

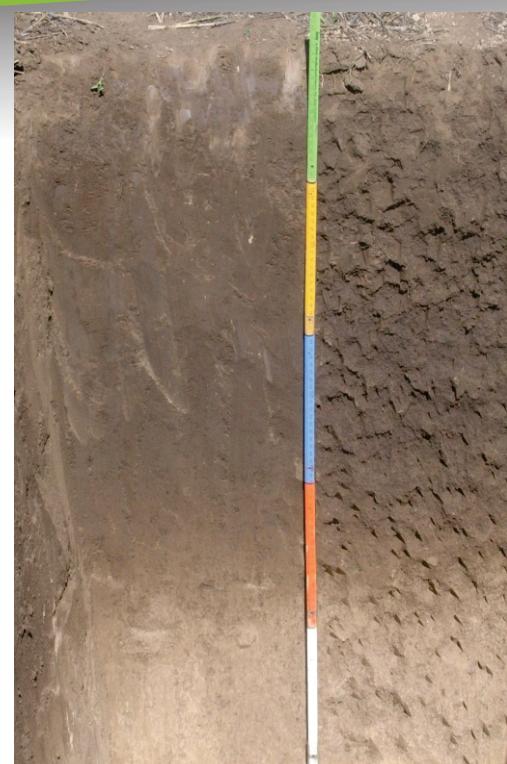
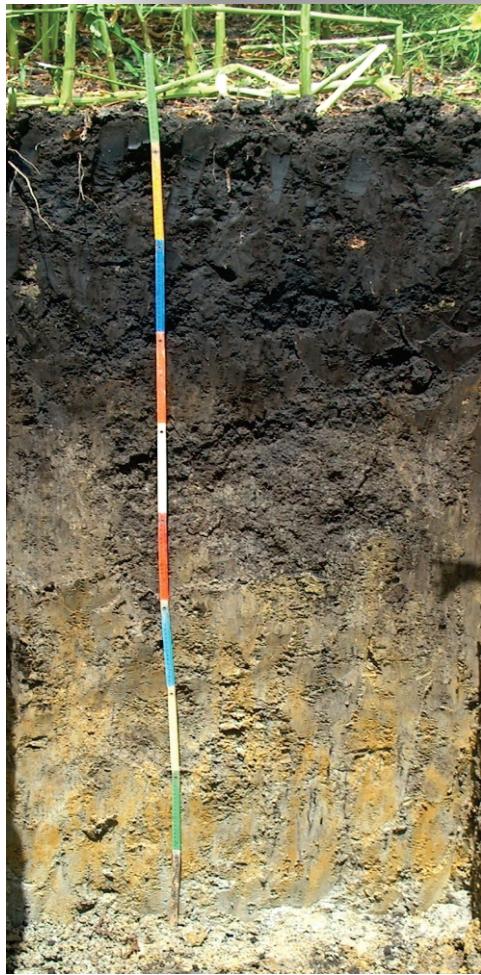


UNIVERZITET U NOVOM SADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

# PRAKTIKUM IZ PEDOLOGIJE



Prof.dr Milivoj Belić  
Prof.dr Ljiljana Nešić  
dr Vladimir Ćirić





Prof.dr Milivoj Belić  
Prof.dr Ljiljana Nešić  
dr Vladimir Ćirić

## PRAKTIKUM IZ PEDOLOGIJE



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Novi Sad, 2014

## **EDICIJA POMOĆNI UDŽBENIK**

**Osnivač i izdavač edicije**

*Poljoprivredni fakultet, Novi Sad,  
Trg Dositeja Obradovića 8, 2100 Novi Sad*

**Godina osnivanja  
1954**

**Glavni i odgovorni urednik edicije**

**Dr Milan Popović, redovni profesor.**  
*Dekan poljoprivrednog fakulteta.*

**Članovi komisije za izdavačku delatnost**

**Dr Ljiljana Nešić, vanredni profesor**  
**Dr Branislav Vlahović, redovni profesor**  
**Dr Nada Plavša, vanredni profesor**  
**Dr Milica Rajić, redovni profesor.**

CIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотека Матице српске, Нови Сад

631.4(075.8)(076)

**БЕЛИЋ, Миливој, 1955-**

Praktikum iz pedologije / Milivoj Belić, Ljiljana Nešić,  
Vladimir Ćirić. - Novi Sad : Poljoprivredni fakultet, 2014  
(Novi Sad : FB print). - 90 str. : ilustr. ; 30 cm

Tiraž 20. - O autorima: str. [91-92]. - Bibliografija.

ISBN 978-86-7520-301-8

1. Нешић, Љиљана, 1955- [автор] 2. Ћирић, Владимира, 1978-  
[автор]

а) Педологија - Практикуми

COBISS.SR-ID 289696263

**Autori**

**Dr Milivoj Belić, redovni profesor Dr  
Ljiljana Nešić, vanredni profesor Dr  
Vladimir Ćirić, asistent**

**Glavni i odgovorni urednik**

**Dr Milan Popović, redovni profesor,  
Dekan poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu.**

**Urednik**

**Dr Dragana Latković, docent  
Direktor departmana za ratarstvo i povrtarstvo,  
Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu.**

**Tehnički urednik**

**Dr Vladimir Ćirić, asistent**

**Recenzenti**

**Dr Darinka Bogdanović, redovni profesor,  
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet Dr  
Borivoj Pejić, vanredni profesor,  
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet**

**Izdavač**

**Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.**

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje. Sva prava zadržava izdavač.

Štampa: F.B. print, Novi Sad

Štampanje odobrio: Komisija za izdavačku delatnost, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

Tiraž: 20

Mesto i godina štampanja: Novi Sad, 2014.

## **PREDGOVOR**

Pomoćni udžbenik "Praktikum iz Pedologije" namenjem je za savladavanje praktične nastave iz Pedologije studentima Poljoprivrednog fakulteta. Praktikum studentima omogućava da steknu osnovna znanja o značaju, principima i postupcima metoda koje se koriste u proučavanju zemljišta. Poznavanje metoda ima i značaja za pravilno tumačenje rezultata ispitivanja zemljišta i za rešavanje problema koji su vezani za sistematiku, kartografiju, bonitiranje, korišćenje, uređenje i zaštitu zemljišta. Prvi deo praktične nastave odnosi se na upoznavanje stena i minerala kao podloge za obrazovanje zemljišta, principa terenskih istraživanja, morfoloških svojstava i prikupljanje uzoraka zemljišta. Drugi deo praktične nastave odnosi se na upoznavanje sa radom u laboratoriji i postupcima savremenih i priznatih metoda za određivanje fizičkih, vodnofizičkih, mehaničkih i hemijskih svojstava zemljišta. Na osnovu rezultata terenskih i laboratorijskih ispitivanja dolazi se do saznanja o karakteristikama zemljišta i merama koje treba preuzeti u cilju očuvanja povoljnih i poboljšanja nepovoljnih svojstava zemljišta.

Metode i postupci ispitivanja zemljišta prikazani u ovom praktikumu u skladu su sa programom praktične nastave predmeta Pedologije.

Praktikum je koncepcijски namenjen studentima svih smerova biljne proizvodnje koji slušaju Pedologiju u okviru osnovnih studija (ratarstvo i povrtarstvo, voćarstvo i vinogradarstvo, hortikultura, fitomedicina, agroekologija i zaštita životne sredine, organska poljoprivreda) kao i studentima smera pejzažne arhitekture, smera za uređenje i korišćenje voda, poljoprivredne tehnike i agroekonomskog smera.

Metode i postupci ispitivanja zemljišta prikazane u ovom praktikumu mogu korisno da posluže i stručnim službama u institutima i poljoprivrednim stanicama.

Novi Sad, 2014. godine.

Autori



# SADRŽAJ

1. STENE I MINERALI, PODLOGA ZA OBRAZOVANJE ZEMLJIŠTA	1
1.1 Fizičke osobine minerala	1
1.2 Primarni minerali	5
1.3 Sekundarni minerali	10
1.4 Magmatske stene	14
1.5 Sedimentne stene	18
1.6 Metamorfne stene	20
2. TERENSKA ISTRAŽIVANJA I MORFOLOGIJA ZEMLJIŠTA	22
2.1 Faze terenskog ispitivanja zemljišta	22
2.2 Spoljašnja morfologija	27
2.3 Unutrašnja morfologija	27
2.4 Obeležavanje horizonata	29
3. FIZIČKA I VODNO-FIZIČKA SVOJSTVA ZEMLJIŠTA	33
3.1. Mehanički sastav	35
3.2. Prava specifična masa	39
3.3. Zapreminska specifična masa	40
3.4. Gustina pakovanja	42
3.5. Ukupna poroznost	43
3.6. Kapacitet za vazduh	43
3.7. Struktura	44
3.7.1. Suvo prosejavanje	45
3.7.2. Stabilnost makroagregata	46
3.7.3. Stabilnost mikroagregata	48
3.8. Retencija vode (33 kPa, 625 kPa i 1500 kPa)	49
3.9. Vodopropustljivost	52
3.10. Određivanje kapilarnog uspona vode	54
3.11. Rizik od stvaranja pokorice	56
4. FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA ZEMLJIŠTA	57
4.1. Plastičnost	57
4.2. Lepljivost	62
4.3. Sabijenost zemljišta	63
5. OSNOVNA HEMIJSKA SVOJSTVA ZEMLJIŠTA	66
5.1. Sadržaj $\text{CaCO}_3$	66
5.2. Sadržaj humusa	69
5.3. Određivanje aktivne i supstitucione kiselosti	72
5.4. Određivanje hidrolitičke kiselosti	77
5.5. Izračunavanje potrebne količine krečnog sredstva za popravku kiselih zemljišta	79
5.6. Određivanje svojstava adsorptivnog kompleksa zemljišta	81
5.6.1 Određivanje sume adsorbovanih baznih katjona	81

5.6.2 Određivanje nezasićenosti zemljišnog kompleksa bazama	82
5.6.3 Određivanje kapaciteta adsorpcije katjona	82
5.6.4 Određivanje stepena zasićenosti zemljišta bazama	83
5.7. Odredjivanje sadržaja ukupnih vodorastvorljivih soli u zemljištu	84
5.8. Izračunavanje potrebne količine gipsa za popravku alkalnih zemljišta	88
<b>6. LITERATURA</b>	<b>90</b>

# 1. STENE I MINERALI, PODLOGA ZA OBRAZOVANJE ZEMLJIŠTA

## 1.1 Fizičke osobine minerala

### Gustina minerala

Gustina minerala predstavlja masu  $1\text{cm}^3$  neke materije izražene u gramima. Iz ovoga proizilazi da je:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gde je:  $\rho$  - gustina minerala

m - masa minerala u gramima

V - zapremina minerala u  $\text{cm}^3$

Izražava se u  $\text{g cm}^{-3}$ ,  $\text{kg m}^{-3}$  ili  $\text{Mg m}^{-3}$

Gustina zavisi od elementarnog sastava minerala i karakteristična veličina je za većinu minerala. Ovo fizička osobina se često koristi za određivanje nekog minerala. Minerali se po gustini dele na tri grupe:

$2,5-2,8 \text{ g cm}^{-3}$	laki minerali
$2,8-3,4 \text{ g cm}^{-3}$	srednje teški npr pirokseni i amfiboli
$>3,4 \text{ g cm}^{-3}$	teški minerali npr pirit, galenit, borit

*Laki minerali* - kvarc, feldspati, beli liskun, olivin, serpentin, čilibar. Bezbojni i beli minerali u sastavu stena su obično lakši od obojenih.

*Srednje teški minerali* - petrogeni minerali i to obojeni sastojci stena koji u svom sastavu imaju Fe i Mg (pirokseni i amfiboli).

*Teški minerali* - rude Fe, Cu, Pb, Zn i dr (hematit, galenit, pirit, magnetit).

### Metode za određivanje gustine minerala:

#### a) Metoda pomoću menzure

Izmeri se masa nekoliko komadića minerala čiju gustinu određujemo, pa ih potom spuštamo u menzuru koja je napunjena vodom do određene visine. Na kraju očitamo razliku između nivoa vode pre i nakon stavljanja minerala u menzuru tj. odredimo zapreminu minerala. Za određivanje gustine minerala pomoću menzure neophodno je oko 5-6 grama minerala. Ova metoda je jednostavna i pomoću nje se utvrđuje približna gustina minerala.

#### b) Pomoću Morove vase

Morova vaga je specijalizovana hidrostatička vaga, a princip rada se bazira na Arhimedovom zakonu (svako telo zaronjeno u tečnost prividno gubi od svoje mase za onoliko koliko je masa istisnute tečnosti).

Vaga se sastoji iz jedne dvokrake poluge (levo je krak sile a desno je krak tereta). Krak tereta je podeljen na deset podeoka. Sastavni deo vase su i dva tega od 10 g, jedan od 1 g i jedan od 100 mg. Ravnoteža na vagi je uspostavljena kada su oba tega od 10 g postavljeni na desetom podeoku kraka tereta, ispod kojeg je postavljena perforirana korpica i koja je zaronjena u vodu.

*Postupak:* Komad minerala, čiju gustinu želimo da odredimo, postavi se na vagu (platforma iznad korpice potopljene u vodu). U tom momentu ravnoteža vase je narušena. Sada skidamo prvo jedan teg od 10 g i stavljamo ga na jedan od podeoka od 1-10. Ako se ne uspostavi ravnoteža stavljamo teg od 1 g i na kraju teg od 1 mg. U slučaju da je komad minerala veće mase od 10 g skidamo oba tega. Mineral mase preko 20 grama se ne može meriti. Kada je uspostavljena ravnoteža, očitavamo masu minerala na sledeći način: Ako je teg od 10 g bio na podeoku 6 on sada ne vredi 10 g nego 6 g, odnosno onoliko grama na kom podeoku stoji. Isti slučaj je i sa tegom od 1 g, ako je on bio na 8 podeoku onda on sada vredi 0,8 g. Teg od 100 mg na podeoku 5 vredi 0,05 g. Sa leve strane vase postoji i jedna skala pomoću koje se može očitati i treća decimala. Zapremina minerala je razlika između mase minerala na tasu-iznad vode i mase minerala potopljenog u vodu.

#### c) Metoda pomoću piknometra

Piknometar je stakleni balončić ( $50 \text{ cm}^3$ ) ima šlifovan zapušać koji ima otvor, kapilaru postavljenu u središnjem delu zapušača.

*Postupak:* Prvo napunimo piknometar sa destilovanom vodom, stavimo zapušać, dobro obrišemo i izmerimo masu piknometra sa vodom. Potom izmerimo komadiće minerala (5-6 g minerala se isitni) i prenosimo u piknometar. Iz piknometra se kroz kapilaru u zapušaču izlije višak vode, odnosno onoliko vode kolika je zapremina unetog minerala. Piknometar se zapuši, ponovo obriše i izmeri masa piknometra sa vodom i mineralom. Specifična masa se izračunava po formuli:

$$St = \frac{Q}{Pv} + Q - Pvq$$

Gde je:

Q masa minerala,

Pv je masa piknometra sa vodom,

Pvq je masa piknometra sa vodom i mineralom.

#### Određivanje gусте tečnosti:

$$St = \frac{Pt - Po}{Pv - Po} = \frac{Q}{V}$$

Gde je

Pt-masa piknometra napunjenog gustom tečnošću,

Po-masa praznog piknometra,

Pv-masa piknometra sa gustom tečnošću.

#### d) Metoda za određivanje gustine minerala pomoću gustih tečnosti

Ova metoda je posebno interesantna obzirom da se pomoću ove metode može odrediti gustina i najsitnijih čestica minerala (veličine zrnca peska).

*Postupak:* Metoda se zasniva na principu suspenzije. U levak se sipa gusta tečnost poznate gustine (npr bromoform), a zatim se stavi komadić ili smeša minerala čiju gustinu želimo da odredimo. Ako mineral pliva znači da ima manju gustinu, odnosno manju od tečnosti u koju smo ga stavili. U ovakovom slučaju bromoform se razređuje ksilolom sve dok mineral ne počne da lebdi u tečnosti, što znači da im je gustina ista. Posle toga se pomoću piknometra odredi gustina novoformirane tečnosti. U specijalizovanim

laboratorijama postoje čitave serije gustih tečnosti, različitih gustina, mineral čiju gusinu želimo da odredimo se stavlja u ovu seriju tečnosti i u kojoj mineral lebdi iste je gustine kao tečnost.

Gustina nekih minerala:

Talk	$2,70 \text{ g cm}^{-3}$
Kalcit	$2,70 \text{ g cm}^{-3}$
Kvarc	$2,65 \text{ g cm}^{-3}$
Pirit	$5,00 \text{ g cm}^{-3}$

Ova metoda pogodna je naročito za izdvajanje minerala po gustini iz smeše nevezanih minerala, kao što su drobina, šljunak, pesak, glina i dr.

### Tvrđina

Označava otpornost koju mineral pruža pri pokušaju da se zapara ili da se njegove čestice na površini rastave. Za približno određivanje tvrdine služi nam Mosova skala

1	TALK	MEKI MINERALI - mogu se zaparati noktom
2	HALIT i GIPS	
3	KALCIT	SREDNJE TVRDI - mogu se zaparati čeličnim nožem
4	FLUORIT	
5	APATIT	
6	FELDSPAT	
7	KVARC	
8	TOPAZ	TVRDI MINERALI - ne mogu se zaparati nožem
9	KORUND	
10	DIJAMANT	

### Cepljivost

Cepljivost je osobina kristalnih minerala da se pod pritiskom ili udarom rastavljaju ili cepaju u određenim pravcima na manje delove ravnih površina, što je posledica specifičnog rasporeda atoma i jona u kristalnoj rešetki minerala. Amorfni minerali se pri udaru raspadaju na manje delove nepravilnog oblika. Minerali mogu biti cepljivi u:

1. Jednom pravcu (liskuni)
2. Dva pravca (feldspati)
3. Tri pravca (kalcit)
4. Kao i u više pravaca na primer, fluorit se cepa u četiri a sfalerit u šest pravaca.

### Savitljivost

Predstavlja svojstvo minerala da se pod pritiskom mogu savijati. Liskuni i gips imaju izraženu savitljivost.

## **Elastičnost**

Predstavlja svojstvo minerala da se po prestanku dejstva pritiska vrate u prvobitno stanje. Liskuni su savitljivi i elastični.

## **Sjajnost minerala**

Minerali na kristalnim površinama, na ravnima cepljivosti i površinama preloma pokazuju sjajnost. Ona je posledica reflektovanja i prelamanja svetlosti. Ona zavisi od količine reflektovanih svetlosnih zraka.

Sjajnost minerala može biti:

- dijamantska (dijamant, sfalerit) - jako reflektuju svetlost
- staklasta (kvarc)
- metalna (pirit)
- sedefasta (liskun)
- svilasta (azbest)
- masna (kvarc) delimično reflektuje svetlost

## **Boja**

Boja minerala ne mora biti svojstvena osobina minerala. Samo se takozvani idiohromatski minerali uvek pojavljuju u istoj boji. Inače isti mineral može da se javlja u više različitih boja što je posledica prisustva primesa, na primer kvarc. Takvi minerali se zovu alohromatski. Silikati koji u svom sastavu ne sadrže Mg i Fe su svetlijе boje, a koji sadrže jedinjenja ovih elemenata su tamnozeleni ili crni.

U pogledu boje minerali mogu biti:

- Bezbojni
- Idiohromatski – boja koja je posledica sastava minerala (*olivin*)
- Alohromatski – jedan isti meneral, alohromatski može da se javi u više boja. Kvarc je idiohromatski bezbojan, a alohromatski može biti žut (*citrin*), ljubičast (*ametist*), crn (*morion*), siv (*čadžavac*) i dr. Korund je idiohromatski bezbojan a alohromatski može biti crven – *rubin*, plav – *safir*, zelen - *smaragd*.

## **Ogreb**

Ukoliko se mineral zapara njegove čestice na površini se rastave. Za metalične minerale je karakteristično da se boja ogreba razlikuje od boje samog minerala. Kod nemetaličnih nema razlike između boji minerala i ogreba:

Hematit - mrkocrven, ogreb - svetlocrven

Kalcit - bele iste boje je i ogreb

## **Prelom**

Amorfni minerali i kristali sa gušćom strukturom pri udaru se lome po površinama koje kod nekih minerala imaju karakterističan oblik. Prelomne površine mogu biti neravne, školjkaste, ravne, hrapave, kovrdžaste, zemljaste itd.

### **Elektroprovodljivost**

Je sposobnost minerala da provodi električnu energiju. Ova osobina imaju metalični minerali, hidroksidi minerali glina dr. Rude gvoždja (magnetit, hematit, minerali glina) su dobri elektroprovodnici, a liskuni su na primer dobri prirodni izolatori.

### **Fluorescencija i fosforescencija**

Ako neki mineral pretvara svetlost manje talasne dužine u svetlost veće talasne dužine dolazi do pojave koja se naziva fluorescencija. Ako neki mineral nastavlja da svetli i po prestanku izvora svetlosti, tada fosforescira. Na primer ako dijamant osvetljen Sunčevom svetlošću unesemo u zatamnjenu prostoriju, svetleće još neko vreme.

### **Magnetičnost**

Magnetični minerali deluju kao prirodni magneti (magnetit, hromit).

### **Radioaktivnost**

Uranijum, plutonijum

### **Fiziološka svojstva**

Halit ( $\text{NaCl}$ ) – ima slan ukus

Kizerit ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) - gorka so

Talk, grafit – imaju mastan opip

Metalični minerali – imaju hladan opip

## **1.2 Primarni minerali**

### **Kvarc ( $\text{SiO}_2$ )**

Po hemijskom sastavu je oksid, a po kristalnoj strukturi je silikat i pripada tektosilikatima. Ova struktura nastaje povezivanjem tetraedara preko dva kiseonikova jona, stvarajući prostornu rešetku bez ijedne slobodne valence. Zbog ovakve strukture kvarc ima veliku tvrdoću i otpornost prema hemijskom raspadanju. Primarnog je porekla kada kristališe iz magme i ulazi u sastav magmatskih stena. Manje količine sekundarnog kvarca nastaju kristalizacijom iz koloidnih rastvora u pukotinama stena iz kojih se kvarc izdvaja. Na taj način stvaraju se u različitim bojama varijeteti kvarca ahat i oniks. Zastupljen je u litosferi sa oko 12%, otporan je na hemijsko raspadanje, fizičkim silama se usitjava i pripada grupi reliktnih minerala. Nalazi se u magmatskim, sedimentnim i metamorfnim stenama.

U magmatskim stenama se raspoznaje po masnoj staklastoj sjajnosti, sivoj boji, nepravilnoj formi i po tome što nema cepljivost. Specifična masa mu je  $2,65 \text{ g/cm}^3$  i tvrdoće 7. Kvarc je javlja u više različitih boja - alohromatski mineral.

#### Varijeteti kvarca:

Opal ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) amorfni, hidroksid, žute boje, voštane sjajnosti

Ametist - ljubičast

Čađavac - smeđ

Morion - crn

Citrin - žut

Kalcedon - agregat kristala kvarca. Ako su slojevi u nijansama iste boje nazivaju se ahat, a ukoliko su slojevi u različitim bojama tada je oniks.

Jaspis - gust neproziran, crveno ili zeleno obojeni agregati.

Rožnaci - rožnatog izgleda.

Kristalne druze pretstavljaju više kristalnih individua kvarca koje su se obrazovale na istoj podlozi.

### Feldspati

Feldspati su po hemijskom sastavu alumosilikati kalijuma, natrijuma i kalcijuma, a po kristalnoj strukturi pripadaju tektosilikatima. Gustina im se kreće od 2,5 do 2,76 g cm<sup>-3</sup>, tvrdina oko 6. Boja feldspata varira zbog primes i mogubiti bele, sivo bele i crvene. Najrasprostranjeniji su minerali u prirodi i čine 60% litosfere. Zastupljeni su u svim stenama: magmatskim, sedimentnim metamorfnim.

Dele se u dve grupe:

*Ortoklasi* ( $KAlSi_3O_8$ ) su alumosilikati kalijuma. Cepljivost im je pod pravim uglom (90°). Predstavnici: *sanidin i mikroklin*.

*Plagioklasi* su izomorfni niz - *izomorfna smeša* Na i Ca silikata. Od albita do anortita smanjuje se ideo natrijuma a povećava ideo kalcijuma. Cepljivost im je pod uglom većim od 90° stepeni.

Izomorfni niz:

Albit ( $NaAlSi_3O_8$ )

Oligoklas

Andezin

Labrador

Bitovnit

Anortit ( $CaAl_2Si_2O_8$ )

Feldspati se nazivaju i *minerali glinenci* jer vremenom od produkata njihovog raspadanja nastaju filosilikati - sekundarni minerali - minerali glina iz grupe ilita, kaolinita, montmorilonita. U stenama se raspoznaju po beloj ili crvenoj boji, kao i po glatkim površinama cepljivosti u dva pravca. Najčešće se crveni feldspati nalaze u sijenitu i granitu.

### Feldspatoidi

Predstavljaju alumosilikate kalijuma i natrijuma. Naziv su dobili zbog sličnih hemijskih i fizičkih osobina sa feldspatima. Kao i feldspati pripadaju tektosilikatima od kojih se razlikuju po manjim sadržajem  $SiO_2$ . Najrasprostranjeniji minerali iz ove grupe su: *Leucit*  $KAlSiO_2O_6$ , je belosive boje staklaste sjajnosti i *Nefelin*  $NaAlSiO_4$  je bezbojan do svetlo siv.

## Liskuni

Liskuni su hidratisani alumosilikati kalijuma, magnezijuma i gvožđa. Po strukturi pripadaju filosilikatima. Prisutni su u većini magmatskih, sedimentnih i metamorfnih stena. Raspoznaju se po veoma sjajnim, sedefastim površinama i po savršenoj cepljivosti u jednom pravcu. Tvrdoće su od 2 do 3, a gustina varira od 2,7 do 3,2 g cm<sup>-3</sup>.

**Muskovit** - beli liskun  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ , hidratisani alumosilikat kalijuma, naziva se još i beli liskun i otporan je na hemijsko raspadanje, fizički se usitnjava i pripada grupi – reliktnih minerala često se nalazi u pesku.

**Biotit** - crni liskun  $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ , hidratisani alumosilikat Mg, K i Fe. Hemijski nije postojan, podložan je hemijskom raspadanju. Korisniji je u zemljištu od belog liskuna zbog većeg izvora biogenih elemenata.

## Hloriti

Po hemijskom sastavu su hidratisani alumosilikati Mg, Fe. U pogledu fizičkih osobina veoma su slični liskunima, tamno zelene su boje.

## Pirokseni i amfiboli

Po hemijskom sastavu su silikati i alumosilikati Ca, Mg i Fe. Pirokseni i amfiboli mogu biti bez aluminijuma – silikati i sa aluminijumom – alumosilikati. Zemljišta bogatija alumosilikatima su potencijalno plodnija zbog većeg sadržaja minerala glina u odnosu na zemljišta koja su formirana na silikatnim supstratima sa niskim sadržajem minerala glina. U stenama se javljaju kao bojeni sastoјci, tamnozelene do crne boje i stene sa većim sadržajem piroksena i amfibola su tamnije. Ne mogu se golim okom posebno razlikovati. Možemo ih razlikovati pomoću polarizacionog mikroskopa. Amfiboli kristališu u izduženim, štapićastim a pirokseni u kratkim zaubastim oblicima. Gustina piroksena i amfibola se kreće od 2,8 do 3,5 g cm<sup>-3</sup>, a tvrdina od 4 do 6. Posle feldspata najzastupljeniji su minerali u magmatskim stenama.

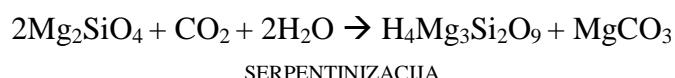
Augit pripada piroksenima, a Hornblenda amfibolima i sadrži OH grupu.

## Olivin

Predstavlja silikat Mg i Fe (feromagnezijski silikat). Olivin je idiohromatski mineral. Po hemijskom sastavu je izomorfna smeša dva minerala:

*Forsterita* ( $Mg_2SiO_4$ ) i  
*Fajalita* ( $Fe_2SiO_4$ ).

Olivin nije stabilan mineral lako se raspada pod uticajem ugljene kiseline i prelazi u serpentin i mineral magnezit, uz učešće CO<sub>2</sub> iz vazduha po sledećoj reakciji:



Kristališe u kratkim prizmatičnim oblicima rombične simetrije, a u stenama se javlja u vidu nepravilnih zrna, zeleno-maslinaste boje. Staklaste je sjajnosti, gustina mu je oko 3,3 g cm<sup>-3</sup>.

Od produkata raspadanja olivina ne stvaraju se minerali glina zbog nedostatka aluminijuma i na ovakvim feromagnezijskim supstratima se formiraju kisela silikatna zemljišta. Najviše je zastupljen u bazičnim magmatskim stenama gabru, bazaltu, peridotitu i dr.

Serpentin ( $H_4Mg_3Si_2O_9$ ) je po hemijskom sastavu hidratisani silikat magnezijuma. To je naziv za veliku grupu hidratisanih sekundarnih minerala koji nastaju kao produkti raspadanja primarnih feromagnezijskih silikata sa niskim sadržajem aluminijuma(pirokseni, amfiboli, olivin). Serpentin se prepoznaće po ljuskastim i vlaknastim formama, javlja se raznim nijansama maslinasto –zelene boje (antigorit i hrizotil). Gustine je oko  $2,6 \text{ g cm}^{-3}$  a tvrdine 3-4. Serpentin je nestabilan mineral i njegovim raspadanjem nastaju opal, magnezit, limonit.

### Oksidi

Nastaju kristalizacijom iz magme. Oksida su zastupljeni u magmatskim stenama kao primarni, sporedani ili akcesorni sastojci.

*Kvarc*  $SiO_2$ - je primarni mineral, bitan sastojak u magmatskim stenama, a po hemijskom sastavu pripada oksidima.

*Magnetit*  $Fe_3O_4$  ( $Fe_2O_3 \cdot FeO$ ) je feri fero oksid, mineral koji kristališe iz magme među prvim sastojcima. Ulazi u sastav magmatskih stena kao sporedan sastojak, crne je boje, metalne sjajnosti i magnetičan je, St je  $5 \text{ g cm}^{-3}$  a tvrdina 6. Najbogatija je ruda Fe. U procesu raspadanja oksidiše, prima vodu i na kraju prelazi u limonit.

*Hematit*  $Fe_2O_3$  nastaje kristalizacijom iz magme i ulazi kao sporedan sastojak magmatske stene. Tamne je boje i karakteriše se crvenim ogrebom. Na satelitskim snimci afrički kontinent je crvene boje koja potiče od hematita, jer u uslovima aridne klime su izraženi procesi dehidratacije i oksidacije.

*Korund*  $Al_2O_3$  je primarni sastojak magmatskih stena. St je  $4 \text{ g cm}^{-3}$  a tvrdina 9. Korund plave boje se naziva safir a crvene rubin.

*Raspadanjem primarnih silikata njihovi glavni sastojci  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  i razne baze: K, Na, Mg, Ca, koji nisu više u stanju da se ponovo grade složena hemijska jedinjenja, kao što su alumosilikati, već stvaraju prostiju. Tako  $SiO_2$  i seskvioksiidi (oksidi Ali Fe) sa vodom grade koloidne hidrokside, a baze sa kiselinama obrazuju soli: karbonate, sulfate, sulfide, haloide, fosfate, odnosno sekundarne minerale.*

## PRIMARNI MINERALI



Slika 1. Primarni minerali.

## 1.3 Sekundarni minerali

### Hidroksidi

*Boksit* je hidroksid aluminijuma  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  koji uvek sadrži izvestan % Fe te ima crvenkastu ili žućastu boju (boja zavisi od sadržaja količine Fe i  $\text{H}_2\text{O}$ ) svetlij boksi su bogatiji i koriste se za izdvajanje aluminijuma. Nestalnog je hemijskog sastava, amorfani su minerali i javlja se u nepravilnim zrnastim i zemljastim agregatima. Stvara se u procesu raspadanja krečnjaka od nerastvornog ostatka koji zaostaje rastvaranjem krečnjaka (reziduum). Po nekim boksit je fosilna tera rosa-crvenica. *Hidragirit* je varijeter boksita javlja se u kuglastim ili ljuspastim agregatima, u uslovima tople i vlažne klime tropskih oblasti, bele ili sive je boje.

*Limonit* je amorfni mineral ali vremenom može da pređe u kristalno stanje. Javlja se u nepravilnim trošnim formama. Žuto rđaste crvenkaste je boje. Rasprostranjen je u sedimentnim stenama i predstavlja krajnji produkt raspadanja svih minerala koji sadrže Fe. Izvesni tipovi zemljišta kao što su crvenice, lateriti i delimično gajnjače imaju crvenkastu boju zbog prisustva limonita. Često je prisutan u pseudoglejnim i glejnim horizontima hidromorfnih zemljišta u vidu taloga-konkrecija, koje se nazivaju i orštajnove grušenice. Na evropskom kontinentu vlada humidna klima te dolazi do procesa hidratacije, i zato evropski kontinent ima žutorđastu boju na satelitskim snimcima. Veći prostori, kružnog oblika koji imaju boju limonita, nazivaju se gvozdeni šešir i ovo je jedna od metoda kojom se otkrivaju ležišta rude gvožđa. Prema intanzitetu boje može se utvrditi i količina jedinjenja gvožđa. U primarnim mineralima gvožđe je mahom dvovalentno. Prilikom raspadanja prelazi u trovalentno i prima jedan ili više molekula vode, te obrazuje koloidne rastvore iz kojih se talože minerali iz grupe hidroksida gvožđa. Gustina limonita varira od 2,4 do 4 g  $\text{cm}^{-3}$ , a po tvrdini je na 5 –tom mestu *Mosove skale*.

Varijeteti limonita su izdvojeni na osnovu sadržaja molekula vode:

*Getit*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

*Turgit*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

*Limnit*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

*Limonit*  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  ima najveći sadržaj vode

*Opal* je hidroksid silicijuma  $\text{SiO}_2 * x\text{H}_2\text{O}$  amorfni je i javlja se u grozdastim, bubrežastim i staklastim oblicima. Ima boju i sjajnost voska. Obično je žućastobraon ili žute boje. Često su kvarcni valutci u potoku obavijeni opalom. Ako se potočni valutak žute ili braon boje razbijje na prelomu je vidljiv kvarc koji nije primio vodu. U sedimentnim stenama je često zastupljen u obliku konkrecija – zrnaca. Izdvaja se i iz vrućih izvora. Skeleti i oklopi nekih životinja i biljaka izgrađeni od opala, pokazuju da opal može nastati i organogenim putem. Vrste opala: *Hijalit* je staklasta i bezbojna vrsta opala, *Kvarcna zemlja* je formirana od sitnih opalnih kućica radiolarija i dijatomija, amorfni zemljasti je izgleda i bele boje

### Sulfidi

*Pirit* je sulfid gvožđa  $\text{FeS}_2$ . Veoma je rasprostranjen mineral. Može biti primarnog porekla i tada se javlja u magmatskim stenama (u granitu), a u najviše slučajeva je sekundarnog porekla i nastaje redukcijom sulfata. Lako podleže raspadanju i prelazi u limonit. Žuto zlatne je boje te se naziva i *mačije zlato*. Od zlata se razlikuje po gustini-

kod pirita je 5 a zlata preko 18 g cm<sup>-3</sup>. Pirit se rastvara u kiselinama za razliku od zlata. Pri zagrevanju oslobađa sumpordioksid koji ima karakterističan miris. Ako na pirit delujemo sa mineralnim kiselinama oslobađa se sumporvodonik. Tvrdina mu je oko 6, ima metalnu sjajnost i služi kao sirovina za dobijanje sumporne kiseline.

*Sfalerit* ZnS je cinkov sulfid, mineral crne boje i dijamantske sjajnosti. Koristi se za dobijanje Zn.

*Galenit* PbS je olovno sive boje, služi za dobijanje Pb, ima dijamantsku sjajnost.

*Cinabarit* HgS živin sulfid.

## Sulfati

*Gips* CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O je mineral najčešće bele ili sive boje, a bez primesa je providan. Tvrdina mu je 1,5-2 a gustina 2,0 g cm<sup>-3</sup>. Ima savršenu cepljivost, savitljiv ali ne i elastičan, često je vlaknaste strukture. Kada se taloži u moru obrazuje kristalne naslage u obliku slojeva ili sočiva čija moćnost može dostići i do 50 m. Može nastati i u glinama delovanjem slobodne sumporne kiseline na kalcit. Tada nastaju vrlo lepi i veliki kristali gipsa. *Selenit* je bezbojan, providan varijetet gisa. Ako se gips zgreje na 250 stepeni izgubiće jedan deo kristalne vode i tada prelazi u *anhidrit* CaSO<sub>4</sub> \* H<sub>2</sub>O. Dodavanjem izgubljene vode anhidrit prelazi u gips. Zbog ove osobine gips se koristi u medicini, modelarstvu, građevini. Ukoliko se gips zgreva na većoj temperaturi (>500 stepeni) narušava se kristalna rešetka, potpuno i nepovratno gubi kristalnu vodu, što znači da dodavanje vode u takav anhidrit ne može ponovo da se obrazuje gips.

*Alabaster* je gips zrnaste strukture čisto bele boje, veoma cenjen na Bliskom istoku za izradu ukrasnih predmeta, nakita.

## Karbonati

*Kalcit* CaCO<sub>3</sub>, kristališe iz hladnih rastvora. Najrasprostranjeniji je karbonat, sivo bele boje, cepljivost u 3 pravca, tvrdine 3, specifična težina mu je 2,7 g cm<sup>-3</sup>. Kalcit često kristališe u obliku romboedara (poliedar sa šest pljosni romba). Poznati su providni kristali islandskog kalcita koji imaju osobinu dvojnog prelamanja svetlosti. Reaguje sa hladnim kiselinama HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, uz šuštanje i penušanje se izdvaja CO<sub>2</sub>.

*Aragonit* CaCO<sub>3</sub> nastaje kada kalcit kristališe iz topnih rastvora, tada kristališe u vidu pritki, rombične simetrije. Reaguje sa hladnim kiselinama

*Magnezit* MgCO<sub>3</sub> je bele boje, kompaktne mase, nepravilnog oblika.

*Dolomit* je dvojna so CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>, svetlo sive boje.

*Siderit* FeCO<sub>3</sub>, značajna ruda gvožđa, često je jedan deo gvožđa zamenjen manganom, kalcijumom i magnezijumom i zbog toga se javlja u različitim bojama od žučkastobele, žute, a može biti žučlastosmeđ, siv.

Kalcit i aragonit se najbolje raspoznavaju po tome što reaguju sa hladnim mineralnim kiselinama (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dok dolomit i magnezit reaguju samo sa toplim mineralnim kiselinama (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) uz šuštanje i penušanje se izdvaja CO<sub>2</sub>.

Sadržaj Ca u zemljištu zavisi od matičnog supstrata. U magmatskim stenama karbonata ima svega 1 %, dok su krečnjaci, laporci, laporaste glinom, dolomiti i les bogati karbonatima.

## Fosfati

*Apatit*  $\text{Ca}_5\text{ClF}(\text{PO}_4)_3$  je penta kalcijum fosfat sa prisustvom Cl i F. To je primarni fosfat bele sive ili zelenkaste boje. Redovno ga ima u granitu. Sirovina je za proizvodnju fosfornih đubriva. Najveća ležišta su u Rusiji.

*Fosforit*  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  je sekundarni fosfat. Najčešće se stvara organskim putem, jer je fosforna kiselina sastavni deo životinja i biljaka, kada se truljenjem oslobođni amonofosfat spaja sa  $\text{CaCO}_3$  i stvara Ca fosfat. Ptičiji guano-gvano (Severna Afrika) je takođe fosforit, a predstavlja ptičije ekskrementi (izmet) pomešane sa  $\text{CaCO}_3$  (krečnjačke stene). Služi za dobijanje superfosfata.

*Vivijanit*  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  javlja se prilikom redukcionih procesa u močvarama ili u dubljim horizontima oglejenih zemljišta. Golubije plave do zelene je boje. Karakterističan je za glejni horizont (G).

## Haloidi

Halit  $\text{NaCl}$  (kuhinjska so), providne do bele boje, na Mosovoj skali je 2.

Silvin  $\text{KCl}$

Karnalit  $\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Kainit  $\text{KClMgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Polihalit  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

## Nitrati

Čilska šalitra  $\text{NaNO}_3$ . U prirodi se nalazi u belim sitnozrnastim aggregatima. Glavna nalazišta su u Čileu u uzanoj, sušnoj zoni uz morsku obalu. Nalazi se u smeši sa drugim solima:  $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - gipsom,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - gorkom soli  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - glauberovom soli, kamenom soli  $\text{NaCl}$  i gvanom zove se kaliče (calishe) i upotrebljava se kao odlično mineralno đubrivo. Kalijumova šalitra  $\text{KNO}_3$  koristi se takođe kao mineralno đubrivo postoje ležišta u Madarskoj, severnoj Africi, Kavkazu, Indiji, Čileu.

# SEKUNDARNI MINERALI



## HIDROOKSIDI



OPAL



BOKSIT



LIMONIT

## SULFATI



GIPS

## KARBONATI



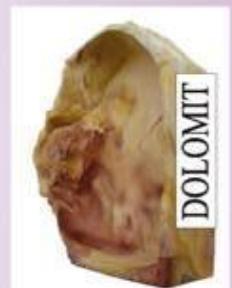
KALCIT



ARAGONIT



MAGNEZIT



DOLOMIT

## FOSFATI



APATTIT



FOSFORIT



VIVIJANIT

## NITRATI



K-ŠALITRA

## HALOIDI



HALIT



KARNALIT



KAINIT



SILVIN



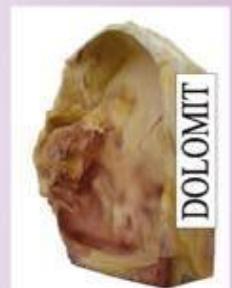
PIRIT



GALENT



SFALERIT



PIRIT SA SFALERITOM

*Slika 2. Sekundarni minerali.*

## 1.4 Magmatske stene

Nastaju očvršćavanjem i kristalizacijom magme u dubljim delovima litosfere i lave u pod površinskim šupljinama i na samoj površini litosfere.

*Magma* je stanje homogenog rastopa, koji se održava usled visoke temperature i visokog pritiska u unutrašnjosti zemlje. *Lava* predstavlja otopljenu stensku masu izlivenu na površini litosfere vulkanskom erupcijom. Magmatske stene nastaju hlađenjem i kristalizacijom magme na temperaturi od (1600-400 °C). Redosled izdvajanja-kristalizacije najzastupljenijih, primarnih minerala iz magme: prvo kristališe olivin, zatim pirokseni, amfiboli, biotit, plagioklasi, ortoklasi, muskovit i na kraju kvarc.

### Podela magmatskih stena

a) Prema mestu postanka dele se na:

- dubinske (intruzivne)- u dubljim delovima litosfere
- žične-u pukotinama - žicama litosfere
- površinske (efuzivne)-u pod površinskim delovima i na samoj površini litosfere.

b) Prema hemijskom sastavu, tj sadržaju  $\text{SiO}_2$  izdvajaju se:

- kisele: 60-80%  $\text{SiO}_2$
- neutralne: 60-50%  $\text{SiO}_2$
- bazne: manje od 50%  $\text{SiO}_2$

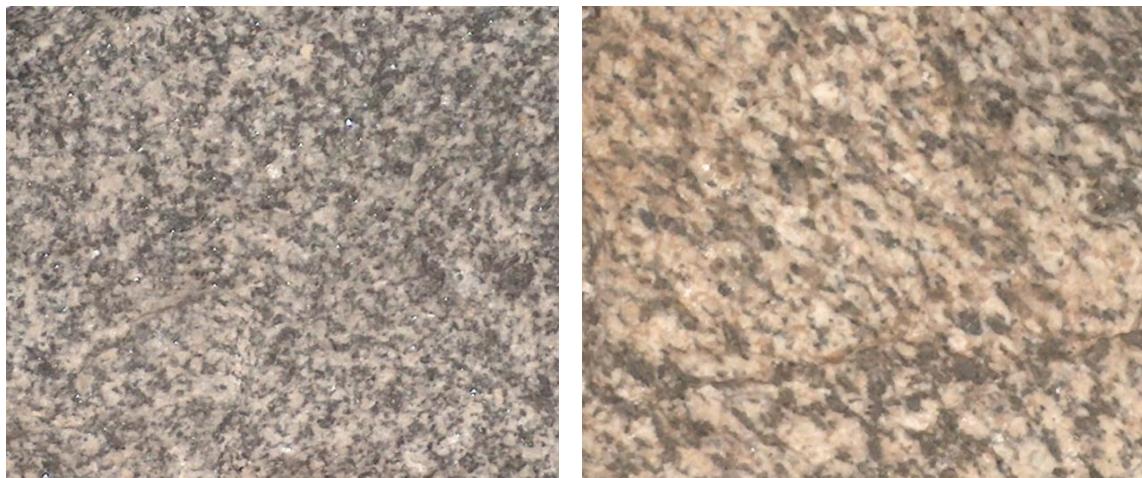
c) Prema sadržaju feldspata

- kisele stene sadrže kisele feldspate i iz grupe plagioklasa pretežno albit
- bazne stene sadrže bazične feldspate pretežno anortit

### Struktura magmatskih stena

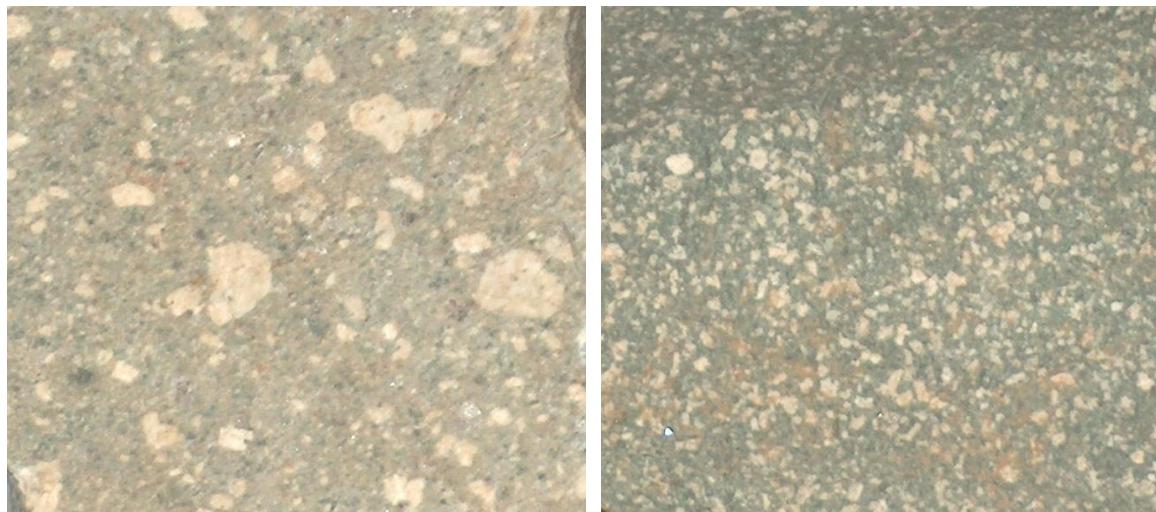
Pod strukturu magmatskih stena se podrazumeva stepen kristalizacije stene, oblik i veličina mineralnih sastojaka i njihov međusobni odnos. Kod magmatskih stena se razlikuje nekoliko glavnih tipova strukture:

1. *Holokristalasta – zrnasta struktura* nastaje kada se kristalizacija magme odvija u dubini, u jednoj neprekidnoj fazi, gde postoje povoljni uslovi za kristalizaciju i gde ona teče vremenski polako usled ravnomernog hlađenja magme, stvorice se krupnije kristalne individue u obliku zrna, približno jednake veličine. Kristalni sastojci će biti poređani jedan uz drugog kao zrna u mozaiku, te otuda i naziv zrnasta struktura. Znasta struktura može biti krupna i sitna, ovaj tip strukture imaju dubinske ili intruzivne stene.



*Slika 3. Zrnasta struktura.*

2. *Hipokristalasta-porfirska struktura* je karakteristična za površinske ili efuzivne stene kod kojih je bilo prekida u kristalizaciji. Magma se konsolidovala u dve faze. U prvoj fazi kristalizacije koja je započeta u dubini stvoren su kristali prve generacije koji se odlikuju krupnoćom i pravilnošću formi i zovu se *fenokristali*. Ako je ova prva faza kristalizacija magme prekinuta, pokretanjem magme ka površini, ostatak magme koji nije iskristalisao dolazi u uslove naglog pada pritiska i temperature. Pod novim uslovima, manjeg pritiska i niže temperature kristalizacija će teći mnogo brže i neće biti uslova za obrazovanje krupnih kristala, već će se stvoriti sitni kristali ili *mikroliti* koji pripadaju drugoj generaciji. U slučaju dalje kristalizacije tj. ako hlađenje nije bilo sasvim naglo, usled izbijanja magme na samu površinu neće biti mogućnosti da se stvore mikroliti. U tom slučaju će se ostatak magme pretvoriti u staklastu amorfnu masu –*vulkansko staklo-Opsidijan*.



*Slika 4. Porfirska struktura.*

3. *Hijalinska –amorfna strukturu* imaju stene koje su u potpunosti izgrađene od staklaste, amorfne mase. Pri naglom izlivanju lave na površinu litosfere, vulkanskom erupcijom, ne postoje uslovi za njenu kristalizaciju već se pretvara u amorfnu staklastu masu koja se zove *opsidjan-vulkansko staklo*.

*4. Afanatična – skrivena struktura* je karakteristična za stene koje su formirane od sićušnih mineralima i ne mogu se raspoznati golim okom, već samo pod mikroskopom.

Postoje i druge strukture magmatskih stena kao što su: *Porfiroidna - zrnasta* struktura sa krupnim zrnima feldspata. *Ofitska* – karakterišu je izduženi štapićasti kristali (plagioklasi) a između njih stna zrna piroksena i amfibola (gabro).

Praktično uputstvo za prepoznavanje magmatskih stena:

*1. Na osnovu boje se može približno utvrdi da li je stena kisela, neutralna ili bazna.*

- Kisele stene su svetlo otvorene sive ili crvenkaste boje
- Neutralne stene su sive ili zelenkaste
- Bazične stene su tamno zelene do crne boje

*2. Na osnovu strukture može se utvrditi da li je stena dubinska ili površinska:*

- Dubinske stene imaju zrnastu strukturu
- Površinske stene imaju porfirsku strukturu

*3. Na osnovu sadržaja kvarca može se odrediti podgrupa:*

- Granit ima kvarca, a sijenit ne
- Granodiorit ima kvarca, a diorit ne
- Gabro ima feldspata, a peridotit ne.

#### Minerali u stenama:

**Kvarc** - se raspoznaje u stenama po masnoj staklastoj sjajnosti, sivoj boji, nepravilnoj formi i po tome što nije cepljiv.

**Feldspati** - raspoznaju se po svetloj boji i po glatkim površinama (cepljivost)

**Liskuni** - raspoznaju se po veoma sjajnim sedefastim površinama i po savršenoj cepljivosti

**Amfiboli i pirokseni** - su bojeni sastojci stena, zatvoreno zelene do crne boje, ne mogu se golim okom razlikovati.

**Olivin** - zrnasto grudvasti agregat, u stenama žuto do maslinasto zelene boje.

# MAGMATSKE STENE



## KISELE

Svetle, ovoreno sive, crvenkaste  
%SiO<sub>2</sub> 80-66%

## NEUTRALNE

Sive ili zelenkaste  
%SiO<sub>2</sub> 66-52%

## BAZNE

Tamno zelene do crne  
%SiO<sub>2</sub> <52% (<45%)

### BITNI MINERALNI SASTOJCI

<b>NAČIN POJAVLJIVANJA (STRUKTURA)</b>	<b>FELDSPATI (Ortoklas, albít) KVARC LISKUNI</b>	<b>FELDSPATI (Albit, oligoklas) SANIDIN HORNBLENDА AUGIT, (Biotit)</b>	<b>FELDSPATI (Oligoklas-labrador) KVARC HORNBLENDА AUGIT, (Biotit)</b>	<b>FELDSPATI (Labrador-bitovnit) AUGIT HORNBLENDА (Biotit)</b>	<b>FELDSPATI (Bitovnit-anortit) AUGIT OLIVIN HORNBLENDА</b>
DUBINSKE INTRUZIVNE (ZRAVASTA)	<b>GRANIT</b>	<b>SIJENIT</b>	<b>GRANO-DIORIT</b>	<b>DIORIT</b>	<b>GABRO</b>
ŽIĆNE	<b>PEGMATIT</b>	<b>APLIT</b>	<b>KVARDIORIT PORFIRIT</b>	<b>KERSANTIT</b>	<b>DIJABAZ</b>
POVRŠINSKE EFUZIVNE (PORFIRSKA)	<b>TRAHIT</b>	<b>DACIT</b>	<b>BAZALT</b>	<b>ANDEZIT</b>	ULTRABAŽIĆNE STENE NEMAJU POVRŠINSKE EKVIVALENTE
	<b>RIOLIT</b>	<b>KVARDLATIT</b>		<b>KVARD-PORFIR</b>	
	<b>GRANIT-PORFIR</b>	<b>FONOLIT</b>		<b>LIPARIT</b>	
	<b>OPSIDIJAN</b>				

Slika 5. Magmatske stene.

## 1.5 Sedimentne stene

Nastaju na površini litosfere od produkata raspadanja ranije nastalih stena. Stvaranje sedimentnih stena odvija se kroz četiri faze:

1. Rapadanje, odnosno trošenje ranije stvorenih stena,
2. Prenos produkata raspadanja (bilo u čvrstom stanju, suspenziji ili rastvoru)
3. Sedimentacija-taloženje svih produkata,
4. Dijageneza ili očvršćavanje, tj litifikacija nevezanih sedimenata u čvrste sedimentne stene.

Očvršćavanje može biti mehaničko ili hemijsko. Mehaničko nastaje na primer, gubitom vode-dehidratacija sušenjem ili pod pritiskom, a hemijsko na taj način što se nakon dehidratacije čestice međusobno povezuju, nekom hemijskom materijom koja se izlučuje iz rastvora. Mi ih nazivamo cementnim materijom i uglavnom su to:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}$  kao i minerali glina.

Primer cementacije:



Iz kalcijum hidrokarbonata se izdvaja  $\text{CaCO}_3$  kalcijum karbonat koji se taloži i povezuje odlomke mnogih minerala. Slojevitost je bitna osobina sedimentnih stena i javlja se kao posledica taloženja. Prvobitan položaj slojeva je horizontalan. Kod poremećenih slojeva mogu se odrediti sledeći elementi:

- a) Pravac pružanja
- b) Pravac pada slojeva
- c) Ugao pada slojeva

Boja nije karakteristična osobina sedimentnih stena zbog njihovog veoma heterogenog mineraloškog i hemijskog sastava ali:

- crvena boja ukazuje na prisustvo jedinjenja Fe
- crna boja daje prisustvo mangana i/ili organske materije
- zelenu i maslinasto zelenu boja imaju stene bogate olivinom i/ili feromagnezijskim silikatima-serpentiniti.

*Mehanički klastični sedimenti* mogu biti:

Nevezani  
Poluvezani  
Vezani

*Hemijski sedimenti*

Hemijski sedimenti nastaju taloženjem mineralnih materija iz koloidnih i/ili pravih rastvora rastvora. Taloženje se najčešće vrši zbog povećanja koncentracije, koje je prouzrokovano isparavanjem vode.

*Organogeni sedimenti* nastaju taloženjem životinjskih i biljnih ostataka. Oni nisu nikada čisti već se radovno talože, u izvesnoj meri sa produktima mehaničkog raspadanja i hemijskog taloženja.

## SEDIMENTNE STENE

MEHANIČKI SEDIMENTI		HEMIJSKI SEDIMENTI		ORGANSKI SEDIMENTI	
				ZOOGENI SEDIMENTI	FITOGENI SEDIMENTI
PSEFITI $> 2 \text{ mm}$	PSAMITI $2,0 - 0,05 \text{ mm}$	ALEVRTI $0,05 - 0,005 \text{ mm}$	PELITI $< 0,005 \text{ mm}$	SONE NASLAGE	KARBONATNI SIROVA NAFTA
DROBINA (nezaobljeni fragmenti)	PESAK	PRAH	MULJ	KRISTAL GIPSA	KREĆNJAK DOLOMIT PISAČA KREDA
ŠIJUNAK (zaobljeni fragmenti)		SILT			SILICJSKI
POLOVINA				GIPS	HALIT ANHIDRIT, KAINT, POLIHALIT
LUVENI					KARBONATNI SEDIMENTI
LES			LAPOR	BIGAR	ROŽNAC
					RADIOLARIT
					TRESET
					UGALJ
					ASFALT
					OZOKERIT
					DIJATOMEJSKA ZEMLJA
					ARAGONIT
					DOLOMIT, STALAKTITI, STALAGMITI
					FOSFATNI
					LIMNOKVARCIT
					FOSFORIT
					GEZRIT
					ŠEIL

*Slika 6. Sedimentne stene.*

## 1.6 Metamorfne stene

Metamorfne stene nastaju u procesu metamorfoze - preobražaja ranije stvorenih stena. Stene koje su nastale preobražajem magmatskih nazivaju se ortometamorfne a ukoliko su nastale od sedimentnih nazivaju se parametamorfne.

Prema uzročniku metamorfizam može biti: kontaktni, regionalni, dinamometamorfizam, ultrametamorfizam, metamorfizam tonjenja i metasomatoza. Promene se vrše pod uticajem visokog pritiska i visoke temperature.

Iako postoji više vrsta metamorfizama, izdvojićemo dva koja su najznačajnija za prostore u nas:

*Kontaktni* - obuhvata one promene na stenama koje se dešavaju u dodiru vrele intruzivne magme sa već ranije stvorenim stenama. Pod uticajem visoke temperature magme i povišenog pritiska kod ranije stvorenih stena dolazi do prekristalizacije, promena u manjem ili većem stepenu hemijskih i fizičkih osobina. Na taj način nastaju masivne metamorfne stene ili kontaktoliti.

Jedri krečnjaci (dolomiti)	→ kristalasti mermer
Kvarcni peščari	→ kvarcit
Gline i glinci	→ argilošist
Mlađi ugljevi	→ kameni ugalj, a ponekad i u grafit

*Regionalni* - se vrši na velikim dubinama pod uticajem visokog pritiska i povišene temperature. Glavna karakteristika regionalne metamorfoze je strukturalna promena kod stene, monerali postaju:

1. spljošteni
2. sočivasti
3. razvučeni
4. okcasti
5. redaju se po paralelnom rasporedu koji je upravan na pravac pritiska (naročito liskuni).

Tako nastaje škriljasta struktura kojom se odlikuju metamorfne stene nastale regionalnim metamorfizmom. Mineraloški sastav kristalastih škriljaca je sličan sastavu magmatskih stena, jer su najčešće od njih nastale.

Najzastupljeniji kristalasti škriljci:

1. Gnajs - po sastavu sličan granitu (liskuni, feldspati, kvarc).
2. Mikašist - kvarc, liskuni, nema feldspata i gline, a liskuni se vide golim okom.
3. Filit - kvarc, liskuni kao sporedni sastojci se javljaju rutil, pirit oksidi gvožđa organska materija, minerali glina.

Metamorfne stene su veoma rasprostranjene u našoj zemlji i česti su matični supstrati na kojima su formirana zemljišta. Razvrstavaju se prema dominantnoj zastupljenosti pojedinih minerala.

# M E T A M O R F N E S T E N E

KRISTALASTI ŠKRILJCI VIŠEG KRISTALITETA



*Slika 7. Metamorfne stene.*

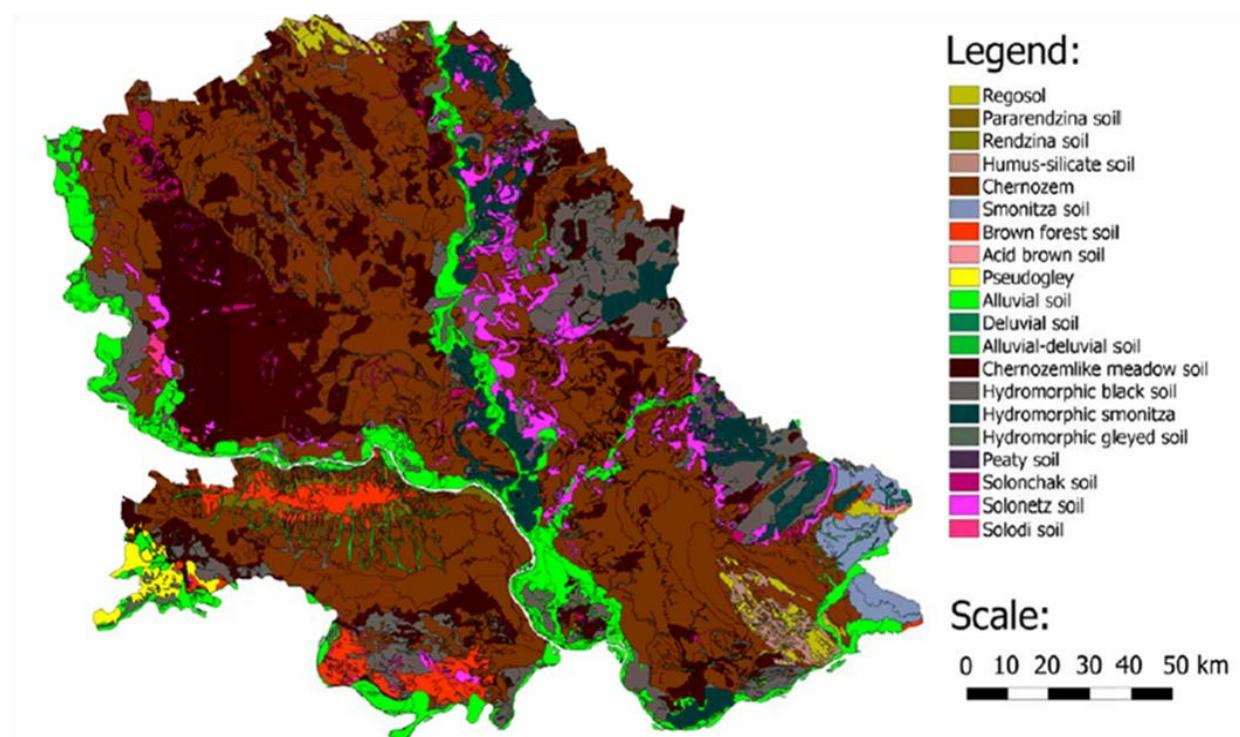
## 2. TERENSKO ISPITIVANJE I MORFOLOGIJA ZEMLJIŠTA

Istraživanja zemljišta se prvenstveno izvode za potrebe: poljoprivredne proizvodnje, melioracija zemljišta, tehničke prakse, sistematike zemljišta i izrade pedoloških karata, bonitiranja zemljišta, preduzimanja mera u cilju zaštite zemljišta od degradacije, prostornog uređenja zemljišta i drugo. Ona se sastoje iz terenskog i laboratorijskog ispitivanja.

### 2.1 Faze terenskog ispitivanja zemljišta

#### *Pripremna faza*

Podrazumeva proučavanje pedogenetskih faktora i dokumentacije koja se odnosi na dato područje ispitivanja. Proučavaju se pedološke, geološke, topografske i hidrološke karte, zatim karte biljnog pokrivača klimatske karakteristike područja i ranija pedološka istraživanja.



*Slika 8. Pedološka karta Vojvodine.*

Za terensko ispitivanje zemljišta potrebna je sledeća oprema: GPS (Global Positioning System) aparat, topografske karte, fotoaparat, sonde, alat za otvaranje profila (kramp, lopata, ašov), pribor za ispitivanje profila (pedološki nož, sona kiselina (10%) i drugo), metarska traka, vrećice za uzorce zemljišta, pribor za uzimanje uzoraka zemljišta u prirodno nenarušenom stanju (cilindri zapremine  $100 \text{ cm}^3$  po Kopecky-om.), pribor za uzimanje zemljišta za mikrobiološke analize, pribor za uzimanje monolita i film-lak otiska zemljišta, sveska, olovka u boji za označavanje određenih celina, terensko vozilo.



*Slika 9. Oprema za terensko ispitivanje zemljišta i sekcija pedološke karte Vojvodine*

### **Rekognosciranje terena**

Obuhvata prepoznavanje karakteristika proučavanog područja pri izlasku na teren i njihovo upoređivanje sa uočenim u pripremnoj fazi. Rekognosciranjem terena uočavaju se razlike u morfološkim svojstvima zemljišta predmetog područja na osnovu kojih se na topografskoj karti, odgovarajuće razmere, mogu približno označiti granice prostiranja jednog ili više tipova zemljišta koji su zastupljeni na ispitivanom području. U novije vreme se koriste GPS aparati koji poseduju detaljne topografske karte sa podacima o geografskoj širini, dužini i nadmorskoj visini što znatno olakšava obavljanje ove faze.



*Slika 10. GPS aparat i stranica GIS programa.*

### **Sondiranje**

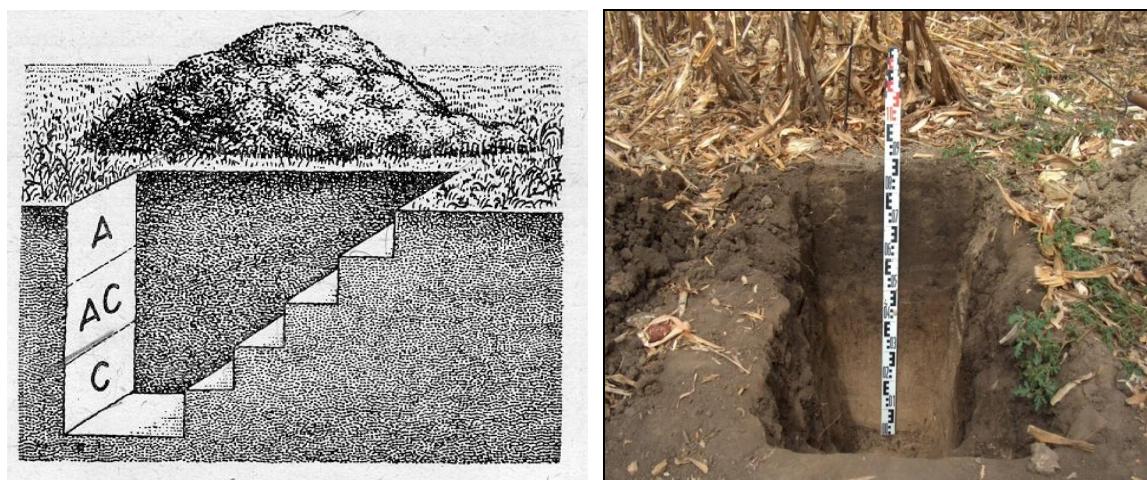
Budući da su pedološke karte ograničene preciznosti, za detaljnije utvrđivanje granice prostiranja pojedinih sistematskih jedinica zemljišta na terenu se koriste i sondažne bušotine. Sondiranjem se tačno utvrđuje broj redosled i moćnost horizonata tj. endomorfološka svojstva zemljišta. Otvaranje sondažnih bušotina holanskom sondom se odvija sukcesivno, npr. od 0-20 cm, zatim od 20-40 i 40-60 cm dubine itd. Izvađeno zemljište se slaže u horizontalnom nizu redosledom kojim se vadi iz sondažne bušotine, tako da se iz niza prikupljenih uzoraka sondom, jasno vidi broj, moćnost i prelaz između horizonata. Sondiranje može često da zameni otvaranje profila ili prikopke.



**Slika 11.** Različite vrste sondi i sondiranje zemljišta.

#### **Otvaranje pedološkog profila**

Pedološki profil se otvara u cilju detaljnog uvida u unutrašnju morfologiju zemljišta i radi uzimanja uzoraka za analizu njegovih fizičkih, hemijskih i bioloških svojstava. Pedološki porfil se kopa do dubine dejstva pedogenetskih faktora, odnosno do pojave podzemne vode ili čvrste matične stene i to na reprezentativnom mestu (izbegavati blizinu puteva, pruga, kanala i drugih mesta na koje je čovek vršio uticaj). Otvaranje glavnog profila se vrši do dubine od 2 m, poluprofila do 1 m, a prikopke do 0,5 m. Glavni profil treba da ima stepenice radi lakšeg ulaska i izlaska iz profila. Pri iskopavanju potrebno je površinske slojeve zemljišta odstraniti na jednu dužu stranu, a dublje slojeve na drugu dužu stranu profila. Prilikom zatrpanjavanja vraćati zemljište u profil obrnutim redosledom, tako da se slojevi zemljišta vrate u prvobitni položaj. Obavezno je izbegavati gaženje čeonog dela profila koji treba da bude obasjan suncem pri završetku otvaranja profila.



**Slika 12.** Primer otvorenog pedološkog profila.

Nakon otvaranja profila se pristupa njegovom opisu tj. unosu podataka o lokalitetu i opisu unutrašnje morfologije. U okviru unutrašnje morfologije se opisuju vidljiva i na terenu merljiva svojstva zemljišta: sklop profila (broj, redosled, moćnost i prelaz između horizonata), vlažnost, boja (upotreboom atlasa boja – Munsel color chart), mehanički sastav, sadržaj skeleta mineralnih fragmenata (skelet), struktura, konzistencija, prisustvo

korenovog sistema, prisustvo pukotina i slikensajda, cementacija, poroznost, prisustvo jako zbijenog sloja ili horizonta, prisustvo karbonata i vodorastvorljivih soli, reakcija zemljišta (pH) itd. Takođe važno je evidentirati specifične pedološke tvorevine. One mogu biti hemijskog (krečni talozi, konkrecije kalcijum karbonata, pseudo-micelije, talozi lako rastvorljivih soli, talozi seskvioksida i silicijum dioksida, pojava vivijanita) i biološkog porekla (krotovine, kaproliti, crvotočine, ostaci biljnog i životinjskog porekla i drugo).



*Slika 13. Ovaranje pedološkog profila pri podizanju voćnjaka.*

#### ***Uzimanje uzoraka***

Posebnu pažnju treba posvetiti uzimanju uzoraka, jer greške koje se učine prilikom uzimanja uzoraka zemljišta mogu uticati na vrednosti dobijenih rezultata.

*Uzorci u narušenom stanju* se koriste uglavnom za određivanje hemijskih svojstava zemljišta. Uzimaju se iz genetičkih horizonata odozdo prema gore pomoću pedološkog noža. Uzima se obično oko 1 do 1,5 kg uzorka zemljišta. Kada su u pitanju zemljišta sa više skeleta prikuplja se veći uzorak, u zavisnosti od količine skeleta, 3-5 kg. Potom se uzorci stavljuju u platnene ili najlonske kese. U kesu sa uzorkom se stavlja i etiketa na kojoj su upisani osnovni podaci o uzorku. Osnovni su: lokalitet, broj profila, oznaka horizonta, dubina sa koje je uzet uzorak, datum i potpis uzimaoca uzorka.

Priprema uzoraka zemljišta za analizu se obavlja u laboratoriji. Prvo se uzorci razastiru na čiste hartije u sloju debljine 1 do 2 cm u čistim prostorijama u kojima nema hemikalija niti prašine kako ne bi došlo do kontaminacije uzoraka. Uzorci se suše do vazdušno suvog stanja, a zatim pomoću mlina za mlevenje zemljišta ili u avanu, uz upotrebu drvenog tučka ili tučka obloženog gumom, sitne i prosejavaju kroz sito otvora 2 mm (za analizu humusa kroz 0,25 mm), a potom prenose najčešće u čiste kartonske kutije ili u boce sa šlifovanim zapušaćem u kojima se čuvaju, odnosno koriste za dalja laboratorijska ispitivanja. Na svakoj kutiji odnosno boci, nalazi se matični i redni broj uzorka.



**Slika 14.** Mlin za zemljište i sušenje uzorka.

Za prikupljanje uzorka zemljišta najčešće se koristi: cevasti, svrdlasti i holandski tip sonde. Sonda se sastoji od dela kojim se uzima uzorak zemljišta, cevnih nastavaka i ručke koja služi za okretanje sonde. Deo kojim se uzima uzorak je obično dužine 20-25-30 cm. Sonda se vrhom postavlja u zemljište i na taj način pravi buštinu u zemljištu, pri čemu se svrdlo ili cev puni zemljom. Buštona se pravi postupno i u jednom navratu sonda se utiskuje u zemljište, vadi iz bušotine, uzima uzorak, očisti deo za prihvatanje od ostatka zemlje i nastavlja sa uzimanjem uzorka do željene dubine. Na cevnim nastavcima je decimetarska skala kojom određujemo dubinu iz koje se uzima uzorak. Uzorci se obično uzimaju po slojevima.

*Uzorci u polunarušenom stanju* se koriste za analizu strukturnosti zemljišta. Oni se uzimaju pri vlažnosti bliskoj poljskom vodnom kapacitetu. Ašovom se izvali veliki busen zemlje, koji se nežnim pokretima prstiju rastavi na sitne komade (oko 10 mm) trudeći se da ne dođe do gnječenja i uništavanja strukturalnih agregata. Uzima se 2 - 2,5 kg zemljišta koje se transportuje u većim kutijama i potom koristi za analizu (za neke analize strukturnosti zemljišta uzorci se koriste u vlažnom, a za neke u vazdušno suvom stanju).

*Uzorci u prirodno nenarušenom stanju* se uzimaju za analiziranje nekih fizičkih i vodno-fizičkih svojstava zemljišta. Uzorkovanje se obavlja pomoću cilindara valjkastog oblika različite zapremine, najčešće od 100, 250, 500, 1000 pa i 2000  $\text{cm}^3$ , pri vlažnosti bliskoj poljskom vodnom kapacitetu. U našoj zemlji se najviše koriste cilindri po Kopeckyom ( $V=100 \text{ cm}^3$ ). Za uzimanje uzorka potreban je pribor za utiskivanje cilindara u zemljište (stativ i utiskivač-topčić). Osnovni zadatak stativa je da prihvati cilindar i da omogući njegovo ravnomerno i ujednačeno utiskivanje u zemljište prilikom udaranja utiskivača drvenim čekićem. Uzorci u prirodno nenarušenom stanju se uzimaju iz sredine svih horizonta, s tim da se prvo uzimaju iz površinskog, a na kraju iz najdubljeg horizonta. Iz svakog horizonta uzima se zemljište u šest cilindara (šest ponavljanja).



*Slika 15. Pribor za uzimanje uzorka u prirodno-nenarušenom stanju i uzimanje uzorka.*

## 2.2 Spoljašnja morfologija

Svaki tip zemljišta ima svoju spoljašnju i unutrašnju morfologiju.

Pri opisivanju spoljašnje morfologije obraća se pažnja na reljef i biljni pokrivač (živi i mrtvi). Reljef se deli na makro reljef (vertikalne razlike preko 10 m, a horizontalne dimenzije veće od 200 m), mezoreljef (vertikalne razlike od 1 do 10 m, a horizontalne dimenzije veće od 50 m) i mikro reljef (vertikalne razlike ispod 1 m, a horizontalne dimenzije oko 1 m). Sem toga mogu se izdvojiti ravni, zaravnjeni, nagnuti, ispušteni, udubljeni, terasasti i drugi oblici reljefa.

Pokrivač može biti mrtvi (šumska prostirka, skelet i dr.), a živi pokrov mogu biti šume, travnjaci, veštačke livade, voćnjaci, vinogradi, ratarski i povrtarski usevi, i dr.

## 2.3 Unutrašnja morfologija

Pri opisivanju pedoloških profila unose se sledeći podaci: područje istraživanja, naziv lokaliteta, geografske koordinate, širina, dužina i nadmorska visina, način iskorišćavanja zemljišta, nagib terena, reljef, vegetacija, podaci o klimi, broj profila, dubina podzemne vode, matični supstrat, tip zemljišta, mesto u klasifikaciji, datum istraživanja i ime istraživača.

**Na vertikalnom preseku zemljišta uočavaju se slojevi koji se međusobno razlikuju po boji, mehaničkom sastavu, strukturi, sadržaju humusa i biljnih hraniva i drugim svojstvima, imaju horizontalan pravac pružanja i nazivaju se horizonti.**

Pri opisivanju pojedinih horizonata unutar profila za svaki horizont daje se: oznaka za horizont, dubina na kojoj se horizont javlja i dubina na kojoj prelazi u drugi horizont (debljina horizonta), prelaz (vrlo oštar manje od 2 cm, oštar 2 do 5 cm, postepen 5-10 cm i neizražen veći od 10 cm; sem toga prelaz može biti ravan, valovit, u vidu džepova i nejasan), vlažnost, boja (boja se određuje upotrebom atlasa boja – Munsel color chart-a da bi se izbegla subjektivnost u oceni boje), mehanički sastav, sadržaj stena i mineralnih fragmenata (skelet), struktura, konzistencija (mokrog, vlažnog i suvog zemljišta), prisustvo korenovog sistema, prisustvo pukotina i slikensajda, cementacija,

poroznost, prisustvo jako zbijenog sloja ili horizonta (položaj nepovoljnog horizonta), sadržaj karbonata, sadržaj vodorastvorljivih soli, hemijska reakcija zemljišta (pH), specifične tvorevine (*konkrecije*-talozi zrnastog oblika kalcijum karbonata, *konkrecije* jedinjenja gvožđa i mangana, ortšajn – talozi (seskvioksida – gvožđa i aluminijuma, mangana, silicijuma, organske materije) nastali u B horizontu podzola, *pseudo-micelije*-talozi kalcijum karbonata u vidu končastih tvorevina sličnog oblika micelijama gljiva, talozi lako rastvorljivih soli, talozi silicijum dioksida, pojava vivijanita, krotovina, kaprolita, crvotočina, ostaci biljnog i životinjskog porekla i drugo).



**Slika 16.** Unutrašnja morfologija černozema karbonatno oglejenog.

## 2.4 Obeležavanje horizonata

Genetički horizonti su horizontalni slojevi zemljišta koji se međusobno razlikuju po morfološkim, fizičkim, hemijskim i biološkim svojstvima. U našoj zemlji u opšte je prihvaćena Klasifikacija zemljišta Jugoslavije (Škorić et al. 1985) prema kojoj slova služe za obeležavanje 12 osnovnih horizonata. Mala slova u indeksu označavaju pothorizonte.

**O** - **Organski površinski horizont** nalazi se iznad soluma, karakterišu ga organski ostataci uglavnom nepotpuno transformisani.

**Ol** - Organska prostirka, odnosno stelja koju čine organski ostaci na kojima je započeo proces razlaganja, javlja se u šumskim zemljištima.

**Of** - Organski ostaci se nalaze u fazi intenzivnog raspadanja, ali se mogu prepoznati delovi biljaka.

**Oh** - Pothorizont razloženih organskih ostataka delimično pomešanih sa mineralnim česticama u donjem delu.

(A) - **Inicijalni horizont** nalazi se iznad matičnog supstrata od kojeg se malo razlikuje u boji, slabo je razvijen, strukturni agregati su u začetku ili slabo formirani, organska materija je humificirana, ali je recentnog karaktera.

**A** - **Humusno-akumulativni horizont** predstavlja sloj u kome su stvoreni stabilan organo-mineralni kompleks i stabilna struktura.

**Amo** - Molični horizont, tamne boje, dubok, ima razvijene strukturne aggregate i zasićenost bazama veću od 50%.

**Aum** - Umbrični horizont, tamne boje, dubok, ima slabije razvijenu strukturu i niži stepen zasićenosti bazama (ispod 50%).

**Aoh** - Ohrični horizont, svetlige nijanse, plići od moličnog i umbričnog horizonta, strukturni agregati su slabo razvijeni.

**E** - **Eluvijalni horizont** ima smanjen sadržaj humusa, gline i seskvioksida kao posledicu ispiranja u niže slojeve. Svetlige je nijanse od susednih horizonata.

**B** - **Iluvijalni horizont** prostire se ispod eluvijalnog horizonta i u odnosu na njega se odlikuje većim sadržajem humusa, gline i seskvi-oksida koji se u njemu talože kao posledica eluvijalno-iluvijalne migracije.

**Bt** - Argiluvični horizont predstavlja zonu akumulacije gline isprane iz eluvijalnog horizonta, sive boje. Lupom se mogu uočiti koloidne opne oko krupnijih zrna i strukturnih agregata ili na zidovima krupnijih pora.

**Bh** - Humo-spodični horizont je sloj u kome se taloži humus ispran iz viših horizonta, smeđe do crne boje.

**Bfe** - Ferispodični horizont, predstavlja sloj u kome se akumuliraju seskvi-oksidi isprani iz eluvijalnog horizonta, rđaste boje sa amorfnim opnama seskvioksida.

(B) - **Horizont metamorfoze- kambični** karakteriše ga razorena primarna struktura stene i argilosinteza in situ, smeđe, žučkaste ili crvenkaste boje.

**(B)v** - Nastaje raspadanjem primarnih minerala (feldspata, piroksena, amfibola, liskuna) in situ-na licu mesta. Od produkata hidrolitičkog raspadanja primarnih minerala- alumosilikata i baza dolazi do sinteze minerala gline - argilosinteze, a

oslobođena jedinjenja gvožđa daju ovom horizontu crvenkastu, smeđu boju. Simbol (B)v (v od *verwitterung* = oznaka za hidrolitičko raspadanje minerala) (B)rz - Nastaje akumulacijom (*lat.residuum*-ostatak, talog) rezidualanog-nerastvornog ostatka koji se nalazi u krečnjacima i dolomitima i nakon njihovog rastvaranja se izdvaja i taloži kao nerastvorni ostatak.

C - **Rastresiti matični supstrat** izmenjen, bez znakova pedogeneze.

R - **Čvrsta stena**

G - **Glejni horizont** nastaje delovanjem podzemnih voda u kontinuitetu ili periodično, sa vidnim tragovima redukcije i sekundarne oksidacije (talozi jedinjenja gvožđa, mangana, vivijanita).

Gso - nastaje pri naizmeničnim redupcionim i oksidacionim uslovima u sloju gde podzemna voda osciluje, odlikuje se izraženim rđastim mazotinama.

Gr - nastaje u uslovima permanentne redukcije kao posledica kontinuirane stagnacije podzemnih voda, odlikuje se plavičasto-sivkasto-zelenkastom bojom.

g - **Pseudoglejni horizont** se stvara u uslovima povremene stagnacije površinskih voda, karakteriše se mramoriranošću – rđastim i beličasto-sivim talozima u vidu pega.

T - **Tresetni horizont** formira se u anaerobnim uslovima, čine ga nerazloženi ili slabo razloženi ostaci organske materije.

P - **Antropogeni horizont** stvoren pod uticajem čoveka, mešanjem dva ili više prirodnih horizonata obradom, obogaćen organskim i mineralnim đubrivima.

Postoje i drugi simboli koji se dodaju u indeksu da bi se okarakterisala pojava specifičnih materija ili pojava u datom horizontu koje se mogu javiti u više različitih horizonata.

ca - akumulacija kalcijum karbonata,

sa - akumulacija lako rastvorljivih soli, izuzev gipsa,

cs - akumulacija gipsa,

na - povišen sadržaj  $\text{Na}^+$  jona u adsorptivnom kompleksu,

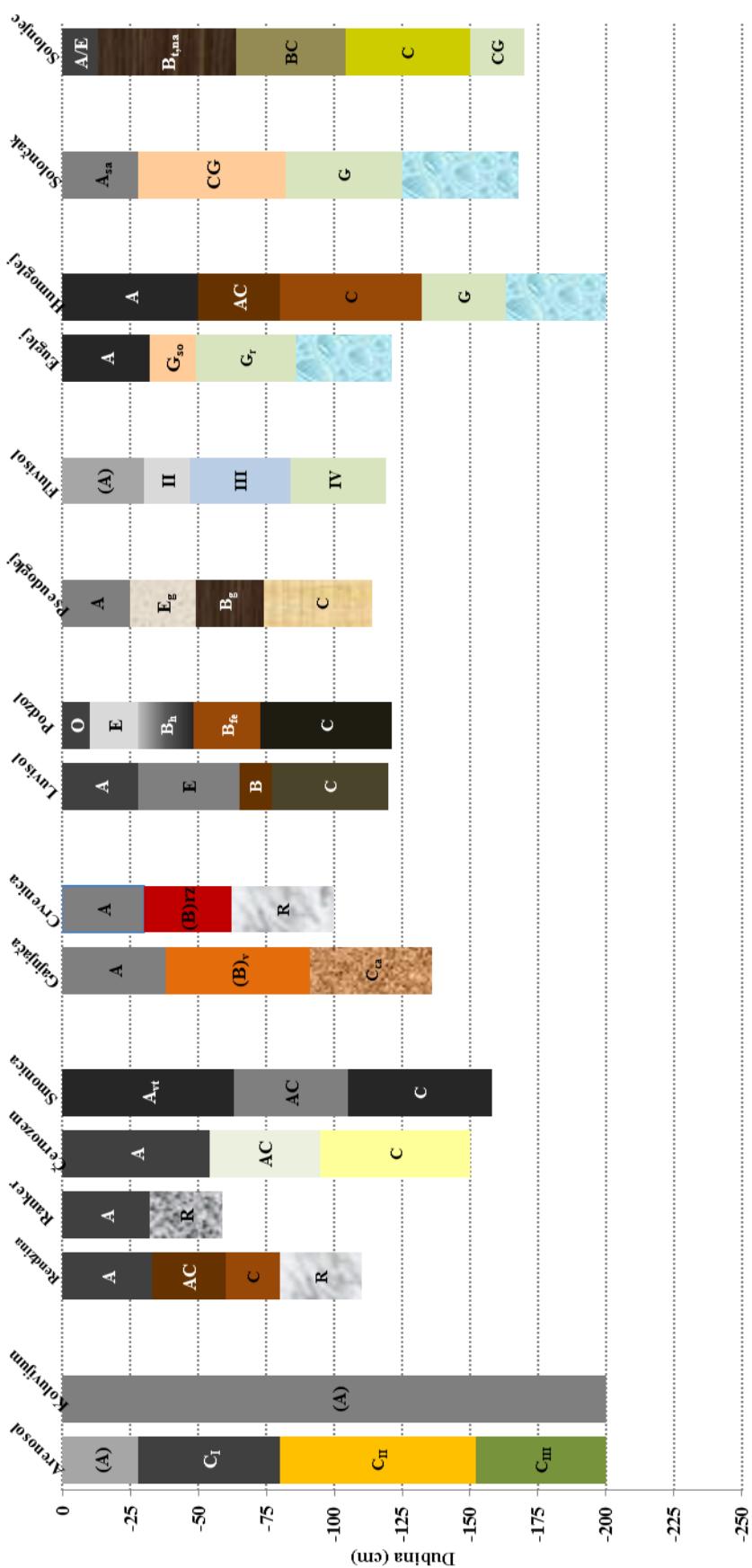
cn - akumulacija konkrecija obogaćenih seskvioksidima i manganom,

m - jaka cementacija horizonta,

b - fosilni horizont,

vt - vertičnost (pojava pukotina i kliznih ravni kod jako glinovitih zemljišta).

Horizonti u kojima se odvijaju istovremeno dva različita pedogenetska procesa su složeni ili mešoviti horizonti i obeležavaju se sa dve oznake (na primer A/E ili A/G i slično). Prelazni horizonti obeležavaju se oznakama za dva susedna horizonta (na primer AC).



Slika 17. Grada profila nekih tipova zemljišta.



*Slika 18. Pedološki profili: a) Arenosol; b) Fluvosol; c) Černozem; d) Solonjec; e) Humogley; f) Fluvisol; g) Eutrični kambrisol; h) Eugej*

### **3. FIZIČKA I VODNO-FIZIČKA SVOJSTVA ZEMLJIŠTA**

#### **3.1. Mehanički sastav**

##### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Mehanički (teksturni, granulometrijski) sastav je ključni parametar u proučavanju geneze, evolucije, svojstava, sistematike zemljišta. U procesima pedogeneze pod dejstvom fizičkog, hemijskog, fizičko-hemijskog i biološkog raspadanja i razlaganja matičnog supstrata stvaraju se mehanički elementi (primarne čestice). Mehanički elementi su elementarne (primarne) čestice zemljišta različitih veličina koje se pod dejstvom blagih sila (pod prstom ili mlazom vode) ne mogu deliti odnosno usitnjavati. Procentualna zastupljenost mehaničkih elemenata različitih dimenzija naziva se mehanički sastav zemljišta. Sa agronomskog stanovišta najbolja zemljišta imaju odnos frakcija pesak-prah-glina 35-40% - 35-40% - 20-30%. U procesima povezivanja primarnih čestica - mehaničkih elemenata (pesak, prah i glina) stvaraju se krupnije sekundarne česice - mikro i makro strukturni agregati.

*Frakcije skeleta (kamena i šljunka)* su nastale kao posledica fizičkog raspadanja i sastoje se iz fragmenata stena i minerala (nezaobljenih i zaobljenih oblika). U fizičko-hemijskom pogledu to je inertna frakcija, koja omogućava ekstremnu propustljivost za vodu i praktično nema sposobnost zadržavanja vode. Najviše je zastupljen u brdsko-planinskim zemljištima.

Prema Gračaninu, čestice skeleta se dele na:

- čestice kamena:

krupne	>20 cm
srednje	5-20 cm
sitne	2-5 cm

- čestice šljunka :

krupne	1- 2 cm
srednje	0,5- 1 cm
sitne	0,2-0,5 cm

Frakcije sitne zemlje:

*Frakcija peska* nastaje fizičkim raspadanjem stena i minerala ima malu aktivnu površinu i prvenstveno utiče na aeraciju, kretanje vode, poboljšanje teksture i termodinamička svojstva. Pesak nema sposobnost kapilarnog uspona vode u zemljištu.

*Frakcija praha* takođe nastaje fizičkim raspadanjem i ima znatno veću aktivnu površinu od peska, a takođe poseduje sposobnost da kapilarno podiže vodu.

*Frakcija gline* nastaje sintezom iz produkata hemijskog raspadanja primarnih alumosilikata ili je nasleđena iz matičnog supstrata, koloidne je prirode i ima ogromnu specifičnu površinu sa kojom su povezana sva bitna svojstva zemljišta. Sa povećanjem sadržaja frakcije gline povećava se i udio kapilarnih pora i visina kapilarnog uspona vode u zemljištu. Mehanički sastav ima veliki uticaj i na druga fizička, vodno-fizička, fizičko-mehanička, hemijska, biološka i ekološko-proizvodna svojstva zemljišta. Od mehaničkog sastava zavise vodni, vazdušni, topotni i hranidbeni režim zemljišta. Od mehaničkog sastava zemljišta zavisi izbor mehanizacije za njegovu obradu, a takođe od njega zavisi način korišćenja zemljišta.

U našoj zemlji uglavnom je zastupljena Klasifikacija mehaničkih elemenata po Atterberg-u, koja je prihvaćena i od strane Međunarodnog društva za proučavanje zemljišta (International Society of Soil Science - ISSS).

**Tabela 1.** Klasifikacija mehaničkih elemenata po Atterberg-u.

Veličina čestice	
<i>Skelet</i>	
Kamen	>20 mm
Šljunak	20-2 mm
<i>Sitna zemlja</i>	
Krupan pesak	2-0,2 mm
Sitan pesak	0,2-0,02 mm
Prah	0,02-0,002 mm
Gлина	<0,002 mm
Koloidna glina	<0,0002 mm ili <0,0005 mm

Za određivanje mehaničkog sastava zemljišta koriste se različite metode: frakcionisanje pomoću serije sita (za skelet i krupnije frakcije); pipet metoda (sedimentacija u mirnoj vodi); metoda elutracije (sedimentacija u tekućoj vodi); metoda pomoću ultracentrifuge (za razdvajanje najsitnijih frakcija).

### Određivanje skeleta u zemljištu

Kod skeletnih zemljišta primenjuje se metod prosejavanja kroz seriju sita. Prvo se izdvoje frakcije kamena i šljunka od frakcija sitne zemlje. Frakcija kamena se izdvaja na situ sa otvorom od 20 mm, a šljunak na situ sa otvorom od 2 mm. Sitna zemlja koju čine frakcije (krupnog i sitnog peska, praha i gline) prolazi kroz sito otvora od 2 mm.

Frakcije skeleta (kamen i šljunak) obično se odrede u polju pošto je neophodno prosejavanje uzorka od nekoliko kilograma. Sa krupnijih frakcija skeleta se odstranjuje sitna zemlja, šljunak koji je ostao na situ ispira se vodom od slepljenih sitnijih čestica. Izdvojene frakcije skeleta se suše i meri njihova masa. Sadržaj frakcija skeleta se izražava u % u odnosu na apsolutno suvo zemljište.

### Određivanje frakcije sitne zemlje

#### *Kombinovana metoda za određivanje frakcije sitne zemlje*

Ova metoda se često koristi u našoj zemlji, a podrazumeva kombinaciju metode prosejavanja zemljišta pomoću sita i pipet metode. Kombinovana metoda služi za razdvajanje frakcija sitne zemlje.

#### *Princip metode*

Metoda se bazira na različitoj brzini padanja čestica u tečnosti što je moguće izračunati Stockes-ovom formulom. Ova formula je izvedena iz zakona hidrodinamike o

brzini kretanja čestica loptastog oblika u ujednačenoj sredini pod uticajem konstantne sile:

$$v = \frac{g r^2 (\rho_z - \rho_v)}{\eta}$$

$v$  - brzina sedimentacije čestica ( $\text{cm s}^{-1}$ ),

r - radijus čestica (cm),

$\rho_z$  - prava specifična masa (gustina) čestica zemljišta (disperzne faze)  $\sim 2,65 \text{ g cm}^{-3}$ ,

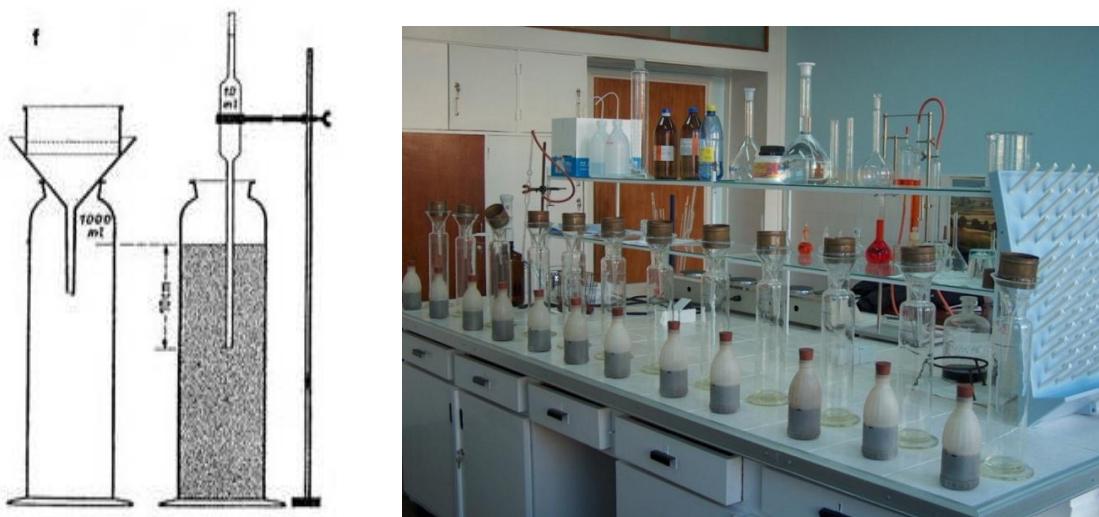
$\rho_v$  - specifična masa (gustina) vode (disperzne sredine). Pri  $20^\circ\text{C}$  iznosi  $\sim 1 \text{ g cm}^{-3}$ , a menja se sa dodatkom peptizatora,

$\eta$  - viskozitet vode, na  $20^\circ\text{C}$  iznosi 0,01 paisa. Naglo se menja pod uticajem promene temperature.

U cilju ostvarivanja peptizacije mehaničkih elemenata uzorak zemljišta se tretira natrijum-pirofosfatom.

### Postupak metode

Odmeri se  $10 \text{ g}$  vazdušno suvog zemljišta prosejanog kroz sito otvora  $2 \text{ mm}$ . Odmereni uzorak se stavlja u plastičnu bocu za mućkanje, prelije sa  $25 \text{ cm}^3$   $0,1 \text{ M}$  rastvorom Na-pirofosfata i  $225 \text{ cm}^3$  destilovane vode, potom promeša i ostavi da stoji 24 sata. Sledеćeg dana se suspenzija mučka 1 h na rotacionoj mučkalici i zatim se prenosi preko sita sa otvorom od  $0,2 \text{ mm}$  (masa praznog sita je poznata). U slučaju da se određuje i frakcija sitnog peska od  $0,2$  do  $0,05 \text{ mm}$ , suspenzija se prenosi preko dva sita koja se postave jedno iznad drugog. Preko sita suspenzija se prenosi u cilindar za sedimentaciju i dopuni se destilovanom vodom do oznake  $1000 \text{ cm}^3$ . Sito sa frakcijom peska se suši u sušnici na temperaturi od  $105^\circ\text{C}$  do konstantne mase, tj. dok ne ispari sva voda i potom izmeri na tehničkoj vagi. Cilindar se energično ručno mučka 1 min i ostavi se da miruje.



Slika 18. Pribor za određivanje mehaničkog sastava zemljišta i pripremljeni uzorci za analizu

Prvo pipetiranje – pomoću trbušaste pipete zapremine od  $10 \text{ cm}^3$  se uzima suspenzija sa dubine od  $10 \text{ cm}$ , nakon isteka vremena od  $4' 48''$ . Za to vreme sve čestice sitnog peska „pređu put” od  $10 \text{ cm}$  tako da nakon isteka ovog vremena u prostoru cilindra

od površine do 10 cm dubine ostaju samo najsitnije čestice frakcije praha i gline. Uzeta suspenzija se prenosi u staklenu posudu za uparavanje i stavlja na rešo za uparavanje, a zatim u sušnicu. Suši se do konstantne mase na temperaturi od 105°C. Posle sušenja staklena posudica (sa frakcijama praha i gline) se stavlja u eksikator. Nakon hlađenja izmeri se masa posudice sa frakcijom praha i gline i od te mase se oduzima masa prazne posudice. Ovim postupkom se utvrđuje zajedno masa praha i gline, koja potiče iz 10 cm<sup>3</sup> otpipetirane suspenzije.

*Drugo pipetiranje* – čestice praha (0,02-0,002mm), prema Štoksovoj formuli o brzini taloženja čestica u mirnoj vodi, “pređu put“ od 10 cm za 8 sati. Tako da nakon isteka ovog vremena u prostoru suspenzije od površine do 10 cm dubine se nalaze samo najsitnije čestice frakcije gline koje imaju majmanju brzinu taloženja. Postupak drugog pipetiranja je isti kao kod prvog pipetiranja, sa dubine od 10 cm se uzima 10 cm<sup>3</sup> suspenzije koja se suši meri i određuje ideo frakcije gline.

### **Izračunavanje rezultata**

Masa čestica krupnog peska se izračunava iz razlike mase sita sa krupnim peskom nakon sušenja i mase praznog sita. Procentualna zastupljenost frakcije krupnog peska (KP) se računa na osnovu ukupne, početne mase uzorka (10 g = 100%) prema proporciji:

$$10 \text{ g} : m_{\text{KP}} = 100 : \text{KP\%}$$

$m_{\text{KP}}$  - masa frakcije krupnog peska.

Masa čestica manjih od 0,02 mm (prah i glina) se izračunava iz razlike mase posudice sa prahom i glinom i mase prazne posudice. Frakcije koje su izdvojene postupkom pipetiranja treba obračunati na osnovu početne koncentracije suspenzije u 10 cm<sup>3</sup>. Na primer kada se pipetom uzima 10 cm<sup>3</sup> suspenzije, dok je masa uzorka od 10 g sitne zemlje u 1000 cm<sup>3</sup>, početna koncentracija iznosi 0,1 g. Procentualna zastupljenost čestica praha i gline (PG) se tada praktično izračunava prema proporciji:

$$0,1 \text{ g} : (m_{\text{PG}} - 0,0032 \text{ g}) = 100 : \text{PG\%}$$

$m_{\text{PG}}$  - masa frakcija praha + gline.

Masa čestica <0,002 mm (gлина) se izračunava iz razlike mase razlike mase posudice sa glinom i mase prazne posudice. Procentualna zastupljenost čestica gline (G) se praktično izračunava prema proporciji:

$$0,1 \text{ g} : (m_{\text{G}} - 0,0032 \text{ g}) = 100 : \text{G\%}$$

$m_{\text{G}}$  - masa frakcije gline.

Procentualna zastupljenost frakcije praha (P) (0,02-0,002 mm) se dobija iz razlike utvrđenih vrednosti prvog i drugog pipetiranja tj. iz razlike procentualnog udela praha i gline.

$$\text{P \%} = \text{PG\%} - \text{G\%}$$

Procentualna zastupljenost frakcije sitnog peska (SP) (0,2-0,02 mm) dobija se računski, odnosno oduzimanjem zbira sve tri određene frakcije od 100%.

$$\text{SP\%} = 100\% - (\text{KP\%} + \text{P\%} + \text{G\%})$$

***Primer***

Masa sita sa krupnim peskom = 50,0 g

Masa praznog sita = 49,5 g

Masa posudice sa prahom i glinom = 20,9873 g

Masa prazne posudice = 20,9212 g

Masa posudice sa glinom = 20,9545 g

Masa prazne posudice = 20,9313 g

$$KP\% = m_{KP} \cdot 100 / 10 \text{ g}$$

$$KP\% = 0,5g \cdot 100 / 10 \text{ g} = 5\%$$

$$PG\% = (m_{PG} - 0,0032 \text{ g}) \cdot 100 / 0,1 \text{ g}$$

$$PG\% = (0,0661 \text{ g} - 0,0032 \text{ g}) \cdot 100 / 0,1 \text{ g} = 62,9\%$$

$$G\% = (m_G - 0,0032 \text{ g}) \cdot 100 / 0,1 \text{ g}$$

$$G\% = (0,0232g - 0,0032 \text{ g}) \cdot 100 / 0,1 \text{ g} = 20,0\%$$

$$P\% = PG\% - G\% = 62,9\% - 20,0\% = 42,9\%$$

$$SP\% = 100\% - (KP\% + P\% + G\%) = 100\% - (5\% + 42,9\% + 20,0\%) = 22,1\%$$

## Klasifikacija

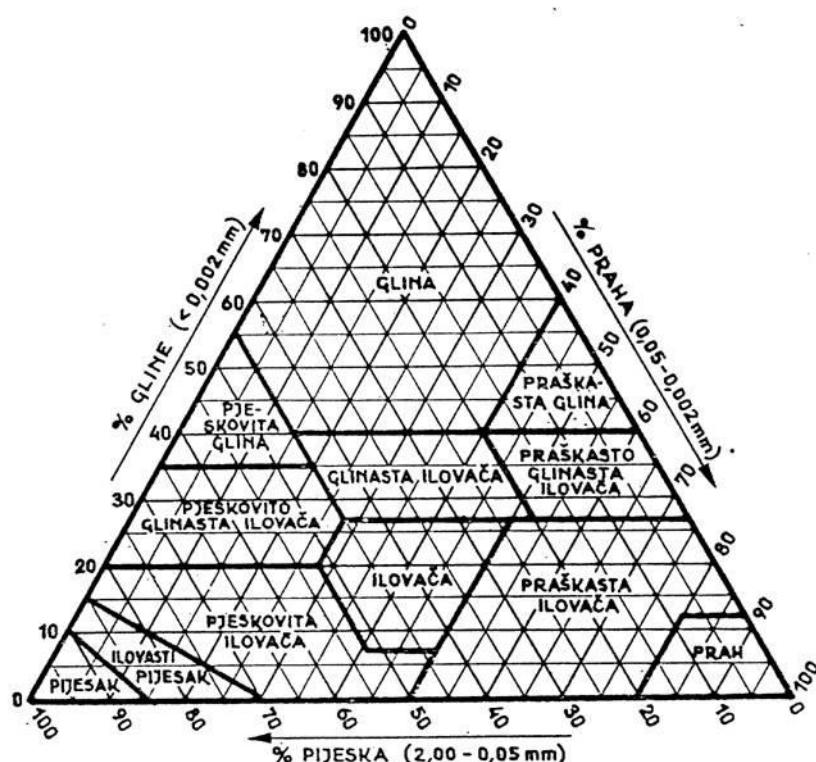
**Tabela 2. KLASIFIKACIJA ZEMLJIŠTA PO MEHANIČKOM SASTAVU PREMA TOMMERUP-u**

Grupa	Vrsta zemljišta prema mehaničkom sastavu	%					
		glina <2 µ	prah <20 µ	glina + prah <20 µ	pesak ukupno 20-200 µ	pesak	
					sitni 20-200 µm	krupni 200-2000 µm	
I.	1.Ilovasti krupni pesak			<15	>85	<40	>45
	2.Ilovasti sitni pesak			<15	>85	>40	<40
	3. Krupno peskovita ilovača	<15		15-35	65-85		>45
	4. Sitnopeskovita ilovača		<45	15-35	65-85	>40	
	5.Ilovača		<45	>35	<65		
	6.Prašasta ilovača		>45				
II.	7.Peskovito-glinovita ilovača		<20	<45	>55		
	8.Glinovita ilovača	15-25	<45	>35	<65		
	9.Prašasta glinovita ilovača		>45	>60	<45		
III.	10.Peskovita glina		<20	<45	>55		
	11.Ilovasta glina	25-45	<45	>45	>55		
	12.Prašasta glina		>45	>70	<30		
IV.	13.Teška glina		>45				

**Tabela 3. Klasifikacija skeletnih zemljišta prema Gračaninu.**

- <i>Skeletna zemljišta</i>	% čestica skeleta
- absolutno skeletna	> 90
- jako skeletna	70- 90
- skeletna	50-70
<b>Skeletoidna zemljišta</b>	
- jako skeletoidna	30-50
- skeletoidna	10- 30
- slabo skeletoidna	<10

Na osnovu procentualne zastupljenosti mehaničkih elemenata možemo svrstati zemljište u određenu teksturnu klasu prema Američkoj klasifikaciji osnovnih klasa prema teksturi.



Slika 19. Američka klasifikacija osnovnih klasa prema teksturi.

### 3.2. Prava specifična masa

#### Osnovni pojmovi i značaj

Prava specifična masa zemljišta predstavlja masu apsolutno suve čvrste faze zemljišta u jedinici zapremine, bez pora. Prava specifična masa zemljišta zavisi od mineraloškog sastava i sadržaja humusa. U zemljištima mineralnog karaktera njenu osnovnu masu čine kvarc, feldspati, liskuni i minerali glina čija prava specifična masa varira uglavnom od  $1,70$  do  $2,90 \text{ g cm}^{-3}$ . Prava specifična masa organskih materija u zemljištu ne prelazi  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ , dok kod černozema sa  $3 - 4\%$  humusa, prava specifična masa ima vrednost oko  $2,50 \text{ g cm}^{-3}$  a kod peskovitih zemljišta oko  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ . Specifična masa prava jače humusnih zemljišta često varira od  $2,30$  do  $2,40 \text{ g cm}^{-3}$ , u organogenim (tresetnim) zemljištima uglavnom od  $1,50$  do  $2,00 \text{ g cm}^{-3}$ . Na vrednosti prave specifične mase zemljišta utiče i sadržaj organske materije u njemu, koji sa dubinom po pravilu opada. Prava specifična masa zemljišta varira u veoma uskim granicama i gotovo da nije podložna promenama u vremenu i po pravilu se vrednosti se povećavaju idući od površinskog humusnog horizonta ka dubljim horizontima u kojima su veće vrednosti zbog manjeg sadržaja organske materije.

### **Postupak metode**

U piknometar zapremine 50 cm<sup>3</sup> sipa se 20 g absolutno suvog zemljišta i zatim se iz birete napunjene sa 50 cm<sup>3</sup> ksilola uz povremeno treskanje piknometra, polako pušta ksilol do marke koja označava zapreminu od 50 cm<sup>3</sup>. Na bireti se očita koliko je cm<sup>3</sup> ksilola stalo u piknometar. Preostala zapremina ksilola odgovara zapremini koju zauzima 20 g zemljišta.



*Slika 20. Vage za merenje uzorka.*

### **Izračunavanje rezultata**

Izračunavanje specifične mase izvodi se na sledeći način:

$$SM_p = M_z / V_z$$

M<sub>z</sub> – masa zemljišta u (g)

V<sub>z</sub> – zapremina zemljišta (cm<sup>3</sup>)

### **Primer**

Izračunati pravu specifičnu masu zemljišta ako je utrošak ksilola očitan na bireti 42,8 cm<sup>3</sup>, a uzeta odvaga zemljišta 20 g.

$$M\text{-zemljišta} = 20\text{g}$$

$$V\text{-birete} = 50\text{ cm}^3$$

$$V\text{-ksilola} = 42,8\text{ cm}^3$$

---

$$V_z = V_{ksi.} - V_{bir.} = 50\text{ cm}^3 - 42,8\text{ cm}^3 = 7,2\text{ cm}^3$$
$$SM_p = m_z/V_z = 20\text{ g} / 7,2\text{ cm}^3 = 2,78\text{ g cm}^{-3}$$

### **3.3. Zapreminska specifična masa**

#### **Osnovni pojmovi i značaj**

Zapreminska specifična masa predstavlja masu absolutno suvog zemljišta u prirodnom, nenarušenom stanju (sa porama) u jedinici zapremine. Praktični značaj zapreminske specifične mase je velik jer se njene vrednosti koriste za procenu stepena sabijenosti zemljišta i za izračunavanje ukupne poroznosti zemljišta, sadržaja vode u

zemljištu i zalinih normi. Takođe, određivanje momentalne vlage, sadržaja humusa, soli, hranljivih elemenata i količine potrebnih meliorativnih sredstava i đubriva u zemljištu ima smisla samo kroz obračun na osnovu vrednosti zapreminske mase zemljišta. Zapreminska masa je jedan od najvažnijih pokazatelja stepena sabijenosti zemljišta, a takođe je važan ekološki pokazatelj i ukazuje na karakteristike plodnosti zemljišta.

Zapreminska masa zemljišta nije konstantna veličina podložna je promenama koje su naročito izražene u oraničnom sloju. Nakon svake primene agrotehničke mere, menjaju se i vrednosti zapreminske mase zemljišta. Zbog toga se ona više puta određuje u toku godine kako bi se doneli pravilni zaključci o uticaju pojedinih agrotehničkih mera na promenu njenih vrednosti. Po pravilu najniže vrednosti su neposredno nakon osnovne obrade zemljišta. U toku vegetacionog perioda se povećavaju pod uticajem atmosferskih taloga i sleganja zemljišta. Najveće vrednosti zapreminske mase su na kraju vegetacionog perioda. Vrednosti zapreminske mase ukazuju na sabijenosti zemljišta, veće vrednosti su kod sabijenijeg zemljišta, a niže vrednosti su pokazatelj manje sabijenosti zemljišta.

### ***Postupak metode***

Uzorci zemljišta u prirodno-nenarušenom stanju uzeti cilindrima po Kopeckom zapremine  $100 \text{ cm}^3$  se suše u sušnici do konstantne mase. Nakon sušenja, uzorci zajedno sa cilindrima se mere i nakon oduzimanja mase praznog cilindra dobije se masa suve zemlje koja kada se podeli sa zapreminom cilindra ( $100 \text{ cm}^3$ ) dobije se zapreminska masa zemljišta. Po pravilu zapreminska masa zemljišta se određuje u najmanje tri ponavljanja (tri cilindra) i izračunava se srednja vrednost za svaki horizont.

### ***Izračunavanje rezultata***

Izračunavanje specifične mase zapreminske izvodi se na sledeći način:

$$SM_z = m_z / V_z$$

$m_z$  – masa zemljišta u prirodno-nenarušenom stanju (g)

$V_z$  – zapremina zemljišta u prirodno-nenarušenom stanju ( $\text{cm}^3$ )

### ***Primer***

Izračunati zapreminsку specifičnu masu zemljišta ako je nakon sušenja do konstantne mase masa uzorka zemljišta uzetog cilindrom po Kopeckom u prirodno-nenarušenom stanju 147g.

$$\begin{aligned} M\text{-zemljišta} &= 147 \text{ g} \\ V\text{-cilindra} &= 100 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

---

$$SM_z = M_z/V_z = 147 \text{ g} / 100 \text{ cm}^3 = 1,47 \text{ g cm}^{-3}$$

## **Klasifikacija**

**Tabela 4.** Podela zemljišta u odnosu na vrednosti zapreminske mase (prema Kačinskom)

Vrednosti zapreminske mase zemljišta g cm <sup>-3</sup>	Zemljište
<1	zemljište bogato organskom materijom
1,0-1,1	tipične vrednosti oraničnog sloja (neposredno nakon oranja)
1,1-1,3	malo sabijena ornica
1,3-1,4	jače sabijena ornica
1,4-1,6	tipične vrednosti za podoranični sloj kod većine zemljišta
1,6-1,8	jako sabijen iluvijalni horizont

## **3.4. Gustina pakovanja**

### **Osnovni pojmovi i značaj**

Sabijenost zemljišta se može oceniti i na osnovu vrednosti gustine pakovanja čestica. Gustina pakovanja čestica zavisi od sadržaja frakcije gline i zapreminske mase zemljišta, oblika čestica, sile kohezije među njima, uticaja agrotehnike pri višekratnim prohodima itd. Glinovita zemljišta imaju veću gustinu pakovanja od peskovitih i ilovastih. Veće vrednosti gustine pakovanja ukazuju na veću sabijenost zemljišta.

### **Izračunavanje rezultata**

Gustina pakovanja se izračunava iz vrednosti zapreminske specifične mase i sadržaja gline:

$$GP = SMz + 0,009 \cdot \% \text{ gline}$$

### **Primer**

Izračunati gustinu pakovanja zemljišta ako je zapreminska masa uzorka zemljišta  $1,57 \text{ g cm}^{-3}$ , a sadržaj gline u njemu 24 %.

$$\begin{aligned} SMz &= 1,57 \text{ g cm}^{-3} \\ \text{gлина} &= 24\% \end{aligned}$$

$$GP = SMz + 0,009 \cdot \% \text{ gline} = 1,57 + 0,009 \cdot 24 = 1,79 \text{ g cm}^{-3}$$

## **Klasifikacija**

Podela zemljišta prema vrednostima gustine pakovanja čestica:

- <  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  - slabo zbijeno zemljište
- $1,40 - 1,75 \text{ g cm}^{-3}$  - srednje zbijeno zemljište
- >  $1,75 \text{ g cm}^{-3}$  - jako zbijeno zemljište

### **3.5. Ukupna poroznost**

#### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Ukupna poroznost predstavlja zbir svih pora u zemljištu. Vrednost ukupne poroznosti nekog zemljišta uslovljena je pre svega mehaničkim i agregatnim sastavom, zatim načinom „pakovanja“ mehaničkih elemenata i strukturnih agregata, stepenom zbijenosti, delovanjem korena biljaka i zemljišne faune. Poroznost je od velikog značaja za plodnost zemljišta, jer su u porama smeštene tečna i gasovita faza zemljišta, kao i pedofauna.

#### ***Izračunavanje rezultata***

Kada su poznate vrednosti prave i zapreminske specifične mase može se izračunati ukupna poroznost prema sledećoj formuli:

$$UP = (SM_p - SM_z) \cdot 100 / SM_p$$

#### ***Primer***

Ako vrednost prave specifične mase zemljišta iznosi  $2,63 \text{ g cm}^{-3}$ , a zapreminske specifične mase  $1,38 \text{ g cm}^{-3}$ , koliko iznosi vrednost ukupne poroznosti zemljišta.

$$SM_p = 2,63 \text{ g cm}^{-3}$$

$$SM_z = 1,38 \text{ g cm}^{-3}$$

---

$$UP = (2,63 \text{ g cm}^{-3} - 1,38 \text{ g cm}^{-3}) / 2,63 \text{ g cm}^{-3} = 47,53 \%$$

#### ***Klasifikacija***

S obzirom na promenljivost ukupne poroznosti, sva mineralna zemljišta podeljena su u sledeće klase (Miljković, 1996):

- |   |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| - | vrlo slabo porozna | manje od 30% vol. |
| - | slabo porozna      | od 30 do 45% vol. |
| - | porozna            | od 45 do 60% vol. |
| - | vrlo porozna       | više od 60% vol.  |

### **3.6. Kapacitet za vazduh**

#### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Vazduh igra značajnu ulogu u pedogenetskim procesima i plodnosti zemljišta. Kapacitet zemljišta za vazduh predstavlja deo ukupne poroznosti zemljišta koji je ispunjen vazduhom pri stanju vlažnosti poljskog vodnog kapaciteta. Dakle, za vazdušni režim od značaja su nekapilarne pore ( $>10\mu\text{m}$ ) iz kojih voda gravitaciono otiče. Veličina kapaciteta za vazduh zavisi od mehaničkog sastava, stepena sabijenosti, strukture, količine pojedinih kategorija pora, režima vlaženja zemljišta kao i od čovekove aktivnosti.

### **Izračunavanje rezultata**

Vazdušni kapacitet se izražava u volumnim procentima i izračunava se na sledeći način:

$$VK = UP - PVK$$

#### **Primer**

Izračunati kapacitet za vazduh zemljišta čija je vrednost ukupne poroznosti 58,52% vol., a vrednost PVK 47,31% vol. zemljišta ako je nakon sušenja do konstantne mase masa uzorka zemljišta uzetog cilindrom po Kopeckom u prirodno-nenarušenom stanju 147 g.

$$UP = 58,52\%$$

$$PVK = 47,31\%$$

---

$$VK = UP - PVK = 58,52\% - 47,31\% = 11,21\%$$

#### **Klasifikacija**

*Kapacitet za vazduh u zemljištu može biti:*

veoma nizak	<5%
nizak	5-10%
srednji	10-20%
visok	20-40%
veoma visok	>40%

Prema Kopecky-om zemljiše koje ima vazdušni kapacitet manji od 10% nije pogodno za razvoj korenovog sistema.

### **3.7. Struktura**

#### **Osnovni pojmovi i značaj**

Primarne zemljišne čestice se u prirodnim uslovima ne nalaze pojedinačno, već stupaju u uzajamne odnose, izgrađujući sekundarne čestice. Prostorni raspored i uzajamni odnos primarnih i sekundarnih čestica predstavlja strukturu zemljišta. Od prostornog rasporeda čestica zavisi izgradnja porognog sistema zemljišta, a stabilnost tog sistema i njegova fizičko-mehanička svojstva najviše su zavisna od vode i vazduha, koji ispunjavaju pore i nalazi se u interakciji sa čvrstom fazom. Stabilnost strukturnih agregata je njihova sposobnost da se odupru razarajućem uticaju vode i drugih mehaničkih sila. Izgrađivanje strukturnih agregata je dinamičan proces jer se oni neprekidno stvaraju i razaraju, a ono zavisi prvenstveno od sadržaja koloida i cementnih materija u zemljištu (seskvi-oksidi, polisaharidi, poliuronidi, minerali glina, humusne materije i Ca-humati).

### **3.7.1. Suvo prosejavanje**

Distribucija agregata zemljišta je važno ekološko svojstvo, koje služi kako za procenu njegovog strukturnog stanja tako i za procenu osetljivosti zemljišta na eroziju vetrom. Strukturni agregati, prema veliči u većini klasifikacija, svrstani su u tri grupe: mikroagregati, veličine  $<0,25$  mm, makroagregati,  $0,25-10$  mm i  $>10$  mm megaagregati.

#### **Postupak metode**

Distribucija agregata zemljišta se određuje standardnim postupkom za suvo prosejavanje (Savinov, 1936). Ukratko, 500 g za vazdušno-suvog, polunarušenog uzorka se proseje automatskom treskalicom kroz seriju sita kvadratnih otvora promera 10, 5, 3, 2, 1, 0,5 i  $0,25$  mm, pa se dobija osam agregatnih klasa ( $>10$ , 10-5, 5-3, 3-2, 2-1, 1-0.5, 0.5- $0.25$  i  $<0,25$  mm).

#### **Izračunavanje rezultata**

Procenat svake agregatne klase se dobija na sledeći način:

$$f = m_f \cdot 100 / m_{uz} \quad (\%)$$

f – udeo agregatne klase (%)

$m_f$  - masa agregatne klase (g)

$m_{uz}$  - masa uzorka (g)

#### **Primer**

**Tabela 5. Primer određivanja sadržaja agregatnih klasa nakon suvog prosejavanja**

agregatna klasa (mm)	$m_f$	f
<b><math>&gt;10</math></b>	102,0	20,4
<b>10-5</b>	168,0	33,6
<b>5-3</b>	82,4	16,5
<b>3-2</b>	46,4	9,3
<b>2-1</b>	60,3	12,0
<b>1-0,5</b>	1,8	0,4
<b>0,5-0,25</b>	33,4	6,7
<b><math>&lt;25</math></b>	5,7	1,1
<b><math>\Sigma</math></b>	500,0	100,0

#### **Klasifikacija**

Za ocenu strukturnosti koristi se koeficijent strukturnosti koji se izračunava iz odnosa

$$K_s = C / B$$

- C= masa agregatne klase od  $0,25$  mm do  $10$  mm;
- B= masa agregatne klase  $<0,25$  mm i  $>10$  mm.

Za ocenu strukturnosti *Veršinin (1958)* je predložio koeficijent strukturnosti, prema kome zemljišta koja imaju vrednosti ovog koeficijenta iznad 1,5 imaju dobru strukturu, od 1,5-0,67 zadovoljavajuću, a <0,67 nezadovoljavajuću.

### 3.7.2. Stabilnost makroagregata

Stabilnost strukturnih agregata je ključni činioc plodnosti zemljišta, koji znatno utiče i na održivost biljne proizvodnje. Zemljišta koja imaju stabilne aggregate imaju i dobru otpornost na eroziju vodom i vetrom i ispiranje hranljivih materija, što predstavlja dobru osnovu za sprečavanje njihove degradacije.

#### **Princip metode**

Nakon suvog prosejavanja uzima se uzorak zemljišta mase 50 g, koji se koristi u postupku mokrog prosejavanja. Od svake frakcije se uzima određena masa u odnosu na procentualnu zastupljenost u uzorku uz napomenu da se agregati  $<0.25$  mm ne koriste u analizi.

#### **Postupak metode**

Svaki pojedinačni uzorak se stavlja u posebnu kolbu gde se vrši postepeno vlaženje dodavanjem vode po zidu kolbe kako bi se uzorak navlažio kapilarno da ne dođe do raspadanja agregata. Posle 10 minuta potrebno je potopiti uzorak zemljišta, zatvoriti gumenim čepom kolbu i okrenuti dnom naviše da se agregati spuste kroz vodu, a zatim vratiti u prvobitni položaj dok agregati ne padnu ponovo na dno. To se ponovi deset puta. Sadržaj kolbe se potom izruči na seriju sita koje se nalaze u vodi u širokoj i dubokoj posudi. Mokro prosejavanje se izvodi pomoću aparata na električni pogon u 10 hodova, pri čemu je hod sita 3-4 cm. Nakon završetka prosejavanja agregati zaostali na situ se suše na  $105^{\circ}\text{C}$  do konstantne mase.



*Slika 21. Aparatura za suvo i mokro prosejavanje*

## Izračunavanje rezultata

Nakon sušenja izmeri se masa svake frakcije agregata i obračunava stabilnost svake frakcije posebno.

$$s = m_{f>0,25} \cdot 100 / m_{uz} (\%)$$

s – stabilnost frakcije struktturnih agregata (%)

$m_{f>0,25}$  - masa agregatne klase  $>0,25$  mm utvrđena mokrim prosejavanjem (g)

$m_{uz}$  – ukupna masa uzorka za mokro prosejavanje (g)

### Primer

**Tabela 6.** Primer određivanja sadržaja agregatnih klasa nakon mokrog prosejavanja.

agregatna klasa (mm)	Uzorak za mokro prosejavanje (masa agregatne klase (g) dobijena suvim prosejavanjem podeljena sa 2)	masa agregatne klase
>10	10,2	-
10-5	16,8	-
5-3	8,2	0,65
3-2	4,6	0,45
2-1	6,0	3,65
1-0,5	0,2	6,95
0,5-0,25	3,3	13,00
<25	-	75,30
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>49,3</b>	<b>100,0</b>

### Klasifikacija

Prema Kačinskom (cit. Šein et al., 2001) otpornost struktturnih makroagregata prema rasplinjavanju u vodi ocenjuje se na osnovu udela stabilnih makroagregata u ukupnom uzorku nakon mokrog prosejavanja.

- <10 - vodostabilnih agregata je vrlo mala stabilnost
- 10-20 nezadovoljavajuća stabilnost
- 20-30 nedovoljno zadovoljavajuća stabilnost
- 30-40 zadovoljavajuća stabilnost
- 40-60 dobra stabilnost
- 60-75 odlična stabilnost
- > 75 izuzetno visoka stabilnost

### **3.7.3. Stabilnost mikroagregata**

Pod mikroagregatima se podrazumevaju oni agregati čije su dimenzije <0,25 mm. Pored određivanja stabilnosti makroagregata za potpuniju sliku o strukturi zemljišta treba izvršiti i analizu stabilnosti mikroagregata. Mikroagregati se obrazuju uzajamnom koagulacijom suprotno nanelektrisanih koloida, kao i koagulacijom zemljišnih koloida i suprotno nanelektrisanih jona. Mikroagregati se mogu obrazovati i sekundarno-usitnjavanjem makroagregata, tj. drobljenjem makroagregata poljoprivrednim mašinama, mineralizacijom organskih materija koje slepljuju mikroaggregate u makroaggregate i depolimerizacijom i destrukcijom organskih materija koje imaju ulogu lepka u povezivanju mikroagregata u makroaggregate. Mikroagregati imaju veliki značaj za plodnost zemljišta, kao i makroagregati.

#### ***Princip metode***

Određivanje stabilnosti mikroagregata se bazira na upoređivanju sadržaja gline dobijenog analizom mehaničkog sastava i sadržaja gline dobijenog istim postupkom samo sa neprepariranim uzorkom.

#### ***Postupak metode***

Odmeri se 10 g zemljišta koje je stajalo 24 h u vodi i prenese u cilindar za sedimentaciju od 1000 ml u koji se polako doda destilovana voda do crte. Potom se cilindar mučka 1 minut i odredi sadržaj gline u suspenziji kao kod mehaničke analize.

#### ***Izračunavanje rezultata***

Stabilnost strukturnih mikroagregata se izračunava po formuli:

$$S_s = (F_p - F_{np}) / F_p \cdot 100$$

$S_s$  - indeks stabilnosti mikroagregata

$F_p$  - sadržaj čestica <0,002 mm u prepariranom uzorku (%)

$F_{np}$  - sadržaj čestica <0,002 mm u neprepariranom uzorku (%)

#### ***Primer***

Izračunati indeks stabilnosti mikroagregata ako je sadržaj gline u prepariranom uzorku 24,7%, a u neprepariranom uzorku 4,24%.

$$F_p = 24,7\%$$

$$F_{np} = 4,2\%$$

---

$$S_s = (F_p - F_{np}) / F_p \cdot 100 = 83,0\%$$

### **Klasifikacija**

Stepen stabilnosti mikroagregata se može oceniti prema sledećoj klasifikaciji:

ako je procenat stabilnih mikroagregata	>90%	vrlo stabilni,
	70-90%	stabilni,
	50-70%	dosta stabilni,
	30-50%	malo stabilni,
	20-30%	vrlo malo stabilni,
	10-20%	nestabilni i
	<10%	potpuno nestabilni.

### **3.8. Retencija vode (33 kPa, 625 kPa i 1500 kPa)**

#### *Osnovni pojmovi i značaj*

Sadržaj različitih kategorija vode u zemljištu zavisi od mehaničkog sastava, strukture, zbijenosti, hemijskih svojstava zemljišta. Tačnije, svi faktori koji mogu da promene veličinu, formu i ukupnu zapreminu pora u zemljištu ili da naruše stabilnost poroznog sistema u celini mogu da utiču na sile kojima se voda zadržava u zemljištu. Voda u zemljištu je vezana silama različitog intenziteta. Voda koja se nalazi u porama dijametra većim od 50 µm, koje se dreniraju pod uticajem gravitacije, vezana je silom (pF 0-1,77), ona koja se nalazi u porama dijametra 50-10- µm vezana je silom (pF 1,77-2,54), ona koja se nalazi u porama dijametra 10-0,2 µm vezana je silom (pF 2,54-4,2), dok je voda u porama dijametra manjeg od 0,2 µm vezana silama većim (pF 4,2). Spomenute tačke predstavljaju vodne konstante od velikog značaja za poljoprivrednu praksu i mogu se lako odrediti izlaganjem zemljišta zasićenog vodom navedenim pritiscima. Takođe, na osnovu vrednosti dobijene analizom retencije vode u zemljištu neophodne su za izračunavanje diferencijalne poroznosti.

**Tabela 7. Kategorije pora po veličini (Muckenhause, E. 1975).**

Kategorija pora	Prečnik pora (µm)	Energija kojom se voda drži u porama, pF vrednosti
Krupne grube pore (brzo drenirajuće)	>50	0-1,77
Sitne grube pore (sporo drenirajuće)	50-10	1,77-2,54
Srednje pore (zadržavaju pristupačnu vodu za biljke)	10-+0,2	2,54-4,20
Sitne –fine pore (zadržavaju nepristupačnu vodu za biljke)	<0,2	>4,20

#### **Princip metode**

Uzorci zemljišta zasićeni vodom se izlažu pritisku od -33 kPa u Porous plate priboru, pri čemu dolazi do istiskivanja vode iz njih. Kada se sva voda pri pomenutom pritisku istisne iz uzorka, u njemu zaostaje samo voda koja se drži jednakim ili većim silama od -33 kPa, čiji se sadržaj utvrđuje i obračuna u masenim procentima. Princip za određivanje retencija vlage pri pritiscima -625 i -1500 kPa je isti kao i kod utvrđivanja

retencije vode pri pritisku -33 kPa, samo što se kao komora u ovom slučaju koristi "Pressure membrane" aparat koji omogućava primenu viših pritisaka.

### ***Postupak metode***

U gumene prstenove koji su postavljeni na keramičku ploču Porous plate pribora se sipa uzorak zemljišta prosejan kroz sito od 2 mm. Na jednu ploču može da stane do 25 uzoraka. Destilovana voda se sipa na keramičku ploču da se uzorci navlaže kapilarno i ostave se da odstoje preko noći kako bi se sve pore u zemljištu ispunile vodom. Gumene cevčice koje služe za odvod vode se povežu sa metalnim cevčicama na zidu komore ispod kojih se postavi sud za sakupljanje vode. Komora se zatvara zavrtnjima i uzorci u njoj se izlažu pritisku od -33 kPa pomoću kompresora, a pritisak se kontroliše pomoću manometra. Proces istiskivanja vode traje 24-48 časova, a prekida se kada više nema kapanja vode iz metalnih cevčica. Tada se kompresor isključuje, ispusti se vazduh iz sistema, skidaju se zavrtnji i uzorci brzo prenose u staklene posudice i poklapaju poklopcem da voda ne bi isparavala. Izmeri se masa posudice sa vlažnim uzorkom zemljišta posle delovanja pritiska. Zatim se otvori posudica i uzorak zemljišta se suši na 105 °C do konstantne mase. Od mase vlažnog uzorka zemljišta se oduzima masa suvog uzorka i dobije se masa vode koja se zadržala u uzorku nakod dejstva pritiska od -33 kPa. Dobijena količina-masa vode se putem proporcije stavlja u odnos 100g suvog zemljišta i rezultat se dobije u masenim procentima. Da bi se vrednosti u masenim procentima prevele u zapreminske procente potrebno je vrednosti u masenim % po centima pomnožiti sa vrednostima zapreminske mase zemljišta.

Pri određivanju retencije vode pri pritiscima -625 kPa (6,25 bar) i -1500 kPa (15 bar) na metalnu podlošku sa sitom na donjoj ploči komore "Pressure membrane" aparata se postavlja polupropustljiva membrana a na nju gumeni (metalni) prstenovi u koje se postavljaju uzorci zemljišta. Potom se uzorci potpuno navlaže destilovanom vodom i navlaženi ostave da prenoće. Nakon toga se postavlja gornji poklopac sa gumenom dijafragmom i hermetički zatvori pomoću zavrtnjeva. Proces istiskivanja vode traje 24-48 časova i takođe se kao pri određivanju retencije pri -33 kPa prekida kada više nema kapanja vode iz aparata. Kompresor se isključi, ispusti se vazduh pod pritiskom iz sistema, skidaju se zavrtnji i uzorci takođe brzo prenose u staklene posudice i poklapaju poklopcem, pa se kasnije mere u vlažnom i apsolutno suvom stanju.



*Slika 22. Aparatura za određivanje retencije*

### **Izračunavanje rezultata**

$$m_{vod} = m_{vl} - m_{suv}$$

$m_{vod}$  - masa vode u uzorku nakon delovanja pritiska (g)

$m_{vl}$  – masa vlažnog uzorka (g)

$m_{suv}$  - masa suvog uzorka (g)

Sadržaj vode u odnosu na suvu probu:

$$\text{Ret} = \frac{m_{vod}}{m_{suv}} \cdot 100 \quad (\% \text{ mas.})$$

### **Primer**

Izračunati retenciju vlage u uzorku zemljišta pri pritisku od -33 kPa, ako je masa vlažnog uzorka 9,02 g, a masa suvog uzorka 6,77 g.

$$m_{vl} = 9,02 \text{ g}$$

$$m_{suv} = 6,77 \text{ g}$$

---


$$m_{vod} = m_{vl} - m_{suv} = 9,02 \text{ g} - 6,77 \text{ g} = 2,25 \text{ g}$$

$$\text{Ret}_{-33} = \frac{m_{vod}}{m_{suv}} \cdot 100 = \frac{2,25 \text{ g}}{6,77 \text{ g}} \cdot 100 = 33,23\%$$

### **3.9. Vodopropustljivost**

#### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Vodopropustljivost zemljišta predstavlja njegovu sposobnost da upija vodu koja dospe na njegovu površinu pod uticajem adsorpcionih i kapilarnih sila i da je potom propušta u dublje pedogenetske horizonte pod uticajem sile gravitacije i hidrostatičkog pritiska. Vodopropustljivost zavisi od poroznosti zemljišta, prisustva pukotina, glinovitijeg sloja, plužnog „đona“, hodnika zemljišne faune, mehaničkog i hemijskog sastava, strukture, zbijenosti, primenjenih agrotehničkih mera. Od veličine vodopropustljivosti zavisi površinsko i potpovršinsko oticanje, intenzitet erozije, stvaranje vodoleža, vodni režim zemljišta i obrazovanje zemljišnih horizonata.

Ova metoda je prilagođena za određivanje filtracije zemljišta u laboratorijskim uslovima sa stalnim pritiskom vodenog stuba.

Filtracija ili vodopropustljivost je vodna konstanta zemljišta, koja predstavlja sposobnost zemljišta da propušta vodu kroz svoju poroznu masu, a odvija se pod uticajem hidrostatičkog pritiska i sile gravitacije. Ustvari, to je kretanje vode kroz zemljište koje je prethodno zasićeno vodom. Definiše se koeficijentom K-Darcy-a, koji predstavlja brzinu filtracije i izražava se u cm/sec, m/čas, m/dan. Postoje brojne metode za određivanje brzine filtracije, primenom empirijskih obrazaca za obračun koeficijenta filtracije, zatim merenjem brzine filtracije u poljskim uslovima. Poznavanje filtracije ima značaj u određivanju vodnog režima zemljišta, pri odvodnjavanju i navodnjavanju, a predstavlja i jedan od pokazatelja zbijenosti zemljišta.

Propustljivost za vodu zavisi od više faktora: mehaničkog sastava zemljišta, strukture, zbijenosti zemljišta, sadržaja i sastava adsorbovanih katjona, topote i atmosferskog pritiska.

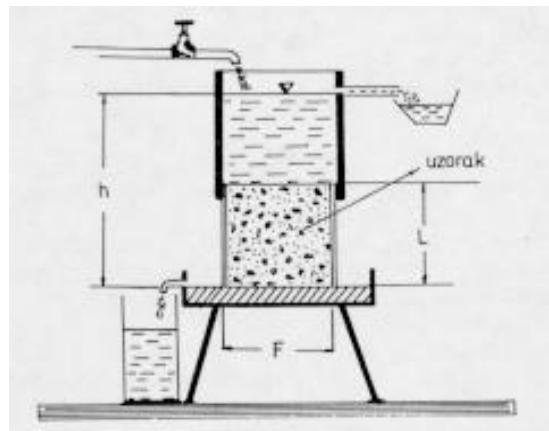
U ovom delu biće opisana laboratorijska metoda sa stalnim pritiskom vodenog stuba (Živković, 1968).

#### ***Princip metode***

Za merenje brzine filtracije u laboratorijskim uslovima koriste se uzorci zemljišta u prirodnom neporemećenom stanju, koji su uzeti pomoću cilindra po Kopecky-om, pomoću uređaja konstrukcije B. Živkoviću gde je obezbeđen stalni pritisak-visina vodenog stuba na uzorak zemljišta. Osnovno je da pribor ispunjava uslove da se voda proceduje kroz uzorak zemljišta, jer se voda u određenim vremenskim intervalima sakuplja, meri i služi za obračun brzine filtracije.

#### ***Postupak metode***

Uzorci u cilindrima se postave u uređaj. Na uređaju se reguliše priliv i odliv vode. Čim se pojave prve kapi procedene vode na izlivnoj cevčici, registruje se vreme, a zatim u određenim vremenskim intervalima meri količina procedene vode koja se sakuplja u cilindrima. Merenje traje minimalno 4 sata, kada filtracija postiže konstantnu vrednost kod većine zemljišta.



**Slika 23.** Laboratorijski uredjaj za serijsko određivanje filtracionih osobina zemljišta (konstrukcija B. Živković,) i šematski prikaz merenja filtracije aparatom sa konstantnim pritiskom (Bošnak i sar. 2012).

### Izračunavanje rezultata

Obračun brzine filtracije vrši se na sledeći način:

$$k = Q \cdot h / L \cdot F \cdot t$$

gde je:

$k$  = brzina filtracije - Darcy-jev koeficijent (cm/sec)

$Q$  = količina proceđene vode ( $\text{cm}^3$ ) u vremenu  $t$

$L$  = dužina uzorka zemljišta (cm)

$h$  = visina vodenog stuba (cm)

$F$  = površina preseka uzorka zemljišta  $r^2\pi = 15,2427 \text{ cm}^2$

Pomoću vrednosti  $K$ -filtracije izražava se vodopropustljivost (kretanje vode u zasićenom zemljištu) bez obzira kojom se metodom došlo do njih.

### Primer

$$t = 120 \text{ s}$$

$$Q = 18 \text{ cm}^3$$

$$h = 8,5 \text{ cm}$$

$$L = 4,5 \text{ cm}$$

$$F = 19,625 \text{ cm}^2$$

---


$$K = \frac{Q \cdot h}{L \cdot F \cdot t} = \frac{18 \text{ cm}^3 \cdot 8,5 \text{ cm}}{4,5 \text{ cm} \cdot 19,625 \text{ cm}^2 \cdot 120 \text{ s}} = 0,014437 \text{ cm s}^{-1} = 14,437 \cdot 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$$

## Klasifikacija

**Tabela 8.** Podela zemljišta prema vodopropustljivosti (Vukašinović, JDPZ)

$\text{K cm s}^{-1}$	zemljište
$10^{-1}$ - $10^{-2}$	vrlo jako propusno
$10^{-3}$	jako propusno
$10^{-4}$	srednje propusno
$10^{-5}$	slabo propusno
$10^{-6}$	vrlo slabo propusno
$10^{-7}$	nepropusno

Kod zemljišta ujednačenog mehaničkog sastava brzina filtracije opada sa dubinom. Kod slojevitih zemljišta brzina filtracije je različita u pojedinim slojevima u zavisnosti od mehaničkog sastava, sabijenosti zemljišta i drugih faktora. Brzinu filtracije u profilu zemljišta karakteriše sloj sa najmanjom filtracijom.

### 3.10. Određivanje kapilarnog uspona vode

#### Osnovni pojmovi i značaj

Zemljišta se odlikuju sposobnošću da kapilarnim porama podižu vodu iz dubljih slojeva ka površini. Ta je sposobnost uslovljena njihovim fizičkim i hemijskim osobinama, a ostvaruje se ascedentnim kretanjem vode kroz zemljište. Mehanizam kapilarnog kretanja nastaje pod uticajem kohezionih i athezionih privlačnih sila koje deluju između molekula vode i zidova kapilara. Kohezione sile ili sile površinskog napona tečnosti zavise od dijametra kapilara manje su u užim kapilarama i tada preovlađuju adhezione sile između molekula vode i zidova kapilara. Jače adhezione u odnosu na kohezione sile povlače molekule vode naviše sve dok se jačina kohezionih i athezionih sila ne izjednači tada prestaje kapilarni uspon vode u kapilarama zemljišta.

Kapilarnost zemljišta zavisi od više faktora: Mehaničkog sastava, strukture, prisustva i vrste rastvorljivih soli, temperature i sabijenosti zemljišta.

Od svih faktora najveći uticaj ima mehanički sastav zemljišta. Prema Atterbergu čestice  $\geq 2 \text{ mm}$  nemaju sposobnost kapilarnog uspona, dok čestice od  $0,2 \text{ mm}$  već imaju primetnu kapilarnost. Sa povećanjem stepena disperznosti – kapilarna sposobnost zemljišta naglo raste. Čestice  $< 0,002 \text{ mm}$  (glina i koloidi) pokazuju opadanje kapilarnosti usled pojačanog trenja između vode koja se penje i zidova kapilara, tako da ona može biti vrlo niska, praktično ravna nuli.

Kod kapilarnog uspona vode, u zemljištu treba razlikovati brzinu kapilarnog uspona i najveću visinu koju voda može da postigne pri takvom kretanju kroz zemljište. Kapilarno kretanje vode podvrgava se sledećim zakonitostima:

- brzina kapilarnog uspona je relativno veća ukoliko je veći prečnik pora;
- visina kapilarnog uspona je relativno veća ukoliko je manji prečnik pora.

Utvrđeno je da kod peskuša i većine zemljišta lakšeg mehaničkog sastava, voda brzo dostigne manje visine, dok kod zemljišta težeg mehaničkog sastava, kao i onih koja imaju nešto izraženiju strukturu, voda dostigne mnogo veće visine ali za duže vreme.

#### Postupak metode

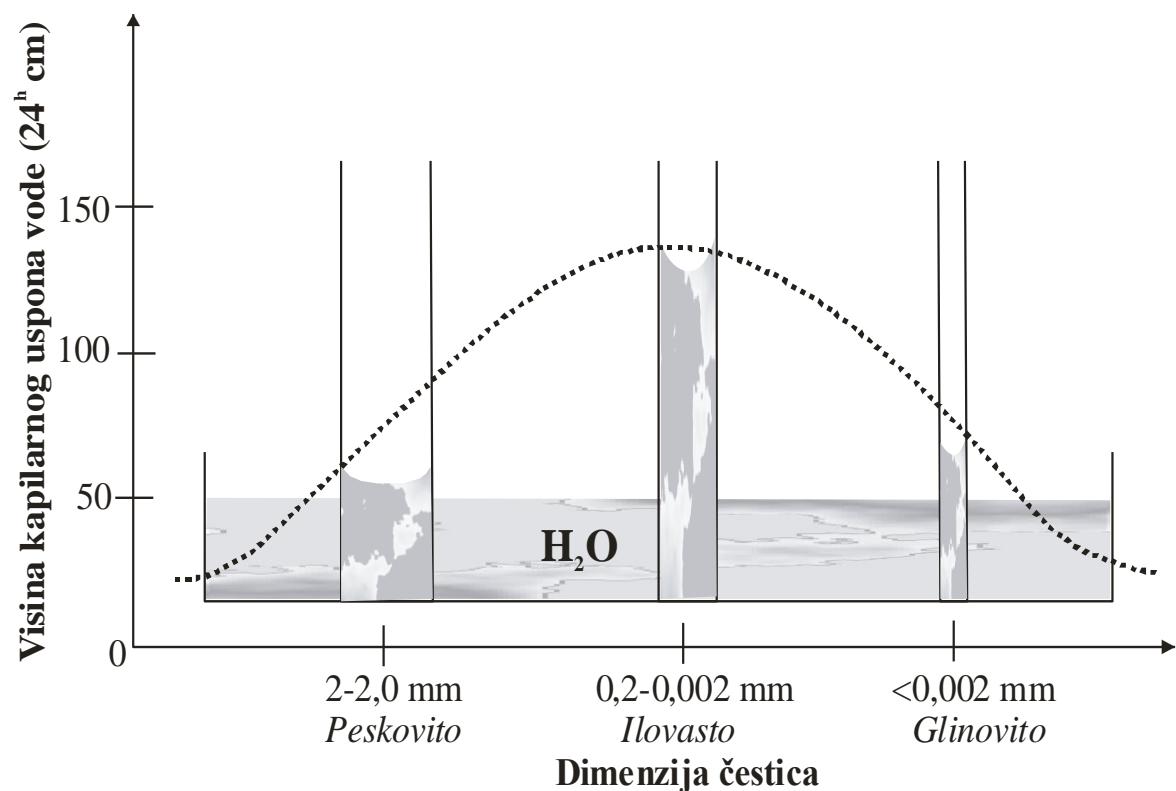
Postupak određivanja visine kapilarnog uspona je vrlo jednostavan. U seriju staklenih graduisanih cevi, dužine 80 cm i širine 2-3 cm sipa se levkom sitna zemlja.

Donji krajevi ovih cevi zavezani su metalnim mrežicama, platnom ili filter papirom. Cevi se postavljaju uspravno u drvene ramove u dnu kojih je smeštena metalna ili staklena posuda sa vodom u sloju od 0,5 cm. Nivo vode u njoj izravnat je sa 0 graduisanih cevi. Osmatranje uspona vlage u cevima vrši se obično posle 5, 20, i 100 sati. Iz vrednosti osmatranja posle 20 i 100 sati može se izračunati konačna visina kapilarnog uspona.

### Klasifikacija

Visina kapilarnog uspona se izračunava u mm i ona je kod različitih zemljišta različita:

- Arenosol (peskovito zemljište)..... 300 mm/5 sati
- Černozem (ilovasto zemljište)..... 220 mm/5 sati
- Solonjec (glinovito zemljište)..... 0-10 mm/5 sati



*Slika 24. Uticaj mehaničkog sastava zemljišta na kapilarni uspon vode prema Atteberg-u*

Prema Attebergu, čestice od 2-0,2 mm (peskovita zemljišta) imaju malu sposobnost kapilarnog uspona, 0,2-0,002 mm (ilovasta zemljišta) najveću, čestice  $< 0,002$  mm (glinovita zemljišta) zbog bubrenja minerala glina fine kapilarne pore se sužavaju i povećava se trenje između vode koja se penje i zidova kapilara što i pored visokog sadržaja kapilarnih pora smanjuje visinu kapilarnog uspona kod jako glinovitih zemljišta.

### **3.11. Rizik od stvaranja pokorice**

#### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Obrazovanje pokorice je nepoželjna pojava na oraničnim površinama. Pokorica onemogućava normalno nicanje useva i infiltraciju vode u zemljište.

#### ***Izračunavanje rezultata***

Rizik od stvaranja pokorice R (%) se računa po sledećem obrascu:

$$R = \frac{H \cdot 100}{(\text{glina} + \text{prah})}$$

gde je H sadržaj humusa u zemljištu (%), a glina + prah predstavljaju sadržaj fizičke gline u zemljištu, zbir čestica <0,02mm.

#### ***Primer***

Izračunati stepen rizika od stvaranja pokorice na zemljštu, ako je sadržaj humusa u zemljištu 2,15%, a sadržaj praha i gline 63%.

$$H = 2,15\%$$

$$\text{Glina} + \text{prah} = 63\%$$

---

$$R = H * 100 / \text{glina} + \text{prah} = 2,15\% * 100 / 63\% = 3,41\%$$

#### ***Klasifikacija***

Rizik od stvaranja pokorice je visok ako su vrednosti R manje od 5%, graničan oko 7% a nizak ako su veće od 9%.

## 4. FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA ZEMLJIŠTA

Za zemljište kao i za sve visokodisperzne sisteme karakteristične su fizičko-mehaničke osobine. Da bi se u potpunosti razumela fizika zemljišta, potrebno je ustanoviti između ostalog i njegova fizičko-mehanička svojstva. Takođe, posmatrajući sa stanovišta poljoprivredne proizvodnje, fizičko-mehanička svojstva imaju veliki značaj, pre svega što se na osnovu njih određuju optimalni rokovi za kvalitetnu obradu zemljišta, uz što manji utrošak energije.

### 4.1. Plastičnost

#### *Osnovni pojmovi i značaj*

Plastičnost je oblik konzistencije zemljišta koji predstavlja interval vlažnosti zemljišta pri kom ono može da menja svoj oblik bez pucanja i drobljenja pod uticajem spoljašnjih sila i da taj oblik zadržava i posle prestanka dejstva tih sila. Vrednost plastičnosti nam pokazuje indeks plastičnosti, koji predstavlja razliku u sadržaju vlage između gornje i donje granice plastičnosti. Ako je vlažnost zemljišta ispod donje granice plastičnosti onda se ono nalazi u stanju tvrde konzistencije, dok je pri vlažnosti većoj od gornje granice plastičnosti zemljište u stanju tečne konzistencije. Plastičnost zemljišta zavisi od mehaničkog i mineraloškog sastava, sadržaja organske materije i sadržaja vlage u zemljištu. Poznavanje plastičnosti zemljišta omogućava definisanje optimalnih rokova za obradu, pri kojima se u najmanjem stepenu zemljište deforme i postiže najmanji utrošak goriva. Optimalni rok za obradu zemljišta je ustvari stanje fizičke zrelosti zemljišta, koje se ispoljava pri određenoj vlažnosti, a to je obično sadržaj vlage nešto niži od donje granice plastičnosti, odnosno stanje polutvrde konzistencije. Plastičnost zemljišta je njegova karakteristika koja utiče i na razvoj korena gajenih biljaka, a samim tim i na visinu i kvalitet prinosa.

Plastičnost je samo jedno područje konzistencije i predstavlja takvo stanje pri kojem se masa zemljišta može bez lomljenja (pucanja) oblikovati tj. menjati oblik, a kada prestane spoljni uticaj zemljište zadržava načinjene oblike u osušenom stanju.

**Tabela 9.** Promene konzistencije zemljišta u zavisnosti od stepena vlažnosti.

Stanje vlažnosti zemljišta	Suvo	Vlažno	Mokro	
Oblici konzistencije	Čvrsta-kruta	Meka-drobljiva	Plastična	Viskozna
Stanje zemljišne mase	Izvaljuju se grudve	Optimalna vlažnost za obradu	Oblikuje se	Izliva se

Već pri terenskim istraživanjima mogu se pribaviti grube informacije o plastičnosti prema debljini valjkastih oblika koji se formiraju pritiskom prstiju i dlanova.

Laboratorijsko određivanje plastičnosti obuhvata određivanje:

- »donje granice plastičnosti«, tj. stanja vlažnosti u momentu kada zemljišna masa postaje plastična;
- »gornje granice plastičnosti«, tj. stanja povećane vlažnosti kad masa zemljišta prelazi u žitko blato koje počinje teći;
- »index ili broj plastičnosti«, tj. razlika izmedju količine vode pri gornjoj i donjoj granici plastičnosti.

Navedene veličine koje karakterišu plastičnost zemljišta, zavise od mehaničkog, mineraloškog i hemijskog sastava, količine humusa i sadržaja vode.

Donja granica plastičnosti je karakteristična količina vode, pri kojoj se od zemljišta mogu praviti valjčići debljine 3-4 mm, koji po površini pucaju i počinju da se lome.

### **Metoda po Atterbergu za određivanje donje granice plastičnosti**

#### ***Priprema uzorka***

Ako je uzorak sa prirodnom količinom vlage odstrane se čestice skeleta. Ako je zemljište vazdušno suvo (važno da je polako sušeno na vazduhu i ne na većoj temperaturi od 40°C), uzorak se drobi i u postupak se uzima samo sitna zemlja. Pripremi se reprezentativni uzorak tako da se 200 g sitnog zemljišta meša sa destilovanom vodom dok se ne stvari gusta pasta. Sveži uzorak tj. sa prirodnom vlažnošću može se odmah uzeti u postupak, međutim, pastu zemljišta načinjenu od vazdušno suvog zemljišta, pre određivanja treba ostaviti u pokrivenoj posudi najmanje 12 sati.

#### ***Postupak metode***

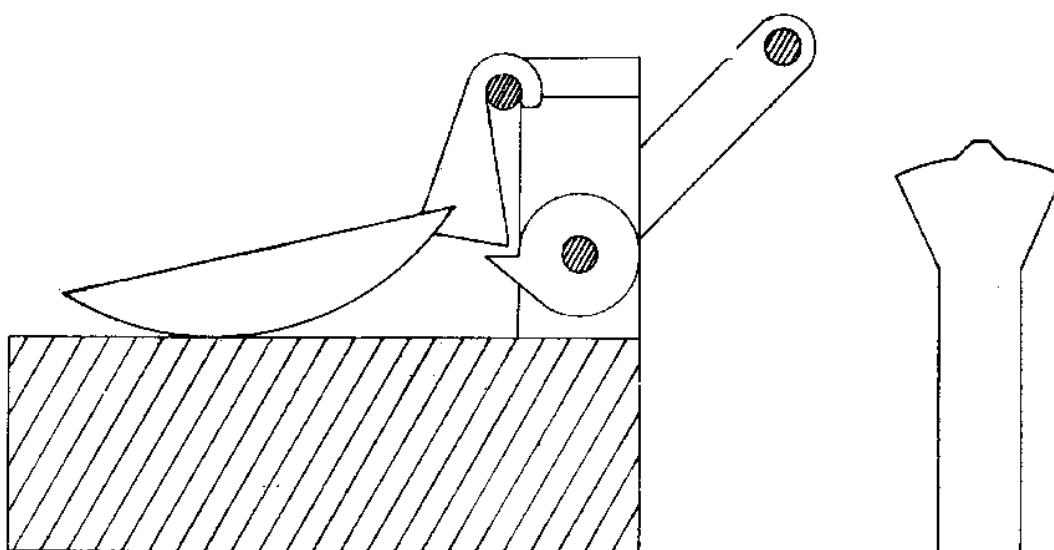
10-20 g guste paste zemljišta umesiti u kuglicu. Izvaljati zemljište prstima (površinom dlana) na staklenoj ploči, ili gumenoj podlozi u valjčiće debljine 3-4 mm. Zatim se skupe ti valjčići (žice) i ponovo zamesi u lopticu. Ponoviti postupak valjanja na podlozi dok se iz zemljišta ne izgubi toliko vode da se valjkaste »žice« prečnika 3 mm počnu lomiti. Odlomljene delove tih valjčića staviti na vagu i odrediti sadržaj vode u tom uzorku, zatim se uzorak suši na 110°C u sušnici do konstantne mase i izračuna se % vode izražen na suvo zemljište:

$$\% V = \frac{\text{masa gubitka sušenjem}}{\text{masa suvog zemljišta}} \cdot 100$$

Ceo postupak sa novim probama uzetim od izvornog uzorka ponavlja se još dva puta, tako da se ukupno dobiju rezultati 3 određivanja. Donja granica plastičnosti je prosečan sadržaj vode (%) od tri određivanja, zaokružen na celi broj.

### **Metoda po Casagrandeu za određivanje gornje granice plastičnosti**

Kao gornja graica plastičnosti označava se ona količina vode u zemljištu pri kojoj se u Casagrandeovom aparatu žljeb (brazda) načinjen u kaši zemljišta ponovo pri 25 udaraca zatvori (slijepi) na dužini od 1 cm.



**Slika 25.** Šematski prikaz aparata po Casagrandeu.

Aparat se sastoji zapravo od mesingane posude oblika polulopte koja leži na podlozi od tvrde gume. Na jednoj strani je posuda učvršćena na uređaj kojim se pri okretanju ekscentričnog dela poluge podigne od površine na kojoj leži za 10 mm i tada ponovo padne na tu podlogu, što pri svakom okretanju ručice izaziva udarac. Ispravnost aparata pre upotrebe potrebno je kontrolisati, a posebno visinu od 10 mm.

#### **Postupak metode**

Odmeri se 100 g guste paste i meša s destilovanom vodom da uzorak dobije konzistenciju mekšeg gita. Zatim se oko 50 g takvog zemljišta stavi u posudu aparata, poravna površina sa prednjim rubom posude tako da debljina sloja bude 1 cm iznad tačke gde posuda leži na podlozi. Normiranim »vlakačem brazde« useče se žljeb u masi zemljišta, pod pravim uglom u odnosu na ekscentrični zubac. Ručica se okreće brzinom od 2 okretanja u sekundi sve dok se rubovi zemljišta odeljeni brazdom (žljebom) ponovo ne sklope, tj. dotaknu u dužini 10 mm i zabeleži za to potreban broj udaraca posude o podlogu. Ponovo se izmeša zemljište u posudi, načini novi žljeb i ponovi postupak. Ako se sa istim uzorkom dobijeni broj udaraca ne razlikuje za više od 1-2 od prvog određivanja, a kreće se u rasponu između 12 i 38 udaraca, treba smatrati određivanje tačnim. U delu tako vlažnog uzorka zemljišta (oko 10 g) odredi se sadržaj vode sušenjem na 110°C i izračuna % vode u odnosu na potpuno suvo zemljište:

$$\% V = \frac{\text{masa gubitka sušenjem}}{\text{masa suvog zemljišta}} \cdot 100$$

Ponoviti još tri ili više puta određivanje uz postupak pod 1-5 dodajući bilo destilovanu vodu bilo gustu pastu. Naime, ako je broj udaraca koji je potreban za zatvaranje žljeba kod prvog određivanja bio 25-38 dodaje se nešto vode, a u suprotnom, ako je iznosio 12-25 udaraca dodaje se gusta pasta da se smanji količina vode i poveća

broj udaraca. Jednostavnije je da prvo određivanje izvršimo sa većim brojem udaraca (30 - 35) da bi se kod ostalih određivanja brže postigla homogenost paste dodavanjem destilovane vode. Podaci se unose na semilogaritamski papir tako da se broj udaraca (okretanja) svakog odredjivanja odnosi na logaritamsku podelu, a odgovarajući sadržaj vode na aritmetičku podelu. Od ukupno nanešene 4 tačke (za 4 odredjivanja) moraju najmanje tri ležati na pravcu. Ako se to ne postigne, potrebno je izvršiti dodatna određivanja. Očitan sadržaj vode pri 25 udaraca, iz tog grafičkog prikaza i pravca (krivulje) koji pokazuje smanjenje količine vode sa povećanjem broja udaraca. Ta vrednost zaokružena na celi broj predstavlja traženu gornju granicu plastičnosti.

### ***Index ili broj plastičnosti***

Indeks ili broj plastičnosti je razlika izmedju količine vode (u %) pri gornjoj i donjoj granici plastičnosti i predstavlja meru za veličinu područja vlažnosti unutar kojeg se zemljište ponaša plastično.

$$\text{Broj plastičnosti} = W_1 - W_2$$

Bp = broj plastičnosti,

W<sub>1</sub> = količina vode (%) pri gornjoj granici plastičnosti

W<sub>2</sub> = količina vode pri donjoj granici plastičnosti).

### ***Primer***

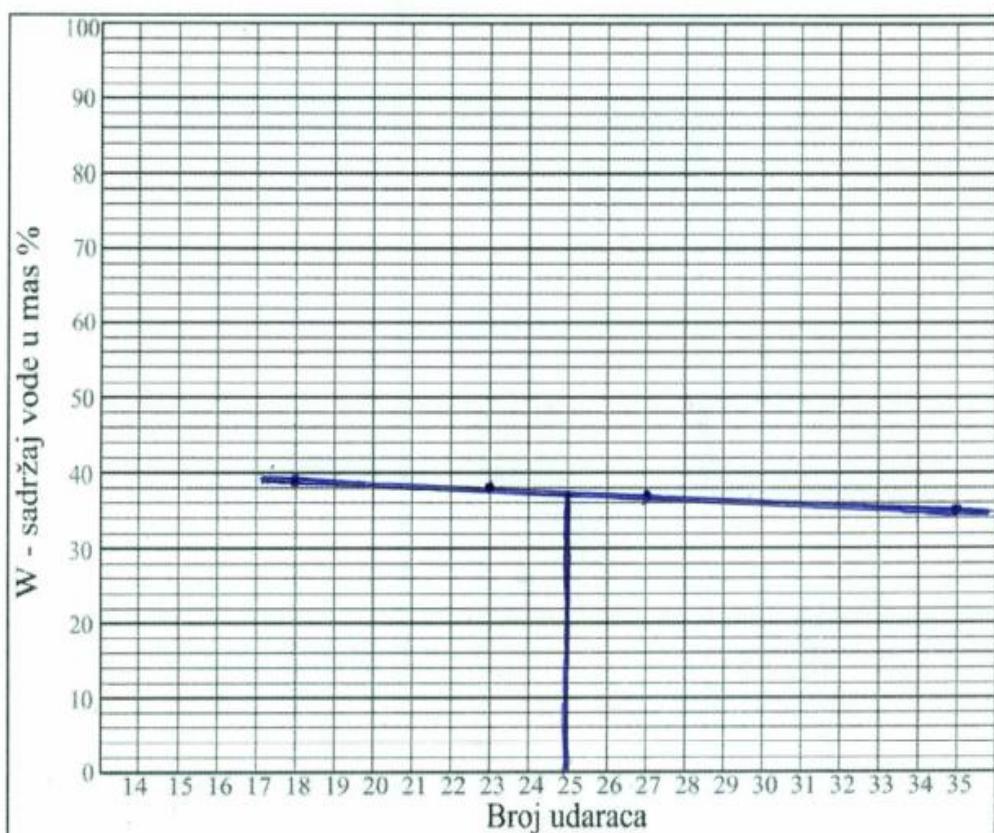
**Tabela 10. Granice i indeks plastičnosti nekih lokaliteta černozema lesne terase**

Lokalitet	Horizont	Dubina (cm)	Donja granica plastičnosti (% mas.)	Gornja granica plastičnosti (% mas.)	Indeks plastičnosti (% mas.)
Rimski	Ap	0-30	24,25	35,66	11,42
Šančevi	A	30-53	24,32	38,28	13,96
Sombor	Ap	0-34	25,16	32,84	7,68
	A	34-77	25,29	37,92	12,63
Kikinda	Ap	0-34	23,92	36,35	12,43
	A	34-44	25,94	40,63	14,68
Zemun Polje	Ap	0-28	26,05	38,62	12,57
	A	28-41	26,98	38,08	11,11
Požarevac	Ap	0-31	26,69	42,04	15,34
	A	31-48	27,51	42,00	14,49
Pančevo	Ap	0-35	26,69	38,95	12,26
	A	35-54	27,60	39,37	11,77

**Granica plastičnosti**

ispitao

Posuda broj	Gornja granica plastičnosti ( $W_1$ )				Donja granica plastičnosti ( $W_2$ )		
	8	9	10	11	12	13	14
Bruto vlažnog uzorka A	78,80	85,54	96,60	91,50	60,20	48,40	60,36
Bruto suvog uzorka B	70,25	76,92	87,16	79,78	57,44	46,32	58,20
Težina tare C	45,69	53,79	62,50	49,95	51,08	37,84	49,39
Sadržina vode A-B							
Težina suve probe B-C							
Sadržina vode u odnosu na suvu probu	34,8	37,3	58,3	39,3	23,9	24,5	24,5
$W = 100 \frac{A-B}{B-C} = \%$							
Broj udaraca	35	27	23	18	I	II	III
							Srednja vrednost



Gornja granica plastičnosti $W_1 = 38 \%$	Donja granica plastičnosti $W_2 = 24 \%$	Indeks plastičnosti $W_1 - W_2 = 14 \%$

*Slika 26. Primer urađenog nomograma za određivanje granica plastičnosti.*

## **Klasifikacija**

**Tabela 11. Podela zemljišta na osnovu indeksa plastičnosti (JDPZ).**

Oznaka za zemljište	Bpoj plastičnosti – index plastičnosti	Podela zemljišta po mehaničkom sastavu
neplastično	0	peskovito
slabo plastično	<7	peskovita ilovača
plastično	7-17	ilovasto
jako plastično	>17	glinovito

## **4.2. Lepljivost**

### **Osnovni pojmovi i značaj**

Lepljivost zemljišta je njegova osobina da se pri određenoj vlažnosti prilepljuje za različite predmete. Ostvaruje se pod uticajem adhezije privlačne sile koja deluje između molekula raznorodnih materija. Izraženu sposobnost lepljivosti imaju zemljišta sa većim sadržajem hidrofilnih koloida. Mjeri se silom u gramima, koja je potrebna da se metalna pločica veličine  $1 \text{ cm}^2$  odlepi od površine vlažnog zemljišta. Poznavanje lepljivosti je od velikog značaja u poljoprivredi, jer utvrđivanje stepena lepljivosti zemljišta za hodne mehanizme vučnih mašina i radne delove poljoprivrednih oruđa omogućuje definisanje sadržaja vlage zemljištu pri kojem je optimalno vršiti agrotehničke operacije. Zemljište se ne sme obrađivati, kada je lepljivo. Obrada zemljišta pri povišenoj vlažnosti zemljišta izaziva povećanje utroška goriva i maziva, proklizavanje vučnih mašina i otežava agrotehničke operacije. Ova osobina je karakteristika glinovitih, a delimično i praškastih zemljišta i ispoljava se samo pri određenom sadržaju vlage u njima. Lepljivost zemljišta zavisi od mehaničkog, mineraloškog i hemijskog sastava, sadržaja organskih materija, strukture i količine vode u zemljištu. Natrijum povećava lepljivost obzirom da povećava disperznost i hidrofilnost koloida zemljišta u vlažnom stanju, dok kalcijum smanjuje lepljivost, budući da izaziva koagulaciju i hidrofobnost koloida. Minerali gline utiču različito na lepljivost zemljišta u zavisnosti od građe kristalne rešetke. Tačka lepljivosti značajna je za praksu, jer ona predstavlja maksimalni sadržaj vlage kod kojeg će se zemljište lepiti za vreme obrade. Prema Kačinskom optimalna vlažnost zemljišta za obradu treba da je za 2-4 % manja od vlažnosti donje granice plastičnosti ili početka njegovog prilepljivanja za metal.

### **Postupak metode**

Aparat po Kačinskom se koristi za merenje lepljivosti zemljišta. Ovaj aparat predstavlja izvesnu vrstu vase na kojoj je levi deo zamjenjen pločom površine  $10 \text{ cm}^2$ . Ploča sa konzolnom osovom koja se može produžavati i skraćivati treba da je u ravnoteži sa tasom na kojem se nalazi posudica. Osovina, koja podupire ručicu na vagi je nepokretna, tako da poluga na vagi ima stalnu visinu podešavanja. Produžavanjem ili skraćivanjem osovine zemljište se dovodi u dodir sa pločom na kraju osovine na koju se stavlja teg težine 200 g u trajanju od jednog minuta pri čemu se zemljište lepi na ploču. Nakon uklanjanja tega polako se sipa kvarcni pesak u posudu na tasu sa desne strane. Kada težina peska premaši silu prilepljivanja zemljišta za ploču, oni se u tom momentu

odlepljuju, dok merenjem peska utvrđujemo silu lepivosti zemljišta na ploču date površine. Veličina lepljivosti izražava se u  $\text{g}/\text{cm}^2$  (težina peska se podeli sa površinom ploče) ili kPa. Prilikom rada treba obezbediti da se ploča svojom celom površinom zalepi za zemljište i da se prilikom odvajanja od zemljišta podiže horizontalno, kako bi se dobili tačniji rezultati.

Da bi se detaljno stekla predstava o lepljivosti nekog zemljišta potrebno je utvrditi vlažnost pri kojoj zemljište počinje da se lepi za čelik, vlažnost kada se ono maksimalno prilepljuje za čelik i silu maksimalne lepljivosti za čelik.

### **Klasifikacija**

Prema *Kačinskom (1934)*, (*cit. Gajić, 2006*), zemljišta se mogu svrstati u pet kategorija prema lepljivosti, a to su: veoma slabo lepljiva (sipkava), sa silom maksimalne lepljivosti  $<0,05$  kPa, slabo lepljiva sa silom maksimalne lepljivosti 0,05-0,2 kPa, srednje lepljiva sa silom maksimalne lepljivosti 0,2-0,5 kPa, jako lepljiva sa silom maksimalne lepljivosti 0,5-1,5 kPa i veoma lepljiva sa silom maksimalne lepljivosti  $>1,5$  kPa.

### **Primer**

**Tabela 12.** Tačke lepljivosti nekih lokaliteta černozema lesne terase.

Lokalitet	Horizont	Dubina (cm)	Vlažnost početka lepljenja (% mas.)	Vlažnost maksimalne lepljivosti (% mas.)	Sila maksimalne lepljivosti (kPa)
Rimski Šančevi	Ap	0-30	25,82	54,29	0,49
	A	30-53	25,37	53,84	0,42
Sombor	Ap	0-34	26,92	51,18	0,43
	A	34-77	25,68	53,77	0,38
Kikinda	Ap	0-34	27,65	54,50	0,54
	A	34-44	26,21	50,74	0,47
Zemun Polje	Ap	0-28	26,81	49,83	0,42
	A	28-41	27,15	47,22	0,33
Požarevac	Ap	0-31	29,89	57,67	0,80
	A	31-48	27,98	49,84	0,41
Pančevo	Ap	0-35	27,91	48,02	0,37
	A	35-54	27,22	47,55	0,39

### **4.3. Sabijenost zemljišta**

#### **Osnovni pojmovi i značaj**

Sabijanje zemljišta je jedan od najvećih ekoloških problema intenzivne poljoprivredne proizvodnje. Sa povećanjem sabijenosti zemljišta pogoršavaju se i njegove fizičke, hemijske i biološke osobine. Najčešće dolazi do smanjenja vodopropustljivosti, povećanja površinskog oticanja, erozije, stvaranja vodoleža i smanjenja rasta korena, koji je obrnuto proporcionalan penetracionom otporu zemljišta. Ovakve promene izazvane sabijanjem zemljišta dovode do njegove degradacije i smanjenja njegove produktivne sposobnosti. Sabijanje zemljišta se odvija pod uticajem mehaničkih sila, koje stvara poljoprivredna mehanizacija mnogobrojnim prohodima na poljoprivrednom zemljištu tokom godine. Najčešće kao uzrok sabijanja se javljaju neblagovremena i prekomerna obrada pri visokoj vlažnosti, stalna obrada na istoj dubini, pulverzacija strukturnih agregata oruđima za obradu i prekomerno gaženje transportnim vozilima. Takođe, značajno je razlikovati površinsko sabijanje (0-15 cm) koje nastaje pod uticajem pritiska

točkova i gusenica i dubinsko sabijanje (15-75 cm) kao posledicu velikog osovinskog opterećenja.

### **Princip metode**

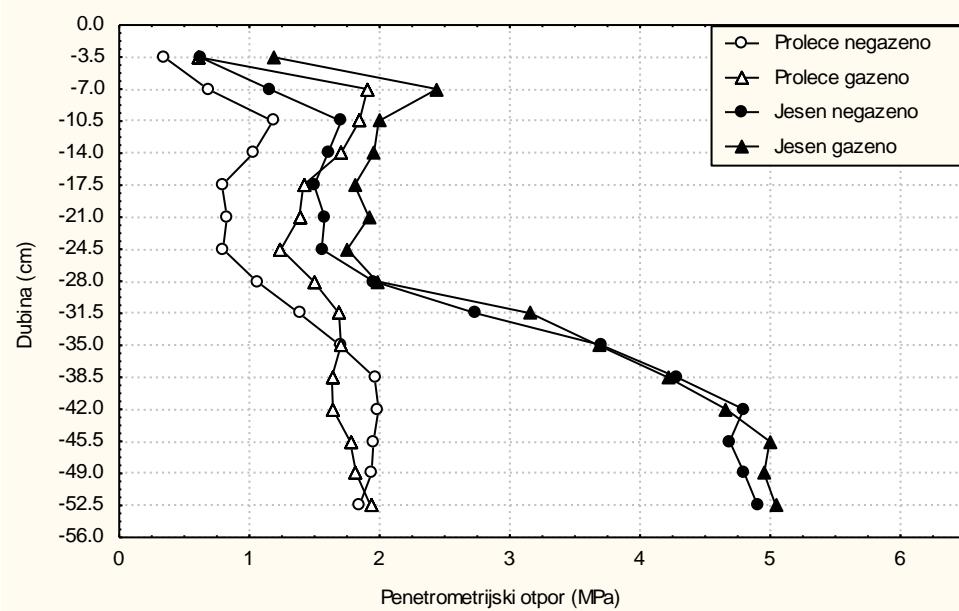
Metoda se bazira na merenju otpora koji zemljište pruža pri penetraciji konusa penetrometra. Veća sabijenost zemljišta dovodi do većih izmerenih vrednosti otpora. Veoma je važno konstatovati vrednosti momentalne vlage zemljišta pri merenju sabijenosti jer vлага znatno utiče na dobijene rezultate.

Električni penetrometri se koriste za određivanje otpora zemljišta pri penetraciji. Merenje ovakvim penetrometrima može obaviti jedna osoba. Električni penetrometar se u osnovi sastoji od mernog instrumenta, penetracione sonde, metalne mete kroz koju prolazi sonda i konusa. Ovakvi penetrometri elektronski beleže sila potrebnu da se penetraciona sonda utisne u zemlju, kao i dubinu na kojoj je očitna sila. Sila se obično izražava u kilopaskalima (kPa) kao otpor konusa ili u  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

### **Postupak metode**

Penetraciona sonda električnog penetrometra se utiskuje u zemlju do kraja, ako je moguće primenjujući isti i kontinuirani pritisak na obe drške. Za tačna očitavanja penetrometar mora biti utisnut u zemljište u stabilnom brzinom od oko 30 mm/s. Ukoliko je otpor previsok za instrument čuje se upozoravajući zvuk i merenje treba prekinuti. Merenje se obavlja na reprezentativnom mestu u najmanje deset ponavljanja.

### **Primer**



Horizont	Dubina (cm)	Momentalna vлага (% mas.)	
		Proleće	Jesen
Ap	0-30	24,51	19,55
A	30-53	22,78	20,07
AC	53-88	23,26	17,48

**Slika 27.** Vrednosti penetrometrijskog otpora pri datim vrednostima momentalne vlage na lokalitetu Rimski Šančevi.

### ***Klasifikacija***

Sabijena zemljišta su nepovoljna za proizvodnju poljoprivrednih useva. *Lapen (2001)*, navodi kritičnu vrednost penetrometrijskog otpora od 2 MPa i ističe da se vrednosti veće od 4 MPa smatraju izuzetno visokim. Kritične vrednosti penetrometrijskog otpora, pri kojima rast korena naglo usporava ili čak prestaje u literaturi variraju od 2 do 2,5 MPa u zavisnosti od autora.

## 5. OSNOVNA HEMIJSKA SVOJSTVA ZEMLJIŠTA

### 5.1. Sadržaj CaCO<sub>3</sub>

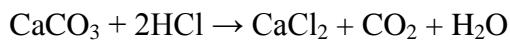
#### *Osnovni pojmovi i značaj*

Prisustvo ili odsustvo CaCO<sub>3</sub> u zemljištu ukazuje na dinamiku i genezu zemljišta, kao i na promene koje su u tom zemljištu nastale. Kreč u černozemu potiče od matičnog supstrata-lesa u kojem ga može biti do 30 pa i 40%. CaCO<sub>3</sub> povoljno utiče na strukturu černozema tako što Ca<sup>2+</sup> ion vrši koagulaciju koloida i sa huminskim kiselinama gradi Ca-humate, koji su najvažnija cementna materija u zemljištu. Povoljan uticaj CaCO<sub>3</sub> ostvaruje na pH reakciju zemljišta, tako što izaziva blago alkalnu reakciju koja je optimalna za rast i razviće mnogih gajenih biljaka, a takođe ima i puferno dejstvo. Miljković (1996), navodi da je černozem u Vojvodini u početnoj fazi ispiranja karbonata u vidu bikarbonata, a kao vidljivi znakovi njegove eluvijacije se javljaju krečne konkrecije, pseudomicelije i lesne lutkice. Proces migracije CaCO<sub>3</sub> u zemljištu je veoma spor u našem klimatskom regionu sa relativno malo padavina i traje već više stotina godina, tako da se njegov sadržaj u zemljištu ne menja u toku sezone.

#### *Princip metode*

Određivanje kalcijum karbonata bazira se na njegovom razaranju sa mineralnim kiselinama i merenjem ugljendioksida, koji tim razaranjem nastaje.

Hemijska reakcija - razaranje kalcijum karbonata pomoću HCl je sledeća:



#### *Postupak metode*

Kvalitativno se određuje na taj način, što se na zemljišnu masu deluje hlorovodoničnom kiselinom (razblaženom sa vodom u odnosu 1:3) iz pipete ili reagens flašice. Pojava punoštanja sa šuštanjem je znak da u zemljištu ima kalcijum karbonata. To se u laboratoriji radi na sahatnom staklu, a na terenu na grudvici zemljišta iz pojedinih horizonata. Po jačini i trajanju šuštanja (CO<sub>2</sub> se oslobođa uz šuštanje i punoštanje) može se približno odrediti sadržaj CaCO<sub>3</sub> u zemljištu.

- Šuštanje se jedva čuje, sadržaj CaCO<sub>3</sub> je manji od 1%.
- Šuštanje se slabo čuje, sadržaj CaCO<sub>3</sub> je 1-3%.
- Šuštanje je jako i kratko, ima 3-5% CaCO<sub>3</sub>.
- Šuštanje intenzivno i duže traje, ima više od 5% CaCO<sub>3</sub> u zemljištu.

Kvantitativno se sadržaj kalcijum karbonata određuje pomoću aparata, u kojem se meri zapremina oslobođenog CO<sub>2</sub> (Scheibler-ov kalcimetar).

Sastoji se iz 3 staklene cevi, dve duže i jedne kraće i šire od kojih je srednja graduisana i ima zapreminu od 200 cm<sup>3</sup>. Srednja graduisana cev – B na gornjem kraju pomoću slavinice i gumenog creva povezana je sa drugom dužom cevi – C. Na svom donjem kraju graduisana cev – B je povezana pomoću gumenog creva sa širom cevi – A, u kojoj se kao i u B nalazi obojena voda. Cev – C u kojoj se nalazi vazduh spojena je sa gumenom i malom staklenom cevi za bocu – D, u kojoj je smeštena mala epruveta sa HCl (1:3). U bocu D pored epruvete stavi se uzork zemljišta.



*Slika 28. Šajblerov kalcimetar.*

Odmerena masa uzorka zemljišta 0,5 - 5 g stavi se u staklenu bocu D. U boci D je postavljena, fiksirana epruveta u koju se špric bocom sipa HCl(1:4), do 2/3 njene zapremine. Pomeranjem cevi A naviše ili naniže izjednači se nivo tečnosti u cevi B sa nultim podeokom i zatim se zavrnjem fiksira cev A. Pri tome ventil slavinice na cevi – B mora biti tako okrenut da sprečava pristup vazduha iz C u B. Zatim se zatvara boca –D pomoću gumenog čepa u čiji središnji deo je postavljena staklena cevčica koja je povezana gumenim crevom za cev-C. Tek pošto se zatvori posuda – D gumenim čepom otvara se ventil – slavinice izmedju cevi C i B. Otvaranje slavinice mora biti blagovremeno, jer bi inače za vreme reakcije HCl i karbonata moglo doći do jakog komprimiranja CO<sub>2</sub> i otvaranja posude D. Posuda D stavi se zatim u vodoravan položaj i u tom položaju se iz eprovete izliva kiselina (HCl 1:3) na uzorak zemljišta. Nakon izlivanja kiseline izdvaja se CO<sub>2</sub> koji se penje kroz vretenastu cev - C i ulazi u graduisanu

cev - B i vrši pritisak na vodu koja je zasićena sa CO<sub>2</sub>, te ga ne apsorbuje. Pod pritiskom CO<sub>2</sub> nivo vode u cevi-B se smanjuje, a potisnuta voda iz cevi -B prelazi u cev -A u kojoj se povećava nivo vode. Istovremeno se cev - A pomici naniže po vertikalnoj šini da bi se nivoi vode i u jednoj i u drugoj cevi izjednačili.

Boca sa uzorkom zemljišta se sve dotle mučka, dok se CO<sub>2</sub> izdvaja (10-15 minuta). Prestanak razvijanja gasa poznaće se po tome, što se voda u graduisanoj cevi više ne spušta. Pričeka se još nekoliko minuta i mučkanje se opet kratko ponovi, po prestanku reakcije fiksira se cev-A.

Tada se očita koliko se voda u graduisanoj cevi spustila i to je zapremina oslobođenog CO<sub>2</sub> u cm<sup>3</sup>, iz uzete probe zemljišta na datoj temperaturi i pritisku vazduha.

Pošto zapremina gasa zavisi od temeprature i pritiska, to postoje posebne tablice u kojima je iskazana masa 1 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> za svaku temperaturu i pritisak.

### **Primer**

Za analizu je uzeto 3 g zemlje, oslobođeno je 12,5 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, na 20°C i 1010,5 mb pritiska. Prema tabeli na toj temperaturi i pritisku masa jednog cm<sup>3</sup> iznosi 1,873 mg.

$$\begin{aligned} 12,5 \times 1,873 &= 23,4125 \text{ ili } 0,0234125 \text{ g} \\ 3 : 0,0234125 &= 100 : x \\ x &= 0,78\% \text{ CO}_2 \\ 0,78 \times 2,273 &= 1,77\% \text{ CaCO}_3 \end{aligned}$$

**Tabela 13.** Potrebni podaci za izračunavanje mase CO<sub>2</sub> kod volumetrijskog odredjivanja CaCO<sub>3</sub>

Temperatura u °C	Barometarski pritisak u mb (milibarima)													
	989	992,5	996	998,5	1001,5	1005,5	1008	1010,5	1013,5	1017	1020	1022,5	1024,5	1028
28	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852
27	1784	1790	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1834	1839	1843	1848	1853	1852
26	1791	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1335	1840	1845	1849	1854	1859	1871
25	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1842	1847	1852	1856	1861	1866	1871
24	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1842	1848	1853	1858	1862	1867	1872	1877
23	1809	1815	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1859	1864	1868	1873	1878	1883
22	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890
21	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1861	1867	1872	1877	1882	1887	1892	1897
20	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1873	1878	1883	1888	1893	1898	1903
19	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1879	1884	1889	1894	1899	1904	1909
18	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1915
17	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1897	1902	1917	1912	1917	1922
16	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1898	1903	1908	1913	1918	1923	1928
15	1859	1866	1872	1879	1886	1892	1899	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935
14	1865	1873	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1917	1922	1927	1932	1937	1942
13	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949

Brojevi prikazani u tabeli podeljeni sa 1.000 predstavljaju masu 1 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> pri datom pritisku i temperaturi.

## **Klasifikacija**

**Tabela 14.** Podela zemljišta na osnovu sadržaja kalcijum karbonata

% CaCO <sub>3</sub>	Zemljište
0,0	nekarbonatno
0,1 - 2	slabo karbonatno
2 – 5	srednje karbonatno
5 – 10	karbonatno
>10,0%	jako karbonatno

## **5.2. Sadržaj humusa**

### **Osnovni pojmovi i značaj**

Zemljište se obogaćuje organskom materijom koja potiče od korenja biljaka, pedofaune i od biljnih ostataka koji dolaze na površinu zemljišta, kao i od makroorganizama koji žive u zemljištu. Organski deo zemljišta predstavlja složen sistem materija izrazito dinamičkog karaktera. Ovo je rezultat neprekidnog priliva organskih materija u zemljište i njihove neprekidne transformacije. Jedan deo organskih materija se odmah mineralizuje, dok se drugi deo postepeno transformiše i pretvara u novu specifičnu tvorevinu poznatu pod imenom humus.

Pod humusom u širem smislu se podrazumeva kompleks mrtve organske materije, koja se u zemljištu nalazi u različitim stadijumima transformacije ( razlaganja i sinteze ).

Humus u zemljištu ima uglavnom kiselinska svojstva pa kao takav apsorbuje katijone u zemljištu. Količina i sastav humusnih materija u zemljištu ima veliki uticaj na hemijska, fizička i biogena svojstva zemljišta (strukturu, vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta). Humus u zemljištu nije samo važan izvor hranljivih materija za više biljke, već je on izvor hrane i za zemljišne mikroorganizme.

U sastav humusa ulaze svi organogeni elementi, kiseonik, vodonik, ugljenik i azot i elementi pepela. Poznavanje elementarnog sastava humusa je potrebno jer se količina humusa izračunava indirektno preko srednjeg sadržaja ugljenika koga u humusu ima oko 58%, a azota 5%.

Precizne metode se zasnivaju na određivanju ugljenika ili ugljendioksida, koji se pomoću određenih koeficijenata prevode u humus. Ako se izračunava količina ugljenika u uzetoj probi, onda se nađeni ugljenik prevodi u humus, množenjem sa koeficijentom 1,72 (100 delova humusa : 58 delova ugljenika = 1,72).

Za određivanje ukupne količine humusa postoji više metoda. Mogu se podeliti na dve grupe i navode se samo one koje se u pedološkoj praksi najviše upotrebljavaju:

1. Metode koje se zasnivaju na određivanju količine CO<sub>2</sub> koji nastaje oksidacijom organskih materija.
2. Metode koje se zasnivaju na određivanju količine oksidacionog sredstva koji se utroši za oksidaciju humusnih materija.

## **Metoda Iščerikova u modifikaciji Kocmana**

### ***Princip metode***

Princip ove metode sastoji se u oksidaciji organskih materija zemljišta pomoću rastvora  $\text{KMnO}_4$ . Za razliku od prethodnih metoda ovde se ne vodi računa o ugljendioksidu koji pritom nastaje, već se izračunava količina oksidacionog sredstva, koja se utroši za oksidaciju organske materije, u uzetoj probi, pa se pomoću koeficijenta izračunava količina ugljenika.

### ***Postupak metode***

Od sitno samlevenog zemljišta i prosejanog kroz sito otvora  $\varnothing 0,20 \text{ mm}$  odmeri se na analitičkoj vagi 300-500 mg vazdušno suvog zemljišta, već prema bogatstvu u humusu. Zemljište se pažljivo kvantitativno prenese u Erlenmayer-ovu kolbu. Menzurom se odmeri  $130 \text{ cm}^3$  destilovane vode koja se sipa u kolbu. Voda je potrebna da se stvari tečna sredina. Zatim se malom menzurom doda  $20 \text{ cm}^3$  sumporne kiseline, razblažene 1:4. Sumporna kiselina stvara kiselu sredinu u kojoj će se  $\text{KMnO}_4$  razoriti i pri tom osloboditi kiseonik. Najzad u kolbu se dodaje pipetom ili biretom tačno  $50 \text{ cm}^3 0,1 \text{ M}$  rastvora  $\text{KMnO}_4$ , kojem je ranije tačno ustanovljena koncentracija-titar. Pošto je  $\text{KMnO}_4$  oksidator, on se dodaje sa najvećom tačnošću. Na kolbu se stavlja levak koji pri ključanju treba da spreči izlazak kapljica iz kolbe. Kolba se zatim stavlja na električni rešo i zagревa. Kada suspenzija proključa od tog momenta se rešo reguliše tako da se nastavi tih ključanje u trajanju od 15 minuta. Za to vreme se  $\text{KMnO}_4$  raspada i oslobadja kiseonik po jednačini:



Oslobodjeni kiseonik oksidiše ugljenik iz organskih materija i stvara se ugljendioksid, koji se oslobađa u vidu mehurića i izlazi iz kolbe.

Posle 15 minuta tihog ključanja kolba se skida sa rešoa i odmah se vruć rastvor titrira sa ( $0,1 \text{ M}$ ) rastvorom oksalne kiseline, koja se dodaje postepeno sve dole, dok se crvenkasti sadržaj u kolbi potpuno ne obezboji. Pošto to obezbojavanje teče postepeno, potrebno je dodati izvestan suvišak oksalne kiseline. Taj suvišak oksalne kiseline se ustanovljava retitracijom sa rastvorom  $\text{KMnO}_4$  iz druge birete. Rastvor  $\text{KMnO}_4$ , pri retitraciji se dodaje kap po kap do pojave slabo ružičaste boje, koja označava tačku neutralizacije. Na taj način je titracija završena i pristupa se izračunavanju zapremine utrošenog  $\text{KMnO}_4$ .

Količini od  $50 \text{ cm}^3 0,1 \text{ M}$   $\text{KMnO}_4$  doda se broj  $\text{cm}^3 \text{KMnO}_4$  koji je utrošen na retitraciju do pojave ružičaste boje. Od tog zbira se oduzme utrošena količina oksalne kiseline na obezbojavanje suspenzije.

Pošto rastvori obično nisu tačno decinormalni onda se pre oduzimanja, utrošene količine pomnože svojim faktorima da bi se preveli u tačno decinormalne rastvore.

### ***Izračunavanje rezultata***

Utvrđeno je da  $1 \text{ cm}^3$  decinormalnog rastvora  $\text{KMnO}_4$  oksidiše  $0,514 \text{ mg}$  ugljenika u ugljendioksid. Iz elementarnog sastava humusa se vidi da u njemu ima prosečno 58% ugljenika, te ako se zna ugljenik treba ga pomnožiti sa 1,72 da bi se dobio humus ( $100 : 58 = 1,72$ ). Humus se izražava u % i izračunava sledećom formulom:

$$\text{Humus} = \frac{A \cdot 0,514 \cdot 1,72}{B} \cdot 100 \quad (\%)$$

**A** - broj  $\text{cm}^3$  utrošenog 0,1 M rastvora  $\text{KMnO}_4$  na oksidaciju organske materije u odvazi zemljišta

**0,514 mg ili (0,000514 g)** - konstantan je broj koji označava da svaki  $\text{cm}^3$  0,1 M  $\text{KMnO}_4$  oksidiše 0,514 mg ugljenika iz humusa u ugljendioksid.

**1,72** - je koeficijent za prevodjenje nadjenog ugljenika u humus.

**B** - uzeta odvaga zemljišne probe u miligramima.

Ako se koeficijent 0,514 izražava u g, 0,000514, onda se uzeta odvaga takodje izražava u g.

### Primer

0,1 M $\text{KMnO}_4$ .....	$50 \text{ cm}^3 \times 0,9985$ (faktor) .....	$49,9250 \text{ cm}^3$
0,1 M $\text{KMnO}_4$ .....	$1,5 \text{ cm}^3 \times 0,9985$ (faktor) .....	$+ 1,4977 \text{ cm}^3$
		<hr/>
		$51,4227 \text{ cm}^3$
0,1 M $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ .....	$32 \text{ cm}^3 \times 1,0025$ (faktor) .....	$- 32,0800 \text{ cm}^3$
		<hr/>
	Razlika A =	$19,3427 \text{ cm}^3$

Znači da je na oksidaciju organskih materija na primer iz 300 mg zemljišta, utrošeno  $19,3 \text{ cm}^3$  0,1 M  $\text{KMnO}_4$ .

$$\text{Humus} = \frac{19,3 \cdot 0,514 \cdot 1,72}{300} \cdot 100$$

$$\text{Humus} = 5,68 \%$$

### Klasifikacija

**Tabela 15.** Podela zemljišta na osnovu sadržaja humusa (Scheffer-Schachtschabel).

Oznaka humoznosti	Sadržaj humusa u %
Slabo humozno	> 2
Umereno humozno	2 – 4
Jako humozno	4-10
Vrlo jako humozno	10-15
Zamočvareno	15-30
Zatresećeno	> 30

### 5.3. Određivanje aktivne i supstitucione kiselosti

#### *Osnovni pojmovi i značaj*

Hemijska reakcija zemljišnog rastvora se smatra jednom od najvažnijih hemijskih i fizioloških karakteristika tečne faze zemljišta (*Miljković, 1996*). Hemijska reakcija zemljišta je predodređena hemijskim svojstvima čvrste i tečne faze i sezonski je veoma varijabilna. Od hemijske reakcije zavise pravac i intenzitet raspadanja minerala u zemljištu, intenzitet mikrobioloških procesa i ishrana biljaka. Hemiska reakcija kod karbonatnih zemljišta je u korelaciji sa sadržajem karbonata u zemljištu. Aktivna kiselost se određuje u suspenziji zemljišta sa vodom, a izazivaju je  $H^+$  joni koji se nalaze u zemljišnom rastvoru (tečna faza zemljišta). Supstitucionu kiselost se određuje u suspenziji zemljišta sa 1 M rastvorom KCl, a zavisi od koncentracije  $H^+$  jona koji su vezani za adsorptivni kompleks zemljišta (čvrsta faza zemljišta), u difuznom sloju koloidne micerle blagim silama.



*Slika 29. Električni pehametar sa dvojnom kombinovanom elektrodom.*

Većina gajenih biljaka najbolje uspeva pri hemijskoj reakciji zemljišta 6,5 -7,5 pH. Manji broj biljnih vrsta dobro uspeva i na kiselim zemljištima pri pH ispod 6,5 krompir, raž, pšenica, lupina ječam i dr. Alkalnu hemijsku reakciju zemljišta, podnosi suncokret, pšenica, ricinus, lucerka, kamilica i dr. Ispod pH 3,5 i iznad pH 9,5 veoma je mali broj biljnih vrsta koje mogu da podnesu tako ekstremne vrednosti hemijske reakcije zemljišta. Svaka kulturna biljka ima granice hemijske reakcije u kojima se optimalno razvija, a isto tako ima svoje granice maksimalne i minimalne izdržljivosti hemijske reakcije zemljišne. Poznavanje reakcije zemljišta je važno i u dijagnozi plodnosti zemljišta. Hemijska reakcija se analizira za svaki genetički horizont u pedološkim istraživanjima. Pri određivanju osnovnih hemijskih svojstava zemljišta za potrebe

agrohemijskih istraživanja hemijska reakcija zemljišta se obično analizira u sloju od 0 do 30 cm dubine ako su u pitanju ratarski usevi, a za voćnjake i vinograde i u sloju od 30 do 60 cm dubine. Hemijska reakcija se izražava pH vrednošću, koja predstavlja negativana logaritam koncentracije H-jona.

Prema hemijskoj reakciji zemljišta su podeljena na kisela, neutralna i alkalna.

### Kiselost zemljišta

Proces koji dovodi do povećanja koncentracije H-jona u tečnoj i črstoj fazi zemljišta naziva se acidifikacija ili zakišljavanje zemljišta.

U zemljištu se razlikuju dve vrste kiselosti:

1. Aktivna kiselost, kiselost zemljišnog rastvora (tečne faze zemljišta)

2. Potencijalna kiselost, kiselost zemljišnog adsorptivnog kompleksa (čvrste faze zemljišta).

Aktivnu kiselost prouzrokuju slobodni H - joni u zemljišnom rastvoru, dok potencijalnu kiselost prouzrokuju H -joni adsorbovani na površini koloidnih čestica.

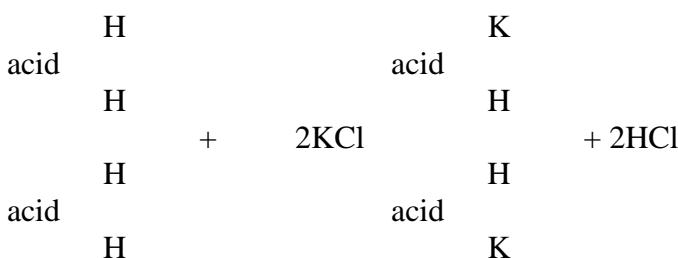
Svi adsorbovani vodonikovi joni na površini koloidnih čestica nisu vezani istom jačinom, jedni od njih prelaze u zemljišni rastvor lakše, a drugi teže. Otuda se razlikuju dve vrste potencijalne kiselosti zemljišta:

1. Supstitucionu, koju predstavljaju H - joni koji su vezani slabijim silama suprotnog nanelektrisanja za koloidnu česticu, nalaze se u difuznom sloju koloidne micele i određuju se dejstvom neutralne soli na zemljište.

2. Hidrolitičku, koju predstavljaju H joni koji su vezani jačim silama suprotnog nanelektrisanja za koloidnu česticu, nalaze se u adsorpcionom sloju koloidne micele i određuju se dejstvom hidrolitički bazne soli na zemljište.

Napomenuto je da potencijalnu kiselost uzrokuju H-joni adsorbovani u kompleksu. Vodonikovi joni su, u zavisnosti od udaljenosti od jezgra koloidne micele, različito vezani za kompleks. Prva periferna zona vodonikovih jona iz difuznog sloja, uzrokuje supstitucionu kiselost, za čije se određivanje upotrebljavaju neutralne soli (KCl). Supstitucionu kiselost može biti uzrokovana dejstvom i Al i Fe-jona, ako su ovi u adsorptivnom kompleksu prisutni:  $\text{AlCl}_3 + 3\text{HOH} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$  ili  $\text{FeCl}_3 + 3\text{HOH} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$ . Ako se supstitucionu kiselost neutrališe kalcizacijom, reakcija sredine će postati manje kisela, oko pH 6. Iz tih razloga, određivanje potrebnih količina kreča na osnovu supstitucionu kiselosti je zadovoljavajuće samo u slučaju peskovitih zemljišta (sa malim kapacitetom adsorpcije) ili, ako biljke nemaju velike zahteve prema neutralnoj reakciji sredine.

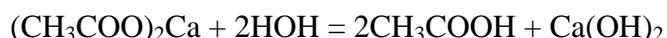
Supstitucionu kiselost zemljišta se obično određuje pomoću neutralnih soli, na primer sa (KCl). To su soli jakih kiselina i jakih baza. Joni kalijuma supstituišu H - jone iz difuznog sloja koloidne micele, a u rastvoru nastaje HCl kiselina. Količina nastale hlorovodonične kiseline se određuje titracijom sa 0,1 M rastvorom NaOH, u prisustvu fenolftaleina do pojave slabo ružičaste boje.



Iz ove šeme se vidi da vodonikovi joni, koji su u disociranom stanju, lako prelaze u rastvor, dok oni u nedisociranom stanju teže prelaze u rastvor.

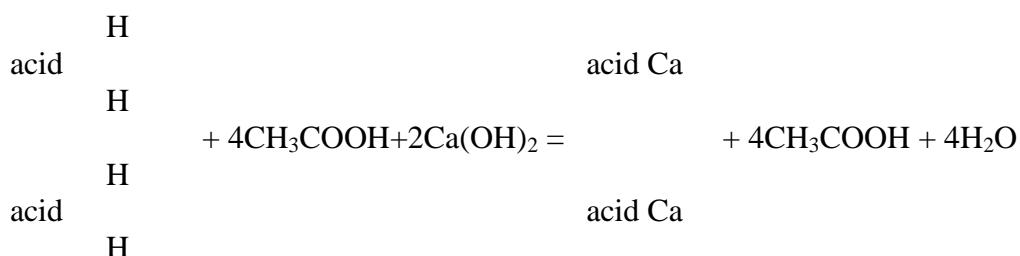
Zbog toga se kalcifikacijom zemljišta na osnovu supsticione kiselosti ne postiže veći pH broj od 6, jer se neutralizacijom samo supsticione kiselosti, neutrališe samo jedan deo zemljišne kiselosti. To znači da bi se količina kreča izračunata na osnovu supsticione kiselosti pokazala u praksi za neke osetljive kulture nedovoljnog.

Ako se na zemljište deluje nekom hidrolitički baznom soli, kao što je kalcijum acetat  $-(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$  ili natrijum acetat  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , dobija se druga slika nego kad se deluje samo nekom neutralnom soli. To su soli jakih baza i slabih kiselina koje se u vodi hidrolizuju na slabo disosovanu kiselinu i jako disosovanu bazu, po sledećoj jednačini:



Usled slabe disocijacije nastale sirćetne kiseline i jake disocijacije  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , vodenim rastvorom ovih soli ima slabu alkalnu reakciju (8,2 pH) koja takođe pomaže supsticiju.

Količina zamenljivih H-jona je ovde znatno veća nego kod dejstva neutralnih soli, kako to pokazuje sledeća šema:



Ta potpunija razmena adsorbovanih  $\text{H}^+$  jona ima za posledicu neutralizaciju kiselih zemljišta primenjenim krečnim sredstvom, pri čemu se postiže pH 7 – ukoliko su potrebne količine kreča proračunate na osnovu hidrolitičke kiselosti.

## AKTIVNA KISELOST ZEMLJIŠTA

Kao izvor povećane koncentracije H-jona u zemljišnom rastvoru javljaju se organske kiseline (naročito fulvokiseline, koje se rastvaraju do molekulskog stanja). Šumske prostirke su izvor tih kiselina, otuda su šumska zemljišta kisela. I same biljke zakišeljavaju zemljišni rastvor. Biljni korenovi luče kiseline,  $\text{CO}_2$  koji sa vodom gradi ugljovodoničnu kiselinu  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Procesima raspadanja mineralnog i organskog dela zemljišta stvaraju se mineralne i organske kiseline, koje takođe utiču na zakišeljavanje sredine. I duža upotreba fiziološki kiselih đubriva može znato da zakiseli zemljišni rastvor.

To su uglavnom izvori za povećanje H-jona, a samim tim se smanjuje koncentracija OH-jona, te zemljišni rastvor postaje kiseo.

Hemijska reakcija zemljišta može da se odredi **kolorimetrijski** i **elektrometrijski**.

## Kolorimetrijska metoda

### **Princip metode**

Ove metode zasnivaju se na činjenici da mnoge boje (indikatori) menjaju nijansu i intenzitet boje sa promenom koncentracije H-jona.

Postoje dve vrste indikatora: jednobojni koji se pod uticajem H-jona menjaju nijansu u okviru iste boje, i dvobojni, koji jednu boju menjaju u drugu boju, lakmus papir.

Za orientaciona određivanja hemijske reakcije zemljišta koriste se univerzalni indikatori, koji predstavljaju smešu više jednobojnih indikatora.

Metoda pomoću univerzalnog indikatora. Ovaj indikator čini smešu nekoliko indikatora: bromtimolplavog, metiloranža i metilcrvenog. Svaki od navedenih indikatora ima svoj interval promene boje.

Ovim univerzalnim indikatorom se može ne samo konstatovati kisela ili bazična reakcija već se ona može odrediti i do tačnosti 0,5 pH. Indikator menja boju sa promenom koncentracije H-jona od crvene ( $\text{pH} = 4$ ) preko

narandžastocrvene	( $\text{pH} = 5$ ) i žute ( $\text{pH} = 6$ )
oliv zelene	( $\text{pH} = 7$ )
plave	( $\text{pH} = 9$ ) do
plavozelene	( $\text{pH} = 8$ )

### **Postupak**

Na porcelanskoj pločici nalazi se kružno udubljenje, u koje se sipa nekoliko grama uzorka zemljišta. Iz udubljenja izvodi jedan mali kanalić, u koji se tečnost izlije. S obe strane kanalića se nalazi skala boja i nijansi za upoređenje.

Na uzorak zemljišta u kružnom udubljenju doda se nekoliko kapi univerzalnog indikatora i promeša se staklenim štapićem. Zemljišnji rastvor dobija određenu boju u zavisnosti od hemijske reakcije zemljišta. Ovaj rastvor se propusti u kanalić pH-metra i upoređuje se boja zemljišnog rastvora sa skalom boja i nijansi na pehametru, a svaka boja i nijansa odgovara određenoj pH-vrednosti. Pomoću indikatora se grubo može odrediti hemijska reakcija zemljišta do tačnosti od 0,5 pH broja. Kolorimetrijska metoda je prevaziđena zbog manje tačnosti u poređenju sa drugim metodama i retko se koristi.

## Elektrometrijska metoda

### **Princip metode**

Elektrometrijske metode, su brze i najtačnije, pošto se hemijska reakcija zemljišta može odrediti do tačnosti od 0,01 pH broja.

Princip elektrometrijskih metoda zasniva se na razlici električnog potencijala, koja nastaje između dve elektrode, zaronjene u dva rastvora, različite koncentracije H-jona, a koja se meri elektrometrijskim aparatom – pehametrom.

Redovno se primenjuje dvolarna elektroda: elektroda poredbena ili referentana, koja ima stalni potencijal i elektroda merna koja ima promenljiv potencijal, koja se ponire u rastvor nepoznate koncentracije H-jona. Razlika u potencijalu koja nastaje između dve elektrode se manifestuje u vidu elektromotorne sile koja pomera skazaljku ili se registruje na displeju kod novijih aparata i pH vrednost merenog rastvora ili suspenzije se direktno očitava.

Pomoću električnog pehametra u zemljištu se određuju aktivna i supstitucionna kiselost.

## **Određivanje aktivne kiselosti**

Aktivna kiselost se određuje u suspenziji zemljišta sa destilovanom vodom i označava se kao »pH u H<sub>2</sub>O«.

### ***Postupak metode***

Izmeriti 10,0 g vazdušno-suvog zemljišta i preneti u čašicu od 50 cm<sup>3</sup>. Menzurom dodati 25 cm<sup>3</sup> destilovane vode, i suspenziju dobro izmešati. Ostaviti da stoji 30 minuta i u tom intervalu više puta dobro izmešati. Nakog toga se meri koncentracija H-jona pomoću pehametra, uranjanjem dvojne kombinovane elektrode u pripremljenu suspenziju. Pre merenja pehametar se podesi pomoću standardnih rastvora po napisanom uputstvu koje se nalazi pored aparata.

## **Određivanje supstitucione kiselosti**

Supstitucionu kiselost se određuje u suspenziji zemljišta sa 1 M rastvorom KCl i označava se kao pH u KCl, ili fiziološki aktivna kiselost.

### ***Postupak metode***

Izmeriti 10,0 g vazdušno-suvog zemljišta i preneti u čašicu od 50 cm<sup>3</sup>. Menzurom dodati 25 cm<sup>3</sup> 1 M KCl, i suspenziju dobro izmešati. Ostaviti da stoji 30 minuta i u tom intervalu više puta dobro izmešati. Nakog toga se vrši merenje na pehametu uranjanjem dvojne kombinovane elektrode u pripremljenu suspenziju.

Na osnovu utvrđenih pH-vrednosti u suspenziji zemljišta sa H<sub>2</sub>O i u suspenziji zemljišta sa KCl zemljišta su klasifikovana prema hemijskoj reakciji.

## ***Klasifikacija***

**Tabela 16. Američka klasifikacija zemljišta prema hemijskoj reakciji (vrednostima pH).**

Oznaka hemijske reakcije zemljišta	Vrednosti pH u suspenziji zemljišta sa H <sub>2</sub> O
1. ekstremno kisela	< 4,5
2. veoma kisela	4,5 - 5,0
3. jako kisela	5,1 - 5,5
4. srednje(umereno) kisela	5,6 - 6,0
5. slabo kisela	6,1 - 6,5
6. neutralna	6,6 - 7,3
7. slabo alkalna	7,4 - 7,8
8. srednje (umereno) alkalna	7,9 - 8,4
9. jako alkalna	8,5 - 9,0
10. veoma alkalna	> 9,1

**Tabela 17. Klasifikacija zemljišta prema hemijskoj reakciji (po Thun-u).**

Oznaka hemijske reakcije zemljišta	Vrednosti pH u suspenziji zemljišta sa KCl
1. jako kisela	< 4,5
2. kisela	4,51 - 5,5
3. slabo kisela	5,51 - 6,5
4. neutralna	6,51 - 7,2
5. alkalna	> 7,20

## 5.4 Određivanje hidrolitičke kiselosti

### *Osnovni pojmovi i značaj*

Određivanje hidrolitičke kiselosti spada medju najvažnije hemijske analize beskarbonatnih i kiselih zemljišta. Podatak o veličini hidrolitičke kiselosti daje nam predstavu o stepenu acidifikacije adsorptivnog kompleksa zemljišta. Njega pre svega koristimo pri izračunavanju kapaciteta adsorpcije katjona (T) i stepena zasićenosti zemljišta adsorbovanim baznim katjonima (V%). Na bazi hidrolitičke kiselosti izračunava se potrebna količina krečnog sredstva za kalcizaciju zemljišta.

### *Princip metode*

Dejstvom hidrolitički baznih soli (kalcijum ili natrijum acetat) na zemljište, dolazi do energične supstitucije H jona iz adsorptivnog kompleksa sa baznim jonima acetata. U rezultatu te supstitucije u rastvoru se pojavljuje sirčetna kiselina, čija se količina određuje titracijom sa rastvorom NaOH.

### *Postupak metode*

Za određivanje hidrolitičke kiselosti (metodom Kappen-a) odmeri se 100 g apsolutno suvog zemljišta i  $250 \text{ cm}^3$  1 N rastvora kalcijum acetata i stavi u kolbu, koja se zatvori gumenim čepom i mučka 1 sat na rotacionoj mučkalici. Nakon mučkanja kolba se ostavi da stoji do sledećeg dana. Za to vreme se vrši hidroliza soli, stvara se slabo bazična reakcija i kalcijum postepeno prodire u kompleks iz koga istiskuje vodonikove jone. U rezultatu toga javља se sirčetna kiselina, koja slabo disosuje i reakcija ide dalje, naime, molekuli soli se dalje hidrolizuju. Sledеćeg dana suspenzija se filtrira kroz filter papir. Od filtrata se uzima  $125 \text{ cm}^3$  (alikvot-deo filtrata) i stavlja u kolbu zapremine  $150 \text{ cm}^3$ . U odmereni filtrat se doda 5-6 kapi indikatora fenolftaleina i titriše se sa 0,1 N rastvorom NaOH do pojave slabo ružičaste boje koja se održava tokom 1 minuta.

### *Izračunavanje rezultata*

Broj  $\text{cm}^3$  0,1 N rastvora NaOH utrošenog za titraciju nastale sirčetne kiseline iz  $125 \text{ cm}^3$  filtrata, koji se odnosi na 50 g zemljišta, čini tzv. »prvu titracionu vrednost hidrolitičke kiselosti« koju je Kappen obeležio kao  $y_1$ .

Međutim, zbog poznate jake retencije H-jona jednokratnom ekstrakcijom sa acetatom nije moguće supstituisati sve H-jone adsorptivnog kompleksa zemljišta. Zato, ako se želi supstituisati sva količina H-jona u uzetoj probi zemljišta, potrebno je ekstrakciju ponoviti više puta. U tom cilju se posle određivanja prve titracione vrednosti

(y<sub>1</sub>) neistitrirani deo filtrata i zemljište sa filter papira ponovo vraćaju u kolbu u kojoj je rađeno prvo mučkanje, dodaje se 125 cm<sup>3</sup> svežeg rastvora acetata i ponovi postupak kao pri prvoj ekstrakciji. Utrošak rastvora NaOH za neutralizaciju sirćetne kiseline u ovom slučaju obeležava se kao y<sub>2</sub>. Ova operacija ponavlja se sve dok se u filtratu pojavljuje sirćetna kiselina, odnosno sve dok filtrat ne bude posle dodavanja fenolftalina davao slabo ružičastu boju. U stvari, ukupna hidrolitička kiselost jednaka je zbiru pojedinačnih titracionih vrednosti y<sub>1</sub> + y<sub>2</sub> + y<sub>3</sub> +..... y<sub>n</sub>.

Da bi se skratio postupak, kao zamena za višekratno tretiranje zemljišta acetatom predloženo je da se prva titraciona vrednost uveća množenjem sa odgovarajućim koeficijentima. Taj koeficijent kod kiselih i jako kiselih zemljišta iznosi 3,25, a kod slabo kiselih i neutralnih zemljišta 1,5.

Ukupna hidrolitička kiselost H ili (T-S), izražena u ekvivalentima milimola H/100 g zemljišta ili meq/100 g zemljišta, izračunava se po formuli:

$$H \text{ ili } T-S = \frac{y_1 \cdot (2 \text{ ili } 5 \text{ ili } 10) \cdot (1,5 \text{ ili } 3,25)}{10}$$

y<sub>1</sub> - Utrošak NaOH u cm<sup>3</sup> za titraciju

1,5 ili 3,25 – koeficijenti u zavisnosti od stepena kiselosti

2 ili 5 ili 10 – ako je alikvot 125 cm<sup>3</sup> u formuli se koristi broj 2, ako je 125 cm<sup>3</sup> u formuli se koristi broj 5 i ako je 25 cm<sup>3</sup> u formuli se koristi broj 10.

### **Primer**

Odrediti vrednost hidrolitičke kiselosti slabo kiselog zemljišta, ako je pri titraciji utršeno 7 cm<sup>3</sup> NaOH, u alikvotu od 50 cm<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} y_1 &= 7 \text{ cm}^3 \\ A &= 50 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$


---

$$H \text{ ili } T-S = \frac{7 \cdot 5 \cdot 1,5}{10} = 5,25 \text{ meq/100 g}$$

### **Klasifikacija**

Prema mađarskoj literaturi, ako je:

- H < 4 meq/100 g zemljišta, kalcifikacija nije potrebna
- H od 4 do 8 meq/100 g zemljišta, kalcifikacija je fakultativna
- H > 8 meq/100 g zemljišta, kalcifikacija je obavezna.

## **5.5 Izračunavanje potrebne količine krečnog sredstva za popravku kiselih zemljišta**

### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Imajući u vidu da kod nas značajne površine zauzimaju kisela zemljišta i za povećanje njihove produktivnosti neophodna je primena kalcifikacije. Pod kalcifikacijom se podrazumeva hemijska meliorativna mera kojom se u zemljište unosi krečno sredstvo u cilju smanjenja kiselosti zemljišta. Za kalcifikaciju najpogodniji su mlađi, mekši krečnjaci koji se mogu usitniti u cilju povećanja njihove aktivne površine, odnosno rastvorljivosti. Ležišta krečnjaka, koji su pogodni za kalcifikaciju, u našoj zemlji ima na većem broju lokaliteta, što ima bitnog uticaja na smanjenje troškova njegovog transporta. Smanjenje kiselost zemljišta se može postići primenom saturacionog mulja- nusprodukt u procesu prerade šećerne repe. Pre primene, sredstva se moraju ispitati, kako se ne bi zemljište kontaminiralo opasnim i/ili štetnim elementima. Ako neko krečno sredstvo nije čisto, uzima se u obzir i nečistoća. Obično se u praksi ova količina kreča povećava, pošto je mogućnost mešanja kreča sa zemljištem znatno manja nego što je to slučaj u rastvorima. U cilju povećanja rastvorljivosti primjenjenog krečnog sredstva u zemljište se unosi i organsko djubrivo, obično stajnjak.

### ***Izračunavanje rezultata***

Pri određivanju količine kreča treba uzeti u obzir: mehanički sastav zemljišta, prisustvo organskih materija u zemljištu i podnošljivost kulturnih biljaka prema kreču. Ako se potreba krečnog sredstva za kalcifikaciju izračunava na osnovu hidrolitičkog aciditeta, postiže se pH zemljišta do 7 u 1 M KCl.

Na osnovu vrednosti hidrolitičke kiselosti se izračunava potrebna količina krečnog sredstva za kalcifikaciju zemljišta. Svakom miliekvivalentu hidrolitičke kiselosti, odnosno  $10 \text{ cm}^3 0,1 \text{ n NaOH}$  utrošenog za neutralizaciju sirčetne kiseline odgovara:

50 mg CaCO<sub>3</sub>  
28 mg CaO ili  
37 mg Ca(OH)<sub>2</sub>

Kada se zna potrebna količina nekog krečnog sredstva za neutralizaciju kiselosti u 100 g zemljišta, može se pomoću proporcije izračunati ukupna količina odgovarajućeg sredstava za 1 ha do određene dubine.

### **Primer**

Izračunati potrebnu količinu Ca(OH)<sub>2</sub> za kalcizaciju jednog hektara pseudogleja na dubini od 35 cm, pri vrednosti zapremske mase 1,42 g cm<sup>-3</sup> i vrednosti hidrolitičke kiselosti 10,2 meq/100g.

$$P = 1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$$

$$d = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$H = 10,2 \text{ meq/100 g}$$

$$SM_z = 1,42 \text{ g cm}^{-3}$$

Krečno sredstvo Ca(OH)<sub>2</sub>

---

$$V = 10000 \text{ m}^2 \cdot 0,35 \text{ m} = 3500 \text{ m}^3 = 3,5 \cdot 10^9 \text{ cm}^3$$

$$m_z = 3,5 \cdot 10^9 \text{ cm}^3 \cdot 1,42 \text{ g cm}^{-3} = 4,97 \cdot 10^9 \text{ g}$$

$$100 : (H \cdot Kr. sr.) = m_z : X$$

$$100 : (10,2 \cdot 0,037) = 4,97 \cdot 10^9 \text{ g} : X$$

$$X = 10,2 \cdot 0,037 \cdot 4,97 \cdot 10^9 \text{ g} / 100$$

$$X = 1,876 \cdot 10^7 \text{ g}$$

$$\underline{X = 18,76 \text{ t/ha } Ca(OH)_2}$$

## 5.6 Određivanje svojstava adsorptivnog kompleksa zemljišta

### *Osnovni pojmovi i značaj*

Adsorptivni kompleks zemljišta karakterišu sledeće veličine:

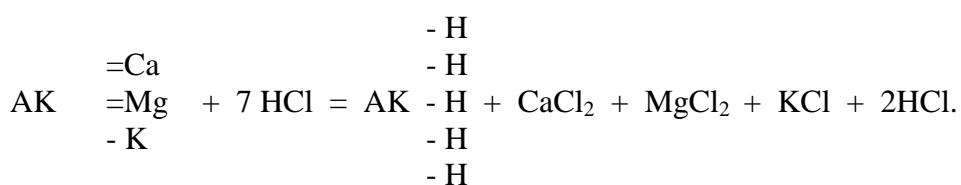
- SUMA ADSORBOVANIH BAZNIH KATJONA koja se obeležava sa slovom »S«;
- NEZASIĆENOST KOMPLEKSA BAZAMA, ili deficit baza, koji se obeležava slovom »H« ili »T – S«;
- KAPACITET ADSORPCIJE KATJONA (ili maksimalni, ukupni, totalni kapacitet zemljišta za baze), koji se označava slovom »T«, i
- STEPEN ZASIĆENOSTI ZEMLJIŠTA ADSORBOVANIM BAZNIM KATJONIMA koji se označava slovom »V«.

Vrednosti S, T i H se izražavaju u meq/100 g zemljišta, a V – vrednosti u procentima.

### *5.6.1 Određivanje sume adsorbovanih baznih katjona*

#### *Princip metode*

Metodom Kappen-a beskarbonatno zemljište se tretira sa 0,1 M HCl i prilikom toga dolazi do zamene H-jona sa adsorbovanim bazama. To se može šematski predstaviti na sledeći način:



Zaostala sona kiselina se titrimetrijski određuje pomoću 0,1 M NaOH.

#### *Postupak metode*

Izmeriti 10,0 vazdušno-suvog zemljišta i preneti u erlenmajericu, dodati pipetom 100 ml 0,1 M HCl i mućkati na mućkalici jedan sat (može i rukom). Nakon mućkanja filtrirati i od bistrog filtrata uzeti 50 ml sa pipetom i preneti u erlenmajericu. Tome dodati tri kapi fenolftaleina, zagrejati na plameniku da ključa 5 minuta i titrirati u vrelom stanju sa 0,1 M NaOH do pojave slabe ružičaste boje, koja se održava bar jedan minut. Očitati utrošak 0,1 M rastvora NaOH u  $\text{cm}^3$  za titraciju i izračuna suma adsorbovanih baznih katjona.

#### *Izračunavanje rezultata*

Broj  $\text{cm}^3$  tačno 0,1 M NaOH utrošenog na neutralizaciju preostale tačno 0,1 M HCl iz  $50 \text{ cm}^3$  filtrata, što odgovara 5 g zemljišta, oduzme se od 50 ml HCl i dobijena razlika daje  $\text{cm}^3$  utrošene n/10 HCl na zemenu bazu. Tada se množi sa 20 da se dobije utrošak HCl na 100 g zemljišta i još se podeli sa 10 da se vrednost izrazi u meq/100 g.

**Primer**

Utrošeno  $35,63 \text{ cm}^3$  0,1 M NaOH za titraciju preostale kiseline - HCl, a za supstituciju baza u 5 g zemljišta utrošeno je  $14,37 \text{ cm}^3$  0,1 M HCl

$$S = \frac{14,37 * 20}{10} = 28,64$$

$$S = 28,64 \text{ meq H/100 g zemljišta}$$

**5.6.2 Određivanje nezasićenosti zemljišnog kompleksa bazama**

O određivanju ove veličine bilo je govora kod određivanja hidrolitičke kiselosti metodom Kappena ( vrednost H ili T-S ).

**5.6.3 Određivanje kapaciteta adsorpcije katjona**

**Izračunavanje rezultata**

Ova vrednost se određuje računskim putem, tj. sumiranjem »S« i »H« vrednosti:

$$T = S + H \text{ ili } T = S + (T - S)$$

gde je:

S = suma baza

H, odnosno T - S = deficit baza

**Primer**

$$T = 28,64 + 2,84 = 31,48$$

$$T = 31,48 \text{ meq H/100 g zemljišta}$$

#### 5.6.4 Određivanje stepena zasićenosti zemljišta bazama

##### Izračunavanje rezultata

Pod stepenom zasićenosti zemljišta bazama se podrazumeva procentualna zastićenost zemljišta sa bazama. Ova vrednost se dobija računskim putem iz formule:

$$V\% = \frac{S}{T} \cdot 100$$

##### Primer

$$V\% = \frac{28,64}{31,48} \cdot 100 = 90,98$$

$$V = 90,98\%$$

**Tabela 18.** Dobijene vrednosti o adsorptivnom kompleksu mogu se iskazati na sledeći način:

u ekvivalentima milimola H/100 g zemljišta			V%
S	H	T	
28,64	2,84	31,48	90,98

**Tabela 19.** Količine pojedinih katjona se određuju u mg (hemijskom analizom), a prikazuju u ekvivalentima milimola H/100g zemljišta ili u mekv/100g zemljišta ili u % od totalnog kapaciteta adsorbcije.

Vrsta katjona	Količina katjona mg/100g zemljišta	Atomska masa katjona	Ekvivalentna masa katjona atomska masa/valentnost	Ekvivalent milimola H/100g zemljišta ili meq/100g zemljišta	% udeo katjona
Ca <sup>2+</sup>	200	40	20	10	33,33
Mg <sup>2+</sup>	60	24	12	5	16,66
K <sup>+</sup>	78	39	39	2	6,66
Na <sup>+</sup>	23	23	23	1	3,33
Suma baznih katjona					59,98

Razlika do 100% odnosi se na udeo ostalih katjona čiji sadržaj nije analiziran.

## **5.7 Određivanje sadržaja ukupnih vodorastvorljivih soli u zemljištu**

### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Razni tipovi i podtipovi halomorfnih zemljišta karakterišu se različitom vrstom, količinom i rasporedom soli u profilu.

Sadržaj vodorastvorljivih soli u pojedinim godišnjim dobima u određenim zemljištima je promenljiv: u suvom i toploj periodu, vodorastvorljive soli se premeštaju i akumuliraju blizu površine ili na samu površinu zemljišta, u kišnom periodu ili nakon navodnjavanja, soli se povlače u dublje slojeve, ali ih ponovno isparavanje može opet podići ka površini. Ova naizmenična pojava utiče vrlo nepovoljno na fizička svojstva i strukturnost zemljišta. Zbog dinamike soli, Hilgard preporučuje da je za praksu celishodno odrediti potpunu količinu lutajućih soli i dovesti ih u vezu s klimatskim i meteorološkim prilikama. Poznavanje odnosa kretanja soli u nekom zemljištu od interesa je i sa gledišta eventualnog zaslanjivanja pri uslovima navodnjavanja.

Salinitet (sadržaj ukupnih vodorastvorljivih soli) predstavlja, dakle najvažniji podatak kod slatina i slatinastih zemljišta i on se može odrediti pomoću »Metode merenja električnog konduktiviteta u saturisanoj zemljišnoj pasti ili u više razblaženoj suspenziji zemljišta sa vodom«. Ovo je jednostavan i brz metod određivanja sadržaja soli u zemljištu, koji se i danas primenjuje uglavnom za potrebe široke prakse.

### ***Princip metode***

Vodorastvorljive soli u vlažnom uzorku zemljišta, odnosno u vodom saturisanoj zemljišnoj pasti ili u suspenziji zemljišta sa vodom, se ponašaju kao elektroliti. Iz tih razloga se električni konduktivitet koristi za izražavanje ukupne koncentracije jonizovanih sastojaka u zemljišnoj pasti, suspenziji ili ekstraktu. Ukoliko je u nekom zemljištu prisutna veća količine elektrolita (soli) utoliko je njegova električna sprovodljivost veća, odnosno pri merenju na aparatu se javlja utoliko manji električni otpor, izražen u omima.

### ***Postupak metode***

Odmeri se 80 g vazdušno suvog zemljišta, prethodno prosejanog kroz sito otvora od 2 mm i stavi u porcelanski avan. Uz temeljno mešanje tučkom dodaje se destilovana voda (pomoću birete) sve dotle, dok se ne postigne završna tačka, karakteristična za saturisano stanje zemljišta. Naime, nastala zemljišna pasta treba da bude homogena (bez grudvica), sjajna na površini, ali dovoljno gusta, te se slobodna voda ne izdvaja iz nje. Ovakvo stanje zemljišta predstavlja gornju granicu plastičnosti po Atterbergu. Test takvog stanja, postiže se kada pasta na utisnutom, a zatim naglo izdignutom tučku, povije svoj vrh, izvlačeći se u nit.

Dobro izmešanom pastom, puni se ebonitna posuda sa mesinganim elektrodama uz treskanje o dlan ili gumenu podlogu u cilju istiskivanja vazdušnih mehurića. Posudica se potpuno napuni, i pasta se špatulom izravna sa gornjom ivicom posudice. Celishodno je evidentirati dodavanu količinu vode u cilju određivanja tzv. »broja vezanosti« po Arany-u, koji je jednak

$$= \frac{\text{voda u ml}}{\text{odvaga u g}} \cdot 100$$

Po istom autoru broj vezanosti kod peskuša dostiže 30, kod glinuša preko 50, a kod ilovača između ovih vrednosti.

Ebonitna posudica, se dobro izbriše i preko mesinganih elektroda na ebonitnoj posudici pasta se postavlja u kolo naizmenične struje (Wheatston-ov most), pomoću aparata konduktometra. Otpor paste se očitava na sledeći način: pri najvećem odklonu magičnog oka na Konduktometru ukuljučujući prekidač uporednog otpornika od 10, 100 ili 1000 oma i prekidač recipročnog otpornika skala od 1 do 9. Kada je utvrđena tačka najvećeg otklona u magičnom oku pomoću prekidača uporednog i recipročnog otpornika vrednost električnog otpora paste se dobije množenjem vrednosti recipročnog sa vrednosti uporednog otpora.

Na primer, ako je vrednost recipročnog bila otpornika na 1,55, a prekidač uporednog otpornika na podeoku 100, onda je otpor elektrodne posude sa zemljišnom pastom iznosio 155 oma. Pošto je očitavanje izvršeno, električna posuda se iskopčava i u zemljišnu pastu se stavlja termometar radi merenja temperature paste.

### Izračunavanje rezultata

Sadržaj soli u zemljištu se dugo vremena izražavao samo na osnovu električnog otpora saturisane zemljišne kaše, iskazanog u omima. U svrhu mogućnosti upoređenja podataka o električnom otporu zemljišta sa raznih lokaliteta, pomenuti autori su predložili da se radni električni otpori mereni na radnoj temperaturi, moraju korigovati na konstantnu temperaturu koja po dogovoru iznosi  $15,5^{\circ}\text{C}$  ( $60^{\circ}\text{ F}$ ) te su sastavili i tabelu radi redukcije očitavanja na tu temperaturu.

### Primer

Prepostavimo da je očitani električni otpor jedne zemljišne paste, na temperaturi od  $10,0^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{ F}$ ) iznosio  $2575 \Omega$ .

U tabeli se može naći:

$$\text{da je } 2000 \Omega \text{ na } 10,0^{\circ}\text{C} = 1734 \Omega \text{ na } 15,5^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{da je } 500 \Omega \text{ na } 10,0^{\circ}\text{C} = 434 \Omega \text{ na } 15,5^{\circ}$$

$$\text{da je } 70 \Omega \text{ na } 10,0^{\circ}\text{C} = 61 \Omega \text{ na } 15,5^{\circ}$$

$$\text{da je } 5 \Omega \text{ na } 10,0^{\circ}\text{C} = 4 \Omega \text{ na } 15,5^{\circ}$$

---

$$2575 \Omega \text{ na } 10,0^{\circ}\text{C} = 2233 \Omega \text{ na } 15,5^{\circ}$$

Davis i Bryan su razradili metod grafičke interpolacije, utvrdivši odnos između električnog otpora u saturisanoj zemljišnoj kaši i približnog procenta soli vazdušno suvog zemljišta.

Ukoliko se određuje sadržaj ukupnih soli u zemljišnoj suspenziji sa vodom u odnosu 1 : 1 ili 1 : 5, potrebna je posebna elektroda, imerzionog tipa koja se zaranja u pripremljenu suspenziju.



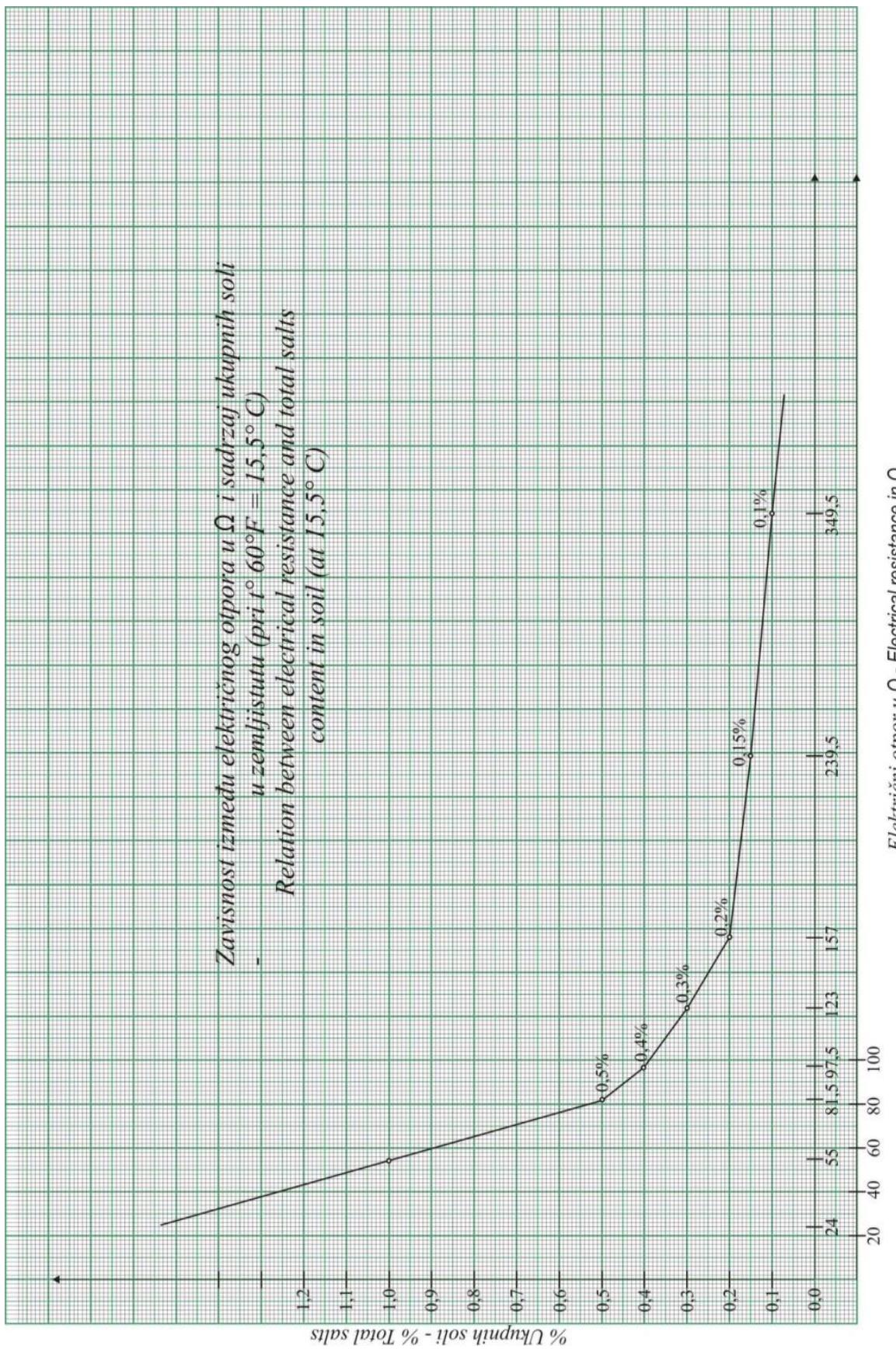
*Slika 30. Konduktometar*

**Tabela 20.** Podaci za redukciju očitanog električnog otpora saturisane zemljišne paste na vrednost kod konvencionalne temperature od  $15,5^{\circ}\text{C}$  ( $60^{\circ}\text{F}$ ) (Po Whitney-u i Means)

F°	C°	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
50,0	10,0	867	1734	2601	3468	4335	5202	6069	6936	7803
51,0	10,5	881	1762	2642	3524	4405	5286	6167	7048	7929
52,0	11,1	893	1786	2679	3572	4465	5358	6251	7144	8037
53,0	11,7	906	1812	2718	3624	4530	5436	6342	7248	8156
54,0	12,2	917	1834	2751	3668	4585	5502	6419	7336	8253
55,0	12,8	933	1866	2799	3732	4665	5598	6531	7464	8397
56,0	13,3	947	1894	2841	3780	4735	5682	6629	7576	8523
57,0	13,9	961	1922	2883	3844	4805	5766	6727	7688	8649
58,0	14,4	974	1948	2922	3896	4870	5844	6818	7792	8766
59,0	15,0	987	1974	2962	3949	4936	5923	6910	7898	8885
60,0	15,5	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
61,0	16,1	1013	2026	3039	4052	5065	6078	7091	8104	9117
62,0	16,7	1027	2054	3081	4108	5135	6162	7189	8216	9243
63,0	17,2	1040	2080	3120	4160	5200	6240	7280	8320	9360
64,0	17,8	1054	2108	3162	4216	5270	6324	7378	8432	9486
65,0	18,3	1067	2134	3201	4268	5335	6402	7469	8536	9603
66,0	18,9	1081	2162	3243	4324	5405	6486	7567	8648	9729
67,0	19,4	1095	2190	3285	4380	5475	6570	7665	8760	9855
68,0	20,0	1110	2220	3330	4440	5550	6660	7770	8880	9990
69,0	20,5	1125	2250	3375	4500	5625	6750	7875	9000	10125
70,0	21,0	1140	2280	3420	4560	5700	6840	7980	9120	10260
71,0	21,7	1155	2310	3465	4620	5775	6930	8085	9240	10395
72,0	22,2	1170	2340	3510	4680	5850	7028	8190	9360	10530
73,0	22,8	1185	2370	3555	4740	5925	7110	8295	9480	10665
74,0	23,3	1201	2402	3603	4804	6056	7206	8407	9608	10809
75,0	23,9	1215	2430	3645	4860	6075	7290	8505	9720	10935
76,0	24,4	1230	2460	3690	4920	6158	7380	8610	9840	11070
77,0	25,0	1245	2490	3735	4980	6225	7470	8715	9960	11205

### Klasifikacija

Prosečan sadržaj ukupnih soli kod vojvođanskih slatina kreće se uglavnom u uskom rasponu, od 0,03 do 1%. Prema klasifikaciji zemljišta Jugoslavije (Škorić, Ćirić, Filipovski 1985) zemljište se smatra zaslanjenim, i uz oznaku horizonta se stavlja simbol »sa«, ukoliko je akumulacija lako rastvorljivih soli, izuzev gipsa u količinama  $> 0,25\%$  za hloridno – sulfatno zaslanjivanje i  $> 0,15\%$  za sodno zaslanjivanje.



## **5.8 Izračunavanje potrebne količine gipsa za popravku alkalnih zemljišta**

### ***Osnovni pojmovi i značaj***

Gipovanje je jedan od najstarijih, najpoznatijih i najrasprostranjenijih hemijskih meliorativnih postupaka.

Princip dejstva gipsa na sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) primenio je Hilgard još u 80-im godinama devetnaestog veka pri melioraciji američkih sodnih slatin.

Hilgardov postupak zasniva se na sledećoj jednačini:



Međutim, Sigmond ukazuje na činjenicu povratne hemijske reakcije: ako su sulfat-joni u prevazi (tj. ako se gips dodaje u suvišku) onda proces ide u pravcu gornje strelice, i obrnuto, kako karbonat - joni preovlađuju u zemljišnom rastvoru (praktično to znači, ako se unosi nedovoljna količina gipsa) reakcija menja pravac, pri čemu se gips izdvaja, a soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ponovo stvara. Ovo nije samo teoretsko pitanje već od velike praktične važnosti jer se na taj način objašnjava zašto dejstvo gipsa u slučaju nedovoljnog unošenja ne može biti dugotrajno.

Količine gipsa koje su potrebne za sniženje alkaliteta do izvesnog nivoa, mogu se odrediti na više načina:

1. Na osnovu vrednosti sadržaja adsorbovanog natrijuma i kapaciteta adsorpcije baza u zemljištu.
2. Direktnim određivanjem potrebe u gipsu (gypsum requirement) po Schoonover-u.

### **Doziranje gipsa na osnovu sadržaja adsorbovanog natrijuma i kapaciteta adosrpcije baza**

#### ***Postupak metode***

Postupak određivanja potrebnih količina gipsa - računski može da ilustrije ovaj primer. Ako sloj od 30 cm neke slatine sadrži 5 meq/100 g adsorbovanog natrijuma, a kapacitet adsorpcije baza toga zemljišta iznosi 10 meq/100 g, sledi da je adsorbovani natrijum sa 50% zastupljen u adsorptivnom kompleksu. Ako se pak želi da se procenat adsorbovanog Na-jona smanji na 10%, znači da je potrebno supstituisati 4 meq/100 g adsorbovanog natrijuma.

Jednom miliekvivalenatu gipsa na 100 g zemljišta odgovara približno 4,25 tona gipsa u sloju od 30 cm dubine, na površini od 1 ha<sup>1</sup>, što praktično znači da je potrebno 17 tona gipsa za melioraciju sloja, debljine od 30 cm na površini od 1 ha.

Reakcija između uzetog gipsa i adsorbovanog natrijuma ima karakter jedne ravnotežne reakcije i zbog toga ona ne ide sasvim do kraja. Stepen do kojeg će reakcija teći određen je medju-dejstvom od nekoliko faktora: 1. razlikom u energiji supstitucije Ca-jona, Na-jonom (kapacitet njihove razmene), 2. procentom adsorbovanog natrijuma i 3. ukupnom koncentracijom katijona u zemljišnom rastvoru. Iz tih razloga Savezna američka laboratorija za slatine preporučuje da se doze gipsa određene na bazi

<sup>1</sup> Uz pretpostavku da težina toga sloja na 1 ha teži 4,000.000 kg

ekvivalentnih odnosa sa adsorbovanim natrijumom pomnože sa faktorom 1,25 u cilju kompenzacije nepotpune kvantitativne supstitucije.

To znači, da je prema gornjem primeru iznos od 17 tona gipsa, potrebno pomnožiti sa faktorom 1,25, čime se dobija doza za praktičnu primenu od 21,25 tona gipsa po jednom ha.

## Direktno određivanje potrebe u gipsu (»Gypsum requirement«) po Schoonover-u

### **Postupak određivanja**

Odvaga od 5 g vazdušno-suvog zemljišta stavi se u bočicu od 150-200 ml. Pomoću pipete doda se 100 ml zasićenog rastvora gipsa, začepi se bočica gumenim zapušaćem i rukom se mučka s vremena na vreme u toku 30 minuta, ili se mučka na mehaničkoj mučkalici 5 minuta. Filtrira se kroz gusti filter papir i u bistrom filtratu određuje se koncentracija Ca pomoću atomskog apsorpcionog spekrofotometra.

### **Izračunavanje**

Potrebna količina gipsa izračunava se prema obrascu:

$$\text{Potrebne količine} \quad \left| \begin{array}{l} \text{gipsa u meq/100 g} = \\ \text{zemljišta} \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} \text{Koncentracija} \\ \text{Ca}^{+2} \text{ u mekv/l} \\ \text{zasićenog rastvora} \\ \text{gipsa} \end{array} \right. - \quad \left| \begin{array}{l} \text{Koncentracija} \\ \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} \\ \text{u mekv/l filtrata} \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} \\ \\ \\ \times 2 \end{array} \right.$$

### **Primer**

Koncentracija kalcijuma u zasićenom rastvoru gipsa na temperaturi od 25°C iznosi 30 mekv/l.

Prepostavimo da je koncentracija kalcijuma + magnezijuma u filtratu nekog zemljišta koje podleže gipsovaniju, iznosila 25,5 meq/l, onda će potrebna doza gipsa prema gornjem obrascu iznositi:

$$30,5 - 25,5 = 5,0 \times 2 = 10,0 \text{ meq/gipsa/100 g zemljišta}$$

Ako se uzme da 1 meq gipsa/100 g odgovara približno 4,25 tona gipsa za sloj oranice od 30 cm po 1 ha, onda iz navedenog primera proizilazi da su potrebne količine: 10 meq gipsa  $\times 4,25 \text{ t} = 42,5 \text{ t/ha}$ .

## **6. LITERATURA**

1. Bošnjak, Đ., ur. 1997. Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta. Novi Sad: Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta / JDPZ, Priručnik za ispitivanje zemljišta.
2. Bošnjak, Đ, Pejić, B., Mačkić, K., (Novi Sad, 2012). Praktikum Navodnjavanje poljoprivrednih useva.
3. Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, (Beograd, 1966): Priručnik za ispitivanje zemljišta, knjiga I, Hemiske metode ispitivanja zemljišta.
4. Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, (Beograd, 1971): Priručnik za ispitivanje zemljišta, Knjiga V, Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta.
5. Korunović, R., Stojanović, S. (Beograd, 1989): Praktikum pedologije.
6. Miljković, N. (1977) : Praktikum iz pedologije, Novi Sad.
7. Racz, Z., (Zagreb, 1981) : Meliorativna pedologija II deo.
8. Resulović, H., (Sarajevo, 1969): Pedološki praktikum.
9. Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M.: Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Posebna izdanja, knjiga LXXVIII, Sarajevo, 1985.
10. Vučić, N., (Novi Sad, 1987): Vodni, vazdušni i topotni režim zemljišta.
11. Vučić, N., (Novi Sad, 1992) : Monografska, Higijena zemljišta.

## Izvod iz recenzija

Metode i postupci ispitivanja zemljišta prikazani u praktikumu su u skladu sa osnovnim programom praktične nastave predmeta Pedologija. Način na koji su prikazani omogućuje da se studenti uspešno obuče za praktičan rad u laboratoriji ali i na terenu. Praktikum je obogaćen fotografijama terenskih i laboratorijskih istraživanja, tabelama i grafikonima ali i primerima izračunavnja zadataka iz laboratorijskih vežbi. Praktikum je odlično štivo i za sve laboratorije koje se bave ispitivanjem zemljišta (laboratorije savetodavnih službi i sl.).

## O autorima

### Prof dr Milivoj Belić

Dr Milivoj Đ. Belić, redovni profesor za užu naučnu oblast Pedologija i Agrohemija, rođen je 11.08.1955. godine u Srbobranu, SO Srbobran, Vojvodina. Završio je Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu (1980). Magistarske studije je završio na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu na smeru Zemljište i ishrana biljaka odbranivši magistarsku tezu pod naslovom Dinamika vodorastvorljivog i adsorbovanog natrijuma i kalcijuma u toku melioracija solonjeca (1990). Doktorsku disertaciju pod naslovom Uticaj meliorativnih mera na adsorptivni kompleks solonjeca, odbranio je na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu (1999).

Nakon završenog fakulteta zapošljava se u Agrokombinatu "Subotica" u Subotici (1980). Potom se zapošljava u Institutu za ratarstvo i povrтарstvo i Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu na predmetu Pedologija kao asistent pripravnik (1981), a kasnije kao asistent (1982), docent (2000) i vanredni profesor (2005). Predaje Opštu i Meliorativnu pedologiju i Zaštitu zemljišta. Navedeni predmeti su na osnovnim, diplomskim i doktorskim studijskim programima. Bio je mentor većeg broja diplomskih radova, magistarskih i doktorskih teza.

U naučno-istraživačkom i stručnom radu učestvovao je na brojnim temama u okviru naučnih projekata, a trenutno je angažovan na tri naučno-istraživačka projekta. Do sada je bio najviše orijentisan na problematiku poboljšanja svojstava poljoprivrednih i halomorfnih zemljišta, pod uticajem fundamentalnih melioracija.

Autor i koautor je udžbenika i praktikuma i većeg broja poglavlja u monografijama. Do sada ima objavljeno oko 150 naučnih radova i oko 40 pedoloških studija. Oženjen je, otac je dvoje dece.

### Prof dr Ljiljana Nešić

Dr Ljiljana M. Nešić, vanredni profesor za užu naučnu oblast Pedologija i Agrohemija, rođena je 10.11.1955. godine u Novom Sadu gde je završila osnovnu školu i gimnaziju. Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu - Odsek za voćarstvo i vinogradarstvo, smer hortikultura, završila je 1979. god.

Magistarsku tezu pod naslovom Promene fizičkih i hemijskih svojstava zemljišta i hranljivog supstrata u stakleniku, odbranila je 1991. godine, na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu na smeru Zemljište i ishrana biljaka – Pedologija. Doktorsku disertaciju pod naslovom Svojstva solođa i njegovo mesto u klasifikaciji zemljišta, odbranila je 2002. godine, takođe na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu. Za asistenta pripravnika u naučnom radu na predmetu Pedologija na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, izabrana je 1981. godine. U zvanje asistenta u vaspitno obrazovnom radu

za naučnu oblast Pedologija prvi put je izabrana 1987. godine, u zvanje docenta 2004. godine, a u zvanje vanrednog profesora 2009.god.

U naučno-istraživačkom radu je najviše orijentisana na problematiku geneze i klasifikacije zemljišta, kontrole plodnosti zemljišta, uređenja i zaštite zemljišta od degradacije kao i na probleme rekultivacije zemljišta. Do sada je kao autor i koautor učestvovala u izradi Praktikuma iz Pedologije, udžbenika iz Agrogeologije, 10 poglavlja u monografijama, 162 naučna rada i 45 pedoloških elaborata, odnosno studija. Aktivan je učesnik pri izradi više naučnoistraživačkih projekata iz oblasti nauke o zemljištu. Kao mentor ili član komisije bila je učesnik pri izradi brojnih diplomskih, master i doktorskih radova studenata.

Služi se engleskim i ruskim jezikom. Član je Srpskog društva za proučavanje zemljišta a od 2010. god. je na funkciji generalnog sekretara društva.Udata je i majka je dvoje dece.

### **Dr Vladimir Ćirić**

Dr Vladimir I. Ćirić, asistent za užu naučnu oblast Pedologija i Agrohemija, je rođen 29.01.1978. godine u Pančevu. Osnovnu školu i gimnaziju "Dušan Vasiljev", je završio u Kikindi.

Na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu na studijskom programu za ratarstvo i povrtarstvo je diplomirao 2005. godine, postigavši prosečnu ocenu 9,06. Tokom osnovnih akademskih studija Dr Vladimir Ćirić je nagrađen sertifikatom od strane OEBS-a i rektorata Univerziteta u Novom Sadu za uspešno stažiranje u Skupštini i Izvršnom veću AP Vojvodine i diplomom i stipendijom Kraljevske Norveške Ambasade u Beogradu za postignute visoke akademske rezultate na osnovnim akademskim studijama.

Postdiplomske studije na smeru Pedologija upisao je školske 2005/2006. godine takođe na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu. Magistarsku tezu pod nazivom „Vodnofizička svojstva černozema, kao činilac plodnosti u proizvodnji kukuruza“, je odbranio 2008. godine, dok je tokom magistarskih studija na smeru Pedologija ostvario prosečnu ocenu 9,86. Doktorsku disertaciju pod nazivom „Kvantitativne i kvalitativne karakteristike organske materije različitih tipova zemljišta“, je odbranio 2014. godine, takođe na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu.

Dr Vladimir Ćirić je zaposlen na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu kao saradnik u nastavi od 2006. godine a potom kao asistent od 2009. godine.

Dr Vladimir Ćirić je angažovan u održavanju vežbi iz nastavnih predmeta Pedologija, Zemljište i melioracije, Pedologija i agroekologija, Meliorativna pedologija, Oštećenje zemljišta i rekultivacija i Zaštita zemljišta, na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu.

Polje istraživačkog rada Dr Vladimira Ćirića su organska materija zemljišta, degradacija zemljišta i klasifikacija zemljišta.

