična laboratorijska žlica, 5 ml
- Menzura, 50 ml
- Staklene kivete

Potrebne kemikalije:

- Destilirana voda
- Otopina kalijevog klorida, $c(KCl) = 1 \text{ mol/dm}^3$
- Pufer otopine (pH 4,00 i pH 7,00)

Postupak:

Pomoću plastične laboratorijske žlice uzeti 5 ml tla (zrakosuhe sitnice) i staviti ga u prethodno označenu Erlenmeyerovu tikvicu. Za određivanje aktivne kiselosti dodati 25 ml destilirane vode, a za određivanje potencijalne kiselosti 25 ml 1M KCl-a.

Uzorak se dobro promućka i ostavi stajati do drugog dana, uz povremeno miješanje. Također, uzorak se može miješati 60 minuta na rotacijskoj mućkalici (300 okretaja) i ostaviti mirovati najmanje 1 sat prije očitavanja.

Prije mjerenja pH-metar treba kalibrirati, prema uputi proizvođača, koristeći puferne otopine pH 4,00 i pH 7,00.

Uzorak se prenese u kivetu te se elektroda pH-metra uroni u suspenziju. Kada se vrijednost na ekranu pH-metra stabilizira očita se izmjerena pH-vrijednost uzorka. Nakon svakog očitavanja elektroda se izvadi iz uzorka, ispere destiliranom vodom i lagano posuši papirom.

Interpretacija rezultata:

Tumačenje rezultata određivanja reakcije tla obavlja se na temelju izmjerenih vrijednosti pH u 1 M otopini KCl (Tablica 1).

Tablica 1. Interpretacijske vrijednosti za reakciju tla mjerenu u KCl-u prema Thunu (1955.) i Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

pH	Reakcija tla
< 4,50	Jako kisela reakcija
4,51 – 5,50	Kisela reakcija
5,51 – 6,50	Slabo kisela reakcija
6,51 – 7,20	Neutralna reakcija
> 7,21	Alkalna reakcija

HIDROLITIČKA KISELOST

Hidrolitička kiselost predstavlja ukupni potencijalni aciditet tla koji, osim „labavo“ vezanih H^+ na adsorpcijskom kompleksu tla, uključuje i čvršće vezane H^+ (one koji se ne mogu istisnuti s adsorpcijskog kompleksa tla otopinom neutralnih soli, poput KCl-a).

Određivanje hidrolitičke kiselosti primjenjuje se samo na kiselim tlima, a takva tla dominiraju u Republici Hrvatskoj. Nema je smisla određivati na tlima čiji je pH unutar optimalnog raspona za kulturu koja se planira uzgajati. Međutim, na kiselim tlima na kojima se planiraju uzgajati poljoprivredne kulture osjetljive na kiselu reakciju tla potrebno je neutralizirati suvišnu kiselost tla.

Osim izravnog negativnog utjecaja na rast biljaka, kisela reakcija uzrokuje toksičnost Al i Mn, smanjenu pristupačnost pojedinih biogenih elemenata (npr. fosfora), kvarenje strukture tla te smanjenu mikrobiološku aktivnost.

Za neutralizaciju suvišne kiselosti tla primjenjuje se kalcizacija.

Kalcizacija je agrotehnička mjera unosa vapnenih materijala u tlo s ciljem podizanja pH-vrijednosti tla. Za točan izračun količine materijala za kalcizaciju nužno je poznavanje hidrolitičke kiselosti.

Za određivanje hidrolitičke kiselosti koriste se soli slabe kiseline i jake baze. Najčešće se koristi natrijev acetat (CH_3COONa). Izražena hidroliza CH_3COONa povećava desorpciju kiselih kationa s adsorpcijskog kompleksa tla. Nastala CH_3COOH vrlo slabo disocira pa nema pritiska slobodnih H^+ , dok istovremeno nastaje i jaka lužina NaOH koja jako disocira. Slobodni Na^+ potiču supstituciju jače sorbiranih kiselih kationa. U takvom procesu nakuplja se octena kiselina čija se prisutnost određuje titracijom s 0,1 M NaOH.

Određivanje hidrolitičke kiselosti (H_y) tla (metoda po Kappenu)

Potrebno posuđe:

- 3 Erlenmeyerove tikvice, 250 ml / 300 ml
- Menzura, 100 ml
- Stakleni lijevak
- *Schellbachova* bireta

Potrebne kemikalije:

- otopina natrijevog acetata, $c(\text{CH}_3\text{COONa}) = 1 \text{ mol/dm}^3$
- otopina natrijevog hidroksida, $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol/dm}^3$
- indikator Fenolftalein (1 - 2 kapi)

Postupak:

U Erlenmeyerovu tikvicu od 300 ml odvagane se 40 g nekarbonatnog tla i prelije sa 100 ml 1 M otopine natrijevog acetata te mućka 1 sat na mućkalici ili se ostavi stajati do drugog dana uz povremeno mućkanje rukom.

Nakon toga se uzorak filtrira preko filtera papira (plava vrpca) u Erlenmeyerovu tikvicu te se menzурom od bistrog filtrata odvoji 50 ml u tikvicu od 300 ml. Dodaju se 1 - 2 kapi indikatora fenolftaleina i titrira s 0,1 M otopinom NaOH do pojave trajno ružičaste boje. Zabilježi se utrošak volumena NaOH u ml (V_{NaOH}).

Izračun:

Hidrolitička kiselost (Hy) računa se prema formuli

$$\text{Hy} [\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}] = V_{\text{NaOH}} \cdot 2,5$$

gdje je:

V_{NaOH} = utrošak (ml) 0,1 M NaOH za neutralizaciju octene kiseline u filtratu uzorka tla

2,5 = faktor/koefficient (odnos tlo : natrijev acetat je 1 : 2,5)

Primjer izračuna hidrolitičke kiselosti

Utrošak NaOH za titraciju iznosi 3,5 ml.

$$\text{Hy} [\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}] = 3,5 \cdot 2,5$$

$$\text{Hy} [\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}] = 8,75$$

Interpretacija rezultata:

Tablica 2. Interpretacijske vrijednosti za tumačenje potrebe tla za kalcizacijom temeljem vrijednosti hidrolitičke kiselosti tla (Hy) prema Škoriću (1991.)

Hy [$\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$]	Interpretacija
0 - 4	nije potrebna kalcizacija
4 - 8	nije nužna kalcizacija (fakultativna)
8 - 16	potrebne niske doze materijala za kalcizaciju
16 - 24	potrebne umjerene doze materijala za kalcizaciju
>24	potrebne visoke doze materijala za kalcizaciju

Za utvrđivanje količine CaCO_3 potrebne za neutralizaciju kiselosti tla do pH 7,0 sloja oranice debljine 20 - 25 cm na površini jednog ha, vrijednost Hy treba pomnožiti s faktorom 4,5, a ako se upotrebljava živo vapno (CaO), faktorom 2,52.

$$\text{Hy} \cdot 4,5 = \text{dt} / \text{ha CaCO}_3$$

$$\text{Hy} \cdot 2,52 = \text{dt} / \text{ha CaO}$$

UKUPNI KARBONATI U TLU

Sadržaj ukupnih karbonata u tlu i fiziološki aktivnog vapna mogući su ograničavajući čimbenici za uzgoj određenih poljoprivrednih kultura na alkalnim tlima. Stoga, analiza ukupnih karbonata u tlu predstavlja standardnu analizu za alkalna tla kod kojih je **pH izmjeren u vodi > 6,5**.

Karbonati su soli ugljične kiseline (H_2CO_3) od kojih su u tlima najčešće prisutni kalcit ($CaCO_3$), magnezit ($MgCO_3$) i dolomit ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), iako se javljaju i Na_2CO_3 i Fe_2CO_3 . Nastaju oslobađanjem baza pri trošenju primarnih minerala i njihovim spajanjem s ugljičnom kiselinom, kristalizacijom iz otopina i biološkim putem. Javljaju se ravnomjerno raspoređeni u karbonatnim tlima ili lokalno akumulirani kao sekundarni karbonati - konkrecije, pseudomicelije, "vapnene lutke" ili "slijepljeni slojevi".

Utječu na reakciju tla na način da smanjuju kiselost tla, izvor su kalcija i magnezija za biljke, poboljšavaju primanje ostalih hraniva (osim kada su u suvišku u jače karbonatnim tlima), djeluju povoljno na formiranje strukture tla, proces humifikacije i brojna druga fizikalna i kemijska svojstva tla. Međutim, sekundarni karbonati mogu i "začepiti" pore tla, smanjiti kretanje vode u tlu, ometati prodiranje korijena u tlo te povećati volumnu gustoću tla.

Određivanje karbonata u tlu temelji se na reakciji $CaCO_3$ s HCl-om.



Ukoliko u tlu ima karbonata, oslobađat će se CO_2 , što se manifestira kao šumljenje i pjenjenje. Ako reakcija izostane, tlo je nekarbonatno.

Koristeći se kvalitativnom metodom dokazivanja karbonatnosti tla, moguće je temeljem intenziteta reakcije procijeniti sadržaj karbonata u tlu. Ta se metoda provodi na terenu, a u laboratoriju se sadržaj karbonata određuje:

- **kvalitativno**
- **kvantitativno**

Određivanje ukupnih karbonata u tlu

Kvalitativno određivanje

Postupak:

Na satno stakalce nasipa se malo zrakušne sitnice i prelije s par kapi 10 %-tne otopine HCl. Ako u tlu ima karbonata, doći će do reakcije i oslobodit će se CO₂, uz pojavu šumljenja i pjenušanja (Slika 7). Po jakosti i trajanju reakcije može se približno odrediti udio karbonata u tlu. Intenzitet reakcije je osnova za određivanje mase uzorka za kvantitativno određivanje karbonata u tlu.



Slika 7. Kvalitativno određivanje karbonata u tlu, slijeva na desno: nekarbonatno tlo, slabo karbonatno i jako karbonatno (foto: Bensa, 2023.)

Kvantitativno određivanje

Potrebno posuđe i oprema:

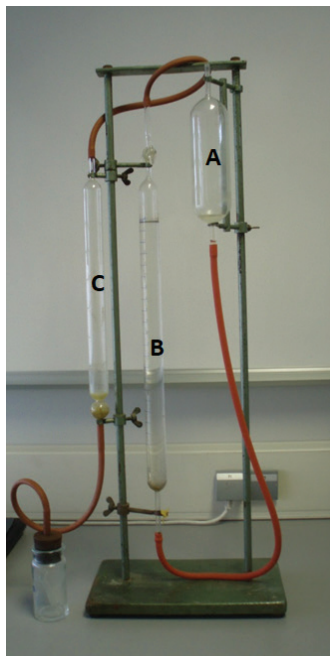
- Scheiblerova bočica
- Staklena epruveta (mala)
- Scheiblerov kalcimetar
- Termometar

Potrebne kemikalije

- 10 %-tna otopina klorovodične kiseline (HCl)

Scheiblerov kalcimetar (Slika 8) sastoji se od triju staklenih cijevi koje su međusobno spojene gumenim crijevima. Cijev A je pokretna i služi za izjednačavanje tlakova.

Srednja cijev B je graduirana i spojena s cijevi A, a obje su ispunjene tekućinom koja se, radi bolje vidljivosti i lakšeg očitavanja, može obojiti s nekoliko kapi indikatora. Cijev B je spojena s cijevi C preko ventila koji omogućuje njihovu komunikaciju, kao i komunikaciju cijevi C s okolnim zrakom. Na cijev C se preko gumenog crijeva i čepa spaja Scheiblerova bočica s uzorkom tla.



Slika 8. Scheiblerov kalcimetar (foto: Bensa, 2023.)

Postupak

Odvagne se 0,5 - 5,0 g karbonatnog tla i stavi u Scheiblerovu bočicu. Odvaga tla ovisi o intenzitetu reakcije kod kvalitativnog određivanja:

- reakcija vrlo jaka i dugotrajna: ≤ 1 g tla
- reakcija jaka i dugotrajna: 2,5 g tla
- reakcija vidljiva, ali kratkotrajna: 5 g tla

U Scheiblerovu bočicu s tlom stavi se mala epruveta u koju se ulije otopina HCl (10 %-tna), pazеći da se ne proljeje po tlu. Prije zatvaranja bočice gumenim čepom potrebno je razinu vode u graduiranoj cijevi B namjestiti na 0, okretanjem ventila

u položaj u kojem je omogućena veza cijevi C i okolnog zraka. Tekućina u cijevi B mora biti u položaju „0“ i u istoj razini s tekućinom u cijevi A prije početka mjerenja.

Scheiblerovu bočicu treba začepiti gumenim čepom i ventil postaviti u okomiti položaj („otvoreno“) da povezuje cijevi B i C. Bočica se polegne u vodoravan položaj da se HCl izlije iz epruvete po tlu, pri čemu dolazi do reakcije i oslobađanja CO₂. Za vrijeme reakcije potrebno je više puta protresati bočicu, kako bi se pospješila reakcija (do 5 minuta). Razvijeni CO₂ potiskuje vodu u graduiranoj cijevi B. Istovremeno sa spuštanjem razine tekućine u cijevi B treba spuštati i kompenzirajuću posudu (cijev A) do završetka reakcije, a u cilju izjednačavanja razine tekućine u obje cijevi A i B.

Reakcija je gotova kada se razina vode u srednjoj graduiranoj cijevi prestane spuštati te se po završetku reakcije očita volumen oslobođenog CO₂ u cm³.

Trenutačna temperatura se očita na termometru, smještenom u laboratoriju. Vrijednost atmosferskog tlaka se očita na stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda (www.dhzmz.hr). Pri tako očitanoj tlaku i temperaturi odredi se masa 1 cm³ CO₂ (μg), iz priložene Tablice 3.

Izračun sadržaja karbonata temelji se na sljedećoj formuli:

$$w(\text{CaCO}_3) = (V(\text{CO}_2) \cdot f) / m$$

gdje je:

$w(\text{CaCO}_3)$ = udio karbonata (u pravilu kalcijevih) u tlu (%)

$V(\text{CO}_2)$ = na kalcimetru očitani volumen CO₂ oslobođen u reakciji tla i 10%-tne HCl (cm³)

m = masa uzorka tla (g)

f = faktor za preračunavanje mase oslobođenog CO₂ u postotni udio ukupnih karbonata u tlu, i to pri određenom tlaku (mmHg) i temperaturi zraka (°C)

Tablica 3. Vrijednost faktora „f“ za izračun sadržaja karbonata u tlu

Tlak zraka (p), mmHg	Temperatura zraka, °C															
	742	744,5	747	749	751	753,5	756	758	760	762,5	765	767	769	771	774	
28	0.4041	0.4056	0.4070	0.4085	0.4099	0.4114	0.4128	0.4143	0.4155	0.4166	0.4177	0.4187	0.4197	0.4208	0.4218	
27	0.4055	0.4070	0.4085	0.4099	0.4114	0.4129	0.4143	0.4158	0.4169	0.4179	0.4190	0.4200	0.4211	0.4222	0.4232	
26	0.4069	0.4084	0.4099	0.4114	0.4129	0.4144	0.4158	0.4172	0.4183	0.4193	0.4204	0.4214	0.4225	0.4236	0.4247	
25	0.4083	0.4098	0.4113	0.4128	0.4148	0.4158	0.4172	0.4186	0.4197	0.4208	0.4219	0.4230	0.4241	0.4252	0.4262	
24	0.4097	0.4112	0.4127	0.4142	0.4157	0.4172	0.4186	0.4200	0.4211	0.4222	0.4233	0.4244	0.4255	0.4266	0.4277	
23	0.4111	0.4126	0.4141	0.4156	0.4171	0.4186	0.4200	0.4214	0.4226	0.4237	0.4248	0.4259	0.4270	0.4281	0.4292	
22	0.4125	0.4140	0.4155	0.4170	0.4185	0.4200	0.4214	0.4228	0.4240	0.4252	0.4263	0.4274	0.4285	0.4296	0.4307	
21	0.4139	0.4154	0.4169	0.4184	0.4199	0.4214	0.4229	0.4243	0.4255	0.4267	0.4279	0.4290	0.4301	0.4312	0.4322	
20	0.4153	0.4169	0.4184	0.4199	0.4214	0.4229	0.4243	0.4257	0.4269	0.4281	0.4292	0.4303	0.4314	0.4325	0.4336	
19	0.4168	0.4183	0.4198	0.4213	0.4228	0.4243	0.4258	0.4272	0.4284	0.4296	0.4307	0.4318	0.4329	0.4340	0.4351	
18	0.4182	0.4198	0.4213	0.4228	0.4243	0.4258	0.4272	0.4286	0.4298	0.4310	0.4321	0.4332	0.4343	0.4354	0.4365	
17	0.4197	0.4212	0.4227	0.4242	0.4257	0.4272	0.4286	0.4300	0.4312	0.4324	0.4335	0.4346	0.4357	0.4368	0.4379	
16	0.4211	0.4226	0.4241	0.4256	0.4271	0.4286	0.4300	0.4314	0.4326	0.4338	0.4349	0.4360	0.4371	0.4382	0.4393	
15	0.4225	0.4241	0.4256	0.4271	0.4286	0.4301	0.4315	0.4329	0.4341	0.4353	0.4364	0.4375	0.4386	0.4397	0.4408	
14	0.4240	0.4256	0.4271	0.4286	0.4301	0.4316	0.4331	0.4345	0.4357	0.4368	0.4379	0.4390	0.4401	0.4412	0.4423	
13	0.4255	0.4271	0.4286	0.4301	0.4316	0.4331	0.4346	0.4361	0.4373	0.4384	0.4395	0.4406	0.4417	0.4428	0.4439	
12	0.4270	0.4286	0.4301	0.4316	0.4331	0.4346	0.4361	0.4376	0.4388	0.4399	0.4410	0.4421	0.4432	0.4443	0.4454	
11	0.4285	0.4301	0.4316	0.4331	0.4346	0.4361	0.4376	0.4391	0.4403	0.4415	0.4426	0.4437	0.4448	0.4459	0.4470	
10	0.4300	0.4316	0.4332	0.4348	0.4364	0.4378	0.4394	0.4407	0.4419	0.4430	0.4441	0.4453	0.4464	0.4475	0.4486	

Primjer izračuna karbonata u tlu

Za analizu je uzeto 2 g karbonatnog tla, koje je u reakciji s HCl-om razvilo 20 cm³ CO₂. Izmjerena temperatura i tlak iznose 21 °C odnosno 749 mmHg.

$$w(\text{CaCO}_3) = (20 \cdot 0,4184) / 2$$

$$w(\text{CaCO}_3) = 4,2 \%$$

Interpretacija rezultata:

Tablica 4. Karakterizacija tla s obzirom na udio karbonata prema Škoriću (1986.) i Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

w(CaCO₃) / %	Karakterizacija tla
< 10	slabo karbonatno
10 - 30	srednje karbonatno
> 30	jako karbonatno

FIZIOLOŠKI AKTIVNO VAPNO

Uz poznavanje sadržaja ukupnih karbonata u tlu, izuzetno je važan i sadržaj aktivnog vapna (CaO), i to osobito u voćarsko-vinogradarskoj proizvodnji. Aktivno vapno u tlu uzrokuje pojavu fizioloških poremećaja kod nekih biljaka, od kojih je najčešća kloroza. Ona se javlja uslijed nedostatka pojedinih biogenih mikroelemenata, čije je primanje od strane biljke u tim uvjetima blokirano. Najčešće se radi o nedostatku željeza, što se manifestira žućenjem listova, uz vidljivu zelenu nervaturu lišća. Posljedično, smanjena je asimilacijska površina lišća, što rezultira manjim prinosom. Stoga, prilikom podizanja novih nasada prema sadržaju aktivnog vapna u tlu bira se kultura i podloga koja može podnijeti utvrđene količine. Osim acidofilnih biljaka (npr. bobičasto voće), među osjetljive biljke ubrajaju se: kruške, jabuke, citrusi, breskve, trešnje i višnje, uz različite razine aktivnog vapna koje mogu "podnijeti". Za jabuku su npr. neprikladna tla s više od 6 % CaO, dok breskva na GF podlozi može podnijeti 12 % CaO. Kod vinove loze otpornost na sadržaj aktivnog vapna ovisi o podlozi. Neke podloge mogu podnijeti i do 40 % CaO (npr. Ferkal i Chasselas x Berlandieri 41B), dok druge (npr. Vialla i Riparia Gloire) podnose 6 - 11 % CaO.

Određivanje sadržaja aktivnog vapna u tlu provodi se u tlima koja sadrže **>10 % ukupnih karbonata u tlu**. Maseni udio aktivnog vapna u tlu određuje se ekstrakcijom tla otopinom amonijevog oksalata, pri čemu se kalcij iz tla taloži u obliku kalcijevog oksalata (bijela krutina) te kao takav za vrijeme filtriranja zaostaje u talogu.



Titracijom filtrata standardnom otopinom kalijevog permanganata određuje se udio neizreagiranog amonijevog oksalata. Na temelju razlike ukupne množine amonijevog oksalata upotrijebljenog za ekstrakciju i množine amonijevog oksalata koji nije reagirao, određuje se udio aktivnog vapna u tlu.

Određivanje aktivnog vapna (metoda po Galetu)

Potrebno posuđe

- 1 Erlenmeyerova tikvica, 500 ml
- 1 Erlenmeyerova tikvica, 300 ml

- Menzura, 250 ml
- Menzura, 20 ml
- Stakleni lijevak
- Staklena pipeta, 20 ml
- *Schellbachova* bireta

Potrebne kemikalije

- otopina amonijevog oksalata, $c(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 = 0,1 \text{ mol/dm}^3$
- otopina kalijevog permanganata, $c(\text{KMnO}_4) = 0,04 \text{ mol/dm}^3$
- sumporna kiselina (H_2SO_4 , konc.)

Postupak

U Erlenmeyerovu tikvicu od 500 ml odvagne se 2,5 g zrakosuhog karbonatnog tla, prelije s 250 ml 0,1 M otopine amonijevog oksalata i mučka 2 sata na mućkalici ili se ostavi do drugog dana uz povremeno ručno mućkanje. Zatim se uzorak filtrira preko filter papira (plava vrpca). Prvih nekoliko ml filtrata se baci, a od bistrog filtrata se otpipetira 20 ml u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 ml. U tikvicu se doda 100 ml destilirane vode i 5 ml koncentrirane sumporne kiseline. Sadržaj tikvice se zagrijava na plameniku do vrenja i vrući se titrira s 0,04 M otopinom kalijevog permanganata, do pojave trajno ružičaste boje. Paralelno, potrebno je napraviti i ***slijepu probu***.

Slijepa proba je postupak određivanja koji slijedi sve korake analize, ali u odsutnosti uzorka. Koristi se za detekciju i kompenzaciju sustavnih pogrešaka u analizi.

Za slijepu probu u Erlenmeyerovu tikvicu od 300 ml se otpipetira 20 ml 0,1 M otopine $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, doda se 100 ml destilirane vode i 5 ml koncentrirane sumporne kiseline i titrira s 0,04 M otopinom KMnO_4 do pojave trajno ružičaste boje.



Slika 9. Pojava trajno ružičaste boje nakon titracije s 0,04 M KMnO_4 (foto: Ercegović, 2015.)

Titracijom slijepe probe s KMnO_4 određuje se ukupni oksalat („N“), a titracijom filtrata uzorka udio neizreagiranog oksalata („n“). Iz razlike se izračunava udio aktivnog vapna u tlu, prema sljedećoj formuli:

$$w(\text{CaO}) = (N - n) \cdot 5 (\%)$$

gdje je:

$w(\text{CaO})$ = udio aktivnog vapna u tlu (%)

N = KMnO_4 utrošen za titraciju slijepe probe (ml)

n = KMnO_4 utrošen za titraciju filtrata uzorka (ml)

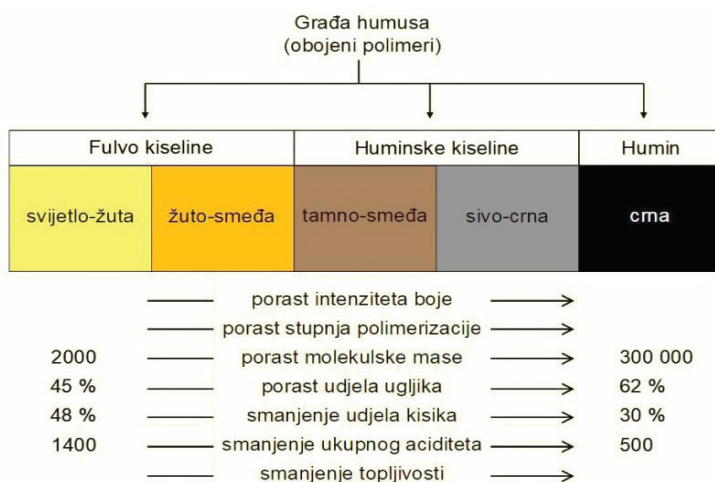
Interpretacija rezultata:

Tablica 5. Interpretacijske vrijednosti za sadržaj fiziološki aktivnog vapna u tlu prema Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

Vrijednost za aktivno vapno (%)	Opis
< 3,0	niska količina fiziološki aktivnog vapna
3,1 - 8,0	umjerena količina fiziološki aktivnog vapna
8,1 - 12,0	povišena količina fiziološki aktivnog vapna
> 12,0	visoka količina fiziološki aktivnog vapna

HUMUS

Humus je kompleksna, stabilna, amorfna, smeđa do crna smjesa koloidnih tvari nastala iz biljnih i životinjskih ostataka posredstvom mikroorganizama tla. Njegov sadržaj i sastav ovise o izvornoj organskoj tvari, uvjetima u tlu (pH, vodo-zračni odnosi, temperaturni režim) te mikrobiološkoj aktivnosti. Humus čine specifične humusne tvari: huminske kiseline, fulvo kiseline i humin, čija su svojstva prikazana na Slici 10.



Slika 10. Svojstva specifičnih humusnih tvari (Stevenson, 1982.)

Kao važnije uloge humusa u tlu treba istaknuti:

- izvor je hraniva za biljke (posebice dušika, fosfora, sumpora)
- važan je za adsorpciju iona s obzirom da čini najznačajniji dio adsorpcijskog kompleksa tla u površinskom sloju tla
- izuzetno je značajan za formiranje i stabilnost strukturnih agregata
- povoljno utječe na poroznost, kapacitet tla za vodu, vodozračne i toplinske odnose u tlu
- povoljno utječe na mikrobiološku aktivnost tla
- sprječava onečišćenje tla, primjerice teškim metalima, mehanizmima ireverzibilnog vezanja onečišćivača.

Određivanje sadržaja humusa metodom po Tjuringu

Potrebno posuđe:

- 1 Erlenmeyerova tikvica, 100 ml
- 1 Erlenmeyerova tikvica, 300 ml
- Stakleni lijevak (mali)
- Staklena pipeta, 10 ml
- Menzura, 10 ml
- Kapalica
- *Schellbachova* bireta

Potrebne kemikalije:

- otopina kalijevog bikromata, $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,067 \text{ mol/dm}^3$
- otopina Mohrove soli, $c(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,1 \text{ mol/dm}^3$
- srebrov sulfat (Ag_2SO_4)
- kremeni pijesak, p.a.
- 1 : 1 smjesa konc. H_3PO_4 i konc. H_2SO_4
- difenilamin sulfonska kiselina (8 kapi)

Postupak:

U Erlenmeyerovu tikvicu od 100 ml odvagane se 0,1 - 0,5 g tla. Odvaga ovisi o pretpostavljenom sadržaju humusa (manji pretpostavljeni sadržaj – veća masa). U istu tikvicu otpipetira se 10 ml 0,067 M otopine kalijevog bikromata i doda na vrhu staklenog štapića (oko 0,1 g) srebrovog sulfata. Tikvica se pokrije staklenim lijevkom i stavi na električnu ploču za kuhanje. Uzorak se kuha 5 minuta nakon početka vrenja u digestoru (zbog opasnosti od nadražujućih para).

Nakon kuhanja sadržaj tikvice se u digestoru ohladi i kvantitativno prenese u graduiranu Erlenmeyerovu tikvicu od 300 ml, pri čemu se mala tikvica i lijevak dobro isperu destiliranom vodom. Zatim se sadržaj tikvice nadopuni do 150 ml destiliranom vodom, doda se 2 ml smjese konc. H_3PO_4 i konc. H_2SO_4 te 8 kapi indikatora (difenilamin sulfonske kiseline).

Tako pripremljeni uzorak se titrira s 0,1 M otopinom Mohrove soli do pojave zelene boje (Slika 11).



Slika 11. Promjena boje prilikom titracije otopine s Mohrovom soli. Slijeva na desno: boja otopine u početnom dijelu titracije, neposredno prije i nakon točke ekvivalencije (foto: Matan, 2023.)

Istovremeno se radi i slijepa proba, što znači da se postupak ponavlja kao i kod pripreme uzorka tla, samo što se za slijepu probu umjesto tla koristi kremeni pijesak (koji ne sadrži organsku tvar).

Maseni udio humusa u tlu računa se iz empirijskih odnosa:

0,0003 g C ili 0,0005172 g humusa ekvivalentno je s 1 ml 0,0067 M $K_2Cr_2O_7$,

$$w(\text{humusa})\% = \frac{(a - b) \cdot 0,0005172}{m(\text{tla})} \cdot 100$$

gdje je:

a = Mohrova sol utrošena za titraciju slijepa probe (ml)

b = Mohrova sol utrošena za titraciju uzorka (ml)

Primjer izračuna masenog udjela humusa u tlu

Za analizu je uzeto 0,1 g tla, za titraciju slijepa probe je utrošeno 40,1, a za uzorak 35,7 ml Mohrove soli

$$w(\text{humusa}) = \frac{(40,1 - 35,7) \cdot 0,0005172}{0,1} \cdot 100$$

$w(\text{humusa}) = 2,28 \%$

Interpretacija rezultata:

Tablica 6. Interpretacijske vrijednosti za humoznost tla prema Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

Humus (%)	Ocjena humoznosti
≤ 0,5	Ekstremno slabo humozno tlo
0,6 - 1,0	Vrlo slabo humozno
1,1 - 2,0	Slabo humozno tlo
2,1 - 3,0	Umjereno/osrednje humozno tlo
3,1 - 5,0	Dosta humozno tlo
5,1 - 10,0	Jako humozno tlo
10,1 - 30,0	Vrlo jako humozno
> 30,0	Tresetno

Sadržaj **organskog ugljika u tlu** može se izračunati dijeljenjem sadržaja humusa s Van Bemmelenovim faktorom (1.724). Npr.

$3,5 \%$ humusa / $1,724 = 2,03 \%$ organskog ugljika tla

Određivanje karaktera humusa

Osim količine humusa u tlu, važno je poznavati i njegovu kvalitetu, odnosno sastav. Humus možemo dijeliti s obzirom na:

- hidrološko-klimatske uvjete postanka (terestrički, hidromorfni)
- morfološke značajke (sirovi, prijelazni, zreli)
- brzinu mineralizacije (hranjivi, trajni)
- stupanj zasićenosti humusnih kiselina kationima (blag, slabo kiseli, kiseli).

Brojne su metode analize kvalitete humusa, npr. nedestruktivne spektroskopske tehnike (UV-VIS, SFS, FTIR i ^{13}C -NMR) ili klasične kemijske analitičke metode koje uključuju ekstrakciju, pročišćavanja i frakcioniranja humusnih tvari tla. Za ekstrakciju se najčešće koristi smjesa 0,1 M NaOH i 0,1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (Schnitzer metoda) čija je prednost što je pogodna za sve tipove tala, neovisno o sadržaju karbonata. Dodavanjem kiseline (H_2SO_4) u ovu alkalnu otopinu dolazi do precipitacije (taloženja) huminskih kiselina koje se centrifugiranjem odvajaju od fulvo kiselina. Omjer sadržaja ugljika u huminskim i fulvo kiselinama (Ch/Cf) >1 upućuje na kvalitetan humus s dominacijom huminskih kiselina.

Navedene metode su zahtjevne, skupe i dugotrajne te se u praksi češće koriste jednostavnije i brže metode koje pružaju uvid u svojstva humusa. Jedna od njih je određivanje karaktera humusa, kod koje se uzorak tla ekstrahira s tri puta većom količinom otopine NH_4OH (2 %-tna). Ukoliko u tlu ima mnogo slobodnih "kiselih" funkcionalnih skupina (COOH), dolazi do peptizacije s OH^- ionima iz amonijevog hidroksida i otopina filtrata ima tamniju (smeđu) boju.

Ako je u tlu prisutno manje funkcionalnih skupina, otopina neće biti tako tamna, već će biti žućkasto obojena.

Ukoliko u sastavu organske tvari nema slobodnih COOH skupina, neće doći do peptizacije i otopina će ostati bezbojna.

Potrebno posuđe:

- Staklena epruveta (velika)
- Stakleni lijevak

Potrebne kemikalije:

- 2 %-tna otopina amonijevog hidroksida (NH_4OH)

Postupak:

U veliku staklenu epruvetu se nasipa stupac tla otprilike 1 cm visine i doda 3 puta veća količina 2 %-tne otopine amonijevog hidroksida (otprilike stupac visok 3 cm). Uzorak se dobro promućka i ostavi stajati do drugog dana.

Sljedećeg dana se karakter humusa odredi prema boji (Slika 12).



Slika 12. Različiti karakteri humusa poredani prema bojama od bezbojne do smeđe (foto: Sever, 2014.)

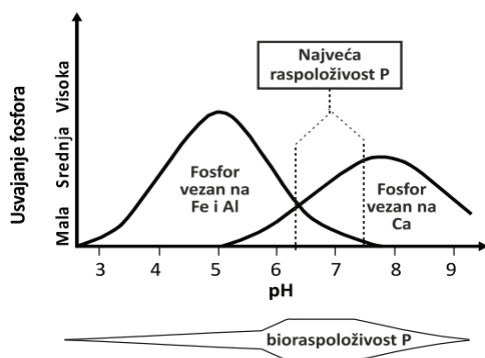
Interpretacija rezultata:

Tablica 7. Interpretacija karaktera humusa temeljem boje (Škorić, 1982.)

Boja	Karakter humusa
bezbojna	Blagi
žuta	Slabo kiseli
smeđa	Kiseli

BILJCI PRISTUPAČAN FOSFOR

Fosfor je biogeni makroelement koji se u tlu nalazi u anorganskom (40 - 80 %) i organskom obliku (20 - 60 %). U anorganskom obliku nalazi se u mineralima (Ca, Al i Fe-fosfatima), vezan na adsorpcijskom kompleksu te u vrlo malim koncentracijama u otopini tla (< 1 kg P/ha). U organskom obliku najčešće se javlja u fitatima (soli fitinske kiseline). Njegova pristupačnost za biljke ovisi o: reakciji tla, sadržaju Al, Fe, Mn, Ca, organskoj tvari tla i mikrobiološkoj aktivnosti. Najznačajniji utjecaj na pristupačnost fosfora ima pH. U kiselim tlima fosfor se veže u Fe i Al fosfate netopljive u vodi, a u alkalnim u Ca fosfate (Slika 13).



Slika 13. Pristupačnost fosfora u ovisnosti o pH (Čoga i Slunjski, 2018.)

Pristupačnost fosfora ovisi o topljivosti fosfornih spojeva pa razlikujemo: vodotopljivi fosfor, topljiv u kiselinama, lužnatim otopinama i teško topljivi fosfor. Za ishranu bilja, osim vodotopljivog, važni su fosforni spojevi topljivi u slabim kiselinama.

Određivanje biljci pristupačnog fosfora osnova je za gnojidbu poljoprivrednih kultura i provodi se različitim metodama. Najraširenija je **AL-metoda**, dok se za karbonatna tla koristi **metoda po Olsenu**.

Određivanje biljci pristupačnog fosfora – AL-metoda

Al-metoda je najzastupljenija metoda određivanja biljci pristupačnog fosfora u Republici Hrvatskoj. Kao ekstrakcijsko sredstvo koristi amonij-laktat-octenu kiselinu (pH = 3,75). Prednost ove metode je što se ista otopina, nakon ekstrakcije, koristi za analizu fosfora i kalija. Stoga, ova je metoda najčešće u primjeni kao osnova za davanje gnojidbenih preporuka za poljoprivredne kulture.

Potrebno posuđe:

- Erlenmayer tikvica od 300 ml
- Erlenmayer tikvica od 100 ml
- Menzura od 100 ml
- Pipeta 10 ml
- Stakleni lijevak

Potrebne kemikalije:

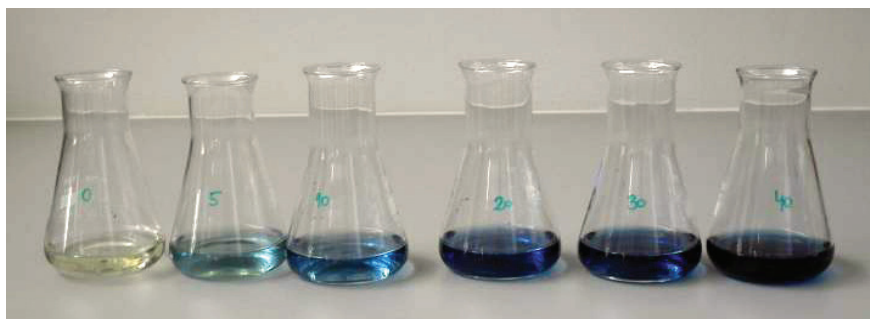
- AL – ekstrakcijska otopina
- Otopina amonijevog molibdata
- Otopina Fotorexa
- Otopina kositrovog klorida (SnCl_2)

Postupak:

Izvaže se 5,0 g zrakovihog tla (sitnica) i prenese u Erlenmayer tikvicu od 300 ml. Uzorak se prelije sa 100 ml ekstrakcijske AL-otopine i ostavi 24 h ili se miješa 2 sata na rotacijskoj mućkalici. Dobiveni ekstrakt tla profiltrira se kroz naborani filtar papir (plava vrpca) u čašu, tako da se prva (mutna) količina baci.

Od bistrog filtrata uzorka pipetira se 10 ml u Erlenmayer tikvicu od 100 ml sa širokim grlom, doda se 15 ml destilirane vode i 2 ml smjese amonij molibdata i *Fotorexa*. Na kraju se doda i 1 ml kositrenog klorida (SnCl_2) i lagano promućka te se ostavi 30 - 60 minuta da se razvije plava boja.

Paralelno se pripremaju slijepa proba i standardne otopine različitih koncentracija: 5, 10, 20, 30 i 40 ml, što odgovara mg P_2O_5 /100 g tla. Za pripremu slijepa probe uzima se 10 ml AL-otopine, uz dodatak 15 ml H_2O , 2 ml smjese amonij molibdata i *Fotorexa* i 1 ml SnCl_2 . Za standarde od 5, 10, 20, 30 i 40 ml pipetira se po 10 ml odgovarajućih standarda te se dodaju isti reagensi kao i u uzorke i slijepu probu. Također, ostavi se 30 - 60 minuta da se razvije plava boja (Slika 14).



Slika 14. Slijepa proba (0) i standardi 5, 10, 20, 30 i 40 (foto: Sever, 2011.)

Koncentracije fosfora očitavaju se na spektrofotometru. Mjeri se absorbancija, tj. intenzitet razvijene plave boje ($\lambda = 620 \text{ nm}$). Prije početka mjerenja instrument je potrebno kalibrirati serijom standardnih otopina.

Interpretacija rezultata:

Tablica 8. Interpretacijske vrijednosti za sadržaj lako pristupačnog fosfora po AL-metodi prema: Vukadinović i Vukadinović (2011.) i Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

Klasa opskrbljenosti		mg P_2O_5 / 100 g tla	
		pH < 6,00	pH \geq 6,00
A	Vrlo slabo opskrbljeno	< 8,00	< 5,00
B	Slabo opskrbljeno	8,00 - 16,00	5,00 - 12,00
C	Dobro opskrbljeno	16,01 - 25,00	12,01 - 20,00
D	Bogato opskrbljeno	25,01 - 45,00	20,01 - 30,00
E	Vrlo bogato opskrbljeno	> 45,00	> 30,00

Određivanje biljci pristupačnog fosfora – metoda po Olsenu

Iako je Al-metoda najčešće korištena u praksi, karbonati u karbonatnim tlima mogu neutralizirati kiselu ekstrakcijsku otopinu koja se u njoj koristi. Stoga, ekstrakcijske otopine koje sadrže bikarbonat predstavljaju bolji izbor za karbonatna tla. Jedna od njih je metoda po Olsenu koja se primjenjuje na **karbonatnim tlima** u kojima je:

- $\text{pH}_{\text{kCl}} > 7,00$
- sadržaj ukupnih karbonata $> 4,0$

Potrebno posuđe:

- Boca za mućkanje od 250 ml
- Menzura od 100 ml
- Erlenmayer tikvica od 300 ml
- Erlenmayer tikvica od 25 ml
- Pipeta 10 ml
- Stakleni lijevak

Potrebne kemikalije:

- 0,5 M NaHCO_3
- Indikator p-nitrofenol
- 2,5 M H_2SO_4
- Bojani reagens A i B

Postupak:

Izvaže se 5,0 g zrakovuhog tla (sitnica) i prenese u ekstrakcijsku bocu za mućkanje od 250 ml te se prelije sa 100 mL ekstrakcijske otopine natrijevog hidrogenkarbonata (0,5 M NaHCO_3) kod pH = 8,5, nakon čega se uzorak mućka na rotacijskoj mućkalici 30 minuta. Dobiveni ekstrakt tla se nakon mućkanja centrifugira pa profiltrira kroz filtar papir.

Otpipetira se 5 ml filtrata u odmjernu tikvicu od 25 ml. U otopinu se doda 1 kap indikatora p-nitrofenola i umjeri se pH u tikvici na 5,0 koristeći otopinu sulfatne kiseline (2,5 M H_2SO_4).

Otopina se razrijedi deioniziranom vodom do 20 ml, promućka i doda se 4,0 ml bojanog reagensa B → reagens B je smjesa askorbinske kiseline ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_8$) i reagensa A. Nakon dodatka bojanog reagensa B, treba nadopuniti tikvicu do 25 ml deioniziranom vodom i dobro promućkati.

Paralelno treba napraviti slijepu probu i seriju radnih standarda. Za pripremu radnih standarda treba otpipetirati 100 ml osnovnog standarda i razrijediti do 500 ml s 0,5 M NaHCO_3 u odmjernoj tikvici. Iz tako pripremljene otopine treba pipetirati 5; 10; 15; 20; 25; 37; 45; 50 ml u zasebne odmjerne tikvice od 500 ml i nadopuniti ih ekstrakcijskom otopinom (0,5 M NaHCO_3), što odgovara koncentracijama fosfora od 4; 8; 12; 16; 20; 30; 40 mg P/kg tla.

Nakon 30 minuta stajanja, treba izmjeriti apsorbancu na spektrofotometru ($\lambda = 880 \text{ nm}$), uz prethodno kalibriranje instrumenta serijom radnih standarda.

Interpretacija rezultata:

Tablica 9. Interpretacijske vrijednosti za sadržaj pristupačnog fosfora u tlu prema Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

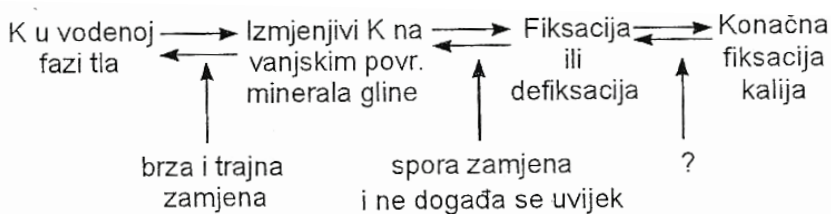
Klasa (mg/kg P)	Opskrbljenost
≤10,00	Siromašno fosforom
11,00 - 25,00	Srednje opskrbljeno fosforom
26,00 - 100,00	Dobro opskrbljeno fosforom
>100,00	Bogato opskrbljeno fosforom

BILJCI PRISTUPAČAN KALIJ

Kalij je, kao i fosfor, esencijalno hranivo za biljke, a u tlo dopijeva razgradnjom primarnih minerala kao što su feldspati (ortoklas) i tinjci (muskovit, biotit). Njegov sadržaj u tlu ovisi o matičnom supstratu i relativno je visok (0,2 - 3,0 %). U tlu se javlja:

- u otopini tla
- vezan na adsorpcijski kompleks tla u zamjenjivom obliku
- fiksiran u međulamelarne prostore sekundarnih minerala gline
- ugrađen u kristalne strukture minerala.

Između navedenih oblika kalija u tlu vlada ravnoteža i promjene jednog povlače za sobom i ostale, što se može prikazati na sljedeći način:



Slika 15. Stanja dinamičke ravnoteže kalija (Vukadinović i Lončarić, 1998.)

Kalij u otopini tla najčešće čini manje od 10 % ukupnog zamjenjivog kalija dostupnog biljkama i zato je važno pratiti zamjenjivi kalij na adsorpcijskom kompleksu tla. Fiksacija kalija također predstavlja važnu rezervu kalija u tlu. Procesi fiksacije i defiksacije kalija ovise o:

- teksturi (najizraženiji u glinastim tlima)
- promjenama vlažnosti tla (sušenje – vlaženje)
- mineralogiji (najizraženija fiksacija kod ilita i vermikulita)

Svojstvo vezanja kalija na adsorpcijski kompleks tla i fiksiranja u međulamelarne prostore sekundarnih minerala gline omogućava gnojidbu “na zalihu”, odnosno sprječava njegovo ispiranje u dublje slojeve tla. Poznavanje koncentracija biljci pristupačnog kalija u tlu pretpostavka je uspješne gnojidbe s ciljem postizanja visokih prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji.

Određivanje biljci pristupačnog kalija – AL-metoda

Ekstrakcija biljci pristupačnog kalija provodi se istim postupkom kao i za određivanje biljci pristupačnog fosfora (opisano u prethodnom poglavlju). Za potrebe određivanja biljci pristupačnog kalija odvoji se dio bistrog filtrata u male epruvete.

Koncentracije K_2O očitavaju se na plamenfotometru (Slika 16) koji je potrebno prethodno kalibrirati.

Za kalibraciju se koristi serija standardnih otopina pripremljenih iz osnovne otopine za standarde (1 ml = 0,1 mg K_2O).



Slika 16. Očitavanje kalija na plamenfotometru (Čoga i Slunjski, 2018.)

Absorbance s plamenfotometra očitaju se iz tablice u kojoj je preračun izravno u mg $K_2O/100$ g tla.

Tablica 10. Preračun absorbance očitane na plamenfotometru u mg K₂O/100 g tla

očitanje (ABS)	mg K ₂ O 100 g ⁻¹ tla	očitanje (ABS)	mg K ₂ O 100 g ⁻¹ tla	očitanje (ABS)	mg K ₂ O 100 g ⁻¹ tla	očitanje (ABS)	mg K ₂ O 100 g ⁻¹ tla
1	0,4	26	9,8	51	20,5	76	33,0
2	0,8	27	10,0	52	21,0	77	33,5
3	1,0	28	10,2	53	21,5	78	34,0
4	1,4	29	11,0	54	22,0	79	34,5
5	1,8	30	11,4	55	22,5	80	35,0
6	2,0	31	11,8	56	23,0	81	35,5
7	2,4	32	12,2	57	23,5	82	36,0
8	2,8	33	12,8	58	24,0	83	36,5
9	3,0	34	13,0	59	24,5	84	37,0
10	3,4	35	13,5	60	25,0	85	37,5
11	3,8	36	14,0	61	25,5	86	38,0
12	4,0	37	14,5	62	26,0	87	38,5
13	4,4	38	15,0	63	26,5	88	39,0
14	4,8	39	15,3	64	27,0	89	39,5
15	5,0	40	15,8	65	27,5	90	40,0
16	5,4	41	16,2	66	28,0	91	40,5
17	6,0	42	16,7	67	28,5	92	41,0
18	6,4	43	17,0	68	29,0	93	41,5
19	6,8	44	17,5	69	29,5	94	42,0
20	7,4	45	18,0	70	30,0	95	42,5
21	7,6	46	18,4	71	30,5	96	43,0
22	8,0	47	18,7	72	31,0	97	43,5
23	8,4	48	19,2	73	31,5	98	44,0
24	8,9	49	19,5	74	32,0	99	44,5
25	9,4	50	20,0	75	32,5	100	45,0

Interpretacija rezultata:

Tablica 11. Interpretacijske vrijednosti za sadržaj lako pristupačnog kalija po AL-metodi prema: Vukadinović i Vukadinović (2011.) i Pravilniku o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)

Klasa opskrbljenosti		mg K ₂ O /100 g tla		
		Tla lakše teksture	Tla srednje teške teksture	Tla teške teksture
A	Vrlo slabo opskrbljeno	< 6,0	< 8,0	< 10,0
B	Slabo opskrbljeno	6,1 - 12,0	8,1 - 14,0	10,1 - 16,0
C	Dobro opskrbljeno	12,1 - 24,0	14,1 - 28,0	16,1 - 32,0
D	Bogato opskrbljeno	24,1 - 35,0	28,1 - 40,0	32,1 - 45,0
E	Vrlo bogato opskrbljeno	> 35	> 40	> 45

MEHANIČKI SASTAV TLA

Mehanički sastav tla je kvantitativni odnos pojedinih kategorija mineralnih čestica u tlu - pijeska, praha i gline. S obzirom na veličinu čestica, najčešće razlikujemo sljedeće frakcije tla:

- krupni pijesak (2,0 - 0,2 mm)
- sitni pijesak (0,2 - 0,063 mm)
- krupni prah (0,063 - 0,02 mm)
- sitni prah (0,02 - 0,002 mm)
- glina (< 0,002 mm)

Čestice tla veće od 2 mm u promjeru nazivaju se skelet i odstranjuju se iz uzorka prosijavanjem u sklopu pripreme uzorka za analize (vidi poglavlje Priprema tla za analize).

Čestice pijeska obilježava vrlo velika vodopropusnost, mali kapacitet za vodu, neznatan kapacitet adsorpcije i izostanak plastičnosti. Prah obilježava manja vodopropusnost, odnosno puno veća vododržnost u odnosu na pijesak. U suhom stanju je vezan, nerijetko i kompaktan, ali ne bubri i slabo se lijepi, podložan je zbijanju, eroziji te sklon stvaranju pokorice. Čestice gline obilježava sposobnost vezanja velikih količina vode, slaba vodopropusnost, mali kapacitet za vodu te kod nekih izraženo bubrenje u vlažnom stanju i kontrakcija volumena uz stvaranje dubokih pukotina u suhom stanju. Imaju veliku aktivnu površinu i kemijski su najaktivnije čestice krute faze tla.

Temeljem podataka o mehaničkom sastavu tla određuje se tekstura tla, odnosno naziv/klasa tla. Tekstura tla smatra se pojedinačnim najvažnijim fizikalnim svojstvom tla jer određuje:

- kapacitet tla za vodu
- kapacitet tla za zrak
- kapacitet adsorpcije (hraniva, onečišćivača)
- vodopropusnost tla
- temperaturni režim tla
- konzistenciju tla
- erodibilnost tla

Određivanje mehaničkog sastava tla

Potrebno posuđe i pribor:

- Erlenmayer tikvica od 300 ml
- Porculanski lončići A, B, C i D
- Boca štrcaljka
- Sita s otvorima 212 μm i 63 μm
- Cilindar za sedimentaciju od 1.000 ml
- Lijevak
- Staklena zdjela
- Pipeta volumena 10 ml
- Analitička vaga (točnost 0,0001 g)
- Sušionik

Potrebne kemikalije

- 0,4 M otopina natrijevog pirofosfata ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot x 10\text{H}_2\text{O}$)

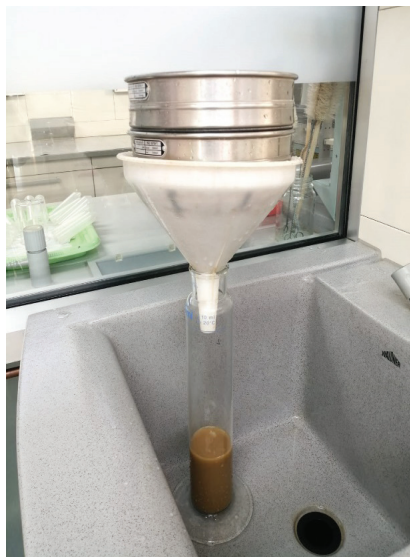
Postupak:

Izvagati zrakosuhi uzorak homogenizirane sitnice (10,00 g) i prenijeti ga u Erlenmayer tikvicu volumena 300 ml. U svrhu disperzije čestica tla, uzorku treba dodati 25 ml 0,4 M otopine natrijevog pirofosfata ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot x 10\text{H}_2\text{O}$), promućkati ga i ostaviti stajati preko noći.

Potrebno je izvagati 4 porculanska lončića (**A, B, C i D**) u koje se kasnije ekstrahiraju suspenzije s frakcijama mehaničkog sastava tla:

- lončić **A** 2000-212 μm (krupni pijesak)
- lončić **B** 212-63 μm (sitni pijesak)
- lončić **C** <20 μm (sitni prah i glina)
- lončić **D** <2 μm (glina)

Nakon stajanja uzorka preko noći, potrebno je napraviti mokro prosijavanje (pomoću destilirane vode iz boce-štrcaljke) u svrhu izdvajanja frakcija krupnog i sitnog pijeska na sitima s otvorima redom 212 μm i 63 μm , postavljenim jedno iznad drugog u plastični lijevak iznad cilindra za sedimentaciju uzorka tla (Slika 17).



Slika 17. Postupak mokrog prosijavanja (foto: Smajić, 2023.)

Nakon što ukupna frakcija tla $<63 \mu\text{m}$ prođe kroz oba sita u cilindar, pomoću boce-štrcaljke kvantitativno treba prenijeti krupni pijesak sa sita $212 \mu\text{m}$ u staklenu zdjelu pa u lončić A (frakcija $2000\text{--}212 \mu\text{m}$), a sitni pijesak sa sita $63 \mu\text{m}$ u drugu staklenu zdjelu pa u lončić B (frakcija $212\text{--}63 \mu\text{m}$). Cilindar se zatim nadopuni destiliranom vodom do oznake od 1.000 ml , intenzivno ručno promućka (1 min), postavi u vertikalni položaj na laboratorijski stol i odmah se pokrene štoperica (Slika 18).

Nakon propisanog vremena kontinuirane sedimentacije, iz cilindra treba pipetirati suspendirane frakcije uzorka tla specijalnom pipetom volumena 10 ml s oznakama za pipetiranje s odgovarajuće dubine tla - trenutak pipetiranja ovisit će o veličini čestica tla koje se pipetiranjem ekstrahiraju, s obzirom da brzina sedimentacije ovisi o njihovoj masi:

- **prvo pipetiranje** provesti **nakon 4 min i 48 s** sedimentacije, i to s dubine od 10 cm , a pipetirani volumen suspenzije od 10 ml ispustiti u lončić C (frakcija $<20 \mu\text{m}$)
- **drugo pipetiranje** provesti **nakon 4 h** sedimentacije, i to s dubine suspenzije od 5 cm , a pipetirani volumen suspenzije od 10 ml ispustiti u lončić D (frakcija $<2 \mu\text{m}$)



Slika 18. Napunjeni cilindri za sedimentaciju (foto: Matan, 2023.)

Nakon pipetiranja, sva 4 puna lončića treba staviti u sušionik (105 °C) do konstantne mase. Sljedećeg dana, nakon provedenog sušenja, lončiće treba ohladiti u eksikatoru, izvagati (točnost 0.0001 g) pa izračunati mase i postotne udjele frakcija mehaničkog sastava tla.



Slika 19. Porculanski lončići s pijeskom nakon sušenja (foto: Matan, 2023.)

Izračun postotnog udjela pojedinih frakcija tla:

Pijesak

% krupnog pijeska = $100 \times (\text{masa punog lončića A} - \text{masa praznog lončića A}) / 10 \text{ g}$

% sitnog pijeska = $100 \times (\text{masa punog lončića B} - \text{masa praznog lončića B}) / 10 \text{ g}$

Prah i glina

% sitnog praha i gline skupa = $100 \times (\text{masa punog lončića C} - \text{masa praznog lončića C} - 0.0068 \text{ g}) / 0,1\text{g}$

% gline = $100 \times (\text{masa punog lončića D} - \text{masa praznog lončića D} - 0,0068 \text{ g}) / 0,1 \text{ g}$

0,0068 g = masa 25 ml 0.4M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Prah

% sitnog praha = % sitnog praha i gline zajedno - % gline

% krupnog praha = $100 - (\% \text{ krupnog pijeska} + \% \text{ sitnog pijeska} + \% \text{ sitnog praha} + \% \text{ gline})$

Primjer izračuna postotnog udjela frakcija tla

	Puni	Prazni
Lončić A	27,94	27,30
Lončić B	28,99	26,98
Lončić C	16,8380	16,7814
Lončić D	20,3396	20,3139

% krupnog pijeska = $100 \times (27,94 - 27,30) / 10 = 6,4$

% sitnog pijeska = $100 \times (28,99 - 26,98) / 10 = 20,1$

% sitnog praha i gline skupa = $100 \times (16,8380 - 16,7814 - 0,0068) / 0,1 = 49,8$

% gline = $100 \times (20,3396 - 20,3139 - 0,0068) / 0,1 = 18,9$

% sitnog praha = $49,8 - 18,9 = 30,9$

% krupnog praha = $100 - (6,4 + 20,1 + 49,8) = 23,7$

Temeljem izračunatih postotnih udjela frakcija tla (pijeska, praha i gline) određuje se teksturna klasa tla (Slika 20).

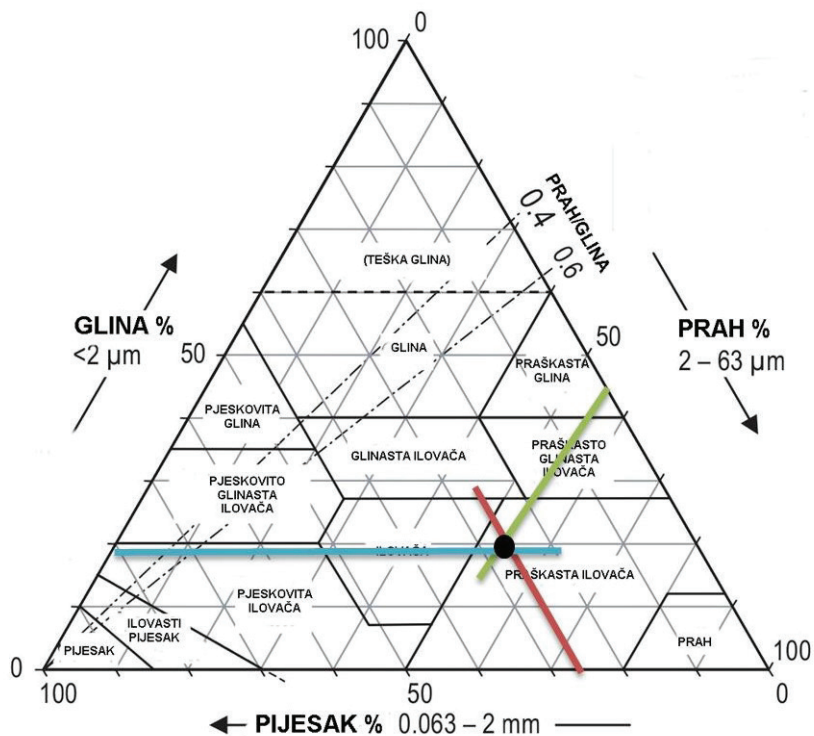
Za navedeni primjer izračuna udio pojedinih frakcija tla iznosi:

pijesak 26,5 % (6,4 % krupnog pijeska + 20,1 % sitnog pijeska)

prah 54,6 % (23,7 % krupnog praha + 30,9 % sitnog praha)

i glina 18,9 %

Teksturna klasa analiziranog tla je praškasta ilovača.



Slika 20. Trokut za određivanje teksturnih klasa tla (prema: FAO, 2006.)

HIGROSKOPICITET

Higroskopicitet je sposobnost tla da na površini svojih čestica kondenzira paru iz zraka. Higroskopna vlaga je tanki sloj molekula vode (vodene pare iz zraka) adsorbiran na površini čestica tla.

Higroskopicitet ovisi o:

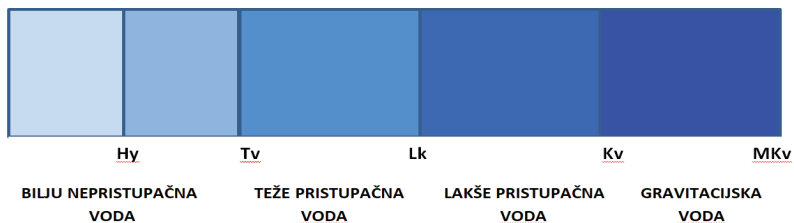
- relativnoj vlažnosti
- temperaturi
- sadržaju humusa
- teksturi/sadržaju gline u tlu.

Povećanjem relativne vlažnosti zraka povećava se higroskopicitet. Tla s većim sadržajem humusa i gline imaju veću aktivnu adsorpcijsku površinu i stoga veće vrijednosti higroskopne vlage.

Higroskopna voda je ona količina vode koju tlo sadrži pri relativnoj vlažnosti zraka od 96 % i pri temperaturi 25 °C.

Smatra se da dvostruko vrijednost higroskopiciteta ($2 H_y$) odgovara točka venuća (T_v) biljaka. Točka venuća je ravnotežno stanje između usisne mogućnosti korijenovog sustava i čestica tla, kod kojeg biljka počinje venuti. Sva voda ispod točke venuća je biljkama nepristupačna ("mrtva") voda koja se drži za čestice tla silama adhezije.

Osim H_y i T_v , važno je poznavati i ostale vodne (hidropedološke) konstante: lentokapilarnu točku (L_k), retencijski kapacitet (K_v) i maksimalni kapacitet tla za vodu (MK_v). Njihovi odnosi prikazani su na Slici 21.



Slika 21. Prikaz vodnih konstanti tla

Određivanje higroskopiciteta

Potrebno posuđe i oprema:

- Sušilica sa zabrušenim poklopcem
- Analitička vaga (točnost 0,0001 g)
- Eksikator

Potrebne kemikalije:

- 10 %-tna otopina H_2SO_4

Postupak:

U sušilicu sa zabrušenim poklopcem odvagne se 20 - 40 g zrakosuhe sitnice (kod jako humoznih tala 5 - 10 g). Skine se poklopac i stavi se u eksikator iznad 100 ml 10 % H_2SO_4 prethodno stavljene na dno eksikatora.

Eksikator se zatvori poklopcem i kroz cijev se evakuira zrak iz njega. Ostavi se 3 dana, a zatim se pušta suhi zrak u eksikator preko bočice s 10 % H_2SO_4 , stavi se svježa 10 % H_2SO_4 i ostavi još 2 dana. Nakon ukupno 5 dana sušilica se izvadi, brzo začepi zabrušenim poklopcem i vagne. Sušilica s tlom se stavlja u sušionik i suši se na 105 °C do konstantne težine te vagne.

Izračun:

$$Hy = \frac{b - c}{c - a} \cdot 100$$

gdje je:

a = prazna sušilica

b = prazna sušilica + tlo s higroskopnom vlagom

c = prazna sušilica + apsolutno suho tlo

Primjer izračuna higroskopne vlage tla

Prazna sušilica = 57,3215 g

Sušilica + tlo s higroskopnom vlagom = 84,9687 g

Sušilica + apsolutno suho tlo = 83,1794 g

$$Hy = \frac{84,9687 - 83,1794}{83,1794 - 57,3215} \cdot 100$$

Hy = 6,9 %

Postupak određivanja higroskopiciteta može se pojednostaviti te se vrijednost higroskopiciteta može grubo odrediti temeljem sadržaja vlage u zrakovom tlu.

Odvagne se 5 g zrakosuhog tla u prethodno izvagani keramički lončić i suši se u sušioniku na 105 °C do konstantne težine, te se izračuna sadržaj vlage na bazi apsolutno suhog tla. A obzirom da zrakosuhom tlo sadrži samo dio higroskopne vlage, množenjem postotka vlage u zrakovom tlu s faktorom 2,2 dobivaju se vrijednosti higroskopiciteta.

Primjer izračuna higroskopiciteta temeljem vlage zrakosuhog tla

masa zrakosuhog tla = 5 g

masa apsolutno suhog tla = 4,8 g

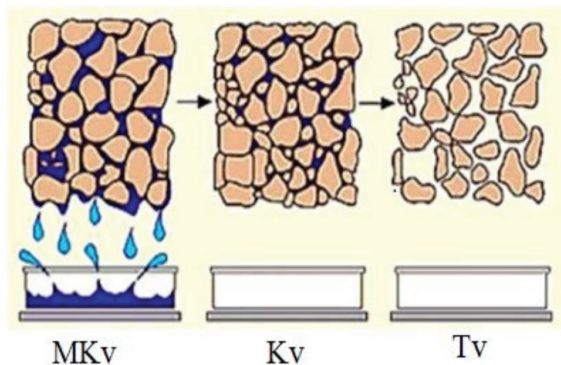
$$\text{Vlaga u zrakosuhom tlu} = \frac{5,0 - 4,8}{4,8} \cdot 100$$

$$= 4,17 \%$$

$$Hy = 4,17 \cdot 2,2 = 9,17 \%$$

RETENCIJSKI KAPACITET TLA ZA VODU

Retencijski kapacitet tla (K_v) za vodu je ona količina vode koju tlo može držati svojim unutarnjim silama. Odnosno, to je ona količina vode koju tlo sadrži 24 sata nakon što je bilo maksimalno saturirano vodom (MK_v), a višak vode se gravitacijski ocijedio iz tla. U tom trenutku u makroporama tla se nalazi zrak, a u mikroporama voda (Slika 22).



Slika 22. Prikaz vode u tlu pri različitim vodnim konstantama (MK_v , K_v i T_v)

Retencijski kapacitet tla za vodu određuje se u laboratoriju pomoću uzoraka tla u nenarušenom (prirodnom) stanju u cilindrima po Kopeckom volumena 100 cm^3 . Originalna metoda po Kopeckom uključivala je izravno uranjanje cilindara s tlom u vodu u svrhu maksimalnog zasićenja vodom. Zatim se uzorak 24 sata sušio da se voda gravitacijski ocijedi te se u njemu određivao sadržaj vlage. Prilikom tog postupka dolazi do gubitaka tla iz cilindra, što dovodi do pogrešnih rezultata. Stoga je uvedena modificirana metoda (po Gračaninu) kojom je taj nedostatak uklonjen.

Određivanje retencijskog kapaciteta tla za vodu (po Gračaninu)

Cilindru volumena 100 cm^3 skinu se poklopci te se cilindar s tlom postavi na stalak u posudi prekriven filter papirom, čiji su rubovi uronjeni u vodu. Na taj način tlo upija vodu preko vlažnog filter papira i kapilarnim usponom voda se diže do površine tla u cilindru.

Drugog dana se cilindar s tlom zasićenim do Kv skida sa stalka i važe zajedno s poklopcima (a). Tlo iz cilindra prenese se u prethodno odvagnutu porculansku zdjelicu (c). Izvaži se težina samog (praznog) cilindra s poklopcima (b). Tlo u zdjelici se suši do konstantne težine u sušioniku na 105 °C te se izvaži težina zdjelice sa suhim tlom (d).

Temeljem mase tla navlaženog do Kv (a-b) i apsolutno suhog tla (d-c) te poznatog volumena uzorka izračuna se Kv prema formuli:

$$Kv = \frac{(a-b)-(d-c)}{v} \cdot 100$$

Primjer izračuna retencijskog kapaciteta tla za vodu

Cilindar s tlom navlaženim do Kv (a) = 345,2 g

Prazan cilindar (b) = 166,5 g

Zdjelica sa suhim tlom (c) = 256,4 g

Prazna zdjelica (d) = 125,6 g

Kv = 47,9 % vol.

Interpretacija rezultata:

Tablica 12. Interpretacijske vrijednosti za Kv (Škorić, 1982.)

Kv (% vol)	Ocjena
<25	Vrlo malen
25 - 35	Malen
35 - 45	Osrednji
45 - 60	Velik
> 60	Vrlo velik

IZRAČUN NORME I OBROKA NAVODNJAVANJA TLA

Produktivan rast i razvoj biljaka uvjetovan je klimatskim (svjetlost, toplina, oborine, zrak) i edafskim čimbenicima (voda, zrak, hraniva i toplina tla). Stupanj produktivnosti biljaka ovisi o svim navedenim čimbenicima, a čovjek ih agrotehničkim zahvatima nastoji držati u optimumu.

Nedostatak vode u tlu nadoknađuje se navodnjavanjem korištenjem raznih metoda i sustava, uvažavajući pri tome:

- vrstu kulture i njezine potrebe za vodom
- svojstva tla
- reljef
- klimatske uvjete
- izvore i zalihe vode
- kvalitetu vode

Svaki manjak vode u tlu izaziva smanjenje prinosa kultura, u većem ili manjem obujmu, ovisno o fenofazi usjeva. Stoga, navodnjavanje predstavlja važnu agrotehničku mjeru za postizanje optimalnih prinosa poljoprivrednih kultura.

Norma navodnjavanja (N_n) koja se također može nazvati zahtjevima određene poljoprivredne kulture za vodom (na engleskom *crop water requirements*), označava ukupni deficit vode tijekom specifičnog vremenskog razdoblja (Slika 23), kao što je jedna vegetacijska sezona, izražen u milimetrima ili kubnim metrima po hektaru (mm , m^3/ha).

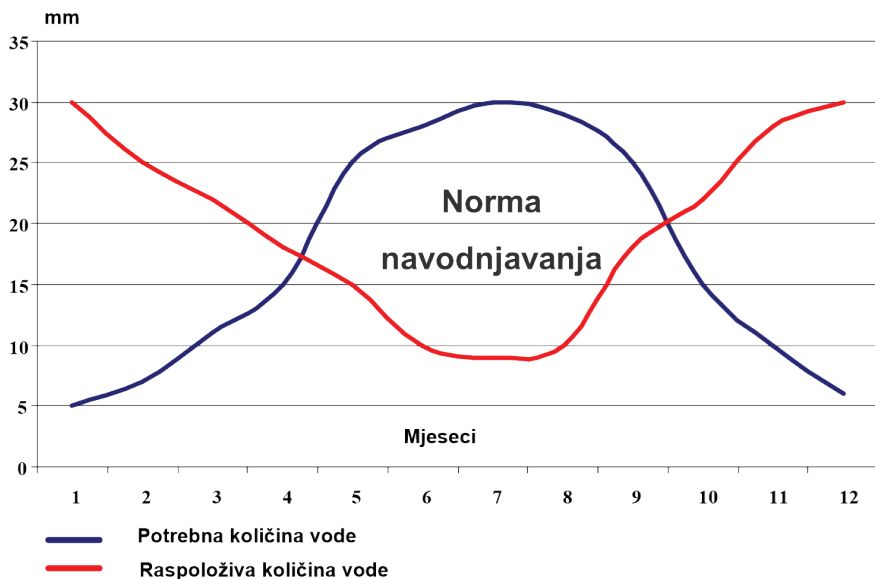
Ovaj koncept se može matematički formulirati kroz jednadžbu N_n (1):

$$(1) N_n = ET_{\text{kulture}} - O_{\text{ef}}$$

gdje je:

ET_{kulture} evapotranspiracija za svaku specifičnu poljoprivrednu kulturu

O_{ef} efektivne oborine



Slika 23. Grafički prikaz određivanja norme navodnjavanja (izvor: Zovko, 2023.)

Veliki broj poljoprivrednih kultura koje se uzgajaju u agroekološkim uvjetima Hrvatske, poput raznog vrsta voća, povrća, žitarica, krmnih kultura, ljekovitog i ukrasnog bilja, izložene su tijekom vegetacije određeni dio vremena nedostatku vode te je s ciljem uspješne proizvodnje potrebno osigurati određenu normu navodnjavanja kako bi se smanjio ili u potpunosti izbjegao gubitak njihovog prinosa. Primjerice, samo u prosječnim klimatskim uvjetima nedostatak vode iznosi od nekoliko desetaka mm (pšenica, ječam) pa do >250 mm (jabuka, rajčica). Tijekom sušnih godina nedostatak vode kod pojedinih kultura i određenim agroekološkim uvjetima povećava se za dodatnih >50 %.

Obrok navodnjavanja (On) predstavlja dio ukupne norme navodnjavanja (Nn) i odnosi se na količinu vode koja se primjenjuje tijekom jednog ciklusa navodnjavanja na određenom poljoprivrednom području.

To je specifičan volumen vode dostavljen biljkama u jednom navodnjavanju. U realnim okolnostima jedan obrok navodnjavanja obično ne pokriva cijelu normu navodnjavanja. Naime, za većinu poljoprivrednih kultura u Hrvatskoj, ona se distribuira kroz više obroka navodnjavanja, čiji broj varira ovisno o različitim faktorima kao što su:

- potrebe same kulture za vodom
- pedološke značajke (uključujući vodne konstante i potencijale)
- dubina rizosfere ili zone korijena.

Naime, biljke glavninu ili oko 70 % usvojenog volumena vode usvoje iz gornjih slojeva rizosfere, a preostali manji udio iz druge polovice (dublje) zone korijena. Stoga će navodnjavanje dubljih slojeva zone korijena (>75 % dubine) vrlo vjerojatno uzrokovati veći gubitak vode, negoli će imati pozitivan utjecaj na visinu prinosa navodnjavane kulture.

Obrok navodnjavanja može se izračunati prema sljedećem matematičkom izrazu (2):

$$(2) O_n = 100 \times h \times R_{gv} \times (P_v - T_v)$$

gdje je:

h = dubina vlaženja tla u m

R_{gv} = volumna gustoća tla

P_v = poljski kapacitet za vodu u % tež.

T_v = trenutna vlažnost tla u % tež.

Vremenski razmak između dvaju obroka navodnjavanja zove se **turnus navodnjavanja ili interval navodnjavanja**.

Turnus navodnjavanja može se izračunati prema sljedećem izrazu (3):

$$(3) \text{Turnus} = O_n : \text{dnevni utrošak vode}$$

LITERATURA

- Đurđević, B. (2014.). Praktikum iz ishrane bilja, Poljoprivredni fakultet, Osijek
- Husnjak, S. (2020.). Osnove pedologije, Agronomski fakultet, Zagreb
- Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta (NN 47/19)
- Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I. (2013.). Terenska laboratorijska istraživanja tla, priručnik za uzorkovanje i analizu, Šumarski fakultet, Zagreb
- Pernar, N. (2017.). Tlo – nastanak, značajke, gospodarenje, Šumarski fakultet, Zagreb
- Škorić, A. (1982.). Priručnik za pedološka istraživanja, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb
- Škorić, A. (1986.). Postanak, razvoj i sistematika tla, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb
- Škorić, A. (1991.). Sastav i svojstva tla, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb
- Vidaček, Ž. (1998.). Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja, Agronomski fakultet, Zagreb
- Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1998.). Ishrana bilja, Poljoprivredni fakultet, Osijek
- Vukadinović, V., Vukadinović, Vesna (2011.). Ishrana bilja, Poljoprivredni fakultet, Osijek.

O PROJEKTU:

Modernizacija obrazovne ponude provedena je u okviru projekta "Centar za suvremene tehnologije i obrazovanje u poljoprivredi, II.faza" čiji je nositelj Poljoprivredno šumarska škola Vinkovci.

projektom uspostave RCK Vinkovci stravaraju se programski i kadrovski uvjeti koji će unaprijediti mogućnosti za učenje temeljeno na radu i praktičnoj nastavi.

Programski uvjeti se stvaraju modernizacijom postojećih obrazovnih programa i stvaranjem novog standarda zanimanja, kvalifikacija i kurikuluma.

Kadrovski uvjeti osiguravaju se sudjelovanjem na specijaliziranim edukacijama i studijskih putovanja namijenjenih odgojno- obrazovnim zaposlenicima.

Ciljevi projekta su:

- Jačanje kompetencija odgojno obrazovnih zaposlenika
- Opremanje Centra suvremenom opremom za provedbu praktične nastave polaznika
- Razvoj novih i inovativnih programa strukovnog obrazovanje i obrazovanje odraslih

Suvremena oprema koja se nabavlja kroz projekt i modernizirani programi obrazovanja omogućuju uvođenje inovativnih metoda poučavanja i modela učenja odnosno učenje temeljeno na radu što će pridonijeti učinkovitijem uključivanju polaznika na tržište rada, ali i bolju vertikalnu prohodnost za nastavak obrazovanja.

Ciljne skupine u projektu:

- Odgojno-obrazovni radnici u ustanovama za strukovno obrazovanje
- Učenici upisani u ustanove strukovnog obrazovanja
- Polaznici obrazovanja odraslih
- Mentori kod poslodavaca
- Osobe s invaliditetom
- Učenici s teškoćama

Projektne aktivnosti:

- Uspostava organizacije rada i razvoja regionalnog centra kompetentnosti
- Razvoj i unapređenje te provedba programa redovitoga strukovnog obrazovanja, formalnih i neformalnih programa za obrazovanje odraslih u RCK Vinkovci
- Jačanje kompetencija odgojno-obrazovnih radnika vezanih za provedbu programa redovitoga strukovnog obrazovanja, odnosno formalnih i neformalnih programa za obrazovanje odraslih



**REGIONALNI CENTAR
KOMPETENTNOSTI**
Poljoprivredno šumarska
škola Vinkovci

- Promocija strukovnih zanimanja i rada
- Promidžba i vidljivost
- Upravljanje projektom i administracija

Projektne partneri:

- Srednja škola Ilok
- Obrtničko-industrijska škola, Županja
- Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku,
- Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
- Vukovarsko-srijemska županija
- Razvojna agencija Vukovarsko-srijemske županije
- Vinka plus d.o.o.

Program:

Operativni program Učinkoviti ljudski potencijali 2014. - 2020.

Prioritetna os 3 – Obrazovanje i cjeloživotno učenje
Specifični cilj 1 – Modernizacija ponude strukovnog obrazovanja te podizanje njegove kvalitete radi povećanja zapošljivosti učenika kao i mogućnosti za daljnje obrazovanje

Ukupna vrijednost projekta:
35.910.395,54 HRK / 4.766.128,55 EUR

Razdoblje provedbe projekta:
3. srpnja 2020. – 29. prosinca 2023.

Nositelj:

Poljoprivredno šumarska škola Vinkovci
Regionalni centar kompetentnosti u sektoru poljoprivrede
adresa: H.D.Genschera 16, Vinkovci
telefon: (+385)032 306 292
elektronička pošta: info@rck-vinkovci.hr
ured@rck-vinkovci.hr
mrežna stranica projekta: <https://rck-vinkovci.hr/>



**REGIONALNI CENTAR
KOMPETENTNOSTI**
Poljoprivredno šumarska
škola Vinkovci