

VISOKO GOSPODARSKO UČILIŠTE U KRIŽEVCIMA



Autor:

mr. sc. Andrija Špoljar

Tloznanstvo i popravak tla, I dio

(skripta)

Križevci, 2007.

Kazalo

	Stranica
UVOD	1
1. PEDOGENEZA	2
1.1. Pedogenetski čimbenici	2
1.1.1. Matični supstrat	2
1.1.2. Klima	8
1.1.3. Reljef	10
1.1.4. Organizmi	11
1.1.5. Vrijeme	12
1.2. Pedogenetski procesi	13
2. MORFOLOŠKE ZNAČAJKE TALA	21
3. FIZIKA TLA	26
3.1. Fizika krute faze	26
3.1.1. Mehanički sastav tla (tekstura)	26
3.1.2. Struktura tla	30
3.1.3. Gustoća tla	32
3.1.4. Porozitet	33
3.1.5. Konzistencija tla	34
3.2. Fizika tekuće faze	36
3.2.1. Oblici (vrste) vode u tlu	36
3.2.2. Vodne (hidropedološke) konstante	37
3.2.3. Energetski odnosi vode u tlu	40
3.2.4. Kretanje vode u tlu	42
3.2.5. Vodni režim i bilanca vode u tlu	47
3.3. Fizika plinovite faze	49
3.4. Toplinske značajke tala	50
4. KEMIJA TLA	52
4.1. Kemija tekuće faze	52
4.1.1. Koncentracija otopine tla	52
4.1.2. Kiselost (aciditet) tla	54
4.1.2.1. Reakcija tla (aktivna kiselost)	54
4.1.2.2. Potencijalna kiselost (aciditet)	56

4.1.3.	Bazicitet tla	57
4.1.4.	Puferizacijska sposobnost tla	58
4.1.5.	Oksidacijsko-redukcijski procesi u tlu	59
4.2.	Kemija krute faze	60
4.2.1.	Elementarni sastav tla	60
4.2.2.	Sorpcija	64
4.2.2.1.	Fizikalno-kemijska sorpcija	65
4.2.2.2.	Sorpcija aniona	68
4.2.3.	Humus	69
5.	BIOLOGIJA TLA (Organizmi tla)	71
5.1.	Utjecaj makroflore na tlo	71
5.2.	Utjecaj makrofaune na tlo	72
5.3.	Uloga mikrofaune u tlu	72
5.4.	Utjecaj mikroorganizama na tlo	72
6.	PLODNOST TLA	75
	LITERATURA	76

UVOD

Znanost koja se bavi izučavanjem tla naziva se pedologija ili tloznanstvo. Spoznaje o tlima vrlo su stare, a spominje se kineska klasifikacija tala stara 4000 godina. U šesnaestom stoljeću prije naše ere, kako navodi **Škorić 1975.** u djelu Papirus Ebers, govori se o tlu. Mnoga djela iz grčkog i rimskog doba bave se problemima plodnosti i klasifikacije tala.

U srednjem vijeku spoznaje o tlima radi nedovoljno razvijenih prirodnih znanosti, zasnivaju se na iskustvu. Tek krajem osamnaestog stoljeća, ponajprije u sklopu agrokemije, započela su ozbiljnija istraživanja. Zapadnoeuropski agrokemičari osobitu su pozornost posvetili plodnosti i produktivnosti tla s obzirom na brzi porast stanovništva. Razvila se kemija tla koja poglavito obrađuje biljna hraniva potrebna za rast i razvoj biljaka, ali i fizika tla koja se uglavnom bavi vodom i zrakom u tlu, kao važnim čimbenicima razvoja korijenovog sustava. Otkrićem simbiotskih bakterija na korijenu leguminoza, krajem devetnaestog stoljeća, razvila se mikrobiologija.

Istraživanjem ruskog černozema V.V. Dokučajev (1846.-1903.) je utemeljio pedologiju kao samostalnu znanstvenu disciplinu. Tlo definira kao prirodno-povijesnu tvorevinu s određenim karakterističnim znakovima i značajkama, koja živi svojim posebnim životom i čije znakove treba otkriti znanost o tlu – pedologija (**cit. Škorić, 1975.**). Na početku dvadesetog stoljeća preko Romanna načela ruske škole šire se u zapadnu Europu. Kod nas je **Kišpatić 1877.** izdao knjigu „Zemljoznanstvo“, a na načelima ruske pedološke škole radili su mnogi autori. Pojavljuju se brojne definicije tla, međutim prirodno-znanstvena definicija glasi:

Tlo je prirodno-povijesna tvorevina nastala kao rezultat pedogenetskih čimbenika i procesa.

Od tla treba razlikovati drugi pojam – zemljište, ono obuhvaća tlo, klimu i reljef, pa stoga predstavlja širi prostor važan i za druge korisnike izvan primarne biljne proizvodnje (**Bogunović, 1994.**).

1. PEDOGENEZA

U ovom poglavlju obrađeni su čimbenici tvorbe tla ili pedogenetski čimbenici i pedogenetski procesi, koji su rezultat različite konstelacije čimbenika tvorbe tla. Većina autora u pedogenetske čimbenike ubraja matični supstrat, klimu, reljef, organizme i vrijeme. Njihova različita zastupljenost uvjetuje pedogenetske procese, a rezultat toga je tlo.

1.1. Pedogenetski čimbenici

Pedogenetski čimbenici su čimbenici tvorbe i razvoja tala. To su, kako je već rečeno, matični supstrat, klima, reljef, organizmi i vrijeme.

1.1.1. Matični supstrat

Pod matičnim supstratom podrazumijeva se stijena iz koje se procesima trošenja oslobađa mineralna komponenta. Kemijski i mineralni sastav stijena određuju značajke tla te pravac i tijek pedogenetskih procesa. Stijene se sastoje od minerala, primarnih i sekundarnih. Primarni minerali sastavni su dio eruptivnih stijena nastalih kristalizacijom magme, ali mogu biti sastavni dio i drugih stijena (metamorfni i sedimentni). Sekundarni minerali rezultat su trošenja primarnih ili su nastali sintezom iz produkata trošenja neogenetskim putem (sekundarni alumosilikati ili minerali gline).

Minerali su određenog kemijskog sastava koji se može prikazati kemijskom formulom. Sastavljeni su od jednog ili više elemenata i homogene su građe. Atomi, ioni i atomske grupe kemijskih elemenata svrstavaju se u kristalnu rešetku, tj. strukturu minerala. Razlikuju se amorfni i kristalni minerali. Amorfni minerali imaju nepravilne forme, tu se ioni i atomi okupljaju oko jezgre s jednakom brzinom rasta u svim pravcima (kuglasti, groždasti, bubrežasti oblici). U ovu grupu ubrajaju se aluminijevi, željezni i silicijevi hidroksidi. Kod kristalnih minerala dolazi do zakonomjernog rasporeda mineralnih čestica u kristalnoj rešetki. Rast minerala nije jednake brzine, a rezultat su kristali pravilnog geometrijskog lika s ravnih ploha. Većina minerala je kristalne građe. U prirodi su najrasprostranjeniji silikati (soli silicijeve kiseline) i alumosilikati (soli alumosilicijeve kiseline).

Grada primarnih minerala. Kisik, kao najveći atom, određuje strukturu većine minerala, a ostali se nalaze u međuprostoru njegove rešetke. Silicij može vezati četiri kisikova atoma, a aluminij četiri ili šest. Kalij ima veći radijus i može vezati osam kisikovih atoma. Silicij povezuje kisikove atome u tetraedar. Budući da je silicij četverovalentan, a kisik dvovalentan takav tetraedar ima četiri negativna naboja. Preko viška naboja mogu se dva susjedna tetraedra povezivati dajući zajednički kisik. Ovaj naboj može se kompenzirati i vezivanjem bazičnih kationa. Aluminij može vezati šest kisikovih atoma ili hidroksilnih iona u obliku oktaedra, a radijus mu je takav da može izgrađivati i tetraedre. Radi toga može mijenjati mjesto sa silicijem u tetraedarskoj poziciji – izomorfna zamjena.

Najvažniji primarni minerali su: tektosilikati, nezosilikati, inosilikati i filosilikati (Šestanović, 1986.).

Tektosilikati nastaju povezivanjem preko zajedničkih kisikovih atoma. Najpoznatiji takav mineral je kvarc SiO_2 i jedan je od najrezistentnijih minerala poznatih u prirodi. U ovu grupu minerala ubrajaju se i feldšpati (glinenci) koji imaju istu strukturu kao i kvarc. Kod njih se javlja izomorfna zamjena silicija u tetraedru s aluminijem. Četiri povezana tetraedra preko zajedničkog kisikovog atoma imaju formulu Si_4O_8 . Ako dođe do izomorfne zamjene u jednom tetraedru, i aluminij se nađe na mjestu silicija, tada se dobije opća jednačba AlSi_3O_8 , i jedan slobodni naboj. Ovaj se naboj može kompenzirati kalijem, pa tako nastaje ortoklas KAlSi_3O_8 ili natrijem pri čemu nastaje albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Ako dođe do izomorfne zamjene u dva tetraedra ostaju dva nekompenzirana negativna slobodna naboja na koja se veže kalcij i tako nastaje anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Izomorfna smjesa albita i anortita naziva se plagioklas.

Zbog izomorfne zamjene aluminijsa sa silicijem nastaje nova strukturna veza Al-O-Si, koja je slabija. Zbog toga su feldšpati nešto manje otporni na trošenje u odnosu na kvarc.

Raspadanjem ovih minerala nastaju hidroksidi metala (aluminijevi, silicijevi i drugi) iz kojih nastaju različite soli. Iz aluminijevih i silicijevih hidroksida može se formirati glina.

Kod **nezosilikata** četiri slobodne veze na silicijevom tetraedru zasite se magnezijevim i željeznim ionima $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$. U ovu grupu minerala pripadaju olivini. Na vrhovima tetraedra nalaze se magnezijevi i željezni ioni, koji se drugom valencijom vežu za vrh susjednih tetraedara. Ovakva veza je slaba, pa se olivini vrlo brzo u tlu raspadaju.

Kod **inosilikata** tetraedri se međusobno povezuju preko dva zajednička atoma kisika, i nastaje jednostavni tetraedarski lanac. Kod ove strukture minerala ostaju dva negativna naboja slobodna (opća formula SiO_3^{2-}) i ako se zasite Ca^{2+} , Mg^{2+} i Fe^{2+} , nastaju pirokseni. Lakše se raspadaju, ali su ipak otporniji na trošenje u odnosu na olivine. Iz piroksena s aluminijem može se formirati glina, a kao međuprodukt javlja se klorit. Ako se radi o piroksenima bez

aluminija, tada se procesima transformacije najprije javlja serpentin ($\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$), a zatim nontronit. U ovu se grupu ubrajaju i amfiboli, a nastaju iz dvostrukih tetraedarskih lanaca. Složenijeg su kemijskog sastava, a tu primjerice pripada hornblenda koja je uz aluminij i željezo bogata kalcijem, magnezijem, kalijem i natrijem. Amfiboli su slabije otpornosti na raspadanje, slično kao i pirokseni.

Kod **filosilikata** tetraedri su međusobno povezani preko tri kisikova atoma, a jedan je slobodan. Drugi element njihove strukture je aluminijev oktaedar, koji ima slobodne hidroksilne ione sposobne za povezivanje. Ove dvije mrežice mogu se preko slobodnih kisikovih atoma i hidroksilnih iona međusobno povezivati, pa tako postaju zajednički za obje mrežice. Kod toga nastaje jedna tetraedarska i jedna oktaedarska mrežica, odnosno dvoslojna lamela tipa 1 : 1. Ako se sa svake strane oktaedarske mrežice veže po jedan tetraedar, nastaje troslojna lamela tipa 2 : 1. U ovu grupu filosilikata ubrajaju se tinjci (liskuni). Faktor koji povezuje lamele je kalijev ion, on se nalazi u međulamelarnom prostoru. Predstavnici su muskovit, biotit i sericit. Muskovit je kalijev alumosilikat s manjom izomorfnom zamjenom silicija aluminijem u tetraedarskoj poziciji. Kod biotita, aluminij u oktaedarskoj poziciji zamijenjen je magnezijevim i željeznim ionima. Sericit u odnosu na muskovit, ima veći sadržaj vode i manje kalija. Tinjci pripadaju u grupu minerala otpornih na trošenje, a transformiraju se u minerale gline.

Stijene se, kako je navedeno, sastoje iz minerala, a njihovim se trošenjem oslobađa mineralna komponenta koje u tlu, kako navodi **Bašić 1981.**, može biti od 80 do 99 %. Prema podrijetlu dijele se na eruptivne (magmatske), sedimentne i metamorfne.

Eruptivne stijene nastaju kristalizacijom iz magme kada ona na putu iz zemljine unutrašnjosti dopiše u hladnije područje zemljine kore, ili u obliku lave izbije na površinu. Ako se kristalizacija magme obavlja u dubljim slojevima, gdje su tlak i temperatura visoki, kristalizacija teče postupno i svi izlučeni minerali imaju kristale približno iste veličine. Tako nastaju **dubinske ili intruzivne stijene**. Izbije li magma na površinu, kristalizacija se obavlja u dvije faze. Na putu prema površini odvija se normalno i minerali se iskristaliziraju u obliku dobro razvijenih zrna. Ostatak lave kristalizira na površini u obliku mikrokristala. Na ovakav način nastaju **površinske ili efuzivne stijene**.

Promjenom mineralnog sastava magmatskih stijena, mijenja se i njihov kemijski sastav, pri čemu je za razvrstavanje najznačajniji sadržaj SiO_2 .

Prema sadržaju SiO₂ stijene se dijele na:

kisele	> 60%	SiO ₂
neutralne,	52 – 60%	SiO ₂
bazične,	45 – 52%	SiO ₂
ultrabazične,	< 45%	SiO ₂

U tablici 1. daje se klasifikacija eruptivnih stijena prema sadržaju kvarca, na osnovi načina postanka i mineralnog sastava (**Ćirić, 1986.**).

Tablica 1. Klasifikacija eruptivnih stijena prema sadržaju kvarca

Kemijski Sastav	Porijeklo	Mineralni sastav		Ostali minerali
		Alkalijski Feldšpati	Kalcijsko alkalijski feldšpati	
Kisele	Dubinske Površinske	Granit Riolit	Granodiorit Dacit	Kvarc Liskun
Neutralne	Dubinske Površinske	Sijenit Trahit	Diorit Andezit	Amfiboli (Biotit)
Bazične	Dubinske Površinske	Alkalijski Gabro Bazalt	Gabro Bazalt	Pirokseni (Olivini)
Ultrabazične	Dubinske	Peridotit		Olivini Pirokseni Serpentin

Sedimentne stijene prema načinu postanka dijele se u tri skupine: mehanički (klastični), kemijski (prepicitati) i organogeni sedimenti. Mehaničkim raspadanjem stijena na površini zemlje nastaje detritični materijal (trošina) različitih dimenzija, a kemijskim trošenjem magmatski se minerali transformiraju u stabilnije mineralne forme. Po kemijskom sastavu magmatski minerali su soli alkalnih i zemnoalkalnih metala s alumo-fero-silicijevom kiselinom. Njihovim trošenjem nastaju jednostavne soli Ca, Mg, K, Na, te oksidi i hidroksidi Al, Si i Fe u ionskom ili koloidnom obliku. Dio hidroksida ulazi u neogenetske procese odnosno procese tvorbe gline, a preostali oksidi su u više ili manje hidratiziranom obliku. Ovi oksidi i hidroksidi su sekundarni minerali i sastavni su dio sedimentnih stijena.

Trošina je podložna transportu gravitacijskom silom, vodom, vjetrom ili glečerima. Najprije se talože krupnije čestice, a slabljenjem transportne sile sve sitnije čestice – sedimentacija. Tvari iz ionskih i koloidnih disperzija mogu se taložiti kemijski radi promjene temperature, tlaka ili koncentracije otopine, ili pak koagulacijom koloida. Otopljene se tvari mogu taložiti i pod utjecajem organizama. Organizmi ugrađuju kalcij i silicij u svoje skelete i ljuštore, a njihovim taloženjem nastaju organogeni sedimenti. Organizmi mogu uzrokovati taloženje karbonata izvlačenjem CO₂ iz bikarbonata.

Vapnenac također može nastati anorganskim putem pri čemu odlučujući utjecaj ima ugljična kiselina. Za reakciju koja dovodi do otapanja, izlučivanja i taloženja važan je odnos H^+ , CO_3^{2-} i HCO_3^- iona (**Marić, 1951.**).

$$\frac{H^+ \times CO_3^{2-}}{HCO_3^-} = K$$

H^+ ioni spajaju se s CO_3^{2-} iz kalcijskog karbonata u HCO_3^- , odnosno neutralni kalcijski karbonat prelazi u kalcijski bikarbonat, koji je u vodi otopljen i disociran. Ako iz vodene otopine nestane H^+ iona, mijenja se koncentracija ostalih iona, a kao rezultat javlja se izlučivanje i taloženje neutralnog $CaCO_3$.

Sedimentirani detritični materijal može ostati u nevezanom stanju ili se povezuje u čvrste stijene. Ovaj proces povezivanja i očvršćivanja naziva se dijageneza.

Dijageneza se zbiva na dva moguća načina:

- uslijed pritiska novoistaloženih slojeva zbijanjem, i
- cementacijom, odnosno povezivanjem pomoću neke cementne tvari (oksidi Fe, Al, Si, glina, $CaCO_3$).

Podjela sedimentnih stijena daje se u tablicama 2. i 3., prema **Ćiriću 1986.**

Tablica 2. Mehanički (klastični) sedimenti

Veličina zrna	Rastresite	Čvrste
> 2 mm (psefiti)	Drobina (kršje) Šljunak (valutice)	Breče Konglomerat
2 mm do 0,02 mm (psamiti)	Pijesak	Pješčenjak (arkoze, grauvske)
0,02 – 0,002 mm (alevroliti)	Les	Alevrolitski sediment
< 0,002 mm (peliti)	Glina Lapor (glina + $CaCO_3$)	Glinac Laporac (glina i $CaCO_3$)

Tablica 3. Kemijski i organogeni sedimenti

Kemijski sastav	Kemijski sedimenti	Organogeni sedimenti
$CaCO_3$	Bigar (sedra), Vapnenac	Vapnenac
$CaCO_3 \times MgCO_3$	Dolomit	Vapnenački dolomit
SiO_2	Rožnac	Dijatomejska zemlja

Pod utjecajem visokih temperatura i tlaka mogu se eruptivne i sedimentne stijene transformirati u **metamorfne**. Pod utjecajem tzv. regionalne metamorfoze, koja zauzima veća prostranstva nastaju najveći kompleksi metamorfnih stijena. Novoistaloženi sedimenti pritišću prema dolje i povećavaju se tlak i temperatura po geometrijskom stupnju (za svaka 33 m temperatura se poveća za $1^\circ C$), uvjetujući metamorfozu.

Bliže zemljinoj površini tlak ima jednosmjerno djelovanje koje se naziva stres, pa se u pravcu ovog djelovanja javlja paralelna tekstura ili škriljavost. Ovako nastaju kristalasti škriljci.

U površinskim dijelovima zemlje, pod utjecajem tzv. dislokacijske metamorfoze dolazi do usitnjavanja stijena, a tako nastaju krupnozrni miloniti.

Pod utjecajem kontaktnog metamorfizma, na dodiru magme i stijene temperatura, oslobođene pare i plinovi uvjetuju prekrystalizaciju i izmjenu kemijskog i mineralnog sastava. Područje kontakta je maleno i na ovakav način nastaju masivne metamorfne stijene.

Pri završetku kristalizacije magme, kod formiranja eruptiva, izlučuju se pare i plinovi. Magma daje stijenu ali i pare i plinove koji vrše prekrystalizaciju, pa se stoga ovaj proces zove autometamorfoza.

Ćirić 1986. dijeli metamorfne stijene, uvjetno, prema važnosti za formiranje tala, tablice 4. i 5.

Tablica 4. Masivne metamorfne stijene

Naziv stijene	Način postanka	Mineralni sastav
Mramor	Prekrystalizacija vapnenca regionalnom i kontaktnom metamorfozom	Kalcit (dolomit)
Kvarcit	Prekrystalizacija kvarcnih pješčenjaka	Kvarc
Kornit	Kontaktne metamorfoze glinenih stijena	Andaluzit Kordierit, Kvarc
Serpentinit	Autometamorfoza ultrabazičnih stijena	Serpentin

Tablica 5. Kristalasti škriljci

Naziv stijene	Način postanka	Mineralni sastav
Gnajs	Regionalna metamorfoza granita, gline i pješčenjaka	Kvarc, Feldšpat Liskun
Mikašist	Regionalna metamorfoza pješčenjaka	Kvarc, Liskun (granat)
Filit	Regionalna metamorfoza pješčenjaka s glinom	Kvarc Sericit (minerali gline)
Argilošist	Regionalna metamorfoza gline	Minerali gline Kvarc (kalcit)
Kloritošist	Regionalna metamorfoza pješčenjaka i gline	Klorit, Kvarc, Albit
Amfibolit	Metamorfoza stijene iz bazične magme	Amfibol, Plagioklasi, Granati

Procesima trošenja iz stijena nastaje trošina (detritus), a kontakt između stijene i tla može biti litičan i regolitičan. Kod litičkog kontakta tlo „leži“ direktno na stijeni, a kod regolitičkog postoji prijelaz. Karakter stijene utječe na značajke tla, tijekom i pravac pedogeneze. U kasnijim stadijima razvoja utjecaj matičnog supstrata sve je manji.

Škorić 1990. izdvaja sljedeće važnije značajke matičnog supstrata:

- Količina trošine

Klastični sedimenti daju puno trošine i omogućuju tvorbu dubokih tala uz odgovarajuću konstelaciju drugih pedogenetskih čimbenika. Nasuprot tomu, čisti mezozojski vapnenci i dolomiti koji se troše pretežno kemijski i vrlo sporo ostavljaju vrlo malo regolita, pa se javljaju vrlo plitka i plitka tla. Eruptivne i metamorfne stijene po količini trošine su u sredini i uvjetuju najčešće pojavu srednje dubokih tala.

- Tekstura trošine

Tekstura trošine je kvantitativni odnos pojedinih kategorija čestica. O teksturi ovise brojne fizikalne, kemijske i biološke značajke tla. Tekstura određuje pravac i intenzitet pedogenetskih procesa.

- Mineralni i kemijski sastav

Mineralni i kemijski sastav matičnog supstrata utječe na značajke tla, te na način i brzinu trošenja. Kiseli matični supstrati siromašni bazama uvjetovat će pojavu kiselih tala. Opskrbljenost tla hranivima u svezi je s karakteristikama matičnog supstrata. Litosferu gradi osam osnovnih elemenata, a to su: kisik, silicij, aluminij, željezo, kalcij, natrij, kalij i magnezij. Na ove elemente otpada 98.5%, a na ostale 1,5%. Osnovni se elementi mogu podijeliti u nekoliko grupa: seskvioksidni elementi (Fe i Al), silicij i bazični elementi u koje se ubrajaju alkalni (Na i K) i zemnoalkalni (Ca i Mg).

- Uslojenost matičnog supstrata

Uslojenost matičnog supstrata u pedogenetske procese unosi karakteristike slojeva zahvaćene procesima.

1.1.2. Klima

Klima se definira kao prosječno stanje atmosferskih čimbenika nekog područja. Karakteriziraju je klimatski elementi (padaline, temperature, vjetrovi, plinovi i slično), koji se mjere na meteorološkim postajama. Razlikuju se dva osnovna tipa klime: aridna i humidna. Kod aridne klime količine padalina manje su od isparavanja, a kod humidne količine padalina veće su od isparavanja. Tipovi klime u korelacijskim su odnosima s tlom i vegetacijom. Izmjenom klimatskih područja mijenjaju se tipovi tala, ali i vegetacija. Ova pojava poznata je pod imenom horizontalna zonalnost. Od istoka prema zapadu naše zemlje raste količina padalina, a pada temperatura. Tako se izmjenjuju i osnovni tipovi tala, od područja černozema

prema smeđim i lesiviranim tlima, a daljnjim povećanjem padalina pojavljuje se područje pseudogleja. U planinama, u uvjetima perhumidne klime, javljaju se podzoli.

Vertikalna zonalnost vezana je uz planinska područja gdje s porastom nadmorske visine raste količina padalina, a prati je izmjena tala i biljnih zajednica.

Za karakterizaciju klime u pedološkoj praksi koriste se različiti pokazatelji, oni se dobiju iz kvocijenta padalina i drugih klimatskih elemenata kao što su srednje mjesečne ili godišnje temperature zraka, deficit zasićenosti zraka vodenom parom i slično (**Bašić, 1981.**).

Najvažniji klimatski pokazatelji su:

- Langov kišni faktor

$$Kf = \frac{O}{T}, \text{ pri čemu su: } O - \text{srednje godišnje ili mjesečne padaline, mm}$$

T – srednje godišnje ili mjesečne temperature, °C

Interpretacija klime na osnovi Kf-a:

Klima	Kf
Perhumidna	> 160
Humidna	160 – 80
Semihumidna	80 – 60
Semiaridna	60 – 40
Aridna	< 40

- Indeks aridnosti po De-Martoneu

$$I = \frac{O}{t + 10}, \text{ pri čemu su: } O = \text{godišnja količina padalina, mm}$$

t = srednja godišnja temperatura, °C

Interpretacija klime na osnovi indeksa aridnosti:

Klima	I
Aridna	< 20
Semiaridna	20 – 24
Semihumidna	24 – 29
Humidna	> 29

- Hidrotermički koeficijent po Seljaninovu

$$Ks = \frac{\sum O}{\sum t} \times 10 \text{ pri čemu je:}$$

$\sum O$ = suma padalina u toplom periodu sa srednjom dnevnom temperaturom iznad 10°C, mm

$\sum t$ = suma temperatura u istom periodu, °C

- Mayerov N/S kvocijent predstavlja odnos padalina i deficita zasićenosti zraka vodenom parom.
- Ombroevaporacijski koeficijent po Pencku je odnos padalina i isparavanja. Vrijednosti veće od 1 označavaju humidni tip klime, a manje od 1 aridni.

Klima sa svojim klimatskim elementima utječe na brojne značajke tla, a također djeluje na pravac i tijek pedogenetskih procesa. Padaline, toplina i plinovi utječu na procese trošenja, te na transformaciju i premještanje tvari i energije. Tlo se opskrbljuje vodom iz atmosfere. Izvor topline u tlu je solarna energija, od koje se jedan dio odbija kao albedo, a drugi služi za zagrijavanje tla i prizemnog sloja atmosfere. Jaki vjetrovi mogu prouzročiti eolsku eroziju, pospješuju isparavanje i transpiraciju biljaka. Utjecaj klime je, kako je iz izloženoga vidljivo, značajan i višestruk, a djeluje ponajviše u sprezi s reljefom i vegetacijom.

1.1.3. Reljef

Do sada opisani pedogenetski čimbenici su materijalnog karaktera, a reljef utječe na procese tvorbe tla posredno. Definira se kao oblik i položaj zemljine površine u nekom prostoru. Karakteriziraju ga horizontalne i vertikalne dimenzije. Svojim isponima, ravninama i udubljenjima djeluje na preraspodjelu energije, vode i u njoj otopljenih tvari.

Zaravnjene reljefske forme prihvaćaju cjelokupnu atmosfersku vodu. Na uzvišenim dijelovima voda se cijedi niz padinu (po nepropusnom horizontu probija u podnožju-pištavci kod pseudogleja), a u udubljenim reljefskim formama se nakuplja uvjetujući hidromorfizam. Na ovaj način reljef utječe na vodo-zračne odnose, a također i na procese tvorbe tala. Inklinacija (nagib) može uzrokovati erozijske procese i radi toga ograničavati pedogenetske procese.

Reljef je također važan čimbenik preraspodjele solarne energije. Na prihvaćanje sunčeve energije utječu ekspozicija (izloženost suncu) i inklinacija (nagib). Najjače zagrijavanje pristranaka je pod kutom od 90°C. Najbolje prihvaćaju energiju južni, zatim zapadni, tek onda istočni i na kraju sjeverni pristranci. Izloženost suncu ili ekspozicija od osobite je važnosti za vinogradarsku proizvodnju (južni i jugozapadni pristranci su glede primanja solarne energije najpovoljniji).

Reljef kao čimbenik preraspodjele vode i topline, kao što je vidljivo, djeluje na hidrotermički režim. Utječe na izmjenu solarne klime i pedoklime. Raznovrsni uvjeti

vlažnosti i topline dovode do pojave različitih biljnih zajednica. Važan je pedogenetski čimbenik, koji u sprezi s drugim čimbenicima usmjerava pedogenetske procese i uvjetuje pojavljivanje različitih pedosistematskih jedinica u prostoru. Reljef utječe na brojne pedogenetske procese kao što su erozija, zamočvarivanje, eluvijacija, salinizacija, alkalizacija i slično.

1.1.4. Organizmi

U organizme ili biotske čimbenike ubrajaju se edafon (predstavnici flore i faune u tlu), vegetacija i čovjek. Organizmi su čimbenik izmjene i kruženja tvari i energije u prirodi. **Vegetacija** se s obzirom na njeno djelovanje na tlo može razvrstati u tri skupine: šumske i travne biljne zajednice te poljoprivredne biljke.

Šumske biljne zajednice (fitocenoze) odlažu manji dio nadzemnih organa na površinu tla, a ta organska prostirka naziva se listinac. Utjecaj listinca je višestruk. Dobro upija oborinsku vodu pa na taj način sprječava njezino otjecanje i erozijske procese. Također djeluje kao organska prostirka ili „mulch“, odnosno smanjuje isparavanje i tako regulira toplinske značajke tla. Šumsko korijenje duboko prodire u tlo te crpi vodu iz dubljih slojeva. Na ovaj se način radi njihovog prosušivanja pospješuju descendetni (silazni) tokovi vode. Sječa nizinskih šuma dovela bi do izostanka ovog učinka isušivanja i zamočvarivanja tla.

Odumrla organska tvar sudjeluje u procesima humifikacije i mineralizacije. Ovisno o kvaliteti organske tvari moguća je tvorba kiselog ili blagog humusa. Tako četinjače sa visokim sadržajem lignina, smola i tanina sudjeluju u formiranju kiselog humusa bogatog fulvokiselinama. Vegetacijski ostaci bukve daju slabo kiseli humus, a jasen, brijest, klen i lipa humus blagog karaktera. Procesima mineralizacije oslobađaju se biogeni elementi. Sadržaj biogenih elemenata veći je kod listopadnih šuma u odnosu na četinjače.

Travne biljne zajednice prožimaju gustim žiličastim korijenovim sustavom tlo i utječu na tvorbu mrvičaste strukture. Usvajaju velike količine biogenih elemenata čime smanjuju njihovo ispiranje. Odumiranjem trava tlo se obogaćuje organskom tvari, a u prisustvu kalcija, osobito u uvjetima aridne klime tvori se humus blagog karaktera. Do izražaja dolazi tvorba organsko-mineralnog kompleksa tla. Odumrla travna vegetacija smanjuje isparavanje pa tako regulira toplinske značajke tla, odnosno djeluje kao organska prostirka.

Poljoprivredne biljke ostavljaju malo organske tvari i iznose velike količine biogenih elemenata, čime se tlo osiromašuje. Bilanca hraniva popravljiva se gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima, uvođenjem djetelinsko-travnih smjesa u plodored i uzgojem

leguminoznog bilja (obogaćivanje tla dušikom). Intenzivna poljoprivredna proizvodnja pospješuje procese mineralizacije, razgradnje organske tvari.

U **edafon** se ubrajaju organizmi tla (flora i fauna tla). Brojni mikro-, mezo- i makroorganizmi svojom životnom aktivnošću utječu na procese transformacije organske i manjim dijelom mineralne tvari. Na ovaj način sudjeluju u procesima tvorbe i razvoja (evolucije) tala. Mikrofauna (nematode, rotatoria, protozoa) transformiraju organsku tvar, usitnjavaju je, miješaju i razgrađuju. Izražen je i rad makrofaune (gliste, rovilice, poljski miševi i dr.) koja također razgrađuje, usitnjava i miješa organsku tvar, prozračuje i agregira tlo te ga obogaćuje ekstrementima i mrtvim tijelima. Mikroorganizmi (alge, gljive, aktinomiciti i bakterije) sudjeluju također u procesima transformacije organske i mineralne tvari, a ponajvažnija je uloga bakterija, koje sudjeluju u procesima kruženja tvari i energije u prirodi.

Čovjek svojom životnom aktivnošću mijenja prirodnu zastupljenost pedogenetskih čimbenika i na taj način djeluje na procese tvorbe tla te utječe na njegove značajke. U intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji čovjek poduzima različite mjere gospodarenja tlom kao što su odvodnja, navodnjavanje, obrada, gnojidba, uporaba pesticida i slično. Osvajanjem novih proizvodnih površina prekida prirodni tijek tvari i energije u prirodi. Sječom šuma mijenja vodni režim (podiže se razina podzemne vode) i pospješuje erozijske procese. Obradom se smanjuje razina opskrbljenosti humusom, odnosno intenziviraju se procesi mineralizacije itd.

Brojni su, dakle, pozitivni i negativni učinci čovjeka na tlo, a oni se jednim imenom nazivaju antropogenizacija.

1.1.5. Vrijeme

Vrijeme kao i reljef nije materijalni pedogenetski čimbenik. Razmatra se u smislu trajanja, kao period u kojem djeluju određeni čimbenici i procesi. Pojedina geološka razdoblja mogu se prepoznati u tlima na osnovi značajki koje su tla naslijedila iz prošlosti. Geološka starost Zemlje procjenjuje se na 4,5 milijarde godina. Izvršena je podjela geološke starosti Zemlje, prema **Herak 1990.** na ere, doba, epohe i periode, tablica 6.

Tablica 6. Geološka razdoblja prošlosti Zemlje

Era	Doba, epohe, periodi		Vrijeme (godine)
Prekambrij	Arhaik Algonkij		4 milijarde
Paleozoik	Kambij Ordovicij Silur Devon (donji, srednji, gornji) Karbon (donji, gornji) Perm (donji, gornji)		375 milijuna
Mezozoik	Trijas (donji, srednji, gornji) Jura (lijas, doger, malm) Kreda (donja, gornja)		155 milijuna
Kenozoik	Tercijar	Paleogen (paleocen, eocen, oligocen) Neogen (miocen, pliocen)	72 milijuna
	Kvartar	Pleistocen (ili diluvij) Holocen (ili aluvij)	

U pojedinim razdobljima geološke prošlosti Zemlje vladala je različita zastupljenost pedogenetskih čimbenika i procesa, pa je u tom smislu vrijeme uključeno u procese tvorbe tla. **Škorić 1990.** izdvaja recentna, reliktna i paleo tla. Recentna tla su ona koja se razvijaju u skladu s današnjom konstelacijom pedogenetskih čimbenika i procesa. Reliktna tla imaju značajke ranijih pedogenetskih čimbenika i procesa, a i danas su uključena u procese tvorbe i evolucije. U borealu se razvilo naše najkvalitetnije tlo černoze. Crvenice su pretežno reliktna tla iz tercijara, a ako je tlo dovoljno duboko pod utjecajem današnjih čimbenika i procesa njihov daljnji razvoj ide u pravcu lesiviranih tala. Iz pleistocena, primjerice, potiču mramorirana tla i tla tundre s rdastim mazotinama i konkrecijama. Paleo tla su stara tla koja su u pleistocenu zatrpana mlađim sedimentima čime je djelomično ili potpuno prekinuta evolucija. Evolucija je potpuno prekinuta kod fosilnih tala koja su prekrivena u velikoj mjeri mlađim sedimentima ili se nalaze duboko u pukotinama krša. Kod tzv. dvoslojnih pedoloških profila gdje su ovi nanosi plići ova stara tla djelomično ulaze u pedogenezu.

1.2. Pedogenetski procesi

Pod pedogenetskim procesima podrazumijeva se skup procesa transformacije i premještanja organske i mineralne tvari te energije. Ovi procesi odvijaju se u ovisnosti o različitim kombinacijama pedogenetskih čimbenika, a kao rezultat ovog uzajamnog djelovanja pojavljuje se tlo.

U pedogenetske procese većina autora ubraja sljedeće:

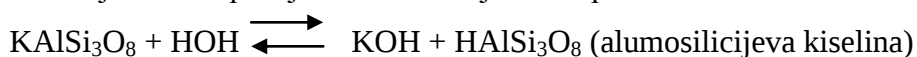
1. Trošenje matične stijene
2. Tvorbu sekundarnih minerala
3. Transformaciju organske tvari
4. Tvorbu organo-mineralnog kompleksa
5. Kambične procese
6. Proces lesivaže
7. Proces pseudooglejavanja
8. Proces podzolizacije
9. Proces oglejavanja (hidrogenizacije)
10. Pedoturbaciju
11. Aluvijalne (fluvijativne) procese
12. Proces ispiranja soli
13. Proces zaslanjivanja ili/i alkalizacije
14. Erozijske procese
15. Antropogenizaciju

U trošenje matične stijene ubrajaju se fizikalno, kemijsko i biološko trošenje. Procesima trošenja čvrste stijene mijenjaju svoj kemijski i mineralni sastav i prelaze u rastresitu trošinu ili detritus. Glavni agensi trošenja su toplina, voda, ugljični dioksid, kiseline, kisik i organizmi u tlu.

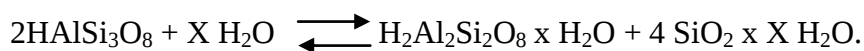
Pod **fizikalnim trošenjem** podrazumijeva se raspadanje stijena i minerala bez kemijskih promjena. Ukoliko se raspadanje stijena i minerala događa samo uslijed promjena temperature naziva se suho termičko trošenje. Do ovog trošenja dolazi radi različitih koeficijenata širenja i stezanja minerala. Mokro termičko trošenje uzrokuje voda koja ulazi u pukotine stijena. Pri smrzavanju dolazi do širenja volumena i pucanja stijena. Glavni uzročnici kemijskog trošenja su voda, kiseline, ugljični dioksid i kisik, pri čemu se minerali kemijski mijenjaju prelazeći u spojeve od kojih se sastoje ili u ione. U **kemijsko trošenje** ubrajaju se hidroliza, hidratacija, otapanje, oksidacija i trošenje vodikovim ionima (kiselinama).

Hidroliza je proces kemijskog trošenja stijena i minerala u kojem sudjeluju H^+ i OH^- ioni nastali disocijacijom vode. Lako pokretljivi H^+ ioni potiskuju katione iz kristalne mreže minerala pri čemu dolazi do promjene njihovog kemijskog sastava i raspadanja.

Na ovaj se način primjerice troši kalijev feldšpat – ortoklas.



Tri su moguća daljnja načina trošenja. Iz alumosilicijeve kiseline tvori se kaolin prema sljedećoj jednadžbi:



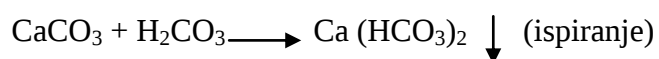
Postoji i druga mogućnost gdje pri hidrolizi ortoklasa može nastati silicijeva kiselina i aluminijev hidroksid.

Treći mogući način trošenja je da se alumosilikati raspadaju hidrolizom do iona i neogenetskim putem (novotvorbom) nastaju minerali gline.

Hidratacija je kemijski način trošenja minerala i stijena do kojeg dolazi radi dipolnog karaktera vode. Pozitivna strana molekule vode okreće se prema negativno nabijenim anionima kristalne mreže minerala, a negativna prema pozitivno nabijenim kationima. Sloj molekula vode izolira ione i na ovaj način slabi njihovu snagu privlačenja radi čega dolazi do slabljenja i pucanja veze među ionima. Stupanj hidratacije ovisi o valenciji iona i njihovoj dimenziji. Ioni manjih dimenzija iste valencije vežu više vode. Viševalentni ioni na sebe vežu više vode u odnosu na niže valentne.

Otapanje je trošenje pod utjecajem vode. Na ovaj se način otapaju i ispiru lakotopive soli alkalnih baza, nitrati i kloridi zemnoalkalnih baza. Teže je topiv kalcijev sulfat. Još je teže topiv kalcijev karbonat, zatim silikati itd.

Važan agens kemijskog trošenja je i ugljični dioksid, koji otopljen u vodi daje ugljičnu kiselinu. Pod utjecajem ugljične kiseline otapa se kalcijev karbonat, i prelazi u topivi bikarbonat:



Na ovaj se način mogu otapati i silikati:



(silikat)

(karbonat)

Oksidacijom se troše minerali koji sadrže dvovalentno željezo i dvovalentni mangan ili sumpor. Oksidacijom ovih spojeva dolazi do povećanja njihovog volumena i fizički se raspadaju.

Biološko trošenje uzrokuju organizmi tla. Korijenje biljaka vrši pritisak na stijene ulaskom u njihove pukotine što dovodi do njihovog raspadanja. Disanjem organizama tla oslobađa se CO₂, koji je važan agens kemijskog trošenja. Usvajanjem kationa korijen biljke otpušta vodikove ione, a oni su također važan čimbenik kemijskog trošenja.

U hladnim planinskim predjelima i u suhim pustinjским područjima dominira fizičko trošenje, a u umjerenom klimatskom području kemijsko i biološko trošenje. U umjerenom klimatskom području radi veće vlažnosti, topline i H⁺ iona, zbog izraženijih kemijskih i

bioloških procesa javljaju se čestice sitnijih dimenzija. Brzina trošenja također ovisi i o značajkama minerala. Silicijem bogati minerali sporije se raspadaju u odnosu na one koji su bogati Na, K, Ca i Mg.

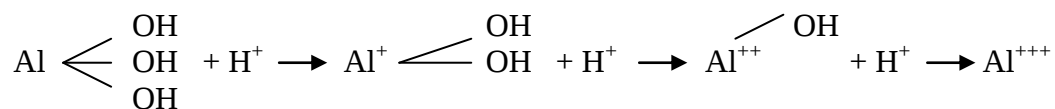
Kao rezultati trošenja stijena i minerala javljaju se (**Škorić, 1991.**):

1. fragmenti stijena i primarnih minerala,
2. međuprodukti trošenja i neogeneze,
 - oksidi i hidroksidi silicija, aluminija, željeza i mangana,
 - nesilikatni minerali (karbonati, fosfati, sulfati, sulfidi, topive soli alkalija ili halidi - NaCl, KCl i nitrati),
 - minerali gline (sekundarni alumosilikati),
3. konačni produkti trošenja (kationi i anioni u otopini tla i na adsorpcijskom kompleksu tla, kojima se biljke hrane).

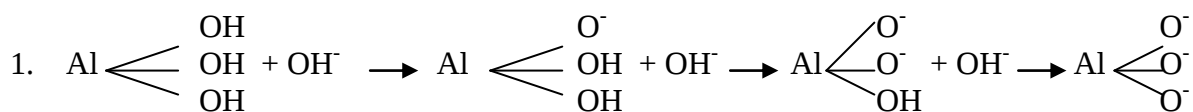
U **sekundarne minerale** ubrajaju se oni koji su nastali trošenjem primarnih (raniji primjer tvorbe kaolinita iz ortoklasa) ili su rezultat sinteze (neogeneze) iz produkata trošenja. Ovdje pripadaju sekundarno stvoreni karbonati, sulfati, fosfati, oksidi, hidroksidi te minerali gline (sekundarni alumosilikati) nastali trošenjem ili neogenetskim putem. Najvažniji sekundarni alumosilikati su minerali iz tri grupe: smektitne (montmorilonitne), ilitne i kaolitne.

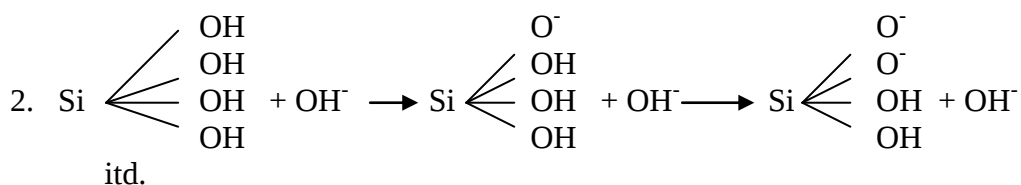
Za sintezu minerala gline neophodna je odgovarajuća reakcija tla (pH 4,7 – 8,1). U ovim uvjetima reakcije sintetiziraju se iz silicijevih i aluminijskih hidroksida (**Bašić, 1981.**).

Ispod pH 4,7 dobro disocira $\text{Al}(\text{OH})_3$ zbog afiniteta H^+ i OH^- iona, a $\text{Si}(\text{OH})_4$ nema naboja i ostaje nedisociran. Pri svakom stupnju disocijacije $\text{Al}(\text{OH})_3$ oslobađa se po jedna molekula vode.



U alkalnim uvjetima (iznad pH 8,1) oba hidroksida imaju isti negativni naboj radi čega ne dolazi do sinteze.





Na svakom stupnju disocijacije oslobađa se po molekula vode. U području pH od 4,7 do 8,1 nalaze se negativno nabijeni $\text{Si}(\text{OH})_3\text{O}^-$ i pozitivno nabijeni $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ koji se sintetiziraju u sekundarne alumosilikate.

Mrtva organska tvar tla je kondenzat vode, ugljika, energije i biogenih elemenata (makroelementi: kisik, vodik, dušik, kalij, kalcij, magnezij, fosfor, sumpor i mikroelementi: željezo, bakar, cink, bor, molibden).

Po odumiranju organske tvari započinje njena autoliza (samoraspadanje). Makro- i mezo-fauna sudjeluje u njenom miješanju i probavljanju kroz probavni trakt. Na rad faune tla nastavlja se transformacija ovako načete organske tvari pod utjecajem heterotrofnih i saprofitnih mikroorganizama. Dva su moguća pravca preoblikovanja organske tvari:

1. Mineralizacija

Pod mineralizacijom se podrazumijeva skup procesa koji se odvijaju pod utjecajem mikroorganizama pri čemu se organska tvar razgrađuje do vode, ugljičnog dioksida, amonijaka i biogenih elemenata kojima se hrani biljka.

2. Humifikacija

Humifikacija je proces koji se odvija pod utjecajem mikroorganizama pri čemu mikroorganizmi razgrađuju mrtvu organsku tvar do jednostavnijih spojeva, a zatim je ponovno sintetiziraju (polimerizacija, kondenzacija) do kompliciranih visokomolekularnih spojeva specifične tamne boje koji se nazivaju humus. Humifikacija je, dakle, proces tvorbe humusa.

U tlu postoji čitav niz organskih i mineralnih spojeva, koji se međusobno povezuju u **organsko-mineralni kompleks**. Organsko-mineralni kompleks ulazi u sastav adsorpcijskog kompleksa tla, u reakcije adsorpcije i supstitucije čime bitno utječe na kemijske značajke tla. Također je utvrđen povećan sadržaj humusa u tlima s više gline. Glineno-humusni kompleks ima najveću ulogu pri stvaranju stabilne strukture.

Organska i mineralna tvar može se povezivati na različite načine kao primjerice:

- pomoću ionskih veza (Columbove sile), između minerala gline i organskih kationa i aniona,
- tvorbom soli jakih baza i humusnih kiselina,
- tvorbom kelata (organske molekule poput kliješta obuhvaćaju metale),

- viševalentni kationi mogu biti most koji povezuje organsku i mineralnu komponentu.

Postoje i drugi načini povezivanja organske i mineralne tvari, a navedeni su samo značajniji.

Kod **kambičnih procesa** intenzivno je trošenje stijena pri čemu se iz produkata trošenja neogenetskim putem tvore minerali gline (argilogeneza) ili se oslobađa glina (oglinjavanje). Na ovaj se način formira kambični horizont, a oslobođeni željezni oksidi do različitog stupnja hidratizirani daju karakteristične nijanse smečkaste, crvenkaste ili žućkaste boje. Opisani procesi nazivaju se kambični, posmeđivanje ili braunizacija.

Lesivaža ili ilimerizacija je skup procesa koji dovode do formiranja iluvijalnog horizonta, vidno obogaćenog glinom. U uvjetima povećane količine padalina dolazi do ispiranja baza (kalcija i magnezija) iz adsorpcijskog kompleksa tla – debazifikacija. Na njihovo mjesto ulaze vodikovi ioni čime se tlo zakiseljava – acidifikacija. Stabilnost strukturnih agregata se smanjuje, te dolazi do njihove disperzije. U kiselijim uvjetima reakcije (pH 4,5 – 6,5) ispiru se glina i seskvioksidi. Na ovaj se način formira eluvijalni (E) horizont osiromašen ovim komponentama i ispod njega iluvijalni (Bt) horizont. Bt horizont obogaćen je bazama, a kalcij djeluje na koagulaciju glinenih čestica. Glina se odlaže na stijenkama pora i dodirnim površinama agregata pri čemu se formiraju prevlake. Tlo je, dakle, oštro izdiferencirano na eluvijalni E i iluvijalni Bt horizont.

Proces pseudooglejavanja nastavlja se na proces lesivaže, a uzrokuju ga suficitarne padaline. Na nepropusnom iluvijalnom horizontu u mokrom stadiju radi stagnacije vode dolazi do redukcijskih procesa. Reduciraju se željezni i manganovi spojevi i prelaze u dvovalentni oblik, te postaju topivi. Difuzijom se pokreću i dolazi do izbljeđivanja površine strukturnih agregata i stijenki oko korijena biljke. U vlažnim (suhim) uvjetima u nazočnosti kisika dolazi do njihove oksidacije što se manifestira karakterističnim rdastim mazotinama i crnim konkrecijama. Pedološki profil dobiva mramorirani izgled pri čemu se izmjenjuju sive zone, rdaste mazotine i konkrecije. Opisani proces naziva se pseudooglejavanje.

Proces podzolizacije vezan je uz humidnu do perhumidnu klimu, planinska područja, ekstremno kisele matične supstrate i nepovoljan sastav organskih ostataka. U ovakvim uvjetima uz nazočnost fulvokiselina dolazi do raspadanja minerala gline i ispiranja organske i mineralne komponente. Ispiru se seskvioksidi, željezo, aluminij i mangan u ionskom obliku, zatim organska i mineralna tvar u obliku kelata (kompleksi metala s organskim kiselinama – fulvokiselinama). Na ovaj se način formira eluvijalni E horizont u kojem zaostaje netopivi

kvarc (topiv je na alkalnoj strani reakcije) pepeljasto sive ili bijele boje. Ispod E horizonta formira se humusni iluvijalni ili/i željezno iluvijalni B horizont.

Proces oglejavanja ili hidrogenizacije je proces tvorbe glejnoga G horizonta u uvjetima prekomjernog zasićenja tla vodom. U trenutku kad je tlo prezasićeno (saturirano) vodom prevladavaju, radi niskog redoks potencijala, reduksijski procesi. Viševalentni spojevi prelaze u niževalentne. Trovalentni spojevi željeza prelaze u dvovalentne, javlja se dvovalentni mangan, sulfati se reduciraju do sulfida, nitrati do amonijaka i eventualno do dušika. Formira se reduksijski glejni pothorizont (Gr) s dominacijom zelenkastih, plavkastih i sivkastih boja, a željezni sulfid se javlja u obliku crnih konkrecija. U vrijeme povremene suficijentne vlažnosti tla kad prevladavaju oksidacijski procesi i viši redoks potencijal, dolazi do oksidacije ovih spojeva i formira se glejni pothorizont sekundarne oksidacije (Gso). U ovom pothorizontu dominantno su prisutne rđasto-crvenkaste mazotine nastale sekundarnom oksidacijom prvotno reduciranih spojeva nad plavičasto-zelenkastim bojama.

Pedoturbacija je vezana uz tla bogata montmorilonitnim (smektit) tipom gline, a to su smolnice. Kad je tlo saturirano vodom montmorilonit bubri i masa tla je smolasta. U anaerobnim uvjetima tvori se humus hidromorfnog karaktera. U suhim uvjetima dolazi do kontrakcije volumena gline i stvaranja pukotina. U ove pukotine ulazi sitnica iz humusno akumulativnog A horizonta. Ponovnim vlaženjem sitnica bubri i tlo se poput klinova izdiže. Na ovaj način nastaje specifični džombasti reljef, u stručnoj literaturi poznat kao gilgaj reljef. Ovo specifično miješanje tla naziva se pedoturbacija.

Aluvijalni procesi vezani su uz vodotoke (rijeke, potoke) koji sobom nose zemljišni materijal. Put transporta ovog materijala je dugačak i dolazi do njegovog pravilnog sortiranja ili sedimentacije. Vodotoci najprije odlažu krupnije čestice kamena i šljunka, zatim sve sitnije, a na ušću najsitnije kategorije čestica. Osim uzdužnog sortiranja zemljišnog materijala postoji i sedimentacija okomito na vodotok. Utvrđeno je i vertikalno sortiranje zemljišnog materijala. Opisani procesi nazivaju se aluvijalni ili fluvijativni procesi.

Intenzitet **ispiranja soli** ovisi o klimatskim prilikama, značajkama tla (propusnost tla za vodu, kapacitet adsorpcije, stupanj zasićenosti bazama itd.) i o topivosti soli. Najlakše se ispiru lakotopive soli kao što su: natrijev, kalijev, kalcijev i magnezijev klorid, te magnezijev sulfat. S porastom humidnosti klime ispiru se srednje topive soli od kojih su najznačajnije kalcijev i magnezijev karbonat. Daljnjim povećavanjem količine padalina dolazi do ispiranja kalcija i magnezija iz adsorpcijskog kompleksa tla – debazifikacije i ulaska vodikovih iona na njihovo mjesto. Na ovaj se način tlo postupno zakiseljava – acidifikacija.

Proces zaslanjivanja (salinizacije) najčešće je vezan u zaslanjene podzemne vode, koji u jednom dijelu godine ascedentnim (uzlaznim) tokom dopiru do površine. U aridnom klimatu radi isparavanja ove se soli javljaju na površini tla u obliku iscvjetavanja ili eflorescencija. U vlažnom dijelu godine dio se ovih soli ispire, ali prevladava tendencija njihove akumulacije. Tlo je zaslanjeno ako unutar 125 cm dubine ima više od 1% klorida i sulfata ili više od 0,7% sode. Prisustvo sode u podzemnim vodama može uvjetovati povećani sadržaj natrija u adsorpcijskom kompleksu tla. Ukoliko Na iona ima u adsorpcijskom kompleksu više od 15% tada je on alkaliziran.

Erozijski procesi odnose se na površinsku migraciju zemljišnog materijala pod utjecajem površinskih voda ili vjetra (eolska erozija). Na brdovitim reljefskim formama ubrzani erozijski procesi (ekscesivna erozija) mogu uvjetovati znatno ispiranje tla, ali i matičnog supstrata. Ovaj materijal se taloži u podnožju padine, a proces se naziva koluvijalni. Proces erozije ovisi o nagibu tla, količini i intenzitetu padalina, obraslosti terena, brzini i učestalosti vjetra i o značajkama tla (propusnost tla za vodu, struktura tla i dr.). Tlo i reljef su konstante, kako navodi **Kisić et al., 2005.**, a količina i intenzitet padalina te uzgajani usjevi su promijenljivi pokazatelji, koji zajedno sudjeluju u stvaranju erozije u nekom prostoru.

Sve aktivnosti čovjeka usmjerene na tlo kao što su hidrotehnički i agrotehnički zahvati, gnojidba, tehnogena kontaminacija tla i slično u određenom stupnju mijenjaju pravac i tijek pedogeneze. Svi procesi u tvorbi tla koje je prouzročio čovjek jednim imenom zovu se **antropogenizacija**.

3. MORFOLOŠKE ZNAČAJKE TALA

Morfološke značajke tala rezultat su različite kombinacije i intenziteta pedogenetskih čimbenika i procesa. Izučavaju se na terenu, a razlikuju se vanjske (ekto-) i unutrašnje (endo-) morfološke značajke tala.

U **vanjske ili ektomorfološke značajke tla** ubrajaju se reljef, te živi i mrtvi pokrov. **Reljef** je važan pedogenetski čimbenik koji kao što je ranije navedeno, utječe svojim vanjskim obilježjima na preraspodjelu vode, u njoj otopljenih tvari i energije. Na osnovi reljefa pedolog može dobiti prvotne informacije o značajkama tala, te pretpostaviti njihovu pojavnost u prostoru. U **živi pokrov** ubrajaju se prirodna vegetacija i poljoprivredni usjevi. Vegetacija je indikator staništa. Tako se primjerice acidofilne biljke javljaju na kiselim tlima siromašnim hranivima, kalcifilne na tlima bogatim kalcijem, kserofiti na suhim tlima, higrofiti na močvarnim tlima itd. **Mrtvi pokrov** tla čini skelet, te tekuće i stajaće vode. Na temelju vanjskih morfoloških značajki tla pedolog u sklopu rekognosciranja (upoznavanja) terena dobiva prvotne vrijedne informacije.

Unutrašnje ili endomorfološke značajke tla izučavaju se iz pedoloških profila. To su vertikalni presjeci tla od površine do matičnog supstrata. Iz ovih se profila izučavaju sljedeće unutrašnje morfološke značajke tla: sklop tla, boja, tekstura, struktura, poroznost i specifične pedodinamske tvorevine.

Sklop tla čine genetski horizonti, njihova debljina, prijelaz iz jednoga u drugi, njihov broj, slijed i izraženost. Genetski horizonti definirani su kao slojevi tla približno paralelni s površinom nastali pod utjecajem pedogenetskih procesa s karakterističnim fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama. Označavaju se velikim slovima abecede, a za obilježavanje pothorizonta i specifičnosti horizonta koriste se mala slova. Pothorizonti su dijelovi istog horizonta koji se međusobno razlikuju po karakteru procesa unutar istog horizonta. Osim podhorizonta postoje prelazni i složeni horizonti. Kod prelaznih se horizonta na prvo mjesto stavlja oznaka onog horizonta čije su značajke dominantne (npr. AO) a kod složenih gdje se istovremeno odvijaju dva procesa velika slova se razdvajaju kosom crtom (npr. A/E). Slojevi kod nerazvijenih nanosa označavaju se rimskim brojevima, a za litološki diskontinuitet također se koriste rimske brojke (npr. IC, IIC...)

Oznake horizonta prema našoj sistematici tala (**Škorić et.al., 1985.**) i prema FAO/UNESCO klasifikaciji i FAO priručniku za opisivanje profila tala (**FAO, 1976., 1990.a, 1990.b**) daju se u tablici 7. Odnose važeće klasifikacije u Hrvatskoj prema FAO legendi tala na razini velike grupe i podgrupe tala izradio je **Špoljar 1999.**

Tablica 7. Označavanje horizonata prema našoj klasifikaciji tala i prema FAO/UNESCO legendi

Oznake horizonata prema važećoj klasifikaciji (Škorić et.al., 1985.)		FAO/UNESCO oznake hor.(FAO,1976; 1990a,b)
1		2
O	organski površinski horizont, koji leži iznad mineralnog dijela tla pretežno u aerobnim uvjetima	O
Ol	(litter – listinac, prostirka) je pothorizont nerazgrađene organske tvari u kojemu se jasno opaža karakter organskih ostataka	-
Of	(fermentacija) pothorizont polurazgrađene organske tvari u kojem se teže opaža karakter organskih ostataka	-
Oh	(humus) humificirani organski pothorizont na kontaktu s mineralnim dijelom tla, a u njemu se javljaju mineralne čestice tla	-
(A)	inicijalni slabo razvijeni humusno akumulativni horizont	A
A	humusno akumulativni horizont u kojem je humus izmiješan s mineralnim dijelom tla	A
Amo	(mollis – mek, blag) modifikacija humusno akumulativnog A horizonta specifične tamne boje, sa zasićenošću bazama više od 50% i izraženom strukturom	-
Aum	(umbra – sjena) modifikacija humusno akumulativnog A horizonta, iste boje kao i molični A horizont, sa stupnjem zasićenosti bazama manjim od 50%, slabo izražene strukture tako da je u suhom stanju tvrd i masivan	-
Aoh	(ochros – blijed) modifikacija humusno akumulativnog horizonta svijetlije boje od moličnog i umbričnog, u suhom stanju je tvrd i kompaktan	-
E	eluvijalni horizont koji se nalazi ispod A ili O horizonta, a karakterizira ga smanjeni sadržaj jedne ili više od sljedećih komponenata: gline, humusa, seskvioksida	E
B	iluvijalni horizont, koji se nalazi ispod E horizonta, a karakterizira ga povećani sadržaj jedne ili više od sljedećih komponenata: gline, humusa, seskvioksida	B
Bt	argiluvični B horizont (argila = glina, luo = isprati) vidno obogaćen glinom koja se isprala iz E horizonta	Bt
Bh	humusno iluvijalni B horizont obogaćen humusom, koji je u uvjetima kisele reakcije ispran iz O i E horizonta	Bh
Bfe	željezno iluvijalni B horizont, nalazi se ispod E ili Bh horizonta, vidno je obogaćen seskvioksidima koji su isprani u uvjetima kisele reakcije iz E horizonta	Bs

1		2
(B)	kambični horizont metamorfoze in situ (od cambio = mijenjati), a nalazi se između O ili A horizonta i C ili R horizonta od kojih se razlikuje žutom, crvenom ili smeđim nijansama u boji, često i povećanim sadržajem gline	B
(B)v	modifikacija kambičnog (B) horizonta koja nastaje trošenjem primarnih minerala in situ i argilogenezom, vezan je uz silikatne matične supstrate	Bw
(B)rz	modifikacija kambičnog horizonta koja nastaje pretežno rezidualnom akumulacijom pri trošenju čvrstih mezozojskih vapnenačkih i dolomitnih stijena	Bw
G	glejni horizont, koji pokazuje znakove redukcije i sekundarne oksidacije u stalnim ili povremenim uvjetima suficitne vlažnosti. Karakterizira ga plavičasta, zelenkasta ili sivkasta boja s rdastim mazotinama po površini agregata.	označava se velikim slovom C s odgovarajućim sufiksima g ili r
Gso	glejni podhorizont sekundarne oksidacije kod kojeg prevladavaju rdaste mazotine u odnosu na sivo-zelene i plavkaste boje od redukcijskih procesa	Cg
Gr	glejni redukcijski podhorizont kod kojeg prevladavaju sivo-zelene i plavkaste boje radi redukcijskih procesa	Cr
T	tresetni horizont koji predstavlja slabo razgrađenu organsku tvar u anaerobnim uvjetima	H
Tfi	fibrični podhorizont kod kojeg je organska tvar slabo humificirana (< 1/3 organske tvari humificirano)	-
The	hemični podhorizont predstavlja osrednje razgrađenu organsku tvar (1/3 – 2/3)	-
Ts	saprični podhorizont u kojem je organska tvar jako humificirana (> 2/3)	-
R	čvrsta stijena	R
C	rastresiti dio matičnog supstrata bez znakova pedogenetskih procesa karakterističnih za ostale horizonte	C
g	horizont koji nastaje pod utjecajem suvišne stagnirajuće površinske vode uz smjenjivanje mokre i suhe faze. Karakterizira ga mramoriranje pri čemu sivkaste boje prevladavaju u pukotinama i na površini agregata, a rdaste u unutrašnjosti agregata	koristi se sufiks g
P	Horizont koji je nastao utjecajem čovjeka: obradom, miješanjem dva ili više horizonata ili slojeva, te gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima	Ap

Kod označavanja horizonata i podhorizonata u upotrebi su i dopunske oznake koje se odvajaju zarezom i stavljaju kao sufiksi, tablica 8. Koriste se sljedeći sufiksi:

Tablica 8. Dopunske oznake kod obilježavanja horizonata i podhorizonata

Oznake prema Škorić et.al., (1985.)	Oznake prema FAO (1990b)	Značenje
ca	k	akumulacija kalcijevog karbonata
sa	z	akumulacija lakotopivih soli osim gipsa
cs	y	akumulacija gipsa
na	n (soda)	natrij u adsorpcijskom kompleksu iznad 7% od maksimalnog adsorpcijskog kompleksa tla T.
cn	cs	akumulacija konkrecija bogatih seskvioksidima i manganom
m	m	cementacija
b	b	fosilnost horizonta
vt	-	vertičnost
a	-	hidromorfna forma humusa
p	p	izmjena obradom

Od posebnog ekološkog značenja, ali i za klasifikacijske potrebe važna je **dubina tla**. **Škorić 1991.** izdvaja ekološku, pedološku i tehničku dubinu tla. Pod ekološkom dubinom podrazumijeva se prostor u kojem se nalazi glavna masa korijenovog sustava gdje biljka nalazi edafske vegetacijske čimbenike (vodu, hraniva, zrak, toplinu). Pedološka dubina je zbroj svih genetskih horizonata do matičnog supstrata, a tehnička dubina je dubina do koje se tlo zahvaća agrotehničkim i hidrotehničkim zahvatima.

Boju tla određuje kemijski i mineraloški sastav tla, a kombinacija je tri osnovne boje: crne, crvene i bijele. Crna boja tla rezultat je prisustva humusa. Oksidi trovalentnog željeza do različitog stupnja hidratizirani daju različite nijanse crvene, smeđe i žute boje. Spojevi dvovalentnog željeza daju zelenkaste, sivo-plave i plave boje tlu. Vivijanit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8 \text{H}_2\text{O}$ daju plavu boju, a zelena je rezultat prisustva ferosulfata $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$.

Tekstura tla je kvantitativni odnos pojedinih kategorija čestica u nekoj masi tla. Na terenu se određuje valjanjem valjčića pod prstima. Pijesak se ne može valjati, glina se valja na valjčiće manje od 1 mm, a ilovasto tlo do 2,5 mm.

Struktura je način nakupljanja mehaničkih elemenata u strukturne agregate i njihov odnos s porama tla. Najpovoljnija je mrvičasta struktura, pa tla takve strukture imaju najbolje vodozračne i toplinske odnose. **Poroznost** je zbroj svih pora u tlu, a na terenu se može odrediti veličina i broj pora.

Specifične pedodinamske tvorevine su različite tvari u tlu koje su rezultat pedogenetskih procesa. Važni su dijagnostički znakovi pri terenskim istraživanjima. Mogu se

izdvojiti sljedeće specifične pedodinamske tvorevine ili novotvorevine koje se pojavljuju unutar pedološkog profila:

1. nakupine lakotopivih soli (natrijeve, kalcijeve i magnezijeve) u aridnim klimatskim područjima (slana tla);
2. iscvjetanja i konkrecije gipsa ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$) koja se javljaju u pustinjским i poluvlažnim područjima;
3. nakupine kalcijevog karbonata. Javljaju se kao konkrecije u humidnijim područjima kod ispranih tala, u obliku bijelih plijesni (pseudomicelija) i prapornih lutki kod černozema;
4. nakupine seskvioksida (Al i Fe) i mangana u humidnim područjima (mazotine rđastosmeđe ili žutosmeđe boje, crni čagalj – konkrecije tamnosmeđe do crne boje u tlima težeg mehaničkog sastava, a u pjeskovitim cementirane ploče – ortštajn, iscvjetavanja vivijanita plave boje);
5. nakupine silicijevog dioksida;
6. nakupine, izlučine, organske uklopine, te različite tvorevine faune tla.

3. FIZIKA TLA

Po svojim fizikalnim značajkama tlo je polifazni sustav, koji se sastoji od krute, tekuće i plinovite faze. Kruta se faza sastoji od mineralnog i organskog dijela, od čega na mineralnu komponentu otpada 45%, a na organsku 5%. Tekuću fazu čini voda i u njoj otopljene tvari. Voda u tlu je zastupljena s 25%. Plinovitu fazu čini zrak, a ima ga u tlu preostalih 25%. Značajkama krute, tekuće i plinovite faze, njihovom dinamikom i toplinskim značajkama bavi se fizika tla. Fizika tla se dijeli na fiziku krute, tekuće i plinovite faze.

3.1. Fizika krute faze

U ovom se potpoglavlju obrađuje mehanički sastav tla (tekstura), struktura, gustoće tla, porozitet i konzistencija.

3.1.1. Mehanički sastav tla (tekstura)

Mehanički sastav tla ili tekstura je kvantitativni odnos pojedinih kategorija čestica u nekoj masi tla. U našoj praksi prihvaćena je klasifikacija mehaničkih čestica po Attebergu (**cit. Škorić, 1986**), a razlikuju se sljedeće kategorije:

Promjer, mm	Naziv čestice
> 20	kamen
20 – 2	šljunak
2 – 0,2	krupni pijesak
0,2 – 0,02	sitni pijesak
0,02 – 0,002	prah
< 0,002	glina

Fracija veća od 2 mm naziva se skelet, a sitnije kategorije čestica predstavljaju sitno tlo ili sitnicu.

Moguće je izdvojiti sljedeće važnije značajke pojedinih kategorija čestica:

Fracija kamena i šljunka (skelet)

Skelet nastaje fizikalnim trošenjem stijena. Oštrobridni odlomci stijena koji ostaju na mjestu postanka ili su transportirani na kratku udaljenost nazivaju se kamenom. Šljunak su zaobljene valutice koje su rezultat transporta na veću udaljenost. Tla bogata skeletom ekstremno su propusna, slabo drže vodu, topla su i aerirana, kemijski su praktički neaktivna.

Frakcija pijeska

Ova kategorija čestica također nastaje fizikalnim trošenjem stijena. Tla bogata pijeskom imaju vrlo veliku propusnost, slabo drže vodu, topla su i prozračna. Pijesak ne bubri i nije plastičan. Pjeskovita tla imaju, dakle, izvrsne fizikalne značajke. Imaju neznatan kapacitet adsorpcije odnosno kemijske značajke ovih tala su loše.

Frakcija praha

Po svojim značajkama prah je između pijeska i gline. Prah je u suhom stanju vezan, ne bubri i slabo se lijepi, dobro drži vodu i slabo je propušta. Ima sposobnost adsorpcije iona. Tla bogata prahom imaju nestabilnu strukturu, lako se zbijaju i sklona su pokorici.

Frakcija gline

Čestice gline nazivaju se još grubo koloidnom frakcijom. To je ujedno najaktivnija frakcija krute faze tla. Glina veže velike količine vode, jako bubri i ljepljiva je, u suhom stanju kontrahira i tvrda je. Ima ekstremno loše fizikalne značajke. Nasuprot tomu gлина ima izvrsne kemijske značajke. Kapacitet adsorpcije gline općenito je velik, a ovisno o tipu gline kreće se od 10 do 100 m.mol.ekv.

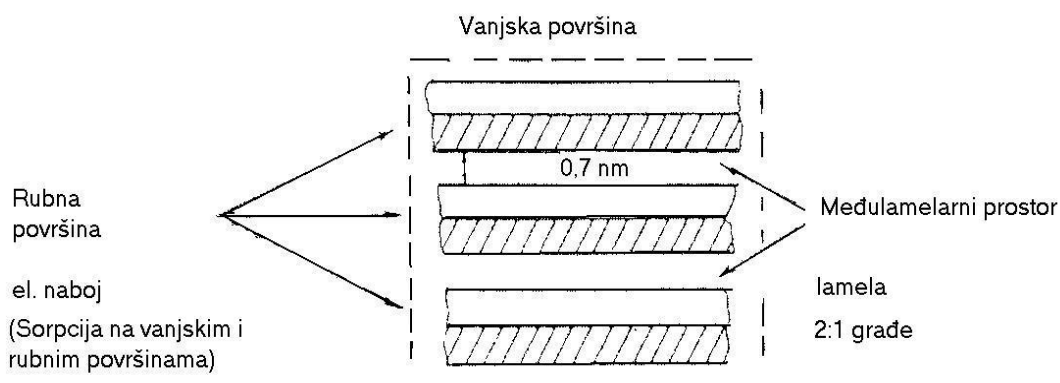
Grada minerala gline (sekundarnih alumosilikata)

Minerali gline po svom sastavu su alumosilikati kristalne građe, lističave (lamelarne) građe kao i primarni minerali iz grupe filosilikata. Osnovne gradive jedinice minerala gline su slojevi silicijevih tetraedara i aluminijevih oktaedara, koji se međusobno povezuju u listiće (lamele), a listići u paketiće. Troslojni minerali gline imaju lamelu građenu od sloja aluminijevih oktaedara na koji se vežu dva sloja silicijevih tetraedara (tip građe 2:1), a kod dvoslojnih lamela je građena iz jednog sloja silicijevih tetraedara i jednog sloja aluminijevih oktaedara (tip građe 1:1). Razmak između lamela može biti fiksni i varijabilan, a naziva se baznim ili međulamelnim razmakom. Zahvaljujući ovakvoj lističavoj građi minerali gline imaju veliku aktivnu površinu. Jedan mineral gline sastoji se iz više kristalnih jedinica ili paketića. Negativni naboj minerala gline potječe od izomorfne zamjene iona u tetraedarskoj ili oktaedarskoj poziciji. U tetraedarskoj poziciji silicij može biti zamijenjen aluminijem. Kako je silicij četverovalentan, a aluminij trovalentan jedan, naboj ostaje nekompenziran. U oktaedarskoj poziciji aluminij može biti zamijenjen niževalentnim željezom i magnezijem. Pri tome također ostaje jedan nekompenzirani negativni naboj. Ovaj se negativni naboj kompenzira kationima iz otopine tla po mehanizmu adsorpcije.

Po građi se razlikuju tri osnovne važnije grupe minerala gline:

1. kaolinitna
2. smektitna (montmorilontna)
3. ilitna

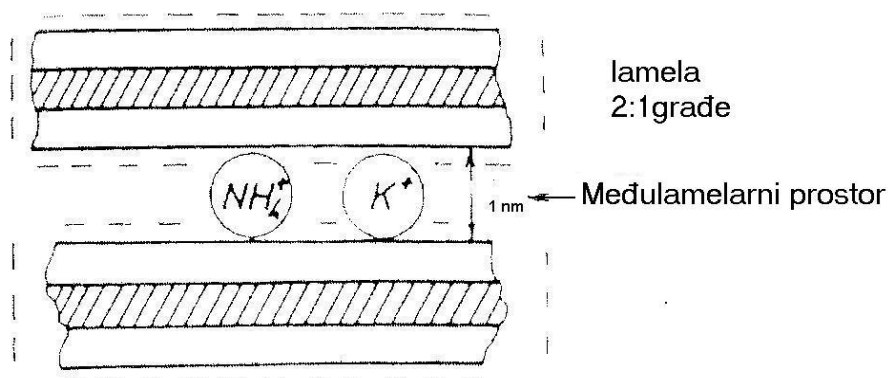
Minerali iz kaolinitne grupe imaju tip građe 1:1, odnosno lamela se sastoji od jednog sloja silicijevih tetraedara i jednog sloja aluminijevih oktaedara, slika 1.



Slika 1. Građa kaolinita

Bazni razmak je malen i fiksni. U ovu grupu minerala ubrajaju se kaolinit i haloizit. Kod kaolinita bazni razmak iznosi 0,7 nm, a kod haloizita 1,0 nm. Minerali iz ove grupe ne bubre i imaju malen kapacitet adsorpcije. Za kaolinit kapacitet adsorpcije iznosi 10 m.mol.ekv.

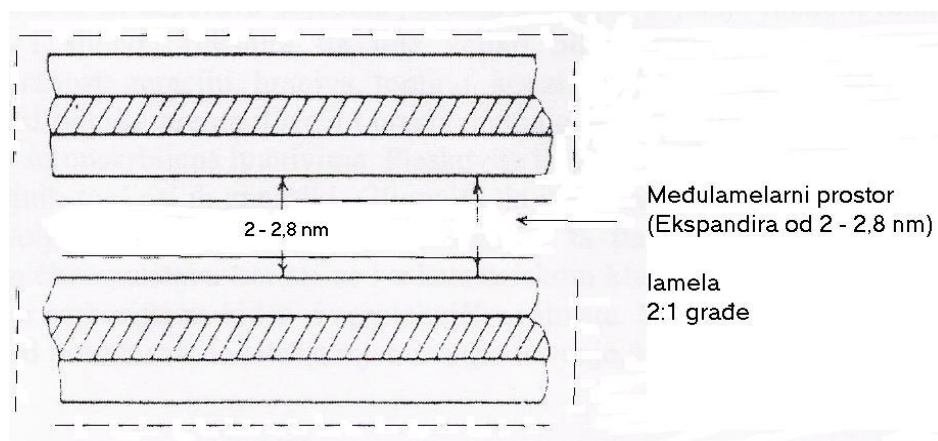
Minerali iz ilitne grupe tipa su građe 2:1, odnosno lamela se sastoji iz dva sloja silicijevih tetraedara unutar kojih je sloj aluminijevih oktaedara, slika 2.



Slika 2. Građa ilita

U ovu grupu pripada ilit s baznim razmakom od cca 1 nm, a unutar njega nalazi se K ili NH_4 ion. Radi promjera ovih iona, koji odgovara međulamelarnom razmaku u suhim uvjetima zbog kontrakcije, može doći do njihove fiksacije. Osim ilita ovdje se ubraja i vermikulit, koji isto kontrahira na bazni razmak od 1 nm.

Posljednju važniju grupu minerala gline čine smektiti (montmorilonti), koji su isto troslojne građe kao i iliti, ali s većim međulamelarnim razmakom (2 – 2,8 nm) i afinitetom prema ionima kalcija i magnezija, slika 3.



Slika 3. Građa smektita

Bazni razmak je varijabilan, pa montmorilonti u vlažnom stanju bubre, a u suhom kontrahiraju. U ovu grupu ubrajaju se: montmorilont (bogat Ca i Mg), beidelit (bogat Al) i nontronit (bogat Fe). Glineni minerali iz smektitne grupe imaju najveći kapacitet adsorpcije, koji za montmorilont iznosi 100 m.mol.ekv.

Po električnom naboju koloidne čestice mogu imati pozitivni naboj – bazoidi, negativni naboj–acidoidi, a mogu biti i amfolitoidnog karaktera. Amfolitoidi ovisno o uvjetima reakcije tla imaju ili pozitivni ili negativni naboj. Naboj sekundarnih alumosilikata je stalan, odnosno ne mijenja se u ovisnosti o uvjetima reakcije tla. Zbog svog negativnog naboja čestice gline imaju sposobnost privlačenja i otpuštanja kationa–adsorpcije. Čestice istog električnog naboja u otopini tla međusobno se odbijaju te se nalaze u peptiziranom stanju – zol stanju. Ako se u otopini tla nalaze koloidi suprotnog naboja dolazi do privlačenja čestica ili njihove koagulacije – gel stanje. Na ovaj se način formiraju strukturni agregati. Koloidi tla prema sposobnosti navlačenja vode mogu biti hidrofilni i hidrofobni. Hidrofilni koloidi, koji na sebe navlače vodu nepoželjni su u tlu jer reverzibilno koaguliraju. Stoga mogu

prelaziti iz gel u zol stanje. Najpoželjniji su u tlu hidrofobni koloidi koji ireverzibilno koaguliraju, pa su glede toga čimbenik stabilne strukture tla. Hidrofilni koloidi mogu obaviti hidrofobne, pa na ovaj način nastaju tzv. zaštitni koloidi koji se lako ispiru. Na ekstremno kiselim matičnim supstratima u uvjetima perhumidne klime, na ovaj način u sklopu procesa podzolizacije dolazi do jake destrukcije mineralne komponente tla.

Pod analizom mehaničkog sastava podrazumijeva se određivanje postotnog udjela pojedinih kategorija čestica u tlu. Razlikuju se kvalitativna i kvantitativna analiza. Kvalitativno se tekstura određuje na terenu opipom pod prstima. Pijesak se ne može modelirati, ilovasto tlo modelira se u valjčiće od 1,0 do 2,5 mm, a glina u valjčiće ispod 1 mm.

Kvantitativno se mehanički sastav određuje u laboratoriju i to najčešće metodom pipetiranja, a za klasifikaciju tala po teksturi u upotrebi je triangularni grafikon po SSSM-u iz 1951. godine (**cit. Škorić, 1986.**).

Mehanički sastav ponajvažnije je mjerilo boniteta tla, a time i njegove produktivnosti. Važan je čimbenik njegove tvorbe i dinamike. Različiti stupanj usitnjenosti tla ubrzava ili usporava pojedine procese, jer uvjetuje različiti režim vlažnosti, hraniva, zraka i slično. Tekstura ima veliko biljno-ekološko značenje, pa tako djeluje na vododržnost, aeraciju, hraniva, toplinu, konzistenciju itd. Vrijednost poljoprivrednih tala raste od pijeska prema ilovači i opada prema glini. Ilovasta tla dobro drže vodu, propusna su i dobro su opskrbljena hranivima. Pjeskovita tla nemaju dovoljno vode i hraniva, prozračna su i povoljnih toplinskih značajki. Glinovita imaju, nasuprot pjeskovitima, puno hraniva, ali su nepovoljnih vodozračnih odnosa. Stoga su ta tla hladna i biološki neaktivna. Podaci o mehaničkom sastavu koriste se i u katastarskom klasiranju tala ili za bonitiranje. Tekstura tla također se koristi za hidro- i agrotehničke zahvate. Moguće je na temelju mehaničkog sastava odrediti potrebu za dodatnim mjerama (podrivanje, krtičenje) i potrebu za filter materijalom.

3.1.2. Struktura tla

Način nakupljanja mehaničkih elemenata u strukturne agregate, te njihov odnos s porama tla naziva se struktura. Razlikuju se tri osnovna tipa strukture: agregatna, koherentna i tlo bez izražene strukture (bezstrukturno tlo).

Kod agregatne strukture tlo je raspoređeno u trodimenzionalne tvorevine – strukturne agregate. Ako je tlo u suhom stanju kompaktno, tvrdo i sklono pucanju, a u vlažnom

jednolično sliveno tada se radi o koherentnoj strukturi. Tlo bez izražene strukture obiluje krupnijim kategorijama čestica kao što su šljunak i pijesak.

Tvorba strukturnih agregata odvija se u dvije faze: tvorba mikroagregata koagulacijom i tvorba većih (mezo- i makro-) agregata cementacijom. Za tvorbu strukturnih mikroagregata potrebni su elektroliti. Koloidi istoimenog naboja međusobno se odbijaju, a elektroliti smanjuju potencijal odbijanja pri čemu dolazi do njihovog povezivanja. Čestice suprotnog naboja međusobno se privlače. Na ovaj se način najprije tvore pahuljice – koagulacija, a one se zatim povezuju u strukturne mikroagregate (agregati veličine do 0,25 mm). Pri tvorbi mikroagregata najpoželjniji je kalcijev ion, ali on ne sudjeluje u njihovom povezivanju u veće strukturne agregate.

U drugoj se fazi mikroagregati povezuju u mezo- i makro- agregate sljepljivanjem ili cementacijom. Najvažnije cementne tvari u tlu su blagi humus i mineralni koloidi. Humusne tvari stvaraju koloidnu opnu oko čestica, a mineralni koloidi obljepljuju mehaničke elemente i nakon dehidracije su slabo reverzibilni ili ireverzibilni. Hidroksidi željeza i aluminija vrlo su dobre ireverzibilne cementne tvari, zahvaljujući čemu primjerice crvenice imaju stabilnu poliedričnu strukturu.

Strukturne agregate Gračanin (**cit. Škorić, 1975.**) dijeli po veličini i obliku.

Najčešće se agregati po veličini dijele na mikroagregate (do 0,25 mm promjera) i makroagregate (preko 0,25 mm promjera).

Moguće je strukturne agregate podijeliti po veličini još detaljnije, pa se tako razlikuju:

mikroagregati	< 0,25 mm
mezoagregati	0,25 – 2,0 mm
makroagregati	2,0 – 50,0 mm
megaagregati	> 50,0 mm

Po obliku agregati se dijele na:

- kockaste (kubiformni) – horizontalne osi i vertikalna os podjednako su razvijene
- prizmatične (stubasti) – vertikalna os je izdužena
- plosnate (laminoformni) – duže su horizontalne osi u odnosu na vertikalnu

Za praktične potrebe važna je podjela kockastih agregata na:

- praškaste < 0,5 mm
- mrvičaste 0,5 – 5,0 mm
- graškaste 5,0 – 10,0 mm
- orašaste 10,0 – 35,0 mm
- grudaste > 35,0 mm

U tlu su najpoželjniji agregati mrvičaste do graškaste strukture veličine od 0,5 do 10,0 mm. Stabilnost strukturnih agregata odražava se na postojanost pora u tlu, gdje se zadržavaju voda i zrak. U laboratoriju se određuje stabilnost strukturnih makro- i mikroagregata. Stabilnost makroagregata utvrđuje se njihovim raspadanjem u destiliranoj vodi, a stabilnost mikroagregata utvrđuje se iz postotnog udjela čestica gline određenih u vodi i u natrijevom pirofosfatu (vidi vježbe).

Tlo mrvičaste do graškaste strukture ima najpovoljnije vodozračne i toplinske odnose. U takvim tlima velika je biološka aktivnost i hraniva su lako pristupačna. Korijenov sustav dobro se razvija. Takvo tlo se lagano obrađuje, manji su gubici vode i veća je otpornost prema eroziji. Nestabilna struktura djeluje suprotno. Nepravovremena obrada, gaženje teškim strojevima, navodnjavanje, uzak plodored i nepravilna gnojidba kvare strukturu. Strukturu tla moguće je popraviti na više načina:

- gnojidba kalcijem,
- gnojidba organskim gnojivima,
- pravovremena obrada sa što manje prohoda kroz proizvodnu površinu,
- unošenje strukturoformatora (kondicionera – umjetne tvar kojima se popravlja struktura) u tlo,
- u plodored treba uključivati djetelinsko travne smjese.

3.1.3. Gustoća tla

Gustoća tla je broj koji pokazuje koliko puta je neki volumen tla teži ili lakši od istog volumena vode. Razlikuje se volumna gustoća tla (ρ_v) i gustoća čvrstih čestica ($\rho_{\text{č}}$).

Volumna gustoća je odnos između mase potpuno suhog tla (tlo posušeno na 105°C do konstantne težine) i njegovog volumena u prirodnom stanju (tlo u cilindru po Kopeckom volumena 100 cm³).

$$\rho_v = \frac{M_{st}}{100} = \text{---} \text{ (g/cm}^3\text{)}.$$

Gustoća čvrstih čestica je odnos između mase potpuno suhog tla i njegovog volumena bez pora.

$$\rho_{\text{č}} = \frac{M_{st}}{V_t} = \text{---} \text{ (g/cm}^3\text{)}.$$

Volumen neporozne mase tla dobije se pomoću piknometra (vidi vježbe).

Vrijednosti gustoća tla ovise o mehaničkom sastavu, količini humusa, a kod volumne gustoće i o poroznosti tla.

Volumna gustoća tla s dubinom u pravilu raste i ukazuje na povećanu zbijenost dubljih horizonata. Najčešće se kreće u rasponu između 1,0 i 1,6. Vrijednosti volumne gustoće kod organske tvari su niže i za humus su manje od 1,0. Gustoća čvrstih čestica veća je od 2,0, a kod obradivih tala ove vrijednosti kreću se od 2,4 do 2,9.

Na temelju podataka o volumnoj gustoći i gustoći čvrstih čestica izračunava se ukupni porozitet. Volumna gustoća nalazi veliku primjenu u praksi, pa se tako koristi kod preračunavanja težine oraničnog sloja, pri različitim hidropedološkim računanjima, preračunavanju ukupnog i fiziološki aktivnog fosfora i kalija itd. Iz podataka o sadržaju gline i volumnoj gustoći moguće je odrediti gustoću pakiranja čestica (PD) i ocijeniti zbijenost. Granične vrijednosti za interpretaciju zbijenosti tla na osnovi gustoće pakiranja čestica i jednadžbu za izračun daju Beneck i Renger (**cit. prema SSEW, 1976.**).

3.1.4. Porozitet

U pedofizici se određuje ukupni porozitet koji se definira kao zbroj svih pora u tlu, a računa se iz gustoća tla prema sljedećoj jednadžbi:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_s}\right) \times 100, \% \text{ vol.}$$

Pore se mogu podijeliti na makro- ili nekapilarne pore i mikro- ili kapilarne pore. U nekapilarnim porama koje se još nazivaju gravitacionima nalazi se zrak, a u kapilarnim se zadržava voda. Porozitet je, dakle, vrlo važna značajka tla jer utječe na vodozračni i toplinski režim tla. Najpovoljniji odnos između nekapilarnih i kapilarnih pora je 3:2 do 1:1. U takvim uvjetima tlo ima dovoljno vode, prozračno je, povoljnih je toplinskih značajki i izrazito dobre mikrobiološke aktivnosti.

U pedomehanici se određuje relativna poroznost (n) prema sljedećoj jednadžbi:

$$n = P/100 \text{ ili } P = n \times 100$$

Relativni volumen pora u tlu u odnosu na volumen čvrstih čestica pokazuje koeficijent pora (e) prema Hillel (**cit. Racz, 1981.**). Vrijednosti e kreću se od 0,3 do 2,0. Između relativne poroznosti i koeficijenta pora postoje sljedeći odnosi:

$$n = \frac{e}{1 + e}, \quad \text{ili} \quad e = \frac{n}{1 - n}.$$

Koeficijent pora i gustoća pakiranja čestica (PD) u obrnuto proporcionalnom su odnosu. Veće vrijednosti PD-a uvjetuju niže vrijednosti parametra (e) ukazujući na povećanu zbijenost tla.

3.1.5. Konzistencija tla

Pod konzistencijom se podrazumijeva stanje sila adhezije i kohezije pri različitom sadržaju vode u tlu. Baver u konzistenciju ubraja koherenciju, zbijenost, plastičnost i ljepljivost. Koherencija je sposobnost čestica tla da se u suhom stanju drže na okupu. Povećanjem sadržaja vode u tlu koherencija se smanjuje. Kohezione sile slabe, a adhezione rastu (sile koje drže na okupu različite čestice). Tlo prelazi najprije u plastično stanje, a zatim u ljepljivo pri čemu se hvata za ratila – ljepljivost. U takvim uvjetima otežana je obrada te dolazi do kvarenja strukture i zbijanja tla.

Koherencija se mjeri silom koja je potrebna da se zdrobi jedinica volumena tla i izražava se u kilogramima. O koherenciji ovisi zbijenost tla, koja je od posebne važnosti za obradu, ali i za rast i razvoj biljaka. Zbijenost tla se definira kao otpor prodiranju različitih tijela. Izražava se u kg/cm^2 , a najčešće se određuje pomoću različitih izvedbi penetrometara ili računskim putem određivanjem gustoće pakiranja čestica (PD).

Povećanjem sadržaja vode tlo prelazi u plastično stanje konzistencije, a zatim i u ljepljivo. Plastičnost se definira kao sposobnost tla da se ono pri različitom sadržaju vode može modelirati, a da nakon sušenja zadrži prvotno načinjeni oblik. U laboratoriju se određuju gornja i donja granica plastičnosti, a iz njih indeks plastičnosti I_p . Gornja granica plastičnosti ili granica žitkosti je stanje kod kojega tlo prelazi iz plastičnog u tekuće stanje konzistencije. Određuje se aparatom po Cassagrandeu. Donja granica plastičnosti ili granica krutosti je onaj sadržaj vode u tlu kod kojeg se tlo može valjati u valjčice na staklu ili nekoj drugoj podlozi. Kod sadržaja vlage nešto ispod donje granice plastičnosti tlo je pogodno za obradu. Razlika između granice žitkosti i granice krutosti zove se indeks plastičnosti (I_p) ili broj plastičnosti (B_p).

Ljepljivost je, kao što je rečeno, sposobnost tla da se lijepi za ratila, a izražava se silom (kN) potrebnom da se odvoji metalna pločica površine 1 cm^2 od površine vlažnog uzorka.

Stanje konzistencije tla karakteriziraju sljedeći pedofizikalni i pedomehanički parametri:

1. Gustoća pakiranja čestica (PD)

$$PD = \rho_v + 0,009 \times \% \text{ gline, g/cm}^3.$$

Interpretacijske vrijednosti su sljedeće:

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

Ove granične vrijednosti imaju veliki značaj u agromeliorativnoj praksi jer se na osnovi njih može odrediti potreba za prorahljivanjem tla.

2. Boekelovi parametri

Boekelovi parametri su odnosi gornje (W_L) i donje (W_p) granice plastičnosti s poljskim kapacitetom tla za vodu (K_v) ili ekvivalentnim vrijednostima retencije vlage kod 0,33 bara. Širi raspon parametra W_L/K_v označava manju opasnost od stvaranja pokorice. Najpovoljnije vrijednosti parametra W_p/K_v su oko 1 ili nešto ispod jer je u tom slučaju tlo najmanje osjetljivo na zbijanje uslijed obrade.

3. Indeks konzistencije

$$I_k = \frac{W_l - W_o}{I_p}.$$

W_o = trenutna vlažnost tla, % mas.

Granične vrijednosti za I_k su:

$> 1,0$	polučvrsto i čvrsto stanje
$1,00 - 0,75$	tvrda plastičnost
$0,75 - 0,50$	meka plastičnost
$0,50 - 0,25$	vrlo meka plastičnost
$< 0,25$	tekuće stanje.

Optimalne vrijednosti I_k iznose oko 1.

4. Indeks tečenja

$$I_L = \frac{K_v - W_p}{I_p}.$$

Granične vrijednosti za I_L su:

0	tvrda tla
0 – 1	plastična tla
> 1	tlo u stanju tekuće konzistencije.

Jednadžbu za indeks tečenja i indeks konzistencije kao i granične vrijednosti za interpretaciju daje Najdanović 1967., a parametre za potencijalnu opasnost od pokorice i zbijanje tla uslijed obrade definira i tumači Boekel (**cit. Racz, 1986.**).

3.2. Fizika tekuće faze

Tekuću fazu čini voda u tlu. Dva su osnovna pravca djelovanja vode. Ona sudjeluje u svim procesima, koji dovode do tvorbe tla, kao što su primjerice: trošenje minerala, tvorba gline, razgradnja organske tvari, ispiranje tvari i slično. Za svoju životnu aktivnost biljka treba vodu, a crpi je putem korijenovog sustava. S vodom usvaja hraniva, sudjeluje u njihovom transportu i u različitim biokemijskim reakcijama.

3.2.1. Oblici (vrste) vode u tlu

Mogu se izdvojiti sljedeći oblici (vrste) vode u tlu:

1. Kemijski vezana voda

Ukoliko voda u obliku H^+ i OH^- iona ulazi u sastav različitih minerala naziva se kristalna voda. Ako je vezana na minerale kao molekula tada se radi o konstitucijskoj vodi. Kemijski vezana voda biljci nije pristupačna.

2. Voda u obliku vodene pare

Pore tla u kojima nema vode, u potpunosti su ispunjene vodenom parom (98%), osim u uvjetima niske vlažnosti tla. Vodena para u tlu se kreće iz toplijeg prema hladnijem području, odnosno s područja veće tenzije prema manjoj tenziji.

3. Higroskopna voda (Hy)

Sposobnost čestica tla da na sebe navuku relativnu vlagu iz zraka naziva se higroskopicitet. Higroskopna voda u tlu drži se velikim tlakom od 50 bara, budući da je sisajuća sila korijenovog sustava između 6 i 16 bara biljkama je nepristupačna.

4. Filmska ili opnena voda

Filmska ili opnena voda poput filma obavija čestice tla i nastavlja se na higroskopnu vodu. S porastom debljine vodene opne snaga privlačenja vode uz čestice tla slabi. Moguće je filmsku vodu prema Vageleru (**cit. Škorić, 1975.**) podijeliti na:

- nepokretnu filmsku vodu koja odgovara dvostrukoj vrijednosti higroskopiciteta i nepristupačna je biljkama, te
- pokretnu filmsku vodu, gdje je opna vode dovoljno debela da se voda može kretati i biljkama je pristupačna.

5. Kapilarna voda

Kapilarna voda nastavlja se na opnenu i ispunjava kapilarne pore. Kod povećanja sadržaja vode u tlu molekularne sile kojima se drži opnena voda slabe. Počinju djelovati gravitaciona sila, kapilarne sile i sile površinske napetosti. Sila površinske napetosti javlja se u kapilarnim porama zbog razlike u sili privlačenja molekula vode između sebe i sili privlačenja između vode i stijenki kapilara (adheziona sila). Radi sila adhezije koje su jače od sile teže dolazi do zadržavanja vode u kapilarnim porama.

Bašić 1981. izdvaja:

- kapilarno nepokretnu vodu, koja se javlja u suhim tlima u obliku sitnih isprekidanih kapljica u mikroporama tla - biljkama je nepristupačna,
- lako pokretna kapilarna voda, lako se kreće i biljkama je pristupačna - odgovara „visećoj kapilarnoj vodi“,
- poduprta kapilarna voda, nalazi se iznad razine podzemne vode.

Higroskopna, opnena i kapilarna voda nazivaju se vezanim vodama tla.

6. Gravitacijska ili cijedna voda je voda koja se slobodno kroz makropore tla cijedi pod utjecajem gravitacijske sile.
7. Podzemna voda je voda koja se nakuplja na nepropusnom sloju.
8. Voda u obliku leda.

U našim uvjetima voda u obliku leda javlja se na većoj dubini od 50 cm. Najlakše se smrzava cijedna voda, a najteže higroskopna voda.

3.2.2. Vodne (hidropedološke) konstante

Vodne ili hidropedološke konstante definiraju se kao ravnotežna stanja između sisajuće sile čestica tla i vode. U vodne konstante većina autora ubraja sljedeće:

- **higroskopna voda,**
- **kapaciteti tla za vodu:**
- poljski kapacitet tla za vodu,
- retencioni i apsolutni kapacitet tla za vodu,
- minimalni vodni kapacitet,

- ekvivalent vlažnosti,
- **lentokapilarna točka (vlažnost),**
- **točka venuća, i**
- **maksimalni kapacitet tla za vodu.**

Higroskopna voda je, kao što je ranije navedeno, sposobnost čestica tla da na sebe navuku relativnu vlagu iz zraka. Razlikuje se maksimalna higroskopičnost (Hm) po Lebedevu i higroskopicitet po Mitcherlichu (Hy).

Ukoliko se tlo stavi u uvjete potpunog zasićenja zraka vodenom parom, tada će ono navući maksimalni sloj higroskopne vode, to se naziva maksimalna higroskopičnost.

Higroskopicitet po Mitcherlichu odgovara sadržaju vlage, ona se dobiva stavljanjem uzorka tla u evakuirani eksikator iznad 10%-tne sumporne kiseline. Kiseline stvara uvjete 96%-tne relativne vlage zraka koju tlo navlači. Nakon uspostave ravnotežnog stanja gravimetrijskom metodom vaganjem navlaženog uzorka do higroskopne vlažnosti i potpuno suhog tla, te obračunom u masenim postocima, dobiva se sadržaj vlage koji odgovara higroskopicitetu.

Higroskopna vlaga drži se u tlu, kao što je ranije rečeno, sisajućom silom od 50 bara i biljkama je nepristupačna jer korijen biljke ima usisnu silu između 6-16 bara. Dvostruka vrijednost higroskopiciteta po Mitcherlichu odgovara ravnotežnom stanju između usisne sile korijena biljke i čestica tla a se zove točkom venuća.

Vrijednosti dobivene po Lebedevu otprilike su 1,5 puta veće u odnosu na one dobivene po Mitcherlichu.

U prirodi nema apsolutno suhog tla, pa je higroskopna vlažnost ujedno i najmanja količina vode koju tlo može sadržati.

Kapacitet tla za vodu definira se kao sposobnost tla da u mikroporama zadrži određenu količinu vode nakon cijedenja vode iz makropora pod utjecajem sile teže. Ovisno o načinu određivanja razlikuju se: poljski kapacitet tla za vodu, retencioni i apsolutni, minimalni vodni kapacitet i ekvivalent vlažnosti po Briggsu i Mc Lane-u.

Poljski kapacitet tla za vodu odgovara sadržaju vode u mikroporama tla, nakon cijedenja suvišne vode iz gravitacijskih pora u poljskim uvjetima. Na terenu se izgrađuju dvije kasete sustavom nasipa. Vanjska kasete ima površinu 9 m², a unutrašnja 1 m². Širina nasipa u bazi iznosi 60 cm, a visina je 30-40 cm. Tlo se saturira vodom, prekrije slamom i ostavi neko vrijeme, ovisno o teksturi, da se ocijedi suvišna voda iz gravitacijskih pora. Nakon uspostave

ravnotežnog stanja uzimaju se uzorci po horizontima i gravimetrijski se određuje u laboratoriju trenutačna vlaga koja odgovara poljskom kapacitetu tla za vodu.

Apsolutni kapacitet tla za vodu po Kopeckom odgovara sadržaju vode u mikroporama nakon potpune saturacije uzorka u cilindru volumena 100 cm^3 i cijedenja suvišne vode iz makropora tla nakon 24 sata.

Retencioni kapacitet tla za vodu uveo je Gračanin radi stanovitih gubitaka tla pri određivanju apsolutnog kapaciteta. Po ovoj se metodi uzorak tla u cilindru, po Kopeckom, stavlja na stalak s filter papirima čiji rubovi poniru u vodu. Tlo navlači vodu i drži je u mikroporama silom adhezije, hidratacijom, kapilarnim silama i silama površinske napetosti. Nakon cijedenja suvišne vode iz gravitacijskih pora (uzorak tla stoji na filter papiru pola sata) gravimetrijski se odredi sadržaj vode u % vol. koji odgovara retencionom kapacitetu tla za vodu.

Vrijednosti apsolutnog i retencionog kapaciteta tla za vodu odgovaraju sloju tla iznad razine podzemne vode i više su u odnosu na one određene u poljskim uvjetima.

Minimalni kapacitet tla za vodu definira Vageler kao količinu vode koja se drži osmotskim silama i ne podliježe sili teže. Ovaj kapacitet odgovara osmotskom tlaku od 0,33 bara ili pF vrijednosti 2,52 (pF vrijednost dobije se kao logaritam cm vodnog stupca po Scofieldu; 1 bar je cca 1000 cm vodnog stupca; $0,33 \text{ bara} = 330 \text{ cm vodnog stupca}$, a $\log 330 = 2,52$).

Ovo ravnotežno stanje dobiva se u laboratoriju pomoću tlačnog ekstraktora. Tlo se stavlja u gumene prstenove na keramičku membranu i saturira vodom. Na manometru se namjesti tlak od 0,33 bara i sva voda, koja se drži tim i manjim tlakom, istiskuje se iz aparata. Nakon uspostave ravnotežnog stanja gravimetrijski se odredi u masenim postocima sadržaj vode, on odgovara minimalnom vodnom kapacitetu.

Prema nekim istraživanjima 4,5 Hy približno odgovara vrijednosti kapaciteta tla za vodu.

Ekvivalent vlažnosti po Briggsu i Mc Lane-u je vodna konstanta koja se dobiva centrifugiranjem uzorka tla silom tisuću puta većom od gravitacijske sile. Vrijednost približno odgovara poljskom kapacitetu tla za vodu.

Lentokapilarna točka (Lkt) definira se kao donja granica optimalne vlažnosti tla, a odgovara tlaku vode u tlu od 6,25 bara (pF = 3,8). Dobiva se podvrgavanjem saturirane sitnice navedenom tlaku u tlačnoj membrani.

Točka venuća (Tv) je ravnotežno stanje između sisajuće sile korijenovog sustava i čestica tla kod kojeg biljka počinje venuti. Tlak držanja vode u tlu za ovu hidropedološku

konstantu iznosi 15 bara ($pF = 4,2$). Točku venuća moguće je odrediti vegetacijskim pokusima, pomoću tlačne membrane i računski iz higroskopiciteta.

Bilju pristupačna voda nalazi se u rasponu između vrijednosti kapaciteta tla za vodu i točke venuća, a naziva se fiziološki aktivnom vodom. Unutar ovog intervala sva voda nije jednako pristupačna, pa u tlu treba održavati stanje vlažnosti između kapaciteta za vodu i lentokapilarne točke što odgovara optimalnom intervalu vlažnosti.

Maksimalni kapacitet tla za vodu (M_{kv}) definira se kao zbroj mikro- i makro pora u tlu, odnosno to je stanje potpune zasićenosti tla vodom. Vrijednosti maksimalnog kapaciteta tla za vodu ekvivalentne su ukupnom porozitetu. Dulje plavljenje proizvodnih površina uvjetuje redukciju prinosa poljoprivrednih kultura. Prema ruskim iskustvima dozvoljeno vrijeme plavljenja u proizvodnji ratarskih kultura iznosi 12 sati.

Izdvojene su dvije **metode mjerenja sadržaja vlage u tlu** laboratorijske metode, i terenske.

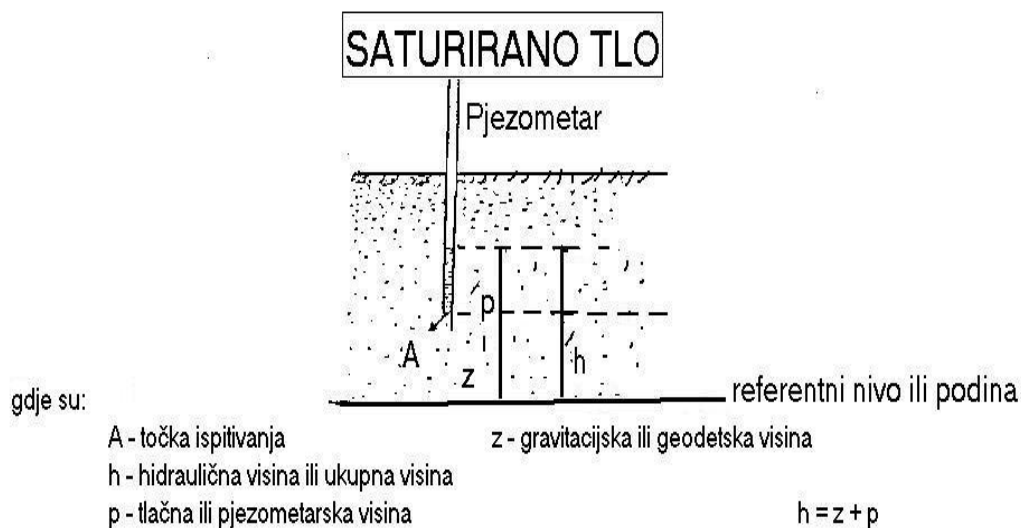
Laboratorijske metode su gravimetrijske i zasnivaju se na vaganju tla navlaženog do određenog stupnja i vaganju potpuno suhog, posušenog na $105^{\circ}C$. Sadržaj vlage izražava se u volumnim i masenim postocima. Ukoliko je poznat volumen tada se dobivene vrijednosti izražavaju u % vol., a ako se ne zna onda se vrijednosti izražavaju u % mas.

Terenske metode određivanja sadržaja vlage u tlu vrše se pomoću različitih instrumenata, a u upotrebi su: tenziometri, konduktometri, neutronske mjerače, gama mjerači i elektromagnetski mjerači. Principi rada ovih instrumenata opisani su u vježbama.

3.2.3. Energetski odnosi vode u tlu

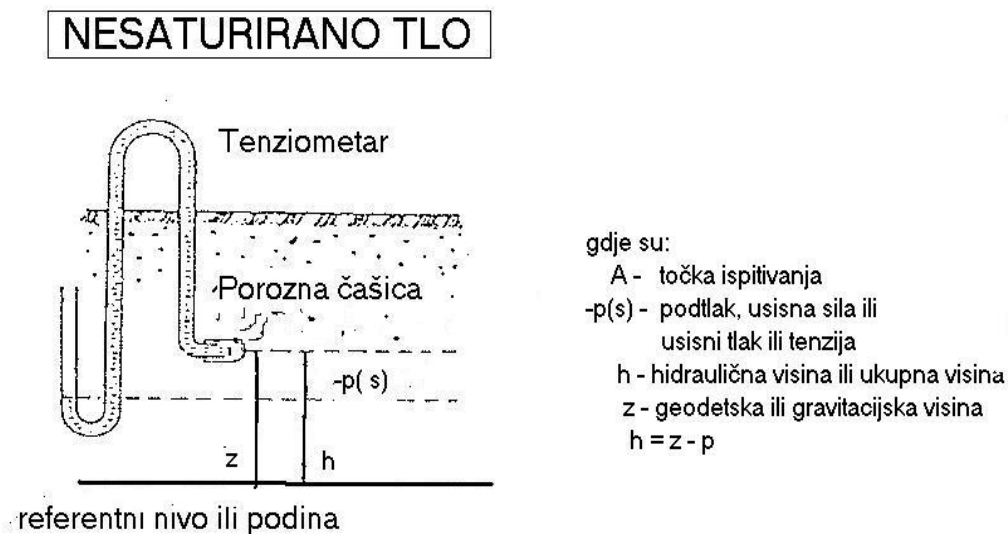
Čvrste čestice tla imaju privlačnu silu kojom na sebe vežu vodu – tenzija ili sukcijska. Ova se sila izražava kao negativni tlak (podtlak u odnosu na atmosferski tlak). Za kretanje vode u sustavu tlo – biljka – atmosfera od posebnog je značenja potencijalna energija vode. Ova se energija definira kao rad po jedinici mase, njega treba izvršiti da se jedinična količina vode premjesti u tlu koje nije zasićeno vodom (J/kg). Potencijal vode u tlu njeno je energetsko stanje, a osim u J/kg može se izraziti u Pa ($Pa = N/m^2$), barima, atmosferama, cm vodnog stupca i u njihovim logaritamskim vrijednostima – pF vrijednostima.

Potencijalna energija vode u saturiranom tlu funkcija je visine vode u piezometru i pozitivna je, slika 4.



Slika 4. Potencijalna energija vode u saturiranom tlu (Vidaček, 1993.)

U **nesaturiranom tlu** tlačna visina je negativna i odgovara sisajućem tlaku čestica tla koji se zove tenzija ili sukcijska, slika 5.



Slika 5. Potencijalna energija vode u nesaturiranom tlu

Suma pojedinačnih potencijala odgovara ukupnom potencijalu vode u tlu prema Bayer et.al., 1972. (cit. Vidaček, 1993.):

$$\Phi_T = \Phi_M + \Phi_g + \Phi_p + \Phi_{II} + \Phi_{\Omega}$$

pri čemu je: Φ_T = ukupni potencijal vode u tlu

Φ_M = potencijal čvrstih čestica ili kapilarni potencijal C.P.

Φ_g = gravitacijski potencijal

Φ_p = potencijal pritiska

Φ_{Π} = osmotski potencijal

Φ_{Ω} = potencijal preopterećenja uslijed bubrenja koloida.

3.2.4. Kretanje vode u tlu

Prema jednadžbi za bilancu vode u tlu prema Gardneru (**cit. Vidaček, 1993**), tlo prima vodu **infiltracijom ili upijanjem**:

$$P_v - P_o = I = ET + D \pm \Delta W(t) .$$

gdje je:

P_v = površinska voda

P_o = površinsko otjecanje

I = infiltracija

ET = evapotranspiracija

D = drenaža (dubinsko ili bočno otjecanje vode, te gubitak vode iz promatranog sloja tla kapilarnim putem)

$\Delta W(t)$ = zaliha fiziološki aktivne vode u tlu.

Infiltracija je ulaz vode u nesaturirano tlo i predstavlja neravnomjerno bočno i vertikalno kretanje vode u tlu. Na infiltraciju utječu adsorpcijske, osmotske i kapilarne sile, hidrostatički tlak, gravitacijska sila i druge značajke tla. Početno upijanje vode je veliko radi jakih, prvenstveno adsorpcijskih i kapilarnih sila. Kako ove sile slabe, infiltracija postupno pod utjecajem gravitacijske sile i hidrolitičkog tlaka prelazi u filtraciju odnosno kontinuirani i ustaljeni tok vode, što odgovara propusnosti tla za vodu u saturiranom tlu.

Voda u tlu premješta se u tri osnovna pravca: descendentno, ascendentno i lateralno.

Descendentni tok vode je silazni, pri čemu se voda slobodno cijedi kroz makro pore tla, prvenstveno pod utjecajem gravitacijske sile. Ovaj ustaljeni tok vode u kulturtehnici odgovara pojmu filtracija.

Ascendentno kretanje vode je uzlazno prema površini tla, a tumači se kapilarnom teorijom, teorijom opnene vode ili razlikom potencijala (usisna sila – tenzija). Po kapilarnoj teoriji voda se u profilu diže uslijed adhezije sile koja se javlja između čestica tla i vode. Zbog adhezije pune se kapilare i voda se snagom meniskusa (adhezija) i porad površinske napetosti podiže. Po teoriji opnene vode ioni u vanjskom difuznom omotaču imaju snagu usisavanja (osmoza) kojom se pune kapilare. Čestice tla koje imaju tanji omotač prihvaćaju

vodu od onih s većim omotačem. Posljednja je teorija potencijala gdje se voda kreće usljed tenzije iz vlažnijeg u suše područje.

Lateralno (bočno i radijalno) kretanje vode tumači se kapilarnom teorijom, teorijom opnene vode i osmotskog tlaka, te teorijom potencijala.

Voda u saturiranom tlu kreće se od područja većeg ukupnog potencijala prema manjem, uslijed hidrauličkog gradijenta.

Kretanje vode tumači se jednačbom Darcy-a za jednodimenzionalni tok vode kroz vertikalni stupac saturiranog pjeskovitog tla (**cit. Vidaček, 1993.**), slika 6:

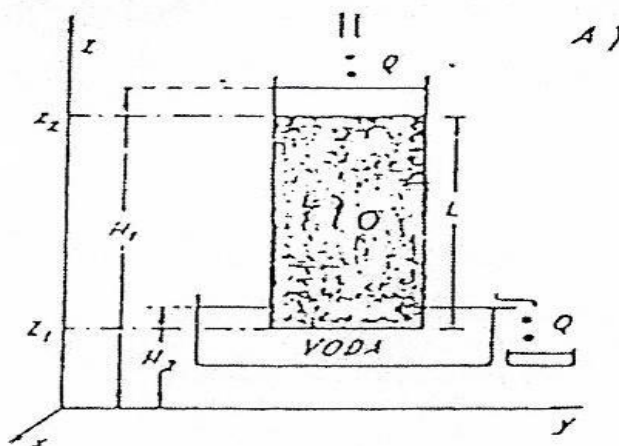
$$v = k \times i,$$

gdje je:

v = efektivna brzina ili brzina toka s obzirom na ukupnu površinu uzorka tla

k = koeficijent propusnosti tla za vodu ili hidraulička provodljivost

i = hidraulički gradijent ili gubitak mehaničke energije duž toka



Slika 6. Kretanje vode u saturiranom tlu

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L}, \quad i = \frac{h}{L}, \quad i = \frac{\Delta H}{L}, \quad v = \frac{Q}{A \times t}, \quad \text{gdje su:}$$

H_1 i H_2 = hidrauličke visine, cm

Q = količina vode koja protiče kroz uzorak tla, ml ili cm^3

A = površina poprečnog presjeka uzorka tla, cm^2

L = visina uzorka tla, cm

t = vrijeme mjerenja, s

$$k = \frac{v}{i}, \quad k = \frac{\frac{Q}{A} t}{\frac{h}{L}} = \frac{Q L}{A h t} \text{ (cm/s)}.$$

Trodimenzionalni tijek vode tumači se Laplace-ovom jednačbom kontinuiteta:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0.$$

gdje je: h = hidraulička ili ukupna visina

x, z, y = oznake za trodimenzionalni tok vode.

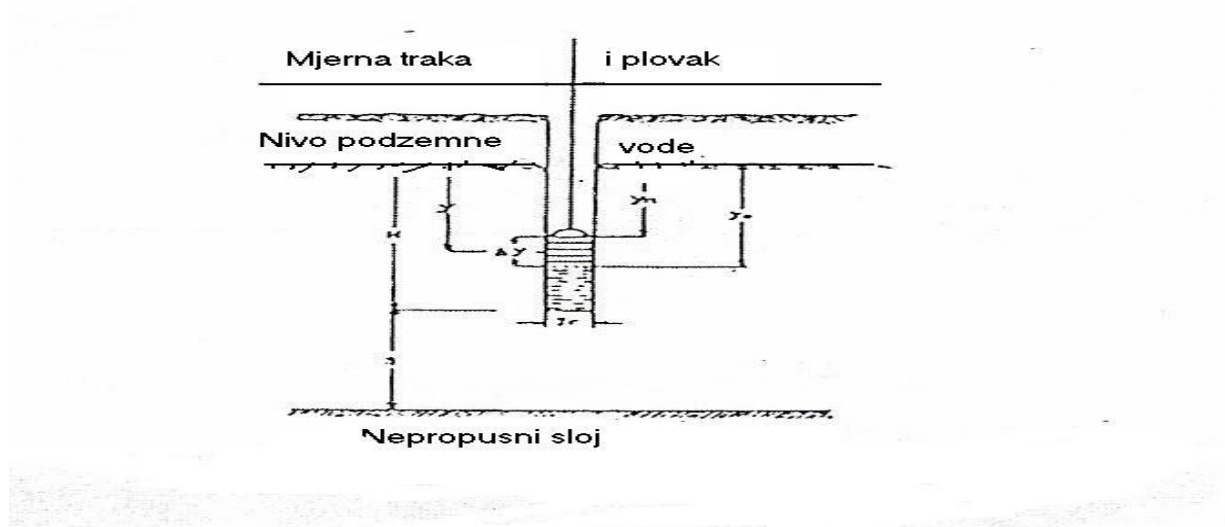
Laplace-ova jednačba vrijedi za stacionarni tok vode u homogenoj izotropnoj sredini. Kod stacionarnog tijeka vode ulazna razina je konstantna, zapravo nema promjene brzine vode u istoj točki prostora tijekom vremena. Nestacionarno tečenje je kad se brzina toka vode u istoj točki prostora tijekom vremena mijenja.

Postoje dvije vrste metoda određivanja propusnosti tla za vodu:

1. laboratorijske,
2. terenske.

Laboratorijske metode određivanja zasnivaju se na Darcy-evoj jednačbi, a kod nas je u upotrebi aparat za vertikalnu propusnost tla za vodu po Plamencu (vidi vježbe).

Od terenskih metoda u upotrebi je sondažni postupak (Auger-Holle) i inverzna metoda, slika 7.



Slika 7. Sondažni postupak

Kod ove metode tlo se izbuši sondom do određene dubine ispod razine podzemne vode (cca 2 m) i utvrdi se dubina do nepropusnog sloja (S). Kad se uspostavi ravnotežno stanje ustanovi se konstantna razina podzemne vode. Uz pomoć crpke izvadi se određena količina vode (y_0) i odredi se brzina njenog horizontalnog dotoka u bušotinu (Δy) u vremenskom intervalu (Δt). Izračun horizontalne propusnosti tla za vodu vrši se prema sljedećim jednadžbama:

Za $S = 0$

$$K = \frac{3600r^2}{(H + 10r)(2 - \frac{y}{H})y} \frac{\Delta y}{\Delta t} \text{ (m/dm)} .$$

Za $S \geq H$

$$K = \frac{4000r^2}{(H + 20r)(2 - \frac{y}{H})y} \frac{\Delta y}{\Delta t} \text{ (m/dm)} .$$

gdje je:

S – razmak od dna bušotine do nepropusnog sloja ili sloja kojem je vodopropusnost manja od 1/10 vodopropusnosti gornjeg sloja, cm

r – polumjer bušotine, u cm

H – dubina vode u bušotini (razmak od konstantne razine podzemne vode do dna bušotine), cm

y – razmak između razine podzemne vode i srednje razine vode u bušotini tijekom mjerenja, cm

Δy – dizanje vode u bušotini na kraju mjerenja, cm ($\Delta y = y_0 - y_n$)

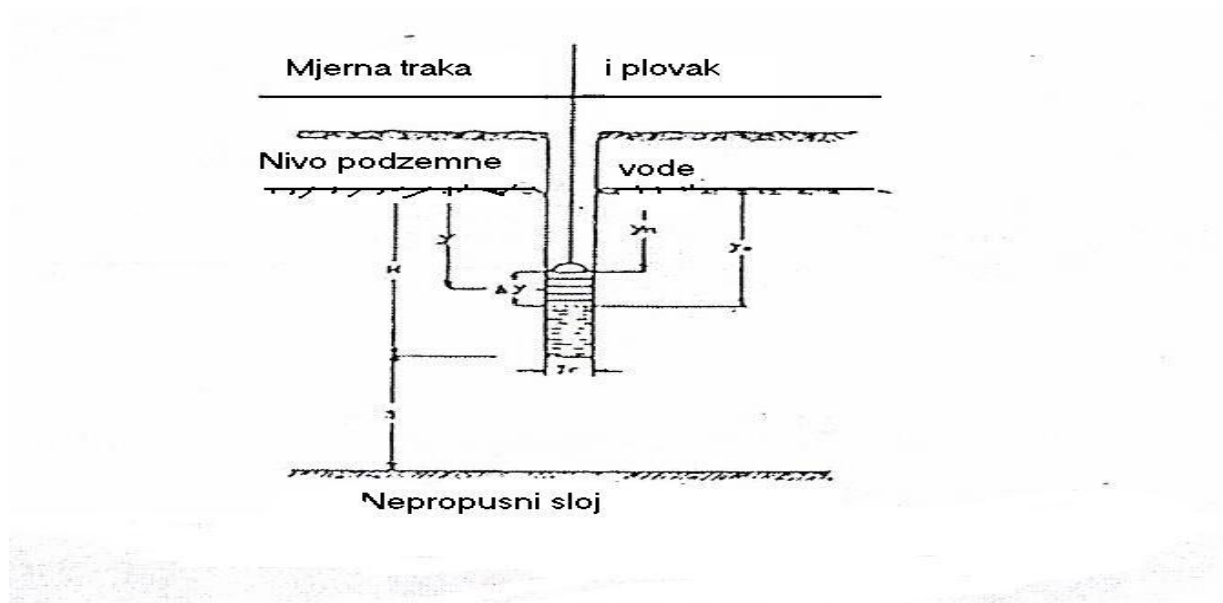
Δt - vrijeme mjerenja, s

y_0 – početak mjerenja, cm

y_n - završetak mjerenja, cm

Za potrebe odvodnje određuje se (K_1) do dubine od 1 m i (K_2) u bušotini dubine 2 m.

Za slučaj kad izostaje podzemna voda koristi se inverzna metoda određivanja horizontalne vodopropusnosti, slika 8. Kod ove se metode u bušotinu nalijeva voda i mjeri opadanje njene razine u nekom vremenskom intervalu.



Slika 8. Inverzna metoda

Za izračun horizontalne vodopropusnosti (K) koristi se sljedeća jednačba:

$$K = \frac{1,15r}{t} \left[\log \left(h + \frac{r}{2} \right) - \log \left(h_1 + \frac{r}{2} \right) \right], \text{ cm/s.}$$

Pri čemu je:

r – polumjer bušotine, cm

t – vrijeme mjerenja, s

h – razmak od razine vode na početku mjerenja do dna bušotine, cm

h₁ – razmak od razine vode nakon završetka mjerenja do dna bušotine, cm

Nesaturirano tlo je sustav krute, tekuće i plinovite faze. Tlo drži vodu kod poljskog kapaciteta ili ispod toga. **Voda u nesaturiranom tlu kreće se** u pravcu veće tenzije ili sukcije. Potencijal nesaturiranog tla čini potencijal čvrstih čestica i gravitacijski.

Brzina kretanja vode u nesaturiranom tlu tumači se Darcy-evom jednačbom (**cit. Racz, 1981.**):

$$V = -k \text{ grad } H$$

gdje je: v – brzina toka vode

k – koeficijent propusnosti nesaturiranog tla

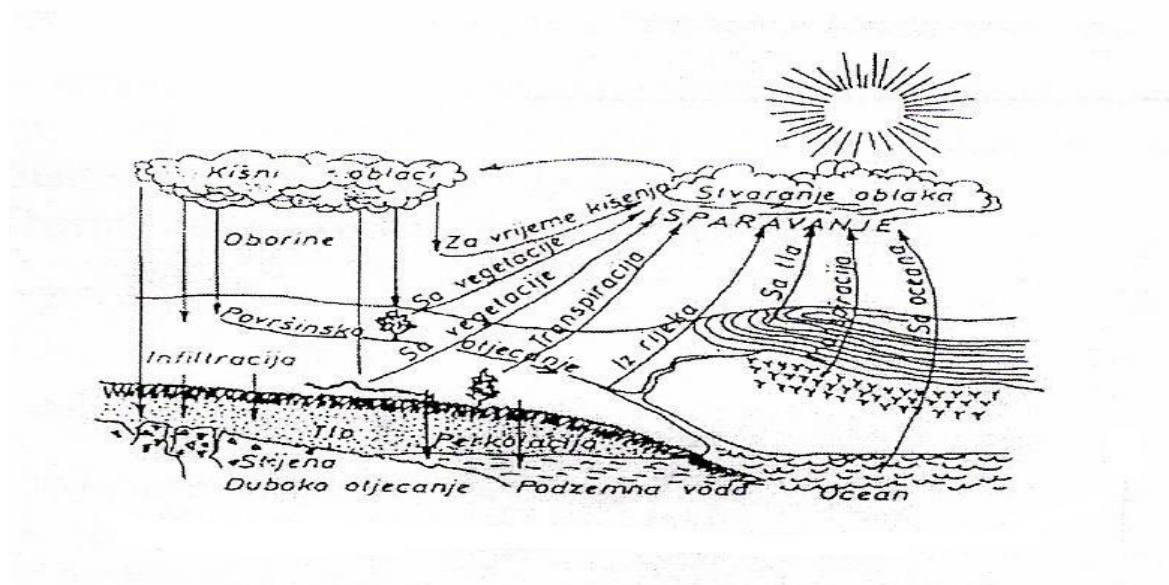
volumna količina vode u tlu o kojoj ovisi brzina kretanja

grad – usmjerena dužina (vektor) za hidraulički ili ukupni potencijal.

Negativni predznak ispred k je radi negativnog gradijanta, odnosno kretanja vode u pravcu veće tenzije.

3.2.5. Vodni režim i bilanca vode u tlu

Voda se u prirodi nalazi u stalnom kruženju ili hidrološkom ciklusu, slika 9.



Slika 9. Hidrološki ciklus

Voda na zemljinu površinu u obliku padalina dolazi iz atmosfere. Dio se ovih voda gubi površinskim otjecanjem u vodotoke, a preostale količine prispijevaju u tlo i perkolacijom dolaze do podzemne vode, te preko prirodnih vodotijeka do oceana i mora. Evaporacijom sa slobodnih vodenih površina i iz tla, te transpiracijom voda pridolazi u atmosferu u obliku vodene pare gdje se kondenzira i ponovno se u obliku padalina vraća na zemljinu površinu. Ovime je kruženje vode u prirodi ili hidrološki ciklus završen.

Vodni režim tla prema Rodeu (**cit. Škorić, 1991.**) je dio hidrološkog ciklusa, a odnosi se na premještanje vode u tlu, promjene zalihe po dubini profila i razmjenu vode i drugih prirodnih tijela.

Prema Rodeu razlikuje se pet tipova vodnog režima:

1. Uravnoteženi tip vodnog režima tla

Kod ovog tipa vodnog režima oborine su podjednake isparavanju, $O = E$. Ovo vrijedi za semiaridna klimatska područja.

2. Procjedni tip vodnog režima

Kod procjednog tipa vodnog režima količine oborina veće su od isparavanja ($O > E$), a prevladavaju descedentni (silazni) tokovi i eluvijacija. Ovo je karakteristično za semihumidnu i humidnu klimu.

3. Procjedni tip s pojavom nepropusnog horizonta ili sloja do 80 cm dubine.

Ovakvi uvjeti mogu se pojaviti u semihumidnoj i humidnoj klimi i uzrokuju stagnaciju vode unutar profila.

4. Procjedni tip s podzemnom vodom

Podzemna voda je na takvoj dubini da do nje dopire cijedna voda.

5. Eksudativni tip

Isparavanje je kod ovog tipa vodnog režima veće od količine oborina ($E > O$), a karakterističan je za aridne klimatske prilike.

Kvantitativni (količinski) izraz za vodni režim tla ili količinski izraz za višak, odnosno manjak vode je bilanca vode u tlu. Bilanca vode u tlu izražava se ranije navedenom jednačinom Gardnera.

Jedan od osnovnih elemenata bilanciranja je evapotranspiracija (gubitak vode isparavanjem sa slobodnih vodenih površina i kroz puči biljke). Evapotranspiracija odgovara potrebnoj količini vode u tijeku vegetacije.

Evapotranspiraciju je moguće odrediti na dva načina:

1. direktna mjerenja pomoću lizimetra, evaporimetara i evapotranspirometara

2. indirektne metode određivanja

Indirektne metode određivanja evapotranspiracije ili potrebne količine vode zasnivaju se na korištenju različitih empirijskih (iskustvenih) jednačina. Koriste se metoda Thornthwaitea, Blaney-Criddle-a, Turca i druge.

Metoda Thornthwaite-a koristi sljedeći empirijski izraz:

$$PE = f \times 1,6 \left(\frac{10T}{y} \right)^a \text{ gdje je:}$$

PE – potencijalna evapotranspiracija (mm/mjesec)

f – faktor korekcije

T – srednja temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$)

a – funkcija toplinskog indeksa, koja se dobiva pomoću jednačine

y – godišnji toplinski indeks koji se dobiva zbrajanjem mjesečnih toplinskih indeksa

$$Y = \sum y_i \quad y_i = \left(\frac{T}{5} \right)$$

Da bi se izbjeglo komplicirano računanje izrađeni su odgovarajući nomogrami i tablice (vidi vježbe).

Za potrebe određivanja viška ili manjka vode u tlu Thornthwaite polazi od sljedećih pretpostavki:

- tlo sadrži 100 mm rezerve vode u području rizosfere, a ostale količine oborina nakon punjenja kapaciteta od 100 mm čine višak,
- stvarna evapotranspiracija razmjerna je potencijalnoj dok se ovih 100 mm vode ne istranspirira,
- stvarna evapotranspiracija jednaka je potencijalnoj ako su oborine i rezerve vode u tlu veće od iznosa potencijalne evapotranspiracije,
- ako u tlu nema vode, evapotranspiracija je jednaka nuli.

Za postizanje stabilnih i visokih prinosa poljoprivrednih usjeva vodni režim tla regulira se hidrotehničkim mjerama (odvodnja, navodnjavanje) i agrotehničkim zahvatima.

3.3. Fizika plinovite faze

Zrak u tlu nalazi se u porama u kojima nije zastupljena voda. Po sastavu se razlikuje u odnosu na zrak u atmosferi. Prema Remezovu (**cit. Bašić, 1981.**) atmosferski zrak sadrži 78% N₂, 21% O₂ i 0,03% CO₂, a u plinovitoj fazi u tlu ima 78-80% N₂, 0,1 do 20% O₂ i 0,1 do 15% CO₂.

Ukupni sadržaj CO₂ i O₂ u zraku tla i u atmosferi otprilike je isti. Odnos CO₂ i O₂ varira i ovisi o prozračnosti tla. Najveći sadržaj CO₂ u tlu je u ljetnim mjesecima radi disanja korijena biljaka i mikroorganizama. Također je sadržaj CO₂ veći u bezstrukturnim tlima, težim i vlažnijim tlima u odnosu na prozračna i dobro strukturirana tla. U redukcijskim uvjetima u vlažnim tlima gdje nedostaje kisik javljaju se amonijak (NH₃), sumporovodik (H₂S), metan (CH₄), vodik (H₂) i drugi plinovi.

Kisik je važan za disanje korijenovog sustava biljaka i aerobnih mikroorganizama. Uslijed nedostatka kisika biljka se općenito slabije razvija, te slabo usvaja vodu i hraniva. U uvjetima bez kisika dolazi do redukcije pojedinih spojeva i iona koji djeluju toksično na biljku. Kod nižeg redoks potencijala dolazi do redukcije nitrata u amonijak i njegovog gubitka u atmosferu. Bez dovoljno kisika javljaju se znaci hidromorfizma i tvori se glejni horizont, prevladavaju procesi humifikacije u odnosu na mineralizaciju, itd.

Pod **prozračivanjem ili aeracijom tla** razumijevaju se procesi koji određuju režim zraka u tlu, njegovo primanje, kretanje i izlazak iz tla. Do prozračivanja tla dolazi uslijed difuzije radi razlike u parcijalnim tlakovima pojedinih plinova.

Filipovski navodi (**cit. Bašić, 1981**) da kod atmosferskog tlaka od 1 bara u atmosferi ima 21% O₂ i 0,03% CO₂. Parcijalni tlak kisika iznosi 0,21 bar, a ugljičnog dioksida 0,0003 bara. Ako u tlu, primjerice, ima pri istom tlaku 14% kisika i 7% ugljičnog dioksida tada je

parcijalni tlak kisika 0,14 bara, a ugljičnog dioksida 0,07 bara. Radi razlika u parcijalnim tlakovima dolazi do ulaska kisika u tlo i izlaska ugljičnog dioksida u atmosferu. Po ovom mehanizmu tlo se aerira ili prozračuje. Dobro aerirano tlo u rizosfernom sloju ima najmanje 10% makropora i sadrži više od 10% kisika.

Kapacitet tla za zrak odgovara sadržaju zraka u makroporama tla kada se u makroporama nalazi voda. Dobiva se, dakle, iz razlike ukupnog poroziteta (zbroja mikro- i makropora u tlu) i kapaciteta tla za vodu.

$$K_z = P - K_v, \% \text{ vol.}$$

Kapacitet tla za zrak varira ovisno o vrsti tla i opada s dubinom pri čemu raste zbijenost tla. Najpovoljniji odnos krute, tekuće i plinovite faze je u černozemu i iznosi 50:30:20. Kopecky pretpostavlja, kako navodi **Škorić 1975.** da tla s apsolutnim kapacitetom za zrak manjim od 10% nisu pogodna za većinu poljoprivrednih kultura, a ispod 6% za livade i pašnjake.

3.4. Toplinske značajke tla

Pod toplotom razumijeva se energija izražena u Joulima, a pod temperaturom stupanj zagrijanosti tla u °C. Toplinske značajke tla imaju svoju dnevnu i sezonsku dinamiku, a ovise o odnosu krute, tekuće i plinovite faze, inklinaciji, ekspoziciji, boji tla, kapacitetu tla za toplotu, specifičnoj toploti, provodljivosti tla, biljnom pokrovu itd. Toplina je važan vegetacijski čimbenik jer utječe na rast i razvoj biljke u svim fenološkim fazama, na usvajanje hraniva, mikrobiološke procese i slično.

Ekspozicija je izloženost tla suncu. Najtopliji su južni pristranci, zatim zapadni i istočni, a najhladniji su sjeverni. Inklinacija je nagib terena, a najpovoljniji je kut, terena i sunčanih zraka, od 90°C. Tamna tla upijaju više sunčevih zraka od svjetlih. Tla pod prirodnom vegetacijom ili prostirkom (mulch) manje primaju, ali i manje gube energije, stoga se ova tla ljeti sporije zagrijevaju i hladnija su, dok su u zimskom periodu toplija. Snijeg također utječe na toplinske značajke tla, pri čemu djeluje kao izolator. Tla pod snježnim pokrovom u odnosu na gola toplija su.

Temperatura tla manje varira u odnosu na atmosferu. Tlo se danju i ljeti jače zagrijava, a noću i zimi sporije hladi. Ove promjene temperature tla mogu biti dnevne, sezonske i povremene. Minimumi i maksimumi temperature tla ne poklapaju se s minimumima i maksimumima temperature zraka, nego zakašnjavaju.

Do dnevnih promjena dolazi radi sunčeve radijacije u tijeku dana i radijacije tla u tijeku noći. Maksimalne i minimalne temperature tla kasne u odnosu na atmosferu na dubini od 15 cm nekoliko sati, a na većoj dubini više, zbog slabije provodljivosti tla za toplinu u dublje slojeve. Ove se promjene temperature tla odnose na dubinu od 70 do 100 cm. Sezonske promjene temperature tla odnose se na veće dubine i s porastom dubine također se smanjuju. Maksimalne i minimalne vrijednosti temperature tla kasne i nekoliko tjedana u odnosu na temperaturu zraka. Zakašnjenje maksimalnih vrijednosti je i razlog zašto su tla u jesen dugo topla, a zakašnjavanje minimalnih vrijednosti je razlog što su tla u proljeće dugo hladna.

Povremene promjene temperature tla uzrokuju klimatske prilike: vjetrovi, snijeg, mraz i slično. Vjetrovi pospješuju isparavanje, pa tlo postaje toplije.

Temperatura i voda u tlu određuju hidrotermički režim, specifičnu klimu ili pedoklimu. Hidrotehničkim mjerama odvodnje i navodnjavanja utječe se na pedoklimu. Odvodnja utječe na zagrijavanje, a navodnjavanjem tlo postaje hladnije.

Zagrijavanje tla, širenje topline i njeno zadržavanje u tlu ovisi o: kapacitetu tla za toplinu, specifičnoj toplini i provodljivosti tla za toplinu.

Kapacitet tla za toplinu je sposobnost tla da pohrani određenu količinu topline, a ovisi o specifičnoj toplini i masi tla. Dobije se kao umnožak specifične topline i odgovarajuće joj mase tla. Specifična toplina tla definira se kao broj joula potrebnih da se 1 gram tla zagrije za 1°C ili da se 1 cm³ tla zagrije za 1°C. Novije jedinice mjere su J/g/K.

Provodljivost tla za toplinu je količina topline, izražena u Joulima, koja prođe kroz sloj tla debljine 1 cm, površine 1 cm², u jednoj sekundi, ako je razlika u temperaturi između gornjeg i donjeg graničnog sloja 1°C (J/cm s °C). Najbolji vodič topline je mineralna komponenta, zatim voda, a najlošiji vodič za toplinu je zrak.

Teška glinasta i vlažna tla imaju veliku provodljivost i veliki kapacitet za toplinu stoga se teško zagrijevaju i dulje su u proljeće hladna. Nasuprot tomu lagana pjeskovita tla s malim kapacitetom za toplinu i malom provodljivošću brzo se zagrijevaju i radi toga su u proljeće ranije topla, ali se u jesen najprije ohlade.

Toplinski režim tla regulira čovjek različitim mjerama gospodarenja:

- obradom se tlo prozračuje i na taj način postaje toplije,
- gnojidba organskim gnojivima utječe na mikrobiološke procese, strukturu tla, rahljenje tla i slično čime se utječe na toplinski režim tla,
- malčiranjem se smanjuje temperatura tla ljeti, a povećava zimi, i
- kako je već ranije rečeno, odvodnjom tlo postaje toplije, a navodnjavanjem hladnije.

4. KEMIJA TLA

Kemijske značajke rezultat su pedogenetskih procesa i vrlo su bitan čimbenik plodnosti tla. Procesima fizikalnog, kemijskog i biološkog trošenja stijena oslobađaju se i troše minerali. Iz produkata trošenja neogenetskim putem tvore se novi minerali – sekundarni alumosilikati. U otopini tla pojavljuju se ioni (kationi i anioni), koje biljka koristi kao hraniva. Neki spojevi topivi su u vodi i podložni ispiranju, te se uključuju u veliko ili geološko kruženje tvari i energije, a drugi ulaze u malo ili biološko kruženje tvari i energije i na taj se način ponovno vraćaju u tlo. Za razliku od litosfere tlo sadrži humus, kao tamnu specifičnu tvar nastalu procesima humifikacije.

U pedosferi, kao što je vidljivo, neprestano se odvijaju mnogobrojne kemijske reakcije i procesi, pa je stoga ona vrlo aktivan i dinamičan sustav.

Kemiju tla moguće je podijeliti na kemiju tekuće, krute i plinovite faze.

4.1. Kemija tekuće faze

U porama tla u kojima se ne nalazi zrak smještena je voda. U njoj su otopljene organske i mineralne tvari, pa se zato naziva otopinom tla. U vodi su disocirani ioni (anioni i kationi) koji joj daju karakter ionske otopine. U njoj se također nalaze plinovi i kiseline, te dispergirani koloidi u stanju sola, pa se zato otopina tla ponaša po zakonima koloidne kemije. U sklopu tekuće faze tla u ovom poglavlju bit će obrađeno: koncentracija, aktivna i potencijalna kiselost, bazicitet, puferizacijska sposobnost tla i oksidacijsko-redukcijski procesi.

4.1.1. Koncentracija otopine tla

Koncentracija otopine tla definira se kao sadržaj u njoj otopljenih organskih i mineralnih tvari. Koncentracija ovisi o klimatskim prilikama i značajkama tla. Tla humidnih predjela imaju manju koncentraciju vodene otopine, a u aridnom klimatu kod slanih i alkalnih tala koncentracija može biti veća od 1%.

Na koncentraciju vodene otopine utječu sljedeće značajke tla:

1. *Tekstura tla*

Tla težeg mehaničkog sastava, u kojima je ispiranje manje izraženo imaju veću koncentraciju vodene otopine u odnosu na lagana pjeskovita i skeletna tla.

2. Adsorpcijski kompleks tla

Tla koja imaju visoki stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama, imaju veću koncentraciju vodenih otopina u odnosu na tla s niskim stupnjem zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama. U humidnijem klimatu dolazi do izražaja ispiranje baza, pa je stoga koncentracija vodenih otopina ovdje manja u odnosu na aridnu klimu.

3. Stratigrafska građa tla

Unutar pedološkog profila horizonti ili/i slojevi tla međusobno se razlikuju po fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama. Uslijed toga različita je koncentracija vodenih otopina po dubini soluma.

4. Biološka aktivnost

Više biljke smanjuju koncentraciju vodenih otopina, a pojačana mikrobiološka aktivnost uvjetuje veću koncentraciju jer je jača mineralizacija.

5. Sadržaj vlage u tlu

Veći sadržaj vlage u tlu uvjetuje nižu koncentraciju i obrnuto. Dobar su primjer, kako navodi Škorić 1991, naša slana i alkalna tla gdje u vlažnom dijelu godine vegetacija buja, a u suhom radi velike koncentracije vodene otopine ova tla izgledaju poput pustinja.

6. Jače izraženo trošenje primarnih minerala također utječe na povećanu koncentraciju otopine tla.

7. Koncentracija vodenih otopina povećava se gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima.

Značaj koncentracije tekuće faze

Iz otopine tla biljka prima biogene makro elemente (NO_3 , NO_2 , NH_4 , $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$, HPO_4^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , Fe^{3+} , Fe^{2+}) i mikroelemente (BO_3^{3-} , Mn^{4+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , MoO_4^{2-} , Cu^+ , Cu^{2+}), kao i neke toksične elemente kao što je primjerice klor. O koncentraciji tekuće faze također ovisi primanje vode od strane biljke. Biljka usvaja vodu radi razlike u osmotskom tlaku. Kada se poveća koncentracija soli u otopini može se izjednačiti osmotski tlak između biljke i tla. Dolazi do tzv. fiziološke suše, odnosno biljka ne može usvajati vodu. Kod veće koncentracije i većeg osmotskog tlaka u tlu dolazi do gubitka turgora i venuća biljke – slučaj kod slanah i alkalnih tala u ljetnim mjesecima.

4.1.2. Kiselost (aciditet) tla

U ovom potpoglavlju obrađuje se aktivna (reakcija tla) i potencijalna (supstitucijska i hidrolitska) kiselost tla. Za postizanje visokih i stabilnih prinosa poljoprivrednih usjeva reguliranje reakcije tla (kalcifikacijom), prema potrebama usjeva, vrši se najčešće na osnovi supstitucijske i hidrolitske kiselosti tla.

4.1.2.1. Reakcija tla (aktivna kiselost)

Odnos između H^+ i OH^- iona naziva se reakcijom tla. O koncentraciji H^+ i OH^- iona ovisi da li će reakcija biti kisela, neutralna ili bazična. Vodik je nositelj kisele reakcije, a hidroksilni ioni bazične. Kvantitativni pokazatelj reakcije tla je pH vrijednost, koja se definira kao negativni logaritam koncentracije vodikovih iona ($-\log C_H$) ili je to negativni eksponent baze 10 koncentracije vodikovih iona.

Destilirana voda ima isti broj H^+ i OH^- iona, koji se u odnosu na nedisociranu molekulu vode nalaze u stanju ravnoteže.

$$\frac{H^+ \times OH^-}{H_2O} = k \text{ (konstanta disocijacije)}$$

$$H^+ \times OH^- = k \times H_2O = 10^{-14}$$

U jednoj litri čiste destilirane vode, pri 22°C ima 10^{-7} g H^+ iona i 10^{-7} gram ekvivalenata OH^- iona – neutralna reakcija.

$$C_H = 10^{-7}, \quad \log 10^{-7} = \text{pH } 7,$$

ili kod pH 7 ima 0,0000001 g H^+ iona, a logaritamska vrijednost je 7. Vrijednost pH 6 odgovara 0,000001 g H^+ iona, a logaritamska vrijednost iznosi 6, itd.

Kulturne biljke različito su rezistentne na visoke ili niske pH vrijednosti. Posebno je osjetljiva šećerna repa, ona zahtijeva praktički neutralnu reakciju. Krumpir i zob primjerice podnose niže reakcije tla. U uvjetima alkalne reakcije na halomorfnim tlima dobro uspijeva kamilica. Većina poljoprivrednih kultura zahtijeva praktički neutralnu reakciju tla.

Kod niskih pH vrijednosti i nižeg redoks potencijala dolazi do redukcijskih procesa. U takvim se uvjetima gotovo svi mikroelementi, osim molibdena, pojavljuju u toksičnim količinama. Kod pH 4,5 javlja se mobilni aluminij, a kod još niže reakcije tla i mobilno divalentno željezo. Moguća je tvorba teško topivih aluminijskih i željeznih fosfata, koje biljka ne može usvajati. Na alkalnoj strani reakcije u prisustvu kalcijevog iona tvore se mono-

, di- i trikalcijski fosfati, koje biljka također ne može koristiti u ishrani. Najteže je topiv trikalcijski fosfat ili apatit. Reakcija tla također utječe na brojne pedogenetske procese, kao što su: lesivaža, podzolizacija, razgradnja organske tvari i tvorba humusa, tvorba minerala gline i dr.

Kao što je iz izloženoga vidljivo, poznavanje reakcije tla vrlo je važno, jer bez njenog reguliranja nema intenzivne poljoprivredne proizvodnje.

Reakcija tla određuje se u laboratoriju kolorimetrijski i elektrometrijski u vodi i u MKCl-u (vidi vježbe).

Za praktične potrebe koriste se sljedeće granične vrijednosti u MKCl-u:

pH	< 4,5	jako kisela
pH	4,5 – 5,5	kisela
pH	5,5 – 6,5	slabo kisela
pH	6,5 – 7,2	praktički neutralna
pH	> 7,2	bazična (alkalna)

Ovako određene vrijednosti pH odgovaraju pojmu aktivna kiselost tla pod kojim se razumijevaju H^+ ioni otopine tla.

Aktivnu kiselost tla mogu prouzročiti H^+ ioni od:

- disocijacije organskih i mineralnih kiselina (ugljična, dušična, fosforna)
- fulvokiselina koje vrše jako zakiseljavanje kod tala s malo baza na ekstremno kiselim matičnim supstratima (podzol, brunipodzol)
- hidrolize Al soli: $AlCl_3 + 3 H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3 Cl^- + 3 H^+$
- korijenovog sustava biljke koji pri primanju hraniva (kationa) otpušta vodik.

Lužnata reakcija tla odnosno pojavu OH^- iona u tlu uzrokuju lužine, karbonati i bikarbonati Ca, Mg i Na, natrij na adsorpcijskom kompleksu tla, a mogu je prouzročiti i mikroorganizmi – amonifikatori. Amonifikatori razgrađuju organsku tvar pri čemu se pojavljuje amonijak (NH_3), koji otopljen u vodi daje NH_4OH .

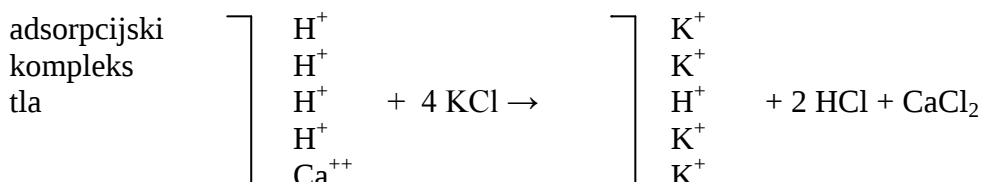
Škorić 1991. navodi da se reakcija tla kod naših tala kreće uglavnom od pH 4 do pH 9. Najviše su kod nas zastupljena kisela tla, a najmanje ima tala bazične i alkalne reakcije.

4.1.2.2. Potencijalna kiselost (aciditet)

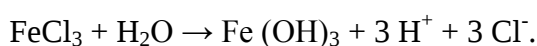
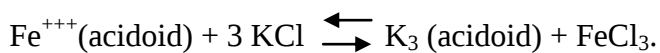
Za razliku od aktivne kiselosti tla ili vodika u otopini tla potencijalna kiselost predstavlja vodikove ione, te aluminijeve i željezne ione vezane na adsorpcijskom kompleksu tla. Ovisno o jačini vezanja vodika na adsorpcijski kompleks razlikuje se:

- supstitucijska kiselost (aciditet), i
- hidrolitska kiselost (aciditet).

Pod supstitucijskom kiselošću razumijevaju se slabije vezani vodikovi, aluminijevi i željezni ioni na adsorpcijskom kompleksu tla koji se mogu zamijeniti kationima iz neutralnih soli (1 MKCl). Kao rezultat ove supstitucije (zamjene vodika kalijem u adsorpcijskom kompleksu) u otopini se pojavljuje klorovodična kiselina (HCl), koja povećava kiselost.



Uzročnik povećanja kiselosti otopine, kao što je iz definicije vidljivo, mogu biti i aluminijevi i željezni ioni. Kalijev ion može iz adsorpcijskog kompleksa tla potisnuti željezne i aluminijeve ione, a kao rezultat ove supstitucije javljaju se soli slabih baza i jake kiseline. Hidrolizom ovih soli (FeCl_3 , AlCl_3) oslobađa se HCl (jaka kiselina), koja povećava kiselost otopine.



Supstitucijska kiselost predstavlja zapravo količinu lužine (0,1 M NaOH) potrebnu za neutralizaciju klorovodične kiseline. U laboratoriju se 100 g tla tretira s 250 ml MKCl-a, 125 ml filtrata titrira se 0,1 M NaOH uz dodatak indikatora (fenolftalein) do pojave ružičastog obojenja. Količinu utrošene lužine na neutralizaciju filtrata Daikuhara je nazvao y_1 supstitucijske kiselosti.

Ako se dobivene vrijednosti y_1 pomnože s odgovarajućim faktorima dobiju se količine vapna potrebne za neutralizaciju oraničnog sloja tla.

$$y_1 \times 5,25 = \text{dt/ha CaCO}_3.$$

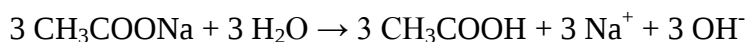
$$y_1 \times 2,94 = \text{dt/ha CaO}.$$

Ovako neutraliziranom kiselošću tla kalcifikacijom postiže se pH 6 što je dovoljno za uzgoj manje osjetljivih usjeva.

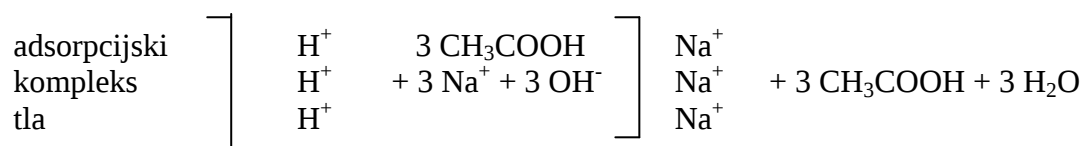
Na osnovi supstitucijske kiselosti eliminiran je samo jedan dio vodikovih iona iz adsorpcijskog kompleksa tla i to najmobilnijih, koji su potencijalno i najštetniji.

Pod hidrolitskom kiselošću podrazumijevaju se vodikovi ioni koji su vrlo često vezani na adsorpcijskom kompleksu tla i mogu se zamjenjivati kationima soli jakih baza i slabih kiselina kao što su kalcijev ili natrijev acetat.

Natrijev ili kalcijev acetat u vodi disocira:



Octena kiselina i natrijeva lužina reagiraju s tlom:



Zbog afiniteta OH^- i H^+ iona, OH^- ioni iz adsorpcijskog kompleksa snažno potiskuju H^+ ione. S druge strane, octena kiselina je slaba kiselina koja slabo disocira, pa izostaje pritisak slobodnih H^+ iona, kao što je to slučaj kod klorovodične kiseline koja jako disocira. Reakcija stoga teče u pravcu otpuštanja (desorpcije) vodikovih iona. Na ovaj se način desorbiraju gotovo svi vodikovi ioni iz adsorpcijskog kompleksa sposobni za zamjenu. Hidrolitsku kiselost istraživao je Kappen i tlo je po istom načelu tretirao natrijevim acetatom, a 125 ml filtrata uz dodatak indikatora (fenolftalin) titrirao je 0,1 M NaOH. Količinu utrošene 0,1 M NaOH potrebnu za neutralizaciju filtrata nazvao je y_1 hidrolitske kiselosti.

Ako se dobivene vrijednosti y_1 pomnože s odgovarajućim faktorima dobije se količina vapna potrebna za kalcifikaciju oraničnog sloja tla.

$$y_1 \times 4,5 = \text{dt/ha CaCO}_3.$$

$$y_1 \times 2,52 = \text{dt/ha CaO}.$$

Na ovaj se način neutralizira samo dio hidrolitske kiselosti i to onaj do pH 7 što omogućuje optimalne uvjete za uzgoj vrlo osjetljivih poljoprivrednih kultura kao što je šećerna repa.

4.1.3. Bazicitet tla

Bazicitet (alkalitet) tla uzrokuje povećana koncentracija hidroksilnih OH^- iona. Pretežno se bazična (alkalna) reakcija tla javlja u aridnim klimatskim prilikama, a može se pojaviti i u humidnim područjima u karbonatnim tlima.

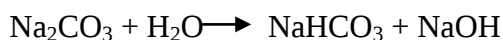
Bazična reakcija tla može biti rezultat:

1. prisustva CaCO_3 pretežno u tlima aridnih i dijelom humidnih područja:



Nastali kalcijev hidroksid disocira i reakcija je bazična. Nazočnost CaCO_3 u tlu može uzrokovati reakciju tla do 8,5.

2. prisustva sode Na_2CO_3 u alkalnim tlima aridnih područja:



Nastala natrijeva lužina uzrokuje alkalnu reakciju tla iznad pH 8,5.

3. prisustvo baza na adsorpcijskom kompleksu tla.

Ako su na adsorpcijskom kompleksu prisutni pretežno ioni kalcija reakcija će biti blago bazična. Kao rezultat desorpcije kalcija u otopini tla pojavljuju se kalcijev hidroksid i u prisustvu CO_2 kalcijev bikarbonat. Nastali $\text{Ca}(\text{OH})_2$ slabo disocira, a bikarbonat ima blago bazičnu reakciju.

Ako su na adsorpcijskom kompleksu prisutni natrijevi ioni, kao rezultat njegove desorpcije i hidrolize javlja se natrijeva lužina i reakcija je jako bazična (alkalna).

4. utjecaja neutralnih soli:

Ako u otopini tla ima puno neutralnih soli alkalija (NaCl , Na_2SO_4 ,...) natrijevi ioni će se izmjenjivati s bazama iz adsorpcijskog kompleksa dok se ne postigne ravnoteža. Ako se smanji koncentracija neutralnih soli u otopini i dođe do poremetnje ravnoteže Na ion izlazi iz adsorpcijskog kompleksa i u otopini se tvori natrijeva lužina, pa je reakcija jako bazična – alkalna.

Visoku reakciju tla s pH vrijednošću iznad 8,5 podnosi samo mali broj poljoprivrednih usjeva, kao što je primjerice kamilica. Tla s ovako visokim pH slabe su plodnosti i kod nas su zastupljena u istočnoj Slavoniji, te u dolini rijeke Neretve i Mirne.

4.1.4. Puferizacijska sposobnost tla

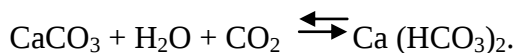
Puferizacijskom sposobnošću tla razumijeva se, sposobnost tla, da se svojim unutrašnjim mehanizmima odupre naglim promjenama reakcije tla.

U kemiji ulogu pufera imaju smjese slabih kiselina i njihovih soli s jakim bazom. Ako se takvoj smjesi dodaju kiseline, vodikovi će ioni na sebe vezati kiselinski ostatak. U otopini ostaje onoliko H^+ iona koliko odgovara konstanti disocijacije kiseline, a reakcija ostaje nepromijenjena. Ukoliko se smjesi dodaju lužine, hidroksilni ioni na sebe vežu vodikove, i to onoliko H^+ iona koliko odgovara konstanti disocijacije te kiseline, a reakcija se neznatno mijenja. Na ovaj je način otopina puferirana i protiv alkalija i protiv kiselina.

Ulogu pufera u tlu imaju:

1. ugljična kiselina i njene soli, kao i organske kiseline i njihove soli

Odlučujuću ulogu pufera u tlu ima ugljična kiselina, karbonat i bikarbonat kalcija:



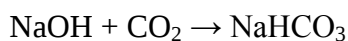
Kao rezultat neutralizacije ugljične kiseline pojavljuje se kalcijev bikarbonat, on slabo disocira, a HCO_3^- je pufer korišten u fiziologiji i medicini.

2. adsorpcijski kompleks tla

Adsorpcijski kompleks tla u humidnijim predjelima adsorbira dio vodikovih iona iz otopine tla, pri čemu se smanjuje kiselost otopine. Kod nekarbonatnih tala odlučujuću ulogu pufera u tlu ima adsorpcijski kompleks tla.

3. ugljični dioksid, HCO_3^- i adsorpcijski kompleks tla u aridnim klimatskim prilikama

Ugljični dioksid vrši neutralizaciju natrijeve lužine pri čemu se tvori NaHCO_3 :



Čovjek regulira reakciju tla različitim mjerama gospodarenja:

- gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima (fiziološki kisela, neutralna i alkalna),
- kalcifikacijom regulira nisku reakciju tla, i
- zakiseljavanjem smanjuje bazicitet tla.

4.1.5. Oksidacijsko-redukcijski procesi u tlu

Svako otpuštanje elektrona od strane donatora elektrona, pri čemu se povećava oksidacijsko stanje naziva se **oksidacija**. Primanje elektrona od strane akceptora, pri čemu se smanjuje oksidacijsko stanje, zove se **redukcija**. Proces oksidacije i redukcije u tlu se događaju istovremeno i od velike su važnosti, kako za genezu i evoluciju tala tako i za ishranu biljke.

Glavni donator elektrona u tlu je mrtva organska tvar odnosno ugljik, dušik, sumpor, amino grupe i NH^+ ion. Glavni akceptor elektrona je kisik. Mikroorganizmi u nedostatku kisika u tlu koriste druge akceptore kao što su oksidi željeza i mangana, nitrati i sulfati, pri čemu dolazi do njihove redukcije. U reduciranom se obliku premještaju, odnosno dolazi do njihove eluvijacije i nakupljanja u dubljim horizontima ili iluvijacije. Na isti način uslijed oksidacijskih i redukcijskih procesa dolazi do hidrogenizacije ili tvorbe glejnoga G horizonta s rdastim mazotinama i konkrecijama od oksidacije (Gso podhorizont) ili zelenkastim i plavičastim bojama od redukcijskih procesa (Gr podhorizont).

Kao što je rečeno, procesi oksidacije i redukcije također utječu na pristupačnost biogenih elemenata. U nedostatku kisika radi redukcijskih procesa mogu se, primjerice u tlu, pojaviti u toksičnim količinama gotovo svi mikroelementi, osim molibdena. Isto tako kod nižeg redoks potencijala, radi nazočnosti mobilnog aluminija i divalentnog željeza, moguća je tvorba teško pristupačnih željeznih i aluminijevih fosfata.

Intenzitet oksidacijsko-redukcijskih procesa u tlu određuje se mjerenjem električnog potencijala (E) u tlu (napon) i izražava se u mV. Veće vrijednosti električnog potencijala naznaka su oksidacijskih procesa, a niže vrijednosti redukcijskih. Proces i redukcije ovisni su o reakciji tla, pa je moguće na osnovi pH i E izračunati tzv. redukcijsku moć tla.

$rH = E/28,9 + 2 \text{ pH}$ pri čemu je:

rH = negativni logaritam pritiska H^+ iona (redukcijska sposobnost tla)

28,9 = Nernstova konstanta.

Na temelju rH vrijednosti moguće je odrediti stanje redukcije i oksidacije u tlu (Škorić, 1991.).

	rH
aerirana tla (oksidacijski uvjeti)	28 – 34
redukcijski uvjeti	22 – 25
dominantno redukcijski uvjeti	< 20

4.2. Kemija krute faze

U sklopu kemije krute faze obrađeni su: elementarni sastav tla, sorpcijska sposobnost tla i organska tvar u tlu (humus).

4.2.1. Elementarni sastav tla

Elementarni sastav tla čine s preko 98% kisik, silicij, aluminij, željezo, kalcij, kalij, natrij i vodik, a preostalih 2% pretežno čine ugljik, dušik, sumpor i fosfor.

S obzirom na potrebe biljke elementi se dijele na makroelemente i mikroelemente. U makroelemente, koje biljka koristi za rast i razvoj u velikim količinama ubrajaju se: ugljik, vodik, kisik, dušik, fosfor, kalij, sumpor, kalcij, magnezij i željezo. U mikroelemente, koje

biljka treba u malim količinama spadaju mangan, bor, cink, bakar i molibden. Biljka ove elemente prima u pristupačnom odnosno fiziološki aktivnom obliku – fiziološki aktivna hraniva.

Ugljik	Ugljik je biogeni element, kojeg biljka usvaja iz tla. U tlu se nalazi u organskoj tvari, u obliku karbonata i u zraku tla kao CO_2 . U pedosferi ga ima prosječno 2%.
Vodik	U litosferi ga nema, a pojavljuje se prilikom trošenja primarnih minerala. Ioni vodika su vrlo mobilni i aktivni u tlu. Uzročnik su kiselosti. Nalaze se slobodni u otopini tla ili vezani na adsorpcijskom kompleksu.
Kisik	U pedosferi kisika ima 49%, a važan je za oksidacijske i redukcijske procese u tlu. Biogeni je element.
Dušik	U pedosferi dušika ima od 0,1 do 0,2%. Biljka ga prima u obliku NH_4^+ , NO_3^- , i NO_2^- iona. NH_4^+ ion veže se na koloide tla, a NO_3^- i NO_2^- u tlu se ne vežu.
Fosfor	Fosfor je također biogeni element, a u pedosferi ga ima 0,08% u obliku fosfata. U alkalnim tlima dominiraju Ca fosfati (mono-, di- i trifosfati). Najteže je topiv trifosfat (apatit $\text{Ca}(\text{OH})_2 \times \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). U kiselim uvjetima sredine fosfor se nalazi u obliku teško topivih aluminijevih i željeznih fosfata. Biljka prima fosfor u obliku HPO_4^{2-} i H_2PO_4^- iona.
Kalij	Kalija ima u tlu u količini od 1,36%. Biogeni je element. Sastavni je dio primarnih i sekundarnih minerala (ilit, različite soli), a nalazi se u tlu i u ionskom obliku.
Sumpor	Sumpor se u tlu nalazi u obliku sulfata, sulfida i sastavni je dio organske tvari. U redukcijskim uvjetima sulfati se reduciraju do sulfida. Sulfidi dvovalentnog Fe morfološki se opažaju u pedološkom profilu po karakterističnim crnim mrljama u glejnom G horizontu. Sumpor je biogeni element i biljka ga prihvaća kao SO_4^{2-} i SO_3^{2-} ion.

Kalcij	U pedosferi kalcija ima prosječno 1.37%. Sastavni je dio kalcita, dolomita, sadre i različitih silikata. Trošenjem minerala oslobađa se u obliku različitih soli, a u tlu se najviše pojavljuje u obliku karbonata, sulfata i klorida. Kalcij je biogeni element, čimbenik je stabilne strukture (koagulator), sudjeluje u tvorbi blagog humusa i onemogućava štetno djelovanje vodikovih iona – zakiseljavanje
Magnezij	U tlu magnezija ima 0,6%. Sastavni je dio nekih alumosilikata, dolomita, minerala gline (smektit), a nalazi se i u obliku soli, te adsorbiran na adsorpcijski kompleks. Djeluje povoljno na strukturu tla jer slično kao i kalcij vrši koagulaciju. Biogeni je element.
Željezo	U pedosferi ima 3,8% željeza. Biogeni je element. U prisustvu fiziološki aktivnog vapna u tlu dolazi do deficijencije željeza – kloroza. Oslobađa se trošenjem alumosilikata, ugrađuje se u minerale gline (nontronit, vermikulit, klorit). Najveći dio željeza u tlu se nalazi u obliku oksida, oni do različitog stupnja hidratiziraju dajući tlu različite nijanse crvene i smeđe boje. Topivost željeznih oksida raste s padom pH vrijednosti, a mobilno željezo u tlu se nalazi kod pH 3. U našim tlima najčešće se pojavljuju: - getit (α – FeOOH), smeđe boje - hematit (α – Fe₂O₃), crvene boje - lepidokrokit (γ –FeOOH), narančaste boje U redukcijskim uvjetima javljaju se spojevi dvovalentnog željeza (npr. Fe II fosfat ili vivijanit) topivi u vodi, a daju tlu specifičnu zelenkasto-plavičastu boju.
Silicij	Silicij nije biogeni element. U tlu ga ima oko 33%. Nalazi se u sastavu primarnih i sekundarnih minerala, a u ionskom obliku ima ga vrlo malo. Silicijev oksid topiv je u bazičnim uvjetima sredine kod pH 7,5 do 8,0.
Aluminij	U pedosferi ima 7,1% aluminijske tvari. Ne pripada biogenim elementima, a za razliku od silicijevih oksida aluminijevi su topivi u kiselim uvjetima sredine.

Mobilni aluminij javlja se kod pH 5.

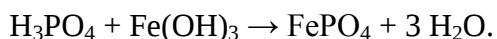
- Natrij Natrij nije biogeni element, a u tlu ga ima tek 0,63% radi velike topivosti natrijevih soli. Natrija ima u otopini tla i na adsorpcijskom kompleksu. Zbog jake hidratacije Na iona njegovo prisustvo u tlu izuzetno je nepovoljno jer djeluje kao pepizator za razliku od Ca iona koji je koagulator. Tla koja obiluju ionima natrija vrlo su loših fizikalnih značajki. U suhom su stanju zbijena i kompaktna, a u vlažnom prelaze u bezstrukturnu masu. Ako u adsorpcijskom kompleksu ima više od 15% iona Na tada se radi o alkalnim tlima (solonec).
- Mikro- Biljka, kao što je rečeno, koristi mikroelemente u malim količinama. Svi elementi mikroelementi, osim bora, ulaze u sastav enzimatskih sustava. Uglavnom su naša tla dobro opskrbljena mikroelementima. U kiselim tlima mogu se gotovo svi mikroelementi pojaviti u toksičnim količinama (osim molibdena). U alkalnim tlima dolazi do izražaja njihova deficijencija, pri čemu je opet izuzetak molibden. Ovaj problem rješava se reguliranjem reakcije tla. Osim navedenih elemenata u malim se količinama u tlu javljaju klor, titan, kobalt, kositar, fluor, jod i nikel. Klor u tlima dolazi u obliku lakotopivih klorida u aridnim područjima. Klor nije biogeni element, a halofiti ga primaju u velikim količinama. Posebno je štetan kod uzgoja duhana, vinove loze i krumpira.

4.2.2. Sorpcija

Sposobnost tla da zadržava ili veže tvari naziva se sorpcija. Prema Gedroicu razlikuju se sljedeće vrste sorpcija:

- mehanička,
- fizikalna,
- kemijska,
- fizikalno-kemijska, i
- biološka.

1. **Mehanička sorpcija** je mehaničko zadržavanje pojedinih sastojaka u tlu. U procesu lesivaže iz površinskih se horizonata ispire glina, koja se čisto mehanički zadržava u iluvijalnom (Bt) horizontu.
2. **Fizikalna sorpcija** je sposobnost vezivanja iona i molekula fizikalnim silama, pri čemu ne dolazi do kemijskog vezivanja i tvorbe novih kemijskih spojeva. Na ovaj se način, primjerice, higroskopna voda veže uz čestice tla.
3. **Fizikalno-kemijska sorpcija** (adsorpcija) definira se kao sposobnost organskih i mineralnih koloida da na sebe vežu ione (katione) i da ih u ekvivalentnim količinama izmjenjuju s ionima otopine tla. Kod adsorpcije ioni iz otopine tla ulaze i u kemijske reakcije s molekulama koje se nalaze na površini koloida.
4. **Kemosorpcija ili kemijska sorpcija** je tvorba novih spojeva u tlu pri čemu sorbirana tvar ulazi u kemijsku reakciju s tvari s kojom se veže.



(netopivi spoj)

5. **Biološka sorpcija** odnosi se na životnu aktivnost organizama tla, pri čemu organizmi primaju određene tvari, transformiraju ih i ugrađuju u svoje organizme. Na ovaj se način tvari zadržavaju u tlu

Od posebne je važnosti za život tla fizikalno-kemijska i kemijska sorpcija jer je to ključna značajka koja utječe na plodnost.

4.2.2.1. Fizikalno-kemijska sorpcija

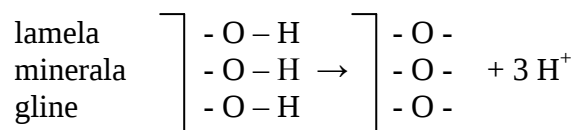
Skup organskih i mineralnih koloida tla koji imaju sposobnost adsorbiranja iona (ponajprije kationa) i izmjenjuju ih s ionima (kationima) otopine tla, naziva se **adsorpcijski kompleks tla**. U literaturi vrlo se često umjesto ovog naziva koriste izmjenjivački kompleks i koloidni kompleks tla.

U sastav adsorpcijskog kompleksa tla ubrajaju se:

1. fragmenti primarnih minerala,
2. sekundarni alumosilikati ili minerali gline iz smektitne, ilitne i kaolinitne grupe,
3. amorfne mineralne tvari, kao što su hidroksidi željeza i aluminija,
4. humus, i
5. organsko-mineralni kompleks.

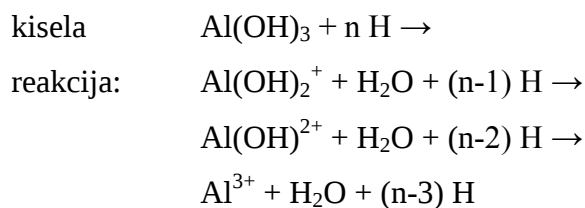
Fragmenti primarnih minerala od malog su značenja i imaju neznatan kapacitet adsorpcije. Minerali gline, ovisno o tome kojoj grupi pripadaju, mogu imati kapacitet adsorpcije između 10 i 100, dok humus primjerice ima kapacitet adsorpcije i 300 m.mol.ekv.

Naboj koloida tla, koji imaju izmjenjivačku sposobnost, može biti stalan i promjenjiv. Stalni naboj, kao što je ranije rečeno, rezultat je izomorfne zamjene unutar lamela minerala gline, a varijabilni je ovisan o reakciji tla. Kao što je poznato, silicij u tetraedarskoj poziciji može biti zamijenjen aluminijem, pri čemu ostaje jedan negativni nekompenzirani naboj. Isto tako može doći do izomorfne zamjene aluminija u tetraedarskoj poziciji s dvovalentnim željezom i magnezijem, gdje opet ostaje jedan nekompenzirani negativni naboj. Negativni naboj na vanjskoj površini minerala gline može biti i rezultat disocijacije OH^- iona:

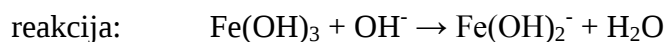


Unutar međulamelnog prostora smektita i ilita unjdravaju se kationi, a kaolinit radi malog i fiksnog baznog razmaka adsorbira katione samo na vanjskoj površini. Smektit ima najveći međulamelarni razmak koji može ekspandirati i kontrahirati, a posebni afinitet ima prema kalciju i magneziju. Unutar međulamelnog prostora ilita unjdrava se NH_4^+ i K^+ , a u suhim uvjetima može doći do njihove imobilizacije radi kontrakcije volumena.

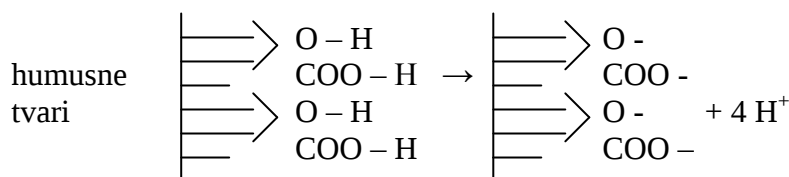
Amorfne mineralne tvari (hidroksidi aluminija i željeza) u uvjetima bazične reakcije dobivaju negativni naboj, a u uvjetima kisele pozitivni.



bazična



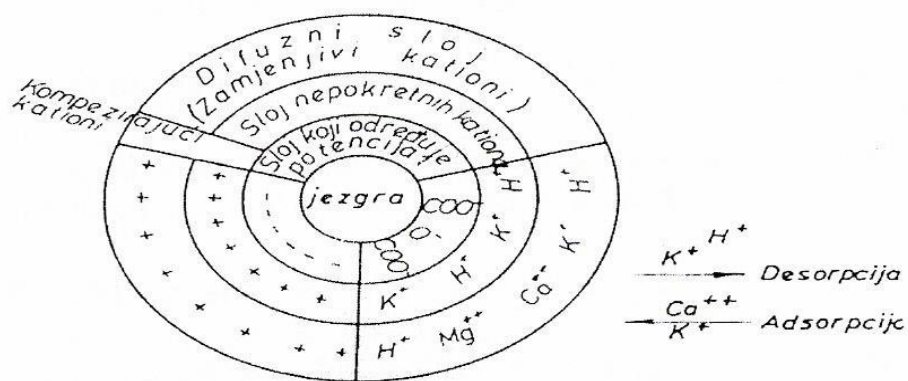
Humusne tvari dobivaju negativni naboj od karboksilnih i hidroksilnih skupina iz huminskih kiselina i fenolnih spojeva pri porastu pH.



Organsko-mineralni kompleksi negativnog su naboja, a podrijetlo tog naboja je od humusne komponente i minerala gline.

Reakciju adsorpcije i građu koloidne micle prikazuje slika 10.

Koloidna čestica (micela) sastoji se od jezgre na koju se nadovezuju negativno nabijeni ioni, oni određuju njezin potencijal. Na ovaj se sloj nadovezuju pozitivno nabijeni ioni (kationi) i kompenziraju naboj koloidne micle – sloj kompenzirajućih kationa. Sloj kompenzirajućih kationa dijeli se na sloj nepokretnih kationa, koji su vrlo čvrsto vezani i na difuzni sloj gdje su kationi slabije vezani i nalaze se u stalnom gibanju



Slika 10. Građa koloidne micle

Reakcija adsorpcije odvija se u tri stadija:

- desorpcija (otpuštanje),
- supstitucija (zamjena),
- retencija (privlačenje).

U difuznom sloju kationi imaju kinetičku energiju ili energiju gibanja. Uslijed ovog gibanja dolazi do njihovog izlaska iz difuznog sloja - desorpcije, pri čemu jedan dio naboja ostaje nekompenziran. Ovaj naboj kompenzira se kationima iz otopine tla supstitucijom ili zamjenom. Zamjenjuju se kationi iste valencije, dakle u ekvivalentnim količinama.

Zadržavanje kationa na adsorpcijskom kompleksu naziva se retencija, a ovisi o:

- udaljenosti kationa od površine koloida,
- valenciji i promjeru kationa,
- snazi hidratacije, i
- koncentraciji.

Najjače se na adsorpcijski kompleks vežu viševalentni kationi, pri čemu je izuzetak H^+ ion. Radi manjeg promjera vodik ima veću snagu držanja u odnosu na divalentne katione. Kationi iste valencije s većom hidratacijskom opnom vežu se slabije na adsorpcijski kompleks tla. Snaga držanja kationa ovisi i o koncentraciji otopine. Veća koncentracija nekog kationa u otopini može uzrokovati desorpciju drugog kationa iz adsorpcijskog kompleksa koji se inače čvršće veže u odnosu na kation čija je koncentracija u otopini visoka.

Redoslijed retencije kationa na adsorpcijskom kompleksu je sljedeći:



Najlakše se desorbiraju kationi slabije retencije, a najslabiju retenciju, radi ponajprije velike hidratacijske opne, ima Na^+ ion. Adsorbirani ioni nalaze se u stalnoj dinamičkoj ravnoteži s kationima otopine tla.

Analiza **adsorpcijskog kompleksa tla** u našim laboratorijima vrši se po Kappenu u sklopu čega se određuju:

- suma baza sposobnih za zamjenu (S),
- nezasićenost adsorpcijskog kompleksa tla (T-S),
- maksimalni adsorpcijski kompleks tla za baze (T), i
- stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama (V %).

Suma baza sposobnih za zamjenu određuje se u 0,1 M HCl-u. Suspenzija tla i kiseline ostavi se stajati preko noći, profiltrira se i od bistrog filtrata uzme se 50 ml. Vodikovi ioni istisnuli su baze iz adsorpcijskog kompleksa tla, a preostala količina kiseline titrira se uz dodatak indikatora (fenolftalein) 0,1 M NaOH do pojave ružičastog obojenja.

$$S = 10 (50 \text{ ml HCl} \times M - b \text{ ml NaOH} \times M), \text{ m.mol.ekv.}$$

Nezasićenost adsorpcijskog kompleksa tla predstavlja vodikove ione u adsorpcijskom kompleksu, a dobije se iz sljedeće jednadžbe:

$$(T - S) = \frac{y_1 \times 6,5}{10} = \text{_____ m.mol.ekv.}$$

Ako se zbroji (T-S) i S dobije se maksimalni adsorpcijski kompleks tla za baze (T), a stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama dobije se iz sljedeće jednadžbe:

$$V = \frac{S}{T} \times 100, \%$$

Adsorpcijski kompleks tla uvelike utječe na fizikalne, kemijske i biološke značajke tla, opskrbu biljaka biogenim elementima, odnosno na plodnost tla.

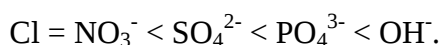
Fizikalne značajke tla ovise o vrsti adsorbiranih kationa, pa tako adsorbirani Na ion uvjetuje pogoršanje fizikalnih značajki jer uvjetuje povećanje vezanosti i ljepljivosti tla. Velika, hidratacijska opna Na iona onemogućava koagulaciju koloida i pristup viševalentnih iona koagulatora. Tla bogata natrijem u vlažnom stanju peptiziraju i prelaze u ljepljivu bezstrukturnu plastičnu masu, a u suhom su stanju kompaktna i tvrda. Nasuprot tomu, zasićenost adsorpcijskog kompleksa tla Ca^{2+} ionima (koagulator) ima povoljniji učinak na strukturu tla i preko toga na vodo-zračne odnose.

Adsorpcijski kompleks tla, kako je već ranije istaknuto, utječe i na brojne kemijske značajke kao što su puferizacijska sposobnost tla, reakcija tla, koncentracija otopine tla itd. Adsorpcijski kompleks tla izvor je hraniva za biljke – skladište hrane.

4.2.2.2. Sorpcija aniona

Anioni se u tlu vežu po mehanizmu fizikalno-kemijske sorpcije (adsorpcije) na pozitivno nabijene koloide tla (bazoidi) ili kemisorpcijom – tvorbom novih kemijskih spojeva (soli). Bazoida u tlu ima relativno malo, a to su seskvioksidi i njihovi hidroksidi čiji je naboj varijabilan ovisno o reakciji tla (amfolitoidi), organski koloidi (R-NH_4^+), a pozitivni naboj može se pojaviti i na rubovima mineralnih koloida. Jačina adsorpcije aniona ovisi o njihovoj valenciji, s izuzetkom OH^- iona.

Redosljed retencije je sljedeći:



Osim na bazoide anioni se mogu vezati u tlu i na negativno nabijene koloide ili acidoide, preko kationskog mosta.

Acidoid - Ca - H_2PO_4^-

Anioni se u tlu vežu i kemosorpcijom odnosno tvorbom novih kemijskih spojeva.

Mogu se izdvojiti tri osnovne grupe aniona s obzirom na snagu kemijske sorpcije:

1. dobro se sorbiraju u tlu: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_4^{3-} , OH^- i anioni nekih organskih kiselina
2. anioni koji se slabo vežu u tlu ili se ne vežu: NO_2^- , NO_3^- , Cl^-
3. anioni koji se po sposobnosti sorpcije nalaze između prethodne dvije grupe: SO_4^{2-} , CO_3^{2-} (tvore teže topive soli).

4.2.3. Humus

Specifična tamna organska tvar nastala procesima humifikacije naziva se **trajnim humusom** ili humusom u užem smislu. Humifikacija je proces razgradnje mrtve organske tvari pod utjecajem mikroorganizama (heterotrofi, saprofiti) do jednostavnih spojeva, te njihova sinteza, polimerizacija i kondenzacija do trajnog humusa. U širem smislu humusom se podrazumijeva cjelokupna organska tvar tla.

Humusne tvari u tlu mogu se podijeliti na nespecifične (nehuminske) i specifične (huminske). Nespecifične humusne tvari lakše se razgrađuju (mineraliziraju) i služe kao izvor hrane i energije za biljke i mikroorganizme. U ove se tvari ubrajaju monosaharidi, aminokiseline, različite organske kiseline i slično. S obzirom da se lagano razgrađuju pod utjecajem mikroorganizama nazivaju se hranidbenim humusom.

Specifične humusne tvari su visoko molekularni spojevi tamne boje nastale humifikacijom. To su prave humusne tvari, trajni humus ili humus u užem smislu. Trajni humus sastoji se od tri osnovne grupe spojeva:

- huminske kiseline (smeđa, siva, himatomelanska),
- fulvokiseline (krenska, apokrenska), i
- humina.

Ekstrakcija ovih spojeva vrši se naizmjeničnim tretiranjem lužinama (NaOH ili NH_4OH), zatim kiselinom (HCl) i alkoholom. Ovim se postupkom izdvajaju huminske i ulminske kiseline netopive u alkoholu, zatim fulvo kiseline topive u HCl, himatomelanska kiselina topiva u alkoholu, te humin i ulmin netopivi u lužinama.

Sastavni dijelovi **huminskih kiselina** su jezgre, mostovi, molekule, funkcionalne grupe i micle. Jezgre su izo ili heterociklički šesto i petočlani prstenovi benzola, furana,

pirola, piridina i drugih u koje ulaze i heterociklički vezovi dušika. Jezgre se povezuju mostovima

(-O-, -N-, -NH-, alifatski -CH₂- mostovi i aromatski -C-C- mostovi). Funkcionalne grupe huminskih kiselina su karboksilne (COOH), fenol hidroksilne (OH), metoksilne (OCH₃) i karbonilne (CO). Na ovaj se način tvore molekule (mononi), a još veće nakupine molekula zovu se micele ili polioni.

Huminske kiseline bogate su dušikom, otporne na razgradnju i najkvalitetnija su frakcija humusa. Čimbenik su stabilne strukture, upijaju velike količine vode, tamnom bojom adsorbiraju više topline i imaju trostruko veći kapacitet adsorpcije u odnosu na smektit.

Fulvokiseline su slične, ali jednostavnije građe, niskomolekularne s više alifatskih mostova koji im daju hidrofilne značajke, dok je kod huminskih kiselina više aromatskih mostova koji im daju hidrofobne značajke. Soli fulvokiselina topive su u vodi, tvore komplekse s metalima i izrazito su kisele, pa su čimbenik destrukcije tla. U tlu imaju ulogu zaštitnih koloida, te se aluminij i željezo vezani u organsko-mineralne komplekse ispiru iz tla.

U tlu se nalaze tri osnovna oblika humusa : sirovi (roh), zreli (mull) i prelazni (moder) humin.

Sirovi humus se javlja u uvjetima humidne klime na kiselim stjenama i u nazočnosti četinjača. Bogat je fulvokiselinama, a humifikacija se vrši pod utjecajem gljiva. Javlja se u formama umbričnog i ohričnog A horizonta. Ima tri izražena stupnja razgrađenosti: na mineralnom dijelu tla nalazi se dobro humificirana organska tvar iznad koje je manje razgrađena organska tvar, a odozgo je organska tvar u fazi fermentacije.

U zrelog humusa javljaju se pretežno huminske kiseline dobro zasićene bazama, odnosno soli huminskih kiselina – humati. U procesima humifikacije dominiraju bakterije, a zreli humus daje tlu najbolje fizikalne, kemijske i biološke značajke. Javlja se u formi moličnog humusno akumulativnog A horizonta. Kod zrelog humusa organska tvar je dobro razgrađena, amorfna i prhka te dobro izmiješana s mineralnim dijelom tla.

Prelazni humus kombinacija je sirovog i zrelog humusa. Jedan dio organske tvari dobro je izmiješan s mineralnom tvari, a iznad mineralnog dijela nalazi se tanji sloj u kojem nisu jasno razdvojene zone fermentacije i humifikacije.

Humus u tlu utječe na sljedeće značajke:

- čimbenik je trošenja anorganskog dijela tla,
- energetski je izvor za čitavi niz organizama,
- izvor je biljnih hraniva, koja se oslobađaju djelovanjem mikroorganizama,
- ima visoki kapacitet adsorpcije kationa (300 mmol.ekv.),

- dobro upija vodu, pa na taj način regulira vodozračne i toplinske značajke,
- čimbenik je tvorbe stabilne strukture, i
- povoljno utječe na mikrobiološku aktivnost tla.

5. BIOLOGIJA TLA (Organizmi tla)

Organizmi tla (flora i fauna) tijekom svog životnog ciklusa vrše izmjenu tvari i energije odnosno sudjeluju u različitim procesima transformacije organske i mineralne tvari.

5.1. Utjecaj makroflore na tlo

Trave svojim gustim žiličastim korijenovim sustavom dobro prožimlju tlo i čimbenik su tvorbe stabilne mrvičaste strukture. Primaju velike količine biogenih elemenata, čuvaju ih od ispiranja i akumuliraju u površinskom horizontu. U aridnim klimatskim uvjetima (stepe) uz prisustvo kalcija tvore humus blagog karaktera, te sudjeluju u tvorbi organsko mineralnog kompleksa. Odumiranjem tvore «mulch» čime reguliraju hidrotermički režim tla.

U odnosu na travne biljne zajednice **šume** ostavljaju manje organskih ostataka i tvore šumsku prostirku – listinac. Listinac upija velike količine vode i onemogućava njeno otjecanje po površini, pa na taj način umanjuje erozijske procese. Također djeluje kao «mulch», odnosno regulira toplinski režim tla, a kroz procese humifikacije i mineralizacije sudjeluje u tvorbi humusa i oslobađanju biogenih elemenata. U prisustvu baza moguća je tvorba humusa blagog karaktera, a u kiselim uvjetima tvori se sirovi humus.

Šumsko korijenje u odnosu na korijen trava duboko prodire u tlo crpeći vodu iz dubljih horizonata pri čemu dolazi do njihovog isušivanja. Na ovaj se način pospješuju descendentni tokovi vode i tlo se prosušuje. Sječom šuma u ravničarskim područjima ovaj efekat izostaje i dolazi do zamočvarivanja tla.

Manje je izražen povoljan učinak šumskog korijenja na strukturu, koje slabo prožimlje tlo, u odnosu na korijen trava. Šume svojim gustim krošnjama zadržavaju znatne količine oborina, a također priječe evaporaciju, pa su šumska tla u odnosu na neobrasla vlažnija.

Kulturne biljke za razliku od prirodne vegetacije ne vraćaju svu organsku tvar tlu. U proizvodnji kulturnog bilja iznose se velike količine hraniva iz tla čime se tlo osiromašuje biogenim elementima. Intenzivnom obradom pospješuju se procesi mineralizacije i na taj se način smanjuje razina opskrbljenosti tla humusom. Bilanca hraniva i obogaćivanje tla humusom popravljaju se gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima, uvođenjem u

plodored djetelinsko travnih smjesa, zaoravanjem žetvenih ostataka i zelenom gnojdbom (sideracija).

5.2. Utjecaj makrofaune na tlo

Makrofauna sudjeluje u tvorbi stabilne strukture tla, miješa i prozračuje tlo. U vlažnim tlima bogatim organskom tvari, kalcijem i neutralne do slabo kisele reakcije prevladavaju kišne gliste (10 – 1000 kg/ha žive organske tvari). Darwin navodi (citira Škorić, 1975.) da kišne gliste kroz svoj probavni trakt prerade 35 t/ha tla godišnje. Probavljeno tlo se agregira i povećava se kapacitet adsorpcije. Kišne gliste, uz navedeno, mehanički miješaju i prozračuju tlo, te posjećuju tvorbu organsko-mineralnog kompleksa tla.

U suhim tlima rad glista zamjenjuju grinje, stonoge i insekti. Od sisara u aridnom klimatu prevladavaju tekunica, hrčak i jazavac, a u vlažnijem krtica i poljski miš.

5.3. Uloga mikrofaune na tlo

U mikrofaunu tla ubrajaju se nematode, protozoa i rotatoria. Nematode su niži crvi koji razgrađuju organsku tvar i miješaju je s mineralnom komponentom. Protozoa su najniži životinjski oblici koji se hrane bakterijama, pa njihova nazočnost ima štetan učinak na tlo. Osjetljivi su na sušu. Rotatorija su mikroskopske životinjice, koje se nalaze u močvarnim tlima, a pretpostavlja se da razgrađuju organsku tvar.

5.4. Utjecaj mikroorganizama na tlo

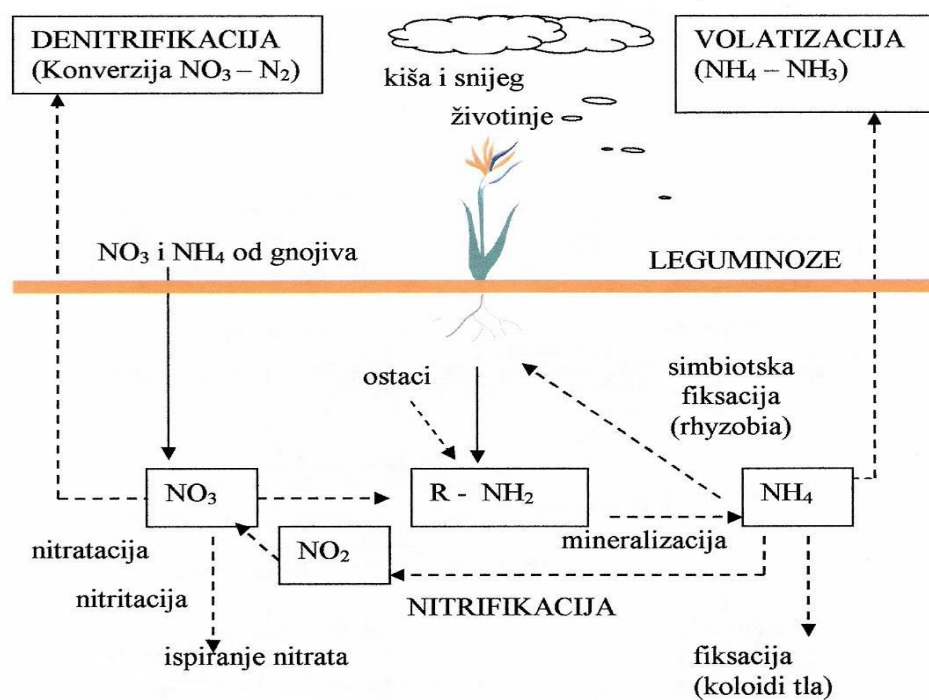
U mikroorganizme se ubrajaju bakterije, aktinomiceti, gljive i alge, a sudjeluju, kao što je rečeno, u različitim procesima transformacije organske i mineralne tvari.

Tjurin navodi (cit. Škorić, 1991) da u černozeu, do dubine od 25 cm, ima 2400 kg/ha žive mase bakterija, a u kiselim tlima do 1400 kg/ha.

Bakterije se po načinu života dijele na:

- heterotrofne – koriste ugljik iz organskih spojeva, a energiju dobivaju njihovom oksidacijom,
- autotrofne – koriste ugljik iz CO₂ zraka, a energiju dobivaju oksidacijom mineralnih spojeva.

Ovisno o zahtjevu prema slobodnom kisiku dijele se na aerobe i anaerobe. Za svoju životnu aktivnost trebaju praktički neutralnu reakciju, biogene elemente, povoljnu vlažnost i temperaturu (optimum je od 30°C do 37°C). Ciklus kruženja dušika u prirodi prikazuje slika 11.



Slika 11. Kruženje dušika u prirodi

Dušik u tlo pretežno prispjeva nesimbiotskom i simbiotskom fiksacijom, te gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima. Nesimbiotski fiksatori dušika (*Azotobacter chroococcum*) su heterotrofni mikroorganizmi koji vežu dušik iz zraka, a energiju dobivaju razgradnjom ugljikohidrata. Simbiotski fiksatori dušika žive u simbiozi s višim biljkama (heterotrofi). Tako *Rhizobium* sp. žive u simbiozi s leguminozama, tvore kvržice na korijenu biljke i imaju sposobnost direktnog usvajanja dušika iz zraka. Važnu ulogu u kruženju dušika u prirodi imaju i razarači bjelančevina (heterotrofi), oni razgrađuju bjelančevine (polimerizati aminokiselina) preko albumoza i peptona do aminokiselina uz pomoć proteolitičkih enzima. Konačni produkti razgradnje su NH₃, CO₂, H₂O, CH₄, H₂S i PH₃. Proces razgradnje proteina do konačnih produkata naziva se amonifikacija, a cijela grupa bakterija koja vrši razgradnju amonifikatori. Oslobođeni NH₃ je plin topiv u vodi pri čemu nastaje NH₄OH koji disocira na NH₄⁺ i OH⁻. Nadalje, NH₄⁺ oblik dušika nitrifikacijske bakterije (autotrofi) oksidiraju do NO₃ - nitrifikacija. Najprije se NH₄⁺ pod utjecajem nitritatora oksidira do nitrita, a zatim pod

utjecajem nitratora do nitrata. NH_4^+ se može vezati na koloide tla (ilit), a mogu ga koristiti i biljke za svoju ishranu. Kao rezultat nitrifikacije nastaju nitrati, koji se ne vežu na koloide tla i stoga se mogu ispirati, mogu ih koristiti biljke za svoju ishranu ili se mogu denitrificirati pod utjecajem denitrifikatora. Denitrifikatori nitratni dušik reduciraju do N_2 čime se on gubi iz tla – volatizacija. Iz atmosfere dušik u tlo ponovno dopijeva simbiotskom i nesimbiotskom fiksacijom, zatim gnojdbom, a djelomično i oborinama čime je ciklus kruženja dušika u prirodi zatvoren.

Od heterotrofnih bakterija važnu ulogu u dekompoziciji organske tvari imaju još, uz ranije navedene, razarači masti i ugljikohidrata.

Razarači masti su heterotrofne bakterije koje razgrađuju lipide (esteri viših masnih kiselina i glicerina) uz pomoć enzima lipaze do jednostavnijih spojeva iz kojih se sastoje (više masne kiseline i glicerin).

Razarači ugljikohidrata su heterotrofne bakterije koje razgrađuju ugljikohidrate (monosaharidi, disaharidi, trisaharidi, polisaharidi, heterosaharidi) do konačnih produkata – alkohola i organskih kiselina.

Od autotrofnih bakterija, uz ranije spomenute nitrifikatore važna je aktivnost sumpornih i željeznih bakterija.

Sumporne bakterije za svoju životnu aktivnost energiju dobivaju oksidacijom sumpornih spojeva. Tako, primjerice sumporovodik, nastao truljenjem organske tvari preko elementarnog sumpora oksidira do sulfata.

Željezne bakterije za autotrofni način života energiju dobivaju oksidacijom fero u feri spojeve.

Aktinomiceti vrše razgradnju organske tvari u tlu, uglavnom ugljikohidrata, bjelančevina i masti, te sudjeluju u procesima mineralizacije i humifikacije. Utvrđeno je da pospješuju simbiozu *Rhizobium* sp. bakterija s leguminozama, a neke aktinomicete imaju i patogeni ulogu u odnosu na biljke. **Gljive** putem svojih hifa tvore stabilnu strukturu tla, razgrađuju organsku tvar, utječu na tvorbu humusa, a imaju i sposobnost fiksacije dušika iz zraka. **Alge** su autotrofni mikroorganizmi, i imaju sposobnost usvajanja dušika iz zraka, sudjeluju u dekompoziciji organske tvari i utječu na trošenje mineralne komponente tla.

6. PLODNOST TLA

Plodnost tla je njegova sposobnost da biljci osigura hraniva, vodu, zrak i toplinu (edafski vegetacijski čimbenici). Gračanin razlikuje (**cit. Škorić, 1975.**) potencijalnu i efektivnu plodnost tla.

Potencijalnu plodnost definira kao ukupnu količinu biogenih elemenata i bilancu svih njegovih pozitivnih i negativnih značajki, a efektivna plodnost je dio potencijalne i odnosi se na opskrbljenost tla hranivima, vodom, zrakom i toplinom u pristupačnom obliku.

Praćenje plodnosti tla naziva se kontrola plodnosti i ponajprije obuhvaća praćenje fiziološki aktivnih hraniva u tlu (fosfor i kalij), količinu humusa, ukupni sadržaj dušika i reakciju tla. Temeljem ovih laboratorijskih podataka daju se odgovarajuće preporuke za gnojidbu.

U cilju postizanja visokih, stabilnih i kvalitetnih prinosa usjeva nužno je urediti tla nepovoljnih vodozračnih i hranidbenih odnosa mjerama odvodnje ili/i navodnjavanja te agromelioracijskim mjerama uređenja. Osnovni preduvjet za projektiranje ovih sustava je i dobro poznavanje značajki tla, koje su ujedno i jedan od ponajvažnijih kriterija za razvrstavanje tala (sistematika ili taksonomija tala). Važeća klasifikacija tala u Hrvatskoj (**Škorić et al., 1973., Škorić et al., 1985.**) s njenim odnosom prema FAO legendi tala (**Špoljar, 1999.**) daje se u drugoj skripti pod naslovom „Tloznanstvo i popravak tla, II dio“ (**Šimunić i Špoljar, 2007.**). Ova skripta također obuhvaća hidrotehničke i agrotehničke mjere uređenja proizvodnih površina. Tlo s uređenim vodozračnim i hranidbenim režimom garancija je za postizanje visokih i stabilnih prinosa uzgajanih usjeva.

LITERATURA

1. Bašić, F. (1981): Pedodlogija, Sveučilište u Zagrebu, Poljoprivredni institut Križevci, Križevci.
2. Bogunović, M. (1994): Pedološko kartiranje (radni materijali za skriptu), Zavod za pedologiju, Zagreb.
3. Ćirić, M. (1986): Pedologija, «Svjetlost», OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo.
4. FAO (1976): Guidelines for Soil Profile Description, Soil Resources, Rome.
5. FAO (1990a): FAO-Unesco Soil Map of the World: Revised Legend, World Soil Resources Report 60, FAO/Unesco/ISRIC, Rome.
6. FAO (1990b): Guidelines for Soil Description. Soil Resources, Management and Conservation Service Land and Water Development Division, Rome.
7. Herak, M. (1990): Geologija, Udžbenici Sveučilišta, Školska knjiga, Zagreb.
8. Kisić, I., Bašić, F., Butorac, A., Mesić, M., Nestroy, O., Sabolić, M. (2005). Erozijska tla pri različitim načinima obrade, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
9. Kišpatić, M. (1877): Zemljopis, Kr.Hrvatska zemaljska vlada, Zagreb.
10. Marić, L. (1951): Sistematska petrografija, Školska knjiga, Zagreb.
11. Racz, Z. (1981): Meliorativna pedologija, II dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
12. Racz, Z. (1986): Agrikulturna mehanika tla, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
13. SSEW. (1976): Soil survey Field Handbook, tech, Monograph No 5., Edited by J.M. Hodgson, Harpenden.
14. Šestanović, S. (1986): Osnove geologije i petrografije, Školska knjiga, Zagreb.
15. Šimunić, I., Špoljar, A., Peremin-Volf Tomislava (1999): Vježbe iz tloznanstva i popravka tla, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci.
16. Šimunić, I., Špoljar, A. (2007): Tloznanstvo i popravak tla, II dio, recenzirana skripta, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci.
17. Škorić, A. (1973): Tipovi naših tala, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
18. Škorić, A. (1975): Pedologija (skripta), Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
19. Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Posebna izdanja ANU BiH, knjiga LXXVII, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, Sarajevo.

20. Škorić, A. (1986): Priručnik za pedološka istraživanja, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
21. Škorić, A. (1990): Postanak, razvoj i sistematika tla, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
22. Škorić, A. (1991): Sastav i svojstva tla, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
23. Špoljar, A. (1999): FAO klasifikacija s bazom podataka za pedološku kartu Republike Hrvatske sitnog mjerila, Magistarski rad. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
24. Vidaček, Ž. (1993): Hidropedologija (skripta), Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Izdavač:

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima

Lektorica:

Vlatka Raguž, prof.

Tehnički uredili:

mr. sc. Tomislava Peremin Volf i mr. sc. Andrija Špoljar

Recenzenti:

prof. dr. sc. Ivica Kisić
prof. dr. sc. Stjepan Husnjak
prof. dr. sc. Franjo Tomić

Tisak i nakladnik:

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima

Povjerenstvo za izdavačku djelatnost:

mr. sc. Renata Husinec
mr. sc. Zvezdana Augustinović
Sandra Kantar, prof.

Skripta pod naslovom „Tloznanstvo i popravak tla, I dio“ odobrilo je Stručno vijeće temeljem Izvješća Povjerenstva za izdavačku djelatnost na sjednici održanoj 5. srpnja 2007. i prema Odluci dekana, Urbroj 2137-78-06/154-4.

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu

Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu

pod rednim brojem 646569.

ISBN 978-953-6205-09-7 (cjelina)

ISBN 978-953-6205-12-7 (Dio 1)