

# Uvod u tloznanstvo

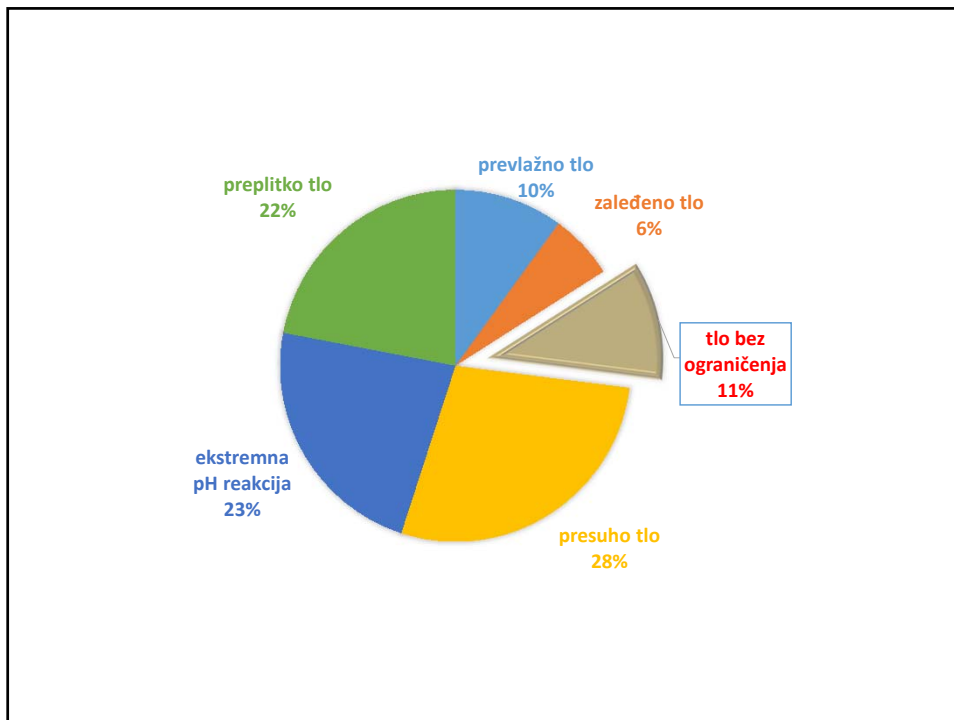
izv. prof. dr. sc. Irena Jug

modul: Osnove bilinogojstva s agrometeorologijom

TLOZKANSTVO – znanost koja proučava tlo kao prirodni resurs Zemljine površine uključujući genezu tla, klasifikaciju tala, fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla, plodnost tla te gospodarenje tlom.

Kao višenamjenski resurs i prirodno dobro, tlo možemo definirati s više različitih aspekata:

- ekološki
- fiziološki
- građevinski
- mehanički
- tržišno - gospodarski
- geološki



#### Definicija tla

- Tlo je površinski sloj Zemljine kore izmijenjen zajedničkim utjecajem klime, zraka, vode, biljaka i životinja (*Dokutchaev*)
- Prema *Mitscherlichu*, tlo je smjesa praškastih i čvrstih čestica, vode i zraka, koja, opskrbljena hranivima, može biti nositelj vegetacije
- *Kovda* definira tlo kao rastresit sloj Zemljine kore sposoban za stanište biljkama
- Nizozemac *David J. Hissink* smatra kako je tlo s ekološkog aspekta, onaj sloj Zemljine kore koji nosi biljke

TLO JE RASTRESITI SLOJ NA POVRŠINI ZEMLJE KOJI JE SMJEŠTEN  
IZMEĐU LITOSFERE I ATMOSFERE, A NASTAO JE OD MATIČNE  
STIJENE POD UTJECajem PEDOGENETSKIH ČIMBENIKA  
DJELOVANJEM PROCESA PEDOGENEZE

- Tlo je prirodno povijesna tvorevina nastala usitnjavanjem i razgradnjom stijene (primarnih minerala) te sintezom novih, sekundarnih minerala

ČIMBENICI NASTANKA TLA – svi čimbenici koji su sudjelovali u procesima razvoja pedosfere (litosfera, atmosfera, hidrosfera, biosfera)

glavni pedogenetski čimbenici:

- ▶ matični supstrat
- ▶ klima
- ▶ vrijeme (starost tla)
- ▶ reljef
- ▶ organizmi
- ▶ čovjek

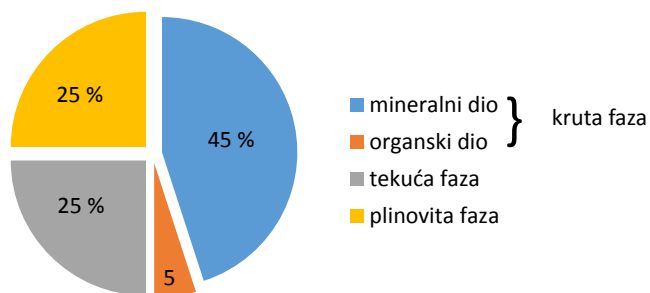
PEDOGENETSKI PROCESI - svi procesi koji direktno sudjeluju u razvoju tla

Pet temeljnih skupina:

- trošenje matične stijene i minerala
- razgradnja organske tvari
- tvorba organske tvari
- premještanje sastavnih dijelova pedosfere
- nastajanje novih anorganskih i organskih kompleksa (koloidne čestice tla)

## **TLO KAO SUPSTRAT BILNE ISHRANE**

-tlo je polifazni sustav koji se sastoji od krute, tekuće i plinovite faze



- Sastav oraničnog sloja u kojem se nalazi najveći dio korijenovog sustava biljaka u povoljnom stanju vlažnosti:

1. kruta faza – 50 % volumena

a) anorganski dio – 95 % mase:

80 % primarni minerali

20 % sekundarni minerali

b) organski dio – 5 % mase: pretežito koloidi

2. tekuća faza – 25 % volumena: vodena otopina soli i plinova

3. plinovita faza – 25 % volumena

4. živa faza – 5 t/ha

bakterije i aktinomicete (40 %),

gljive (40 %), makrofauna (5 %),

mikro i mezofauna (3 %), crvi (12 %).

O <sub>2</sub>	0-20 %
N <sub>2</sub>	78 %
Ar	0,9 %
CO <sub>2</sub>	0,1-20 % (>10% toksično)

## PRIMARNI MINERALI

- prema mehaničkoj analizi tla - pijesak i prah
- vrlo mala sorpcijska sposobnost elemenata biljne ishrane
- raspadanjem primarnih minerala oslobodaju se biljna hraniva postajući time raspoloživa za biljku, iako tijekom vegetacijskog perioda nisu značajan izvor elemenata ishrane (sporo raspadanje)
- najrasprostranjeniji primarni minerali: minerali silikata i alumosilikati: kvarc, liskuni, itd.



kalcit -  $\text{CaCO}_3$



kremen -  $\text{SiO}_2$



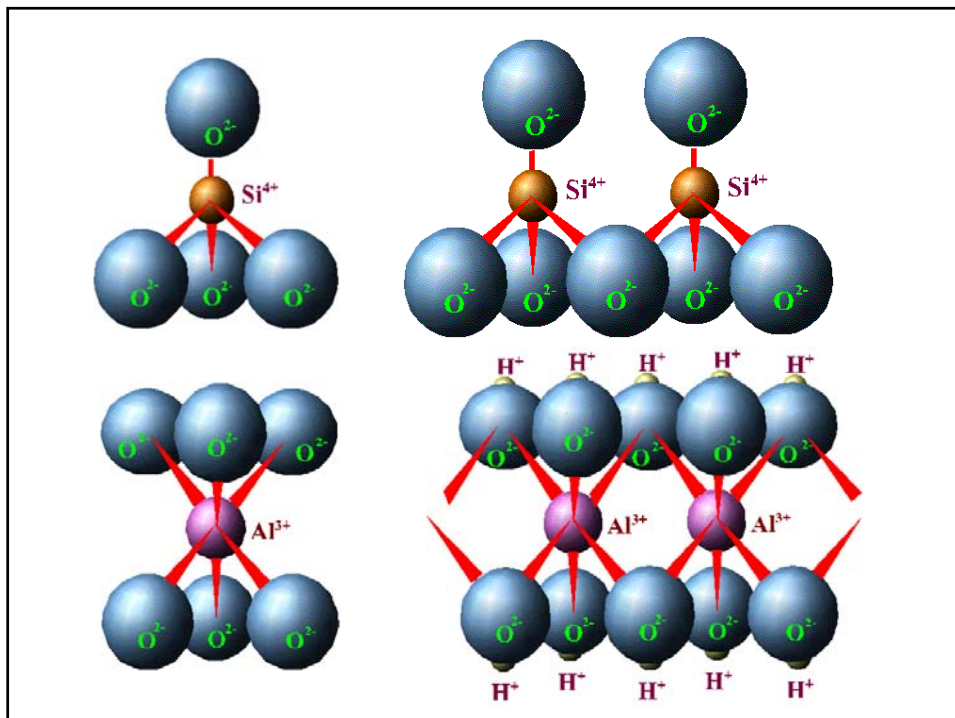
apatit -  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$



gips -  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

## SEKUNDARNI MINERALI

- Sekundarni minerali čine manji dio krute faze tla u odnosu na količinu primarnih minerala izuzev u uvjetima tropskog klimata
- Sekundarni minerali su uglavnom negativnog naboja što omogućava sorpciju kationa
- Sorpcijska sposobnost označava se kao KIK (kationski izmjenjivački kapacitet) i izražava u  $\text{cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$  tla
- Građa im je slojevita (izgrađeni su od tetraedra silicija i oktaedra aluminijskog ili željeznog - alumosilikati)



Sekundarni minerali gline svrstani su u tri grupe:

1. 1:1 tip minerala gline

KAOLINITI



2. 2:1 tip minerala gline

MONTMORILONITI (smektiti)

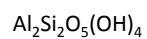


3. 2:1 tip minerala gline

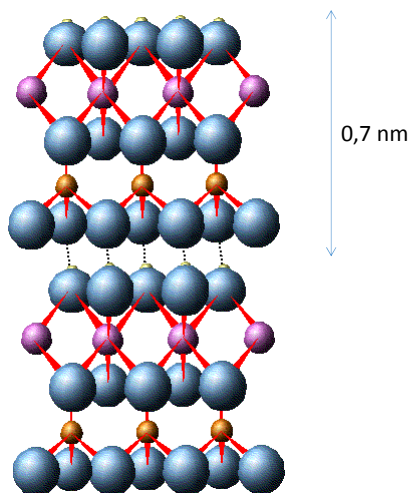
ILITI (hidratizirani liskuni)



1:1 tip minerala gline (kaolinit)

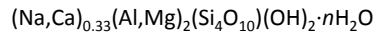


- građeni su iz:
  - jednog sloja tetraedra silicija
  - jednog sloja oktaedra aluminijskih
- povezani kisikom
- ne mogu se razmicati
- sposobnost sorpcije –mala
- međulamelarni prostor – 0.7 nm

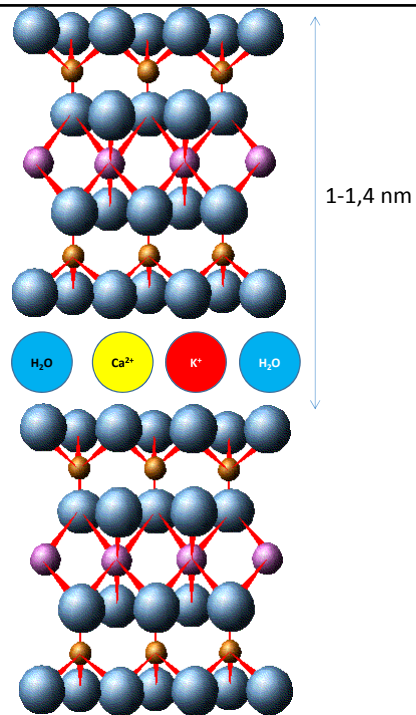




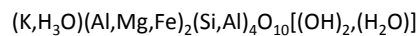
### 2:1 tip minerala gline (montmoriloniti)



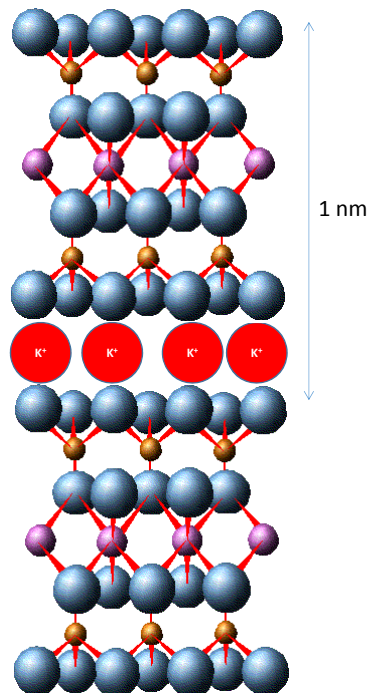
- građeni su iz:
  - dva sloja tetraedra silicija
  - jednog sloja oktaedra aluminija
- mogu se razmicati
- sposobnost sorpcije –velika
- međulamelarni prostor – 1-1,4 nm
- bubrenje, skupljanje – ovisno o vlažnosti



### 2:1 tip minerala gline (Iliti)



- dio silicija zamjenjen aluminijem
- višak naboja se neutralizira vezivanjem kalija između kristalne slojeve rešetke, pa se oni ne mogu znatnije razmicati kao kod montmorilonita
- Izražena sposobnost fiksacije kalija
- međulamelarni prostor – 1 nm



### Osnovna svojstva koloida tla

Koloid	veličina (nm)	površina (m <sup>2</sup> /g)		razmak između slojeva (nm)	sorpcija kationa cmol kg <sup>-1</sup>
		vanjska	unutarnja		
Kaoliniti	0.1-5.0	10-50	-	0.7	5-15
Montmoriloniti	<1.0	70-150	500-700	1.0-2.0	85-110
Iliti	0.1-2.0	50-100	5-100	1.0	15-40
Humus	-	-	-	-	100-300

izvor: <http://soils.cals.uidaho.edu/soil205-90/Lecture%208/index.htm>

- na stabilnost i otpornost sekundarnih minerala gline, u odnosu na raspadanje, utječu:
  - 1) temperatura
  - 2) specifična površina
  - 3) ispiranje i taloženje
  - 4) unutarnja struktura stabilnosti
  - 5) prisutnost organskih kiselina i anorganskih aniona

- Nastanak sekundarnih minerala - spor proces (ako u 100 g tla ima 20 g gline, a starost tla iznosi 10000 g., onda u prosjeku tijekom godine nastane 0,0002 g gline na svakih 100 g tla)
- Erozija, ispiranje i razlaganje može značajno smanjiti količinu gline u oraničnom sloju tla, te je potrebno provoditi odgovarajuće mjere **zaštite i konzervacije tla**
- Postojanost sekundarnih minerala je znatno manja u odnosu na primarne
- U starijim tlima prevladavaju sekundarni minerali, ali sa manjom sposobnošću sorpcije kationa i porastom kapaciteta za zamjenu aniona (velik značaj kod primjene mineralnih gnojiva, posebice u tropskim područjima)

#### **KOLOIDNA SVOJSTVA TLA**

- Čestice negativnog naboja nazivaju se acidoidi, a pozitivnog naboja, bazoidi. Čestice promjenjivog naboja - amfolitoidi
- U koloidnom sustavu gravitacijska sila teži taloženju raspršenih koloidnih čestica, a suprotno djeluje odbojna sila istovrsnog naboja čestica i snaga difuzije.

Koloidni sustav može se nalaziti u tri stanja:

- sol (tekući)
  - gel (krut i elastičan)
  - koagel (kada se disperzna faza nalazi u stanju zgrušavanja).
- 
- Koloidi tla su sposobni sorbirati molekule vode (hidrofilni su) dok disperznu fazu čine sekundarni minerali i organska tvar
  - Zbog specifičnih uvjeta koji vladaju u tlu granični promjer koloidnih čestica tla je manji od 0.001-0.002 mm

- Čestice koloidnog sustava posjeduju površinski napon određen količinom slobodne energije.
- Koloidni sustav teži uspostavljanju ravnotežnog stanja smanjivanjem slobodne energije :
  1. smanjivanjem površine koloidne čestice (proces koagulacije)
  2. smanjivanjem slobodne energije na granici čvrste i tekuće faze, što uzrokuje približavanje koloidnih čestica uz pojavu adsorpcije
- ADSORPCIJA je sposobnost koloidnih čestica negativnog naboja da na svoju površinu vežu katione iz otopine tla

- **DESORPCIJA** –prelazak adsorbiranih iona iz difuznog sloja (koloidne micelle) adsorpcijskog kompleksa u otopinu tla
- **SUPSTITUCIJA** – razmjena iona između otopine tla i difuznog sloja u ekvivalentnim odnosima
- **RETENCIJA** – zadržavanje adsorbiranih iona u difuznom sloju koloidne micelle

FIZIKALNA, KEMIJSKA I BIOLOŠKA  
SVOJSTVA TLA

## 1. MEHANIČKI SASTAV TLA

- Mehanički sastav (tekstura) predstavlja relativan odnos mehaničkih elemenata ili pojedinih kategorija čestica tla različitih veličina.
- Njihovim sljepljivanjem nastaju nakupine većih dimenzija (strukturni agregati).
- Prostorni raspored strukturnih agregata naziva se struktura tla.

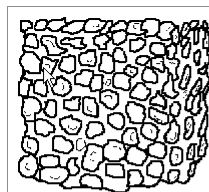
Tla povoljne strukture i teksture su porozna, dakle posjeduju dobre uvjete za rast korijena, povoljnog vodnozračnog režima (vododržnost i prozračnost tla).

prema Međunarodnoj klasifikaciji granulometrijskog sastava (izvor: Kisić, 2012.)

		Dimenzije (mm)
skelet	Kamen	> 20
	Šljunak	2,0-20
	Krupni pijesak	0,2-2,0
	Sitni pijesak	0,02-0,2
	Prah	0,002-0,02
	Glina	<0,002

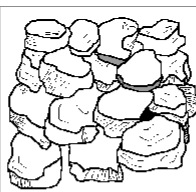
## 2. STRUKTURA TLA

- mehanički elementi u tlu međusobno se povezuju u veće nakupine - strukturne agregate
- prema podrijetlu agregate dijelimo na :
  - prirodne
  - antropogene
- prema obliku, dijelimo ih na: stubaste, prizmatične , mrvičaste, plosnate
- s ekološkog aspekta vrlo je važna stabilnost strukturnih agregata
- struktura je jedna od najvažnijih čimbenika plodnosti tla (korekcija loših osobina prouzrokovane mehaničkim sastavom)



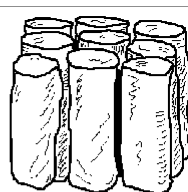
### mrvičasta

- manje od 0,5 cm
- u površinskim slojevima gdje se razvija glavina korijena



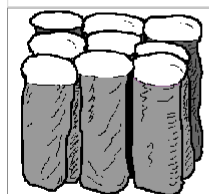
### grudasta

- 1,5 do 5,0 cm



### prizmatična

- uglavnom u nižim slojevima



### stubasta

- na površini imaju slane „kape“
- na tlima aridnog klimata



### pločasta

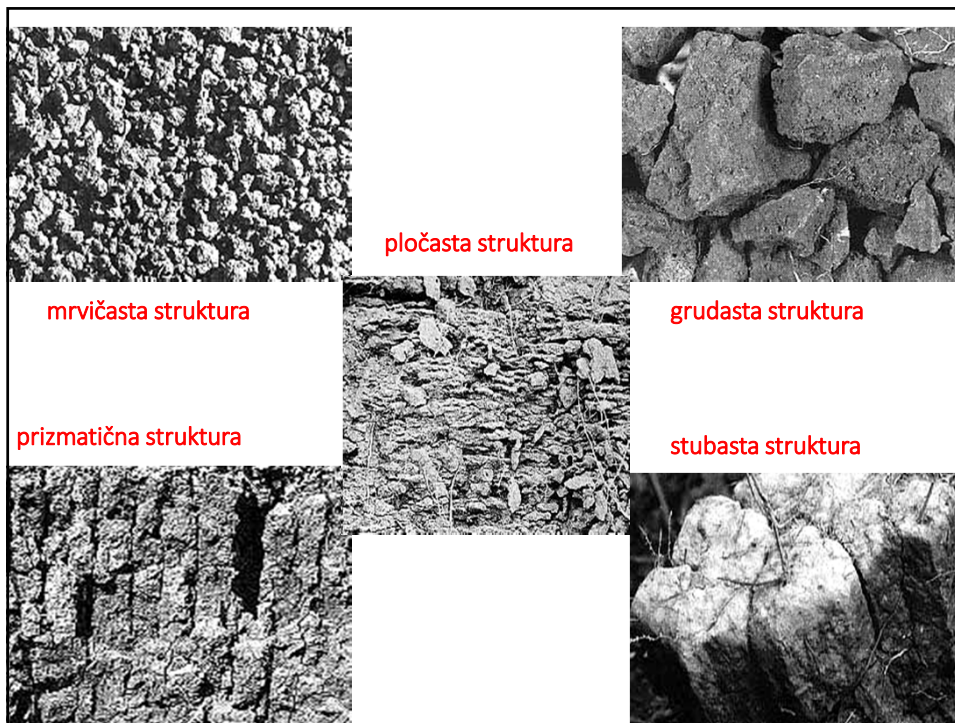
- na zbijenim tlima



### zrnata

- pjeskovita tla
- sitne čestice tla koje se ne „drže“ na okupu

izvor: <http://www.cst.cmich.edu/users/Franc1M/esc334/lectures/physical.htm>



### 3. GUSTOĆA TLA


- omjer mase i volumena nekog tla
- Razlikujemo dvije gustoće tla:
  1. volumna gustoća tla,  $\rho_v$  – masa apsolutno suhe tvari u jedinici volumena. Vrijednosti volumne gustoće tla najviše ovise o ukupnom sadržaju pora u tlu i sadržaju organske tvari. Što je veća ukupna poroznost i veći sadržaj organske tvari manja je volumna gustoća. Indikator je zbijenosti nekog tla. U oraničnim horizontima najčešće iznosi 1,0 - 1,6 gcm<sup>-3</sup>, a u zbijenim horizontima i više (do 2,0 gcm<sup>-3</sup>).
  2. gustoća čvrste faze tla,  $\rho_c$  - odnos mase vode i istog volumena čvrste faze tla. Vrijednosti gustoće čvrste faze tla ovise o mineralnom sastavu tla i sadržaju organske tvari. Ukoliko tlo sadrži više organske tvari, gustoća čvrste faze tla je manja. U većini tala varira od 2,2 - 2,9 gcm<sup>-3</sup>.



#### 4. POROZNOST TLA

- slobodni prostor između strukturnih agregata nazivaju se pore ili šupljine tla
- POROZNOST tla – ukupan sadržaj pora u volumnim postotcima
- KAPILARNE PORE – mikropore - voda je pod utjecajem kapilarnih sila (kapilarne pore određuju vodni režim tla)
- NEKAPILARNE PORE - makropore -pore većih dimenzija u kojima se nalazi zrak (vodom su ispunjene kraće vrijeme); kretanje vode je descedentno;
- povoljne vodozračne prilike u tlu nastaju kada je optimalan odnos mikropora i makropora (3 : 2 do 1:1)
- poroznost ovisi o teksturi, strukturi, organskoj tvari

#### 5. ZRAK U TLU

- smješten je u porama koje nisu ispunjene vodom (voda i zrak su u konkurentskom odnosu – više vode  manje zraka i obrnuto)
- Količina zraka u tlu varira ovisno o tipu tla, teksturi, vlažnosti, poroznosti, zbijenosti, itd.
- Kapacitet tla za zrak je sposobnost tla da prima i zadržava zrak, koji u tlu može biti *slobodan* (makropore), *otopljen u vodi* (manja količina) ili *fizikalno adsorbiran* na čvrstu fazu tla.
- Sastav zraka u tlu ovisi o intenzitetu razmjene plinova između zraka tla i atmosfere, te o intenzitetu biokemijskih procesa u tlu

### Sastav zraka u atmosferi i tlu

	Atmosfera, %	Tlo, %
Dušik	78	78
Kisik	21	20 (0-20 %)
Ugljikov (IV) oksid	0,03	0,35 (0-20%)

- sastav zraka vrlo je promjenjiv – utjecaj brojnih čimbenika
- smanjivanjem aeracije (prozračnosti) tla smanjuje se količina kisika, a povećava sadržaj CO<sub>2</sub>
- aeracija se smanjuje povećanjem dubine tla, te time se i koncentracija CO<sub>2</sub> povećava (na dubini od 1 m iznosi oko 10 %), dok se koncentracija O<sub>2</sub> smanjuje

- CO<sub>2</sub> se u tlu oslobađa disanjem korijena i mikrobiološkom razgradnjom organske tvari (volumni udio CO<sub>2</sub> je veći ljeti, u vlažnim tlima, u tlima dobre biogenosti, u tlima loše strukture, itd)
- Kod zasićenja pora tla vodom nedostaje kisik potreban za disanje korijena i oksidaciju organske tvari tla (mikrobiološka aktivnost).
- Smatra se da anoksija (nedostatak kisika) nastupa kada je samo 4% volumena tla ispunjeno zrakom. Problemi nastaju i ranije, već kada je zrakom ispunjeno ispod 10% zapremine tla.

- kod stvarnog nedostatka kisika prekida se disanje i zaustavlja usvajanje hraniva što dovodi do odumiranja korijena
- Kod deficita kisika povećava se koncentracija  $\text{CO}_2$  u tlu što ima za posljedicu usporavanje disanja korijena i mikrobiološke aktivnosti, a u reakciji s vodom stvara ugljičnu kiselinu.
- Mala količina (1-2%  $\text{CO}_2$ ) ima stimulativno djelovanje na rast korijena, ali više od 5% ima inhibitorni utjecaj zbog smanjenog intenziteta disanja korijena.

- $\text{O}_2$  je potreban za sve procese oksidacije – trošenje minerala za autotrofne bakterije, aerobne fiksatore dušika, humifikaciju i mineralizaciju kojom se stvaraju oksidirani oblici biogenih elemenata  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$ , te nenadoknativa važnost za disanje biljnog korijenja i faune u tlu.
- $\text{CO}_2$ -s vodom je agens trošenja minerala i mobilizacije hraniva, utječe na reakciju tla, debazifikaciju (proces pod kojim se podrazumijeva ispiranje baza sposobnih za zamjenu - Ca, Mg, K, i dr. ), acidifikaciju i topivost fosfata.
- $\text{N}_2$  je značajan za dušične bakterije – simbiotske i nesimbiotske
- Uloga vodene pare – štiti isušivanje korijenja

## 6. VODA U TLU

- tekuća faza – vodena otopina soli i plinova ( $100-1000 \text{ mg kg}^{-1}$ )
- otopina tla je najaktivnija sastavnica tla (u njoj nastaju svi pedogenetski procesi, služi kao otapalo biljnih hraniva, itd)
- Koncentracija otopine tla – sadržaj otopljenih tvari ( $\text{mg l}^{-1}$  ili u %)
- Količina vode koja se zadržava u tlu, njezini oblici i promjene tijekom određenog vremenskog razdoblja – **VODNI REŽIM TLA**
- Vodni režim ima veliki utjecaj na efektivnu i potencijalnu plodnost tla (zbog nezamjenjivog značaja u razvoju i održavanju vegetacije)
- S ekofiziološkog aspekta – voda je izvor kisika i vodika potrebnih za sintezu organskih spojeva; ima nezamjenjivu ulogu u procesima mineralne ishrane biljaka

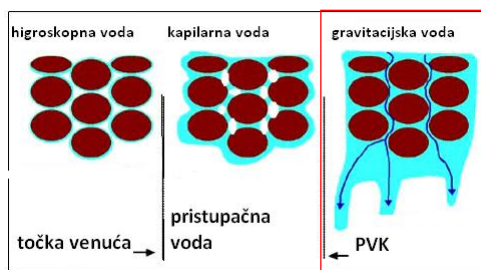
- osim potrošnje vode u transpiraciji i mineralnoj ishrani, određeni dio vode se gubi evaporacijom ili se gravitacijskom silom premješta u dublje slojeve tla
- Koja će se količina vode zadržati u tlu ovisi o granulometrijskom sastavu (teksturi tla) i količini organske tvari u tlu (humus)
- Voda se u tlu nalazi vezana različitim silama, te s obzirom na njenu pristupačnost biljkama, dijelimo ju na :
  - Pristupačnu
  - Nepristupačnu

Prema stupnju i obliku vezanosti za čvstu fazu, ukupna voda (pristupačna i nepristupačna) se dijeli u četiri klase:

1. GRAVITACIJSKA VODA
2. KAPILARNA VODA
3. HIGROSKOPNA VODA
4. KEMIJSKI VEZANA VODA

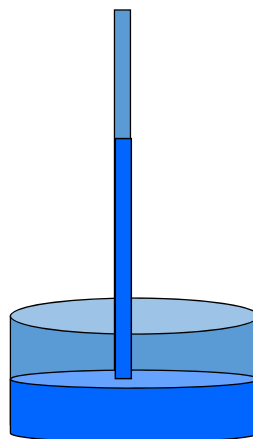
### Gravitacijska voda

- zadržava se u krupnim porama tla i otječe pod djelovanjem gravitacije (slobodna voda).
- U slučaju jačih padalina ili poplave (kod dužeg zadržavanja gravitacijske vode) dolazi do anaerobioze, otkazivanja funkcija korijenja i gušenja biljaka.



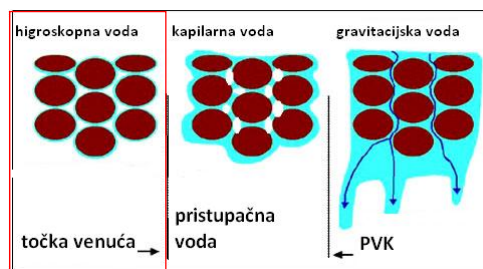
### Kapilarna voda

- zadržava se u mikro porama tla
- Raspoloživa je za usvajanje i predstavlja najvažniji dio vode
- Količina kapilarne vode u nekom tlu označava se kao poljski kapacitet vlažnosti ili kapilarni kapacitet tla.



### Higroskopna voda

- dio kapilarne vode čije opne ne prelaze debljinu 15-20 molekula vode
- drži se za čestice tla snagom koja dostiže 1000 bara.
- Ovaj oblik vode određuje se sušenjem na 105°C i biljkama je potpuno nedostupan

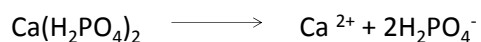
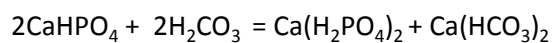
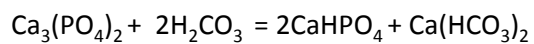
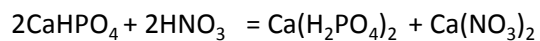
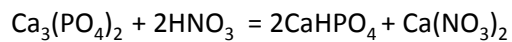
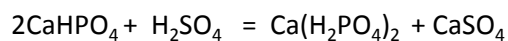
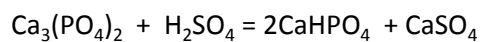


### Kemijski vezana voda

- nalazi se ugrađena u različite hidratizirane kemijske spojeve tla i nije raspoloživa za usvajanje.

- mineralne tvari se u otopini tla nalaze u obliku iona, aniona i kationa, koje se usvajaju putem korijena.
- izvori soli: minerali, AK, gnojiva, ioni oslobođeni u procesu mineralizacije
- Koncentracija i sastav otopine tla su promjenjivi ovisno o temperaturi tla, vlažnosti tla, aeriranosti, pH vrijednosti, mikrobiološkoj aktivnosti, itd.)
- Otopina tla nastaje reakcijom atmosferske (oborinske) vode s krutom i plinovitom fazom
- plinovi iz atmosferske vode stvaraju  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  i  $\text{H}_2\text{CO}_3$
- reakcije kiselina s krutom fazom – prevođenje teško topivih oblika u lako topive oblike

primjer



- atmosferska voda sa svojim komponentama mobilizira hraniva prevodeći ih u otopinu tla
- otopina tla kontinuirano reagira s krutom i plinovitom fazom mjenjajući pri tome kemijski sastav otopine, krute i plinovite faze

#### SASTAV OTOPINE TLA

- podložan promjenama uslijed dinamičke ravnoteže između AK i otopine tla
- a) anioni -  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , itd.
    - najzastupljeniji su  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{NO}_3^-$
  - b) kationi:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , itd
  - c) organska tvar: org. kiseline, alkoholi, vitamini, antibiotici, šećeri, itd.
  - d) plinovi:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$

## 7. REAKCIJA TLA

- Definicija: pH je negativni logaritam koncentracije  $\text{H}^+$  iona.

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

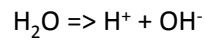
- reakcija otopine tla značajno utječe na kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla:

- ✓ raspoloživost hraniva
- ✓ mobilnost hraniva
- ✓ onečišćenje tla
- ✓ stabilnost agregata tla
- ✓ pokretljivost vode u tlu
- ✓ aeraciju tla



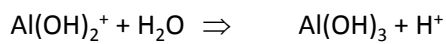
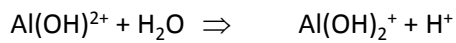
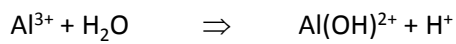
Izvori H<sup>+</sup> i OH<sup>-</sup>

- Čista voda ima pH=7 i vrlo slabo hidrolizira (*autoprotoliza*):



- Kationi odgovorni za kiselost tla su H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> i Fe<sup>3+</sup>

Al<sup>3+</sup> (kao i Fe<sup>3+</sup>) hidrolizira zavisno od pH:



$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

$$(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$(\text{H}^+) = 0.001 \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log (1 \times 10^{-3})$$

$$\text{pH} = \log \frac{1}{10^3}$$

$$\text{pH} = \log 1000$$

$$\boxed{\text{pH} = 3}$$

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

$$(\text{H}^+) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$(\text{H}^+) = 0.00001 \text{ mol/L}$$

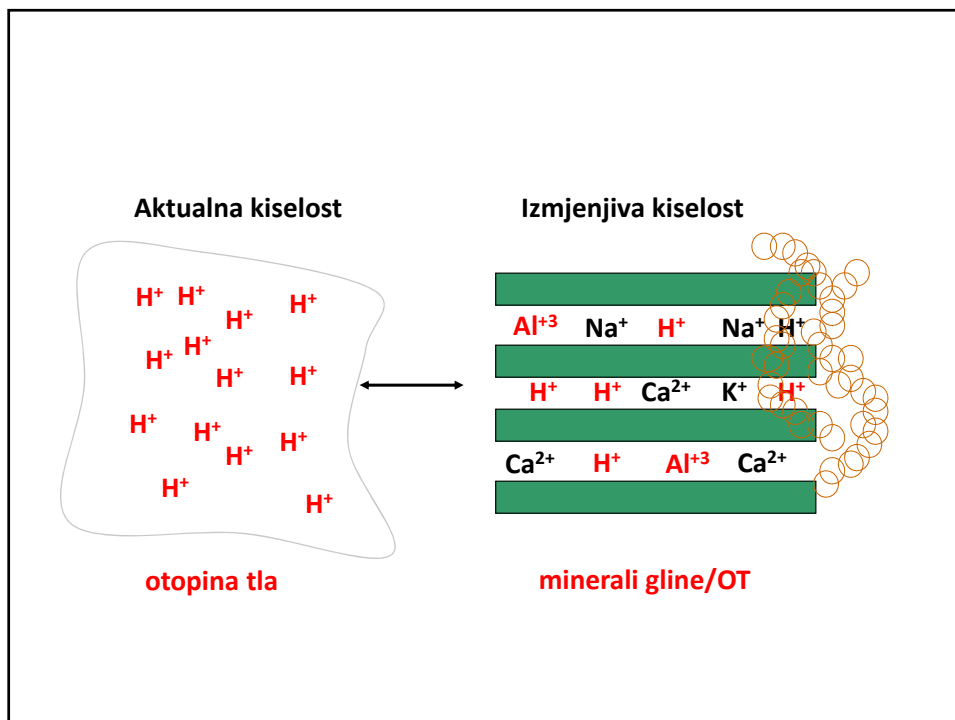
$$\text{pH} = -\log (1 \times 10^{-5})$$

$$\text{pH} = \log \frac{1}{10^5}$$

$$\text{pH} = \log 100000$$

$$\boxed{\text{pH} = 5}$$

- u prirodnim uvjetima reakcija otopine tla kreće se od pH 3 do 9
- kod poljoprivrednih tala → pH 3,5 – 8
- Na tlima koja su nastala u klimatima s više od 630 mm oborina godišnje, adsorpcijski kompleks tla zamjenjuje lužnate ione s vodikovim ionima i kiselost tla raste.
- u klimatima s manjom količinom oborina (< 630 mm), nastaju tla kod kojih je smanjeno ispiranje baza i na AK dominiraju Ca i Mg.
- Zakiseljavanje tla može izazvati i industrijska polucija, posebice kisele kiše u širem području velikih energetska postrojenja, ali uzrok mogu biti i prirodni procesi.

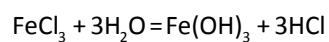
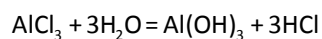
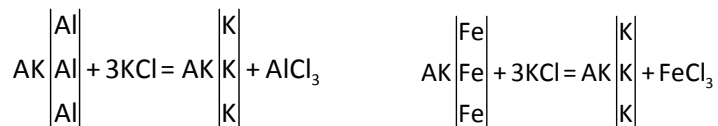
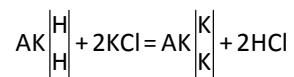


### Aktualna reakcija tla

- ✓ Aktualni pH tla je uvjetovan povećanom koncentracijom slobodnih  $H^+$  iona u vodenoj fazi tla. Oslobođanje tih iona prouzrokovano je njihovom zamjenom na adsorpcijskom kompleksu topljivim organskim i mineralnim kiselinama ili kiselim solima te njihovom disocijacijom.
- ✓ Aktualna kiselost određuje se elektrometrijski u vodenoj suspenziji tla.
- ✓ Značaj aktualne reakcije tla za život biljaka je velik, te agrokemijske analize obvezatno obuhvaćaju utvrđivanje ove veličine, jer je to osnovna reakcija tla koja utječe na adsorpcijski kompleks, a preko njega na strukturu tla i njegova biološka svojstva.

### Izmjenjiva (supstitucijska) reakcija tla

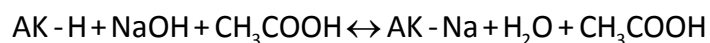
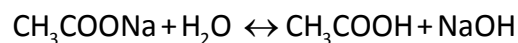
Izmjenjiva reakcija tla određena je prisutnošću  $H^+$  iona i dijelom iona aluminijske i željezne soli koji se djelovanjem neutralnih soli zamjenjuju s adsorpcijskog kompleksa tla:



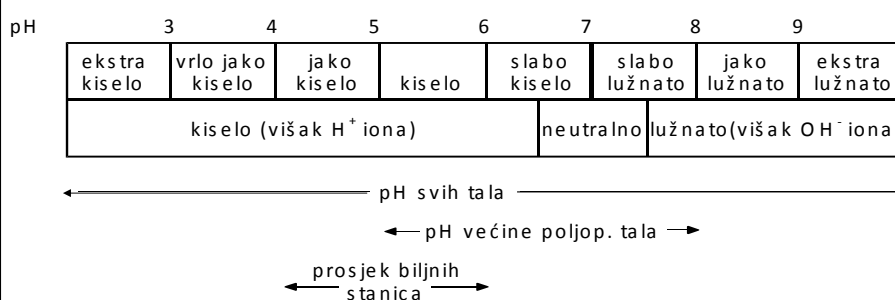
- ✓ Izmjenjiva kiselost nastaje zamjenom iona na KIK-u i može nastati unošenjem većih doza gnojiva u obliku neutralnih soli
- ✓ kationi iz mineralnih gnojiva istiskuju vodik s AK povećavajući pokretljivost Al koji djeluje toksično na biljke
- ✓ Izmjenjiva reakcija tla pruža neposredan uvid u stanje adsorpcijskog kompleksa tla
- ✓ na vrijednost izmjenjive kiselosti utječu vodik s AK i vodik iz otopine tla stoga je pH vrijednost izmjerena u KCl-u uvijek niža u odnosu na pH u H<sub>2</sub>O (pH (H<sub>2</sub>O) = 6, pH (KCl) = 5)

Hidrolitička kiselost tla nastaje pri neutralizaciji tla višebaznim mineralnim kiselinama pri čemu se svi vodikovi atomi ne zamjenjuju lužinama kod iste pH vrijednosti sredine.

Jedan dio ove kiselosti aktiviraju neutralne soli kao što je KCl, a drugi dio soli tipa Na-acetata (pH=8.2) koje mogu zamijeniti na adsorpcijskom kompleksu tla gotovo sve ione vodika i aluminijske:



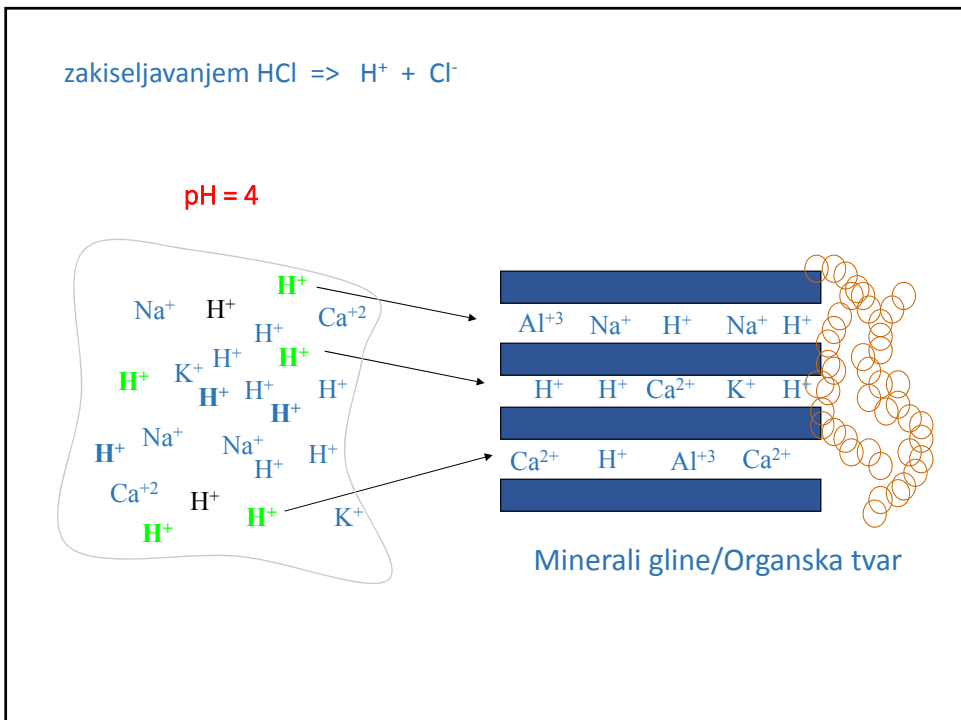
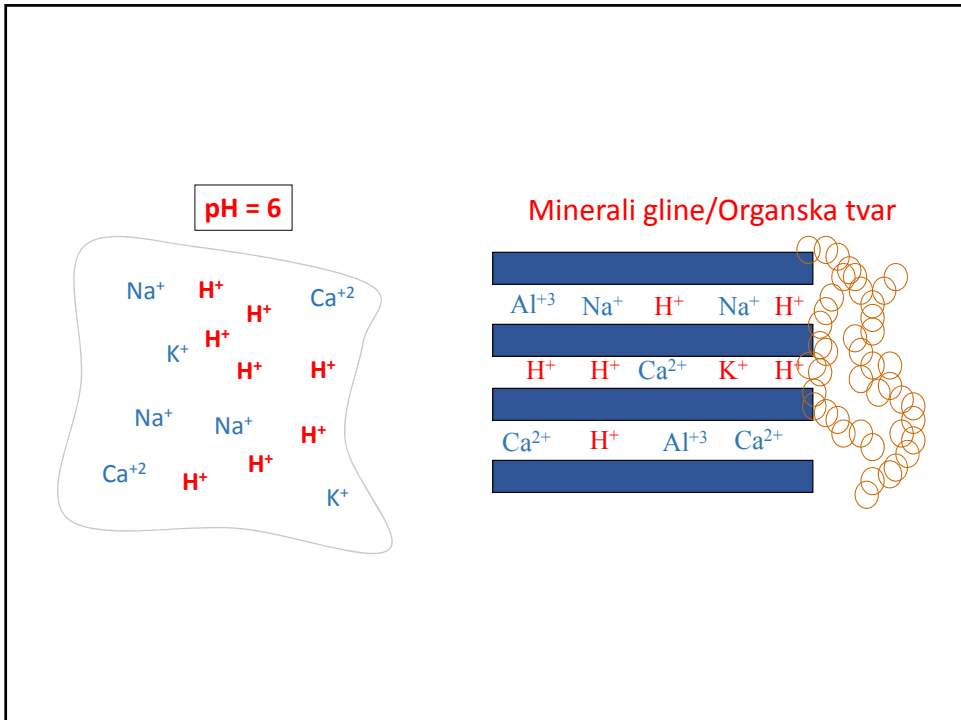
- Ova kategorija kiselosti zastupljenija je od izmjenjive, koja je zapravo tek dio hidrolitičke kiselosti
- Najčešća primjena hidrolitičke kiselosti je kod utvrđivanja potreba za kalcizacijom ili kada je potrebno poznavati ukupnu potencijalnu kiselost nekog tla.
- Hidrolitička kiselost izražava se u  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$  nezasićenosti adsorpcijskog kompleksa lužnatim ionima.

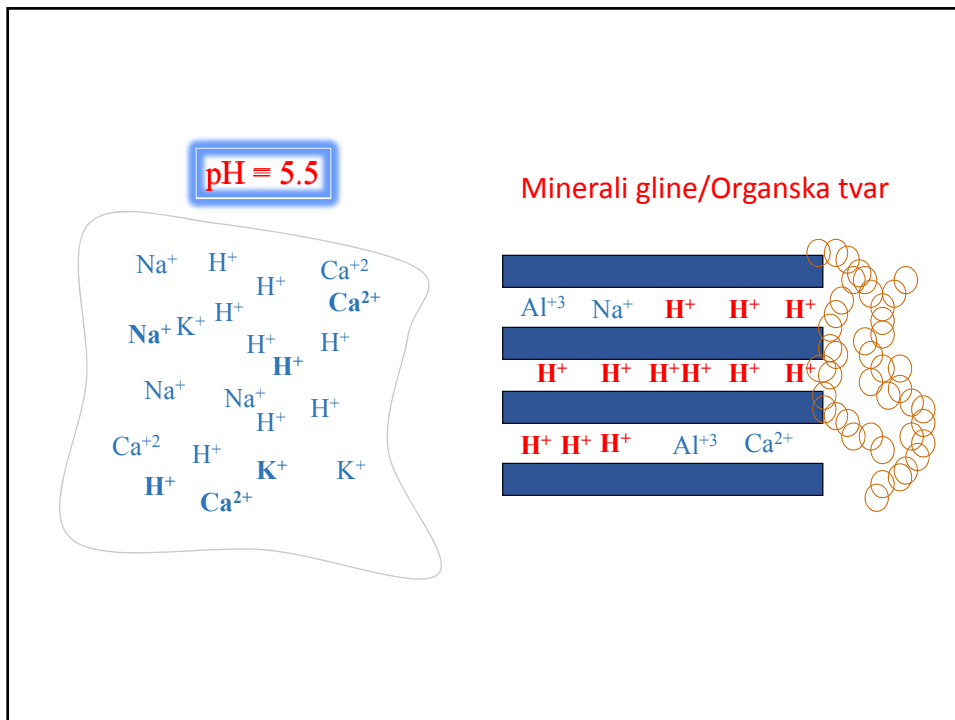


## 8. PUFERNA SPOSOBNOST TLA

- ✓ sposobnost tla odupiranju promjenama pH vrijednosti
- ✓ uvjetovano sadržajem slabe kiseline  $\text{H}_2\text{CO}_3$  i njezinih bazičnih soli  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  i  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , prisustvom  $\text{Ca}^{2+}$  na AK kao i prisustvom soli huminskih kiselina.
- ✓ puferi su tvari koje vežu  $\text{H}^+$  i  $\text{OH}^-$  ione i smanjuju njihovu koncentraciju u otopini tla

pH tla	Mehanizam puferiranja
2.0 - 4.0	Oksidacija piritu i redukcija S-minerala; otapanje minerala
4.0 - 5.5	Aluminijevi spojevi
5.5 - 6.8	Izmjena kationa
6.8 - 7.2	Organska tvar i minerali
7.2 - 8.5	Ca i Mg karbonati
8.5 - 10.5	Izmjenjivi $\text{Na}^+$ ; otapanje krutog $\text{Na}_2\text{CO}_3$





- puferna sposobnost tla je vrlo važna u primjeni gnojiva (fiziološki kiselih - sprječavanje zakiseljavanja)
  - Adsorpcijski kompleks – UNIVERZALNI PUFER
  - Tla bogata humusom, karbonatna tla - dobra puferna sposobnost
-

## 9. ORGANSKA TVAR TLA

- Grupa ugljikovih spojeva nastala od ostataka živih organizama koji su potpuno ili djelomično razloženi. Organska tvar tla je bitno različita od tvari od koje je nastala
- Količina org. tvari u tlu je značajno manja u odnosu na mineralnu tvar (1-5%). Vrlo značajno utječe na strukturu, kapacitet tla za vodu, na sorpciju iona, itd. te predstavlja *izvor energije* za životnu aktivnost mikroorganizama tla
- Veličina čestica organske tvari tla razlikuju se i podjeljene su slično kao kod mineralne frakcije.

- inertnu organsku rezervu tla čine rupnije čestice organske tvari koje su sačuvale svoju organiziranu strukturu žive tvari
- Čestice organske tvari koje imaju svojstva koloidnih micela označavaju se kao **HUMUS** i humusne kiseline.
- Elementi u sastavu humusa prelaze u mineralne oblike i postaju raspoloživi biljkama nakon procesa mikrobiološke razgradnje.
- Ugljik i dušik organske tvari u tlu podrijetlom su iz atmosfere, a u tlo su unešeni asimilacijskim procesima viših biljaka i mikroorganizama.



o Sumpor djelomično potječe iz atmosfere jer se može nalaziti i u plinovitom stanju kao  $\text{SO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ,

o Fosfor potječe iz materijala od kojeg je nastalo neko tlo.

**MINERALIZACIJA** (MOBILIZACIJA) – proces prelaska organski vezanih elemenata u pristupačne oblike

o Osnovne grupe humusnih tvari su **huminske** i **fulvo kiseline** te **humini**.

o Huminske kiseline su organske kiseline koje u kiseloj sredini nisu topive u vodi dok im porastom pH vrijednosti raste i vodotopivost

o Molekularna masa iznosi 10 000-100 000, a elementarni sastav:

C=51-62%

O=31-36%

H=2.8-6.6%

N=3.6-5.5%.

Fulvo kiseline su smjesa slabih alifatskih i aromatskih organskih kiselina čija je topivost u vodi neovisna o pH vrijednosti. Žućkaste su ili crvenkaste boje, molekularna masa im je 1 000-10 000. Prisutne su u tlima lošijih fizikalnih i kemijskih svojstava.

Elementarni sastav je:

C=42-47 %

H=3.5-5 %

O=45-50 %

N=2-4.1.%

Humini su reducirani anhidridi humusnih kiselina.

- Sadržaj organske tvari u tlu može se postepeno povećavati, smanjivati ili zadržavati na istoj razini. Bzina promjena uvjetovana je otpornošću komponenti humusa, huminskih i fulvo kiselina, na razlaganje.

Organska tvar u tlu sadrži prosječno :

**50-54% ugljika**

**4-6% dušika**

**pa je omjer C/N približno 10:1.**

- Oslobođeni N iz razgradnje organske tvari koriste mikroorganizmi u tlu za svoje potrebe sve do trenutka kada C/N omjer ne padne na određenu vrijednost
- Oslobođanje dušika i mogućnost usvajanja višim biljkama započinje tek kad je **C/N<25:1** (kritični omjer), a potpuna asimilacija N od strane mikroorganizama je kod **C/N>33:1**.

- humus poboljšava vodozračni režim i termička svojstva tla - tlo s više humusa je tamnije boje što omogućava apsorpciju veće količine Sunčeve radijacije uz brže zagrijavanje
- Humus ima vrlo važnu ulogu u nastajanju strukturnih agregata tla i mrvičaste strukture koja poboljšava prozračnost i dreniranost tla.
- Strukturna tla vežu više vode, manje su podložna eroziji i ispiranju koloidnih čestica i znatno se lakše obrađuju
- Organska tvar ima puferni efekt i sprječava ispiranje hraniva

## 10. SORPCIJSKA SPOSOBNOST TLA

- podrazumijevamo sposobnost tla da u sebi sadrži različite tvari: ione i molekule u otopini tla, koloide tla, čestice većih dimenzija i mikroorganizme.
- Ovisno o silama koje djeluju, razlikujemo:
  1. mehaničku sorpciju
  2. fizikalnu sorpciju
  3. kemijsku sorpciju
  4. biološku sorpciju
  5. fizikalno-kemijsku sorpciju

### Mehanička sorpcija

- tlo sa sustavom pora djeluje kao prirodni filter (zadržavajući čestice koje su veće od čestica pora)
- česta je na tlima s puno gline jer takva tla sadržavaju više pora malih dimenzija – nastaje nepropusni sloj koji onemogućava infiltraciju vode

### Fizikalna sorpcija

- nastaje nagomilavanjem iona na površini čestica tla (posljedica površinskog napona čestica tla)
- vezanje higroskopne vode i plinova na površini čestica (London van der Waalove sile i dipolna svojstva vode)
- CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, vodena para

### Kemijska sorpcija

- prelazak lakotopivih spojeva u teže topive spojeve kemijskim putem
- prema intenzitetu, djelimo ih u 3 skupine:
  1. spojeve koji se kemijski ne sorbiraju (kloridi, nitrati, nitriti)
  2. spojeve koji se kemijski jako sorbiraju (fosfati, silikati, karbonati)
  3. spojevi koji se nalaze između prve dvije skupine (sulfati)

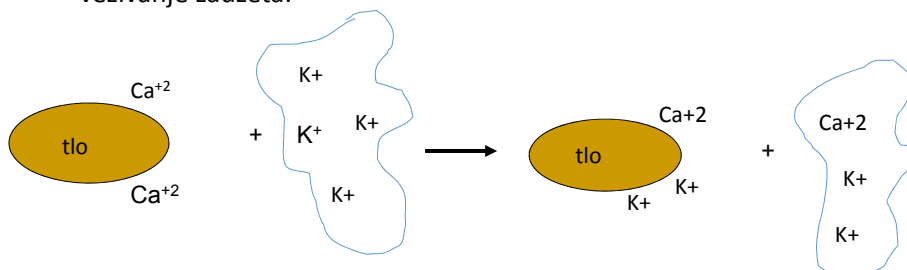
### Biološka sorpcija

- pod utjecajem viših biljaka i mikroorganizama
- ne dolazi do ispiranja hraniva

### Fizikalno-kemijska sorpcija

- sposobnost najsitnijih čestica tla –koloida tla –da na svojoj površini vežu ione u takvom stanju da se mogu zamjenjivati u ekvivalentnim količinama s ionima iz otopine tla
- razlika između fizikalne i fizikalno-kemijske sorpcije je u tomu što kod prve dolazi samo do promjene koncentracije u sloju otopine koja je priljubljena uz površinu čestice tla, a pri fizikalno-kemijskoj ioni otopine stupaju dijelom u kem. reakcije s molekulama na površini čestice

- Do pojave *supstitucije* (zamjene) iona na koloidnoj čestici vrlo lako dolazi kada je zasićena, odnosno kada su sva mjesta za polarno vezivanje zauzeta.



- Tada je sorpcija novog iona moguća samo zamjenom i to u elektroekvivalentnim omjerima, npr. Ca<sup>2+</sup> zamjenjuje 2K<sup>+</sup>, 2Na<sup>+</sup> zamjenjuju Mg<sup>2+</sup> itd.
- fizikalno – kemijska sorpcija je moguća zbog električnog naboja čestica koloida

Adsorpcijski kompleks - skup organskih i mineralnih koloida sa sposobnošću sorpcije kationa

Čine ga:

- sekundarni minerali gline
- hidratizirani oksidi (seskvioksidi)
- humus
- organo-mineralni kompleksi

Tla s većim sadržajem humusa i gline imaju veći kapacitet adsorpcije (černozem > 50), dok laka, pjeskovita tla imaju manji kapacitet (<15).

Najčešće vrijednosti u tlu su: 15-45 cmol (+)·kg<sup>-1</sup>

Značenje adsorpcije u tlu:

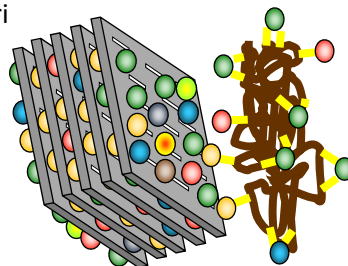
- regulira koncentraciju hranjivih iona
  - utječe na efektivnu plodnost tla
  - sprječava ispiranje hraniva iz gnojiva
  - utječe na fizikalna i kemijska svojstva tla.
- 
- Kationi vezani na sekundarne minerale, ne ispiru se iz zone korijenskog sustava, ali se lako zamjenjuju drugim kationima.
  - Zadržavanje hraniva, u zoni ukorjenjivanja, u pristupačnom obliku za usvajanje od strane biljaka, te zadržavanje vode neophodne za više biljke i mikroorganizme u tlu

- ❑ fizikalna svojstva tla izravno ovise o vrsti kationa na adsorpcijskom kompleksu (tla zasićena  $\text{Na}^+$  imaju nepovoljne osobine jer jako peptiziraju – u vlažnim uvjetima tlo prelazi u ljepljivu masu, dok u sušnim uvjetima tlo je tvrdo i kompaktno. Tla u kojima je AK zasićen  $\text{Ca}^{2+}$  - povoljna struktura)
- ❑ AK značajno utječe i na kemijska svojstva posebice na pufernu sposobnost i pH reakciju

Kapacitet adsorpcije kationa = KIK (kationski izmjenjivački kapacitet)

je suma svih izmjenjivih kationa koje tlo može adsorbirati

- što je veći KIK – veća je sposobnost skladištenja elemenata biljne ishrane
- KIK se povećava ako:
  - se povećava količina organske tvari
  - se povećava sadržaj gline
  - se povećava pH



## 11. OKSIDO-REDUKCIJSKI POTENCIJAL U TLU

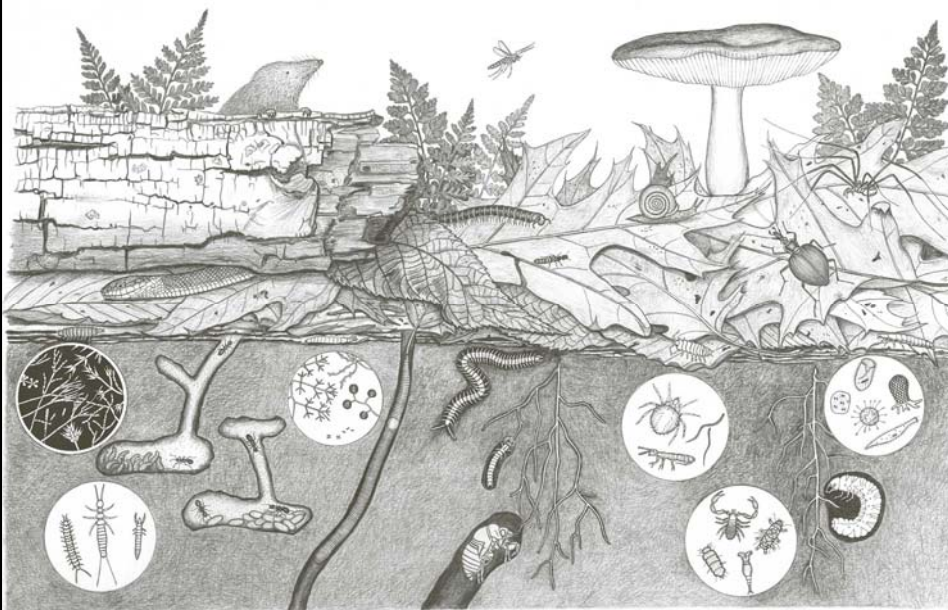
- Odnos između procesa oksidacije i redukcije
- Uvjeti oksidoredukcije u tlu utječu na pristupačnost elemenata i razgradnju svježe unesene organske tvari u tlo.
- Metabolizam i aktivnost mikroorganizama uvjetovani su Eh potencijalom.
- Oksidoredukcijski potencijal (Eh) u tlu izražava se u mV i rijetko prelazi +700 mV (oksidacijski uvjeti), odnosno -300 mV (redukcijski uvjeti).

- U oksidacijskim uvjetima ( $Eh \geq +300$  mV) tlo sadrži dovoljno kisika i tada djeluju aerobni mikroorganizmi.
- Kod  $Eh = -100$  do 300 mV organsku tvar razlažu fakultativno anaerobni mikroorganizmi.
- U redukcijским uvjetima ( $Eh \leq -100$  mV) anaerobni mikroorganizmi.
- Eh je značajan za usvajanje aniona ( $SO_4^{2-}$ ,  $BO_3^{3-}$ ,  $MoO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ) koji se bolje usvajaju u aerobnim uvjetima
- $Eh < 300$  mV ukazuje na mogućnost toksičnosti reduciranih oblika teških metala (npr. Mn, Fe)
- Organska tvar u tlu se lako oksidira pri čemu se reducira anorganska tvar (elementi), čime se većini njih povećava pristupačnost (značaj zaoravanja žetvenih ostataka).



Redukcijski uvjeti	Element	Oksidacijski uvjeti
CH <sub>4</sub>	C	CO <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
H <sub>2</sub> S	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
PH <sub>4</sub> (fosfin)	P	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Fe <sup>2+</sup> (sivo-zelena boja tla)	Fe	Fe <sup>3+</sup> (crvena boja tla)
Mn <sup>2+</sup>	Mn	Mn <sup>3+</sup>

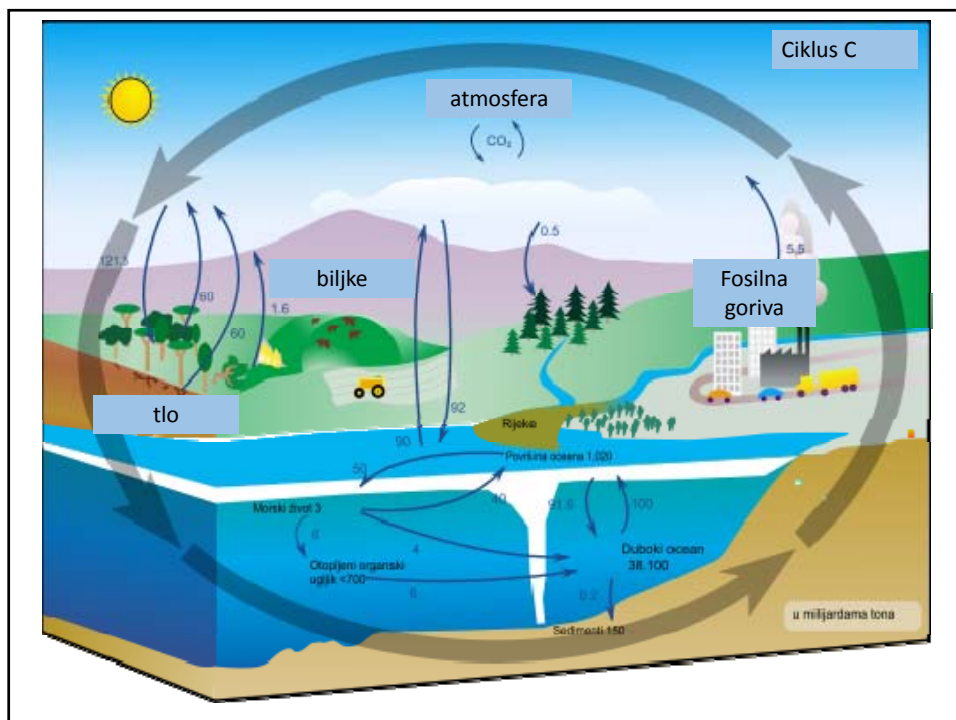
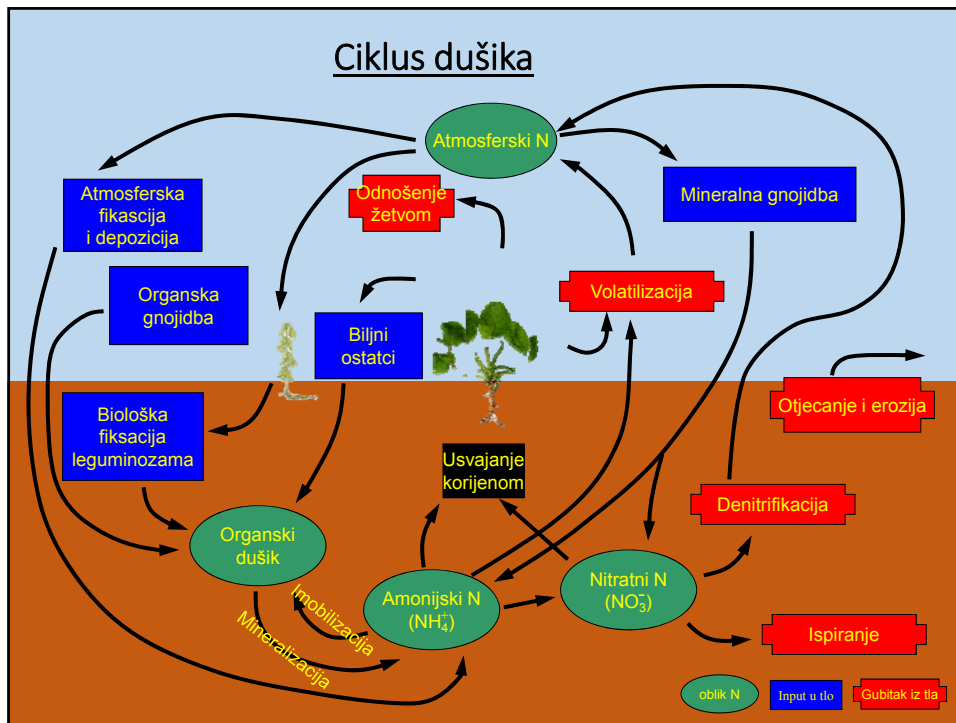
## 12. BIOLOŠKA SVOJSTVA TLA

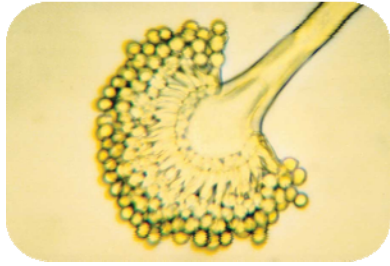




Biologija tla ima vrlo važnu ulogu u određivanju svojstva tla:

- Stvaranje i održavanje organske tvari tla
- Pristupačnost hraniva
- Održavanje povoljne strukture tla
- Mineralizacija
- Nitrifikacija – mikrobiološka oksidacija  $\text{NH}_3$  u tlu do  $\text{NO}_3^-$
- Denitrifikacija - redukcija amonijačnog dušika do molekularnog  $\text{N}_2$
- Fiksacija dušika – transformacija molekularnog dušika iz atmosfere u organsku tvar mikroorganizama





gljive

nematode



makroorganizmi