

# Chemie životního prostředí II – Znečištění složek prostředí

## Pedosféra

(02)

## Základní půdní složky, složení a vlastnosti půd

Ivan Holoubek

**RECETOX, Masaryk University, Brno, CR**

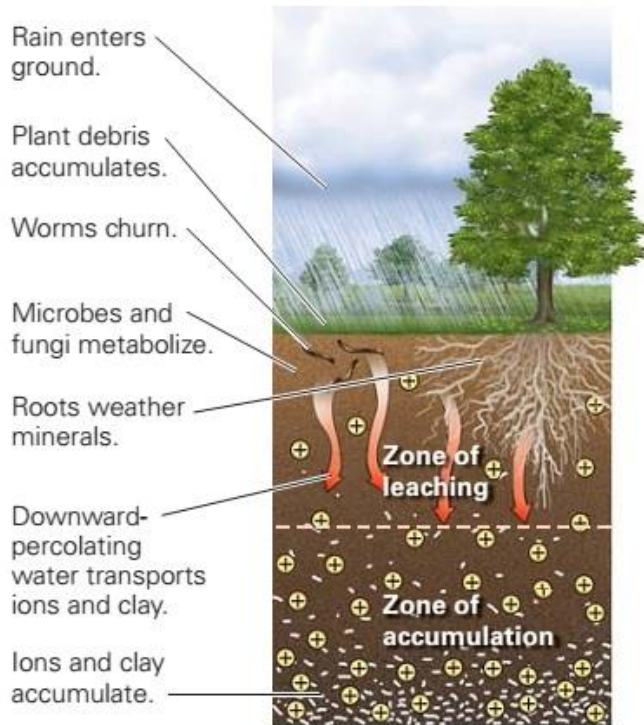
[holoubek@recetox.muni.cz](mailto:holoubek@recetox.muni.cz); <http://recetox.muni.cz>

# Pedosféra

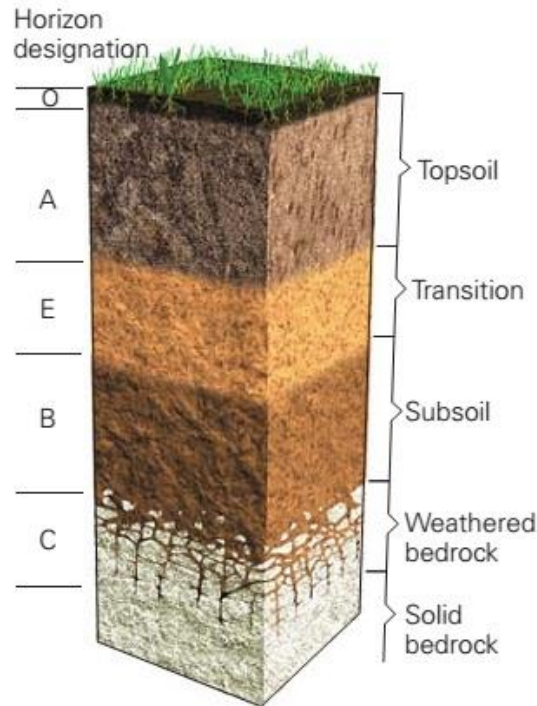
## Půda:

- ↪ rozhraní atmosféry, hydrosféry a litosféry,
- ↪ třífázový polydisperzní systém,
- ↪ substrát s genetickými horizonty,
- ↪ zóna intenzivní interakce mezi biosférou a geosférou,
- ↪ určuje řadu biologických i nebiologických koloběhů a toků látek a energie,
- ↪ reguluje biotické procesy,
- ↪ ovlivňuje chemickou, vlhkostní a teplotní bilanci atmosféry,
- ↪ reguluje hydrologické toky v krajině a chemické složení vod,
- ↪ nenahraditelný přírodní zdroj,
- ↪ základ potravního řetězce člověka,
- ↪ zajišťuje ochranu litosféry před destrukčními procesy,

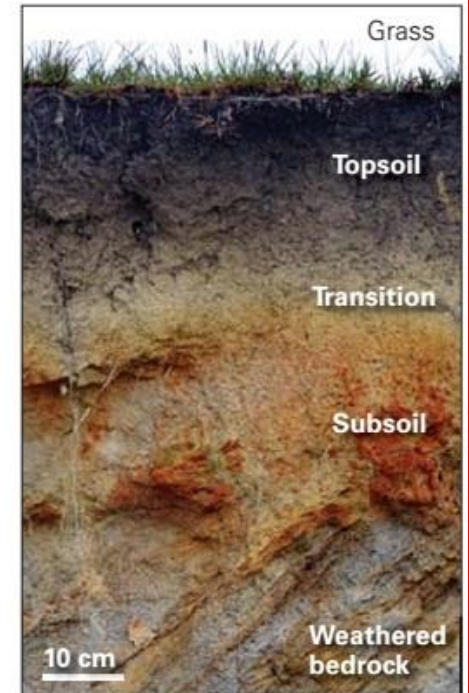
# Půdní horizonty



**(a)** Soil character depends on climate, for climate controls rainfall and vegetation.



**(b)** Distinct soil horizons develop, each with a characteristic composition and texture.



**(c)** Soil horizons exposed on the wall of a gully in eastern Brazil.

# Pedosféra

- ↪ **tlumí nepříznivé vlivy** využití i obhospodařování půd a vlivu průmyslu, dopravy a sídelních aglomerací:
- ⇒ **filtrační funkce** – znečišťující látky jsou půdou mechanicky zadržovány – hlavně částice pod 2  $\mu\text{m}$  – ty mohou být důležité při zasakování vody,
- ⇒ **pufrovací funkce** – rozpustné látky jsou imobilizovány adsorpcí na půdu nebo tvorbou nerozpustných sraženin; vysokou pufrovací schopnost mají půdy s vysokým obsahem organické hmoty, jílových částic a oxidů Fe, Al,
- ⇒ **transformační funkce** – určena především aktivitou mikrobiální složky – mineralizace; oxidace, redukce, biomethylace, fotodestrukce na povrchu,
- ↪ **receptor škodlivin** – sorpční, retenční a transportní procesy – imobilizace, snížení biodostupnosti, degradace.

# Půda

## Chemické složení půdy závisí na:

- ↪ klimatu, který určuje charakter půdotvorných procesů
- ↪ půdní hornině, ze které půda vznikla
- ↪ procesech probíhajících v půdě
- ↪ činnosti člověka
- ↪ poměr anorganické : organické látky  $\cong 10 : 1$
- ↪ 50 % O, 25 % Si, Al (jíl), Fe, Ca (vápenec, sádrovec), Na, K, Mg, H, Ti, podstatně méně C, Cl, P, S, Mn
- ↪ zdroj biogenních prvků – nedostatek v půdě – endemický výskyt onemocnění
- ↪ organický (neživý) podíl – půdní organická hmota, humus

# Půda

## Půdní pH:

- ↪ ovlivňuje rozpustnost a dostupnost látek v půdě (využitelnost živými organismy)
- ↪ pH půdy:
  - zásadité -  $< 7,5$
  - neutrální –  $6,4 - 7,4$
  - slabě kyselé –  $4,6 - 5,2$
  - silně kyselé –  $4,1 - 4,5$
  - velmi silně kyselé -  $< 4$
- ↪ zvýšená kyselost – snížení rozpustnosti sloučenin Ca, Mg, K, Na – může být až pod nezbytné životní minimum rostlin, ovlivnění využitelnosti fosforečnanů, zhoršení životních podmínek pro půdní mikroorganismy.

# Půda

## Teplota:

- ↪ zdroj – sluneční záření, horké zemské jádro, biochemické procesy
- ↪ mění se s hloubkou
- ↪ denní kolísání T – 0,5 - 1 m
- ↪ roční kolísání T – do 10 m
- ↪ ~ 10 °C – 10 – 30 m
- ↪ < 30 m - pokles o 1 °C na 32,7 m – geotermický stupeň
- ↪ jeden ze základních faktorů ovlivňujících biochemické procesy

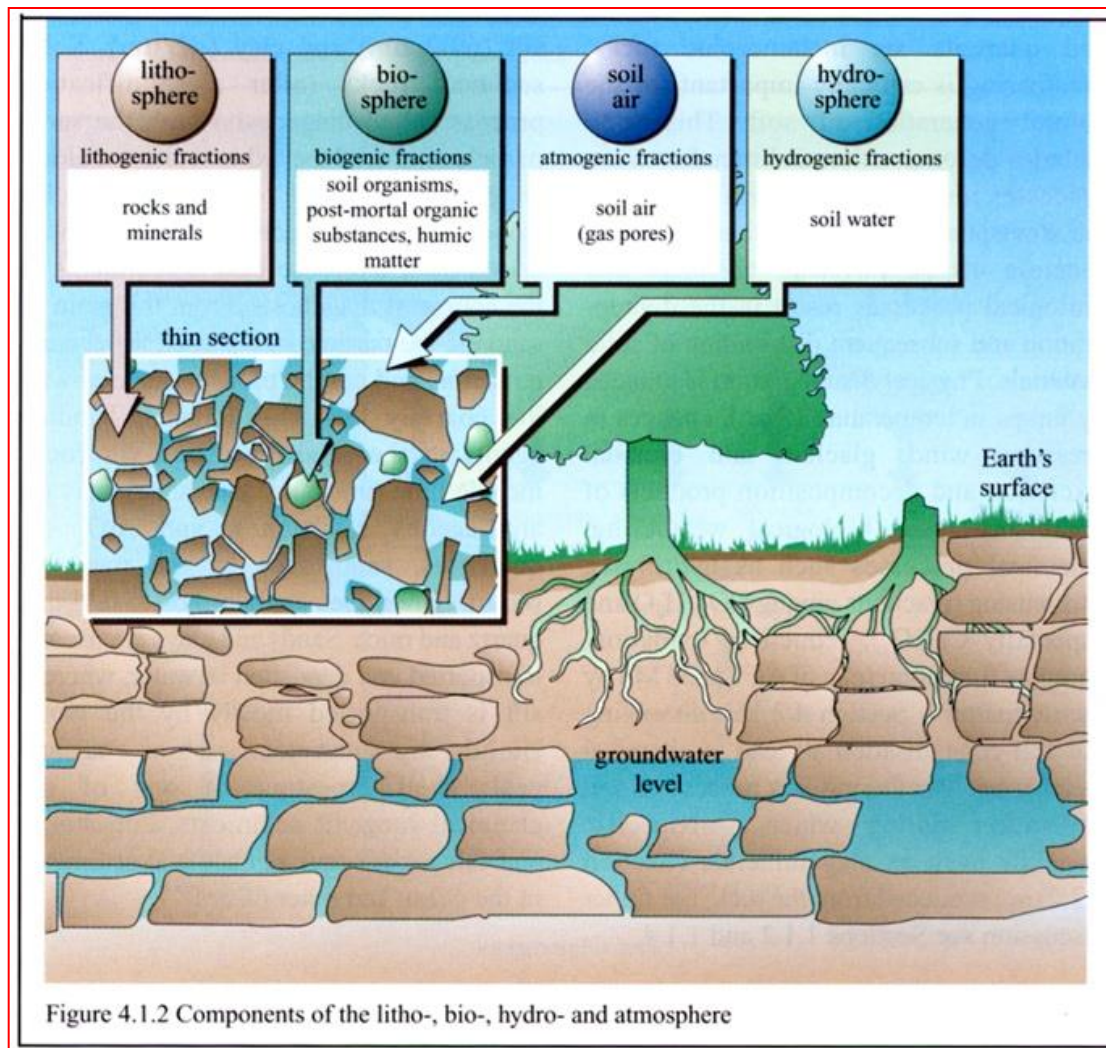
# Složky půdního systému

## Abiotické:

- ↪ **tuhá fáze** – zbytky matečné horniny z větší části chemicky a fyzikálně přeměněné procesem zvětrávání; nejdůležitější anorganickou složkou jsou jílové minerály – výměna iontů, adsorpce; 35 – 45 % objemu půdy;
- ↪ **kapalná fáze (půdní roztok)** – transport živin vegetaci, transport polutantů; 15 – 35 % objemu půdy;
- ↪ **plynná fáze (půdní plyn)** – v podstatě stejné složení jako vzduch obohacený o CO<sub>2</sub>, HCs a další produkty rostlinného a živočišného metabolismu, 15 – 35 % objemu půdy;
- ↪ **humus** – půdní organická hmota - neživá biomasa v různém stupni rozkladu; 5 – 15 %



# Složky půdního systému



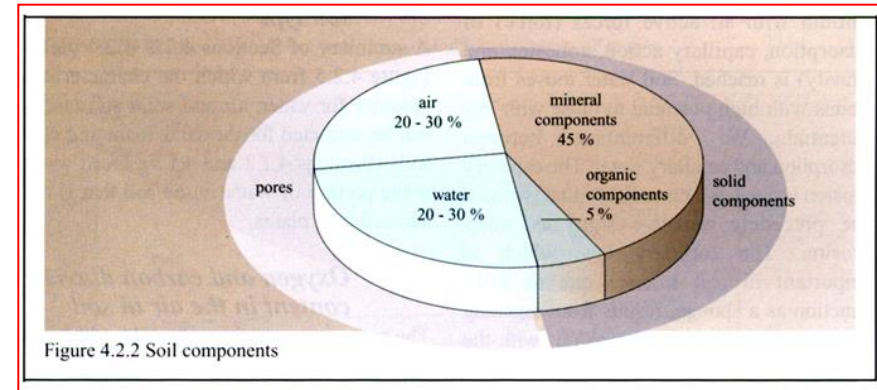
# Složky půdního systému

## Biotické:

- ↪ **edafon** – společenstvo všech mikroorganismů, rostlin a živočichů žijících v půdě
  - fytoedafon – bakterie, plísně, houby, sinice, řasy,
  - zoodafon – všechny formy živočichů od prvoků až po obratlovce
- ↪ **kořenový systém rostlin**

Suma živých organismů - < 0,1 %

## Bio-organo-minerální komplex



# 6 základních skupin půdních složek

- ↪ Hrubozrnné anorganické látky
- ↪ Anorganické koloidy
- ↪ Organické látky
- ↪ Živé organismy
- ↪ Půdní roztoky
- ↪ Půdní vzduch

# Vztahy mezi typy hornin

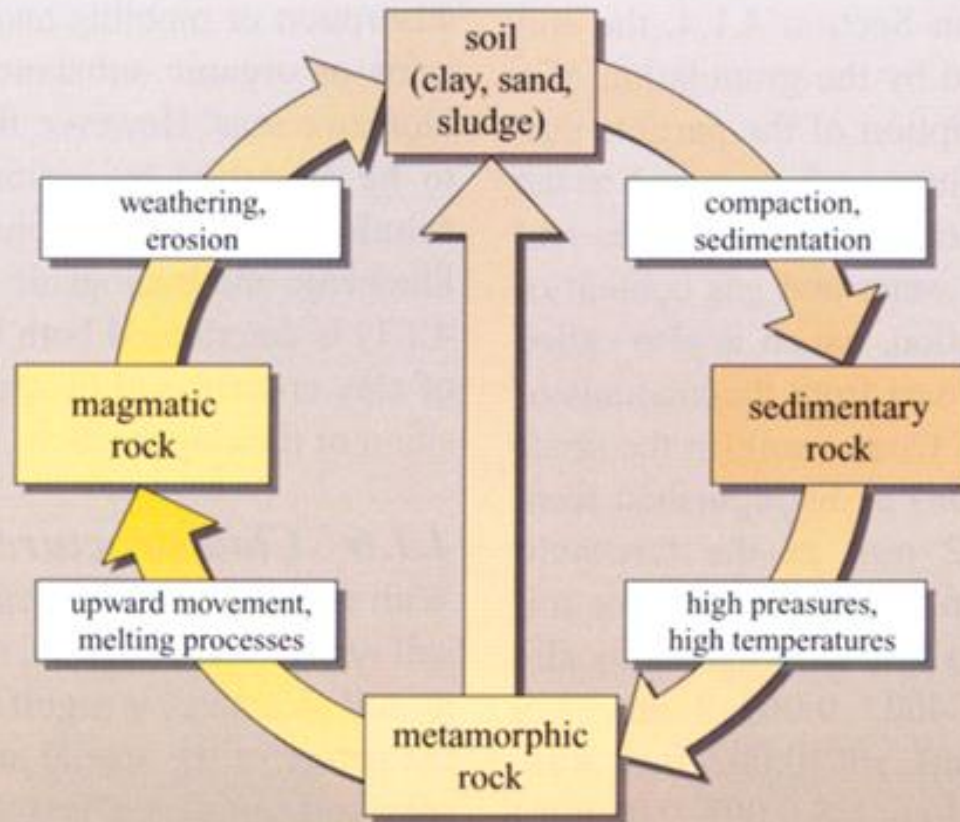
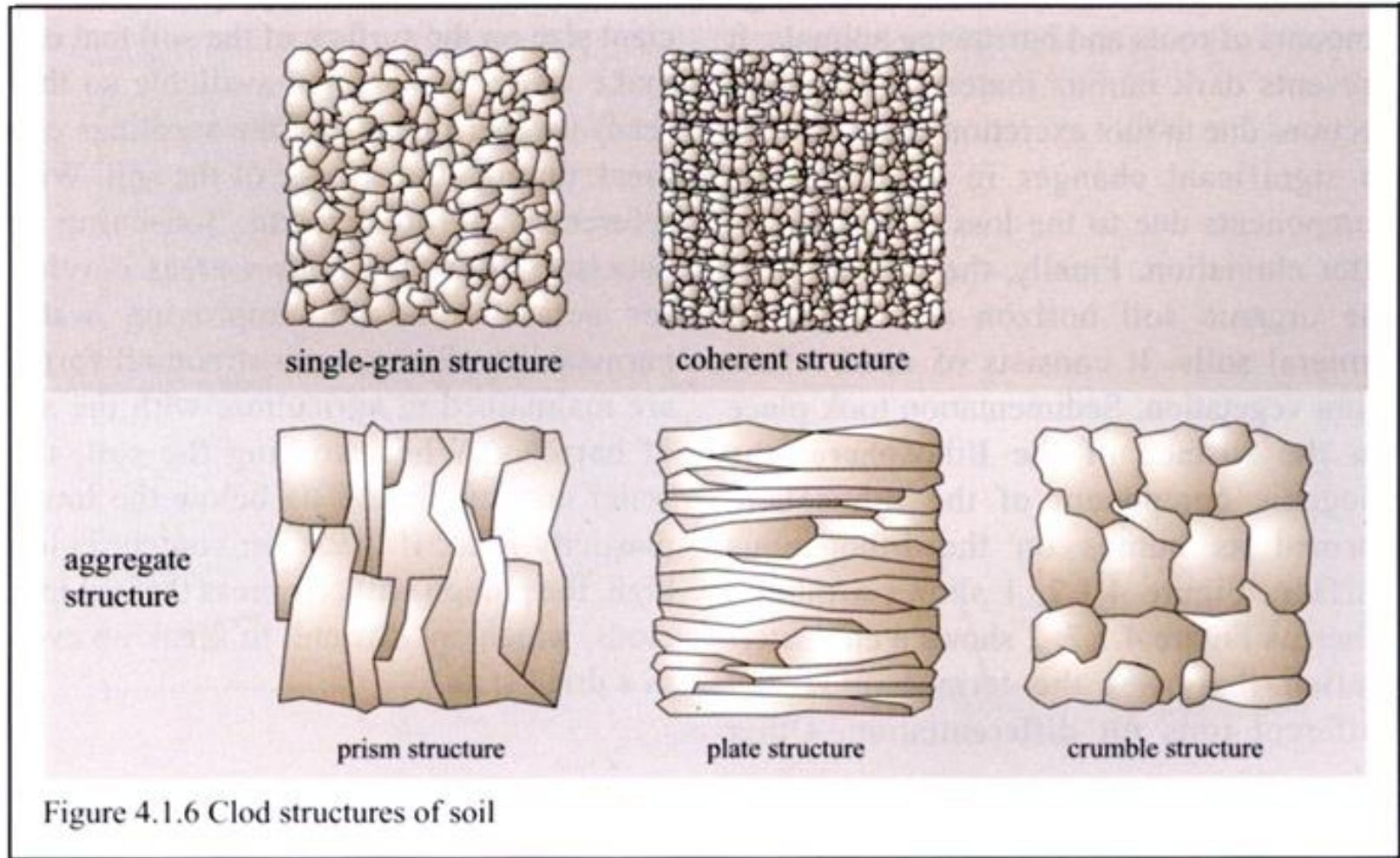


Figure 4.1.3 Interrelationships among types of rock

# Mechanická struktura půdy



# Hrubozrnné anorganické látky

**Hrubozrnné anorganické látky** jsou tvořeny úlomky hornin a minerálů různé velikosti (oblázky – štěrk – písek – prach) souhrnně jsou označovány jako **skelet**.

## Skelet:

- ↪ Alotigenní (klastogenní)
- ↪ Autigenní (novětvořený)

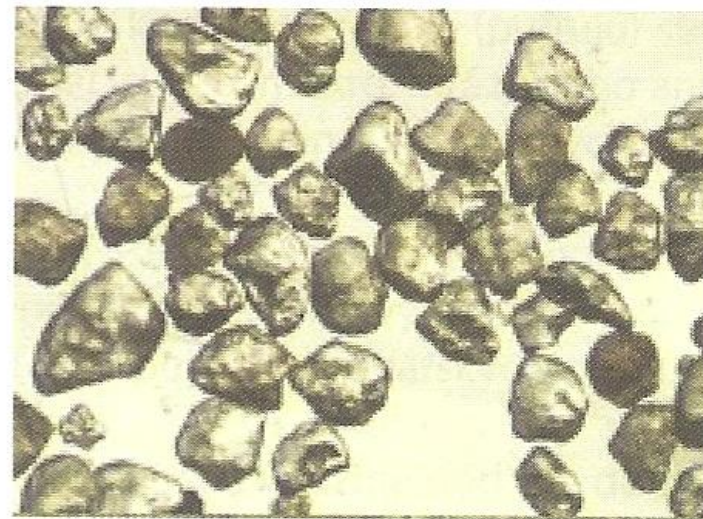
# Alotigenní skelet

Je zděděný od **podložních mateřských hornin** představuje jejich **nezvětranné součásti** (sedentární půdy) nebo v případě pokud je substrát sediment, byly přeneseny na místo jejich výskytu v **procesu sedimentace**.

Množství, velikost, opracování a mineralogicko-litologická povaha **skeletu vypovídá** podmínkám a stupni vývoje půdy, o původu půdotvorných substrátů, o způsobu jeho sedimentace, přeměnách při zvětrávání či vlivem pedogeneze.

**Dle obsahu nejrozšířenějších minerálů nebo úlomků hornin** je možné odhadnout minerální zásoby půd a přibližně jejich chemické složení.

# Allotigenní skelet



Allotigenný (klastogenný) skelet v půdě  
(vľavo silne kamenitá pôda, vpravo opracované zrná piesku pod mikroskopom)

Úlomky hornin a minerálů jsou obvykle považovány za **inertní složky** – může však docházet ke změnám jejich hustoty, pórovitosti, obsahu organických látek, sorpčních vlastností. **Skelet** vedle toho, že je fyzikálním prostředím, vytváří i **specifické chemické prostředí pro rostliny.**



# Alotigenní skelet

Půdy jsou **produkty rozpadu mateřských hornin** – budou v nich převládat minerály tvořící nejpodstatnější část zdrojových substrátů.

Celkové známé množství minerálů – kolem **3 000**, běžných, horninotvorných je asi **20**.

V půdách se vyskytuje 10 nejběžnějších – 90 %.

**Ve většině půd převládají křemen, živce, slídy.**

Méně časté jsou olivín, pyroxény, amfiboly (hlavní komponenty bazických a ultrabazických hornin) – jsou méně odolné vůči chemickému zvětrávání.

# Alotigenní skelet

Název	Chemický vzorec	Význam
Kremeň	$\text{SiO}_2$	najviac v piesčitej a prachovej frakcii
Živce	$(\text{Na},\text{K})\text{AlO}_2[\text{SiO}_2]_3$ $\text{CaAl}_2\text{O}_4[\text{SiO}_2]_2$	bežné v menej zvetraných pôdach na substrátoch pôvodom z vyvretých a metamorfovaných hornín
Sludy	$\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_5[\text{Si}_2\text{O}_5]_3\text{Al}_4(\text{OH})_4$ $\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_5[\text{Si}_2\text{O}_5]_3(\text{Mg},\text{Fe})_6(\text{OH})_4$	najbežnejší zdroj $\text{K}^+$ v pôdach
Amfiboly	$(\text{Ca},\text{Na},\text{K})_{2,3}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5(\text{OH})_2[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{11}]_2$	ľahko zvetratelné minerály
Pyroxény	$(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe},\text{Ti},\text{Al})_2(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$	ľahko zvetratelné minerály
Olivín	$(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$	ľahko zvetratelné minerály
Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})\text{Al}_2(\text{OH})\text{Si}_3\text{O}_{12}$	rezistentné voči chemickému zvetrávaní
Turmalín	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH},\text{F})_4$	akcesorické, rezistentné
Zirkón	$\text{ZrSiO}_4$	akcesorické, rezistentné
Rutil	$\text{TiO}_2$	akcesorické, rezistentné

Najbežnejšie primárne minerály v pôde (Hasset a Banwarth, 1992).

# Autigenní skelet

**Vznik přímo v prostředí půd, je odrazem podmínek tvorby půd a jejich vývoje v geochemickém a biohydrologickém koloběhu.**

**Tvoří významnou identifikační skupinu pro interpretaci podmínek pedogeneze.**

**Půdní autigenní složky – karbonáty (kalcit, aragonit, dolomit), sírany (sádrovec), oxidy (Fe, Al, Mn), křemenné složky (opály, křemen), méně často sulfidy.**

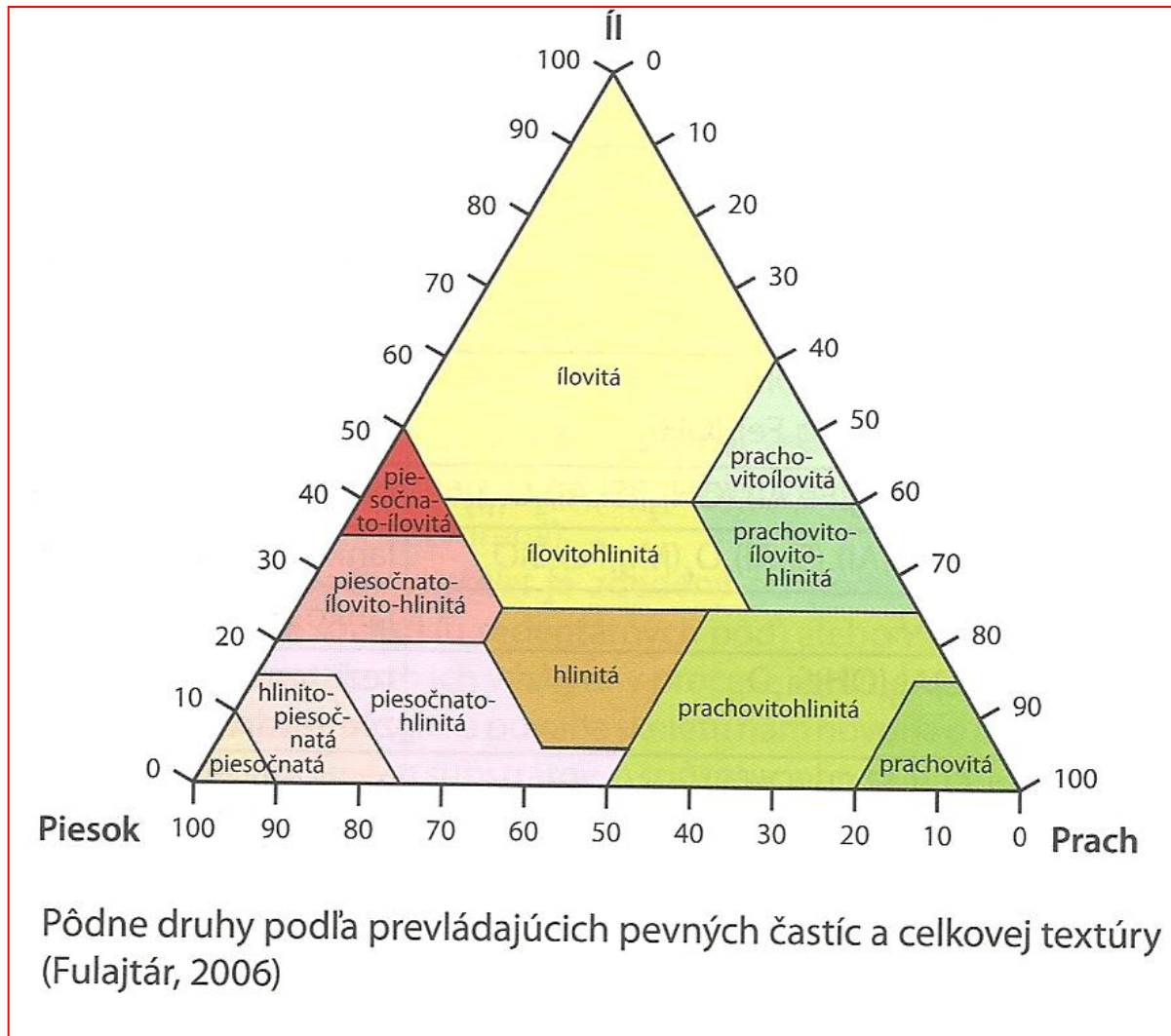
# Alotigenní skelet

**Zrnitost půdy** – vztahuje se na relativní zastoupení písku, prachu a jílu.

**Nejdůležitější půdní charakteristika** – závisí na ni vodní kapacita, infiltrace, zásobení vodou, aerace, půdní úrodnost, opracovatelnost.

**Zrnitostní třídy** – zrnitostní trojúhelník.

# Alotigenní skelet



# Anorganické koloidy

V půdě se nacházejí anorganické a organické koloidní částice.

## Anorganické:

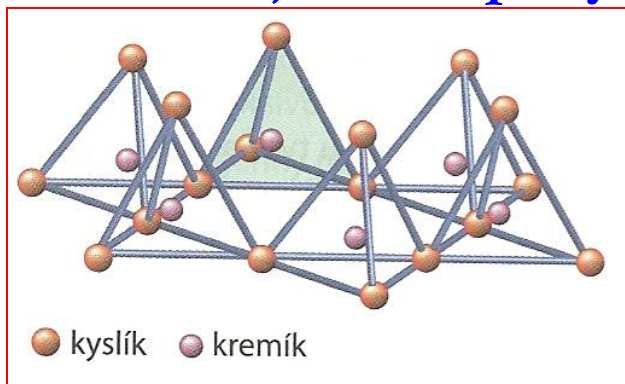
- ↪ Jílové minerály
- ↪ Jemně disperzní oxidy (oxihydroxidy, hydroxidy)

**Jílové minerály** – absolutně převládají – většinou patří mezi tzv. fylosilikáty – vodnaté alumosilikáty s vrstevnatou (výjimečně řetězovitou) strukturou.

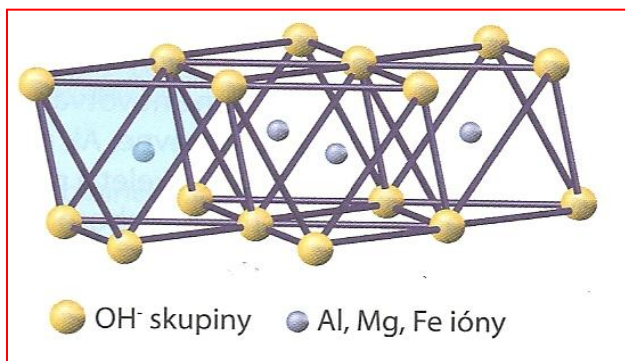
# Anorganické koloidy

Základní stavební komponenty:

**SiO** – tetraedry, jeden ion Si je obklopený 4 atomy O



**Al(Mg)** – oktaedry, atomy Al (Mg) jsou oklopeny 6 ionty OH<sup>-</sup>



# Anorganické koloidy

Jílové minerály se nacházejí v půdách hlavně v jílové frakci < 0,002 mm.

Jsou nositeli významných koloidních vlastností půd – sorpční kapacita, vazba a uvolňování vody a živin, objemové změny, dispergace, koagulace.

Mají velký měrný povrch v rozmezí 5 – 800 m<sup>2</sup> 100 g<sup>-1</sup> a negativní povrchový elektrický náboj.

Tvoří tedy v makroměřítku elektronegativní koloidy s trvalým nábojem a mohou vázat především kationty.



# Anorganické koloidy

Dvě velké skupiny:

- ↪ Amorfní
- ↪ Krystalické

**Amorfní jílové minerály** – alofán, imogolit – alumosilikáty s proměnlivým složením (Al, Si, O, H).

**Krystalické** – fylosilikáty – vodnaté alumosilikáty s vrstevnatou strukturou se 4 stupni organizace atomů – roviny, sítě, vrstvičky, krystaly

# Anorganické koloidy

Anorganické koloidy v půdě mohou mít různý původ:

- ↪ **Zděděný** - od předcházejícího stádia zvětrávání (pedogeneze)
- ↪ **Nově vznikající** – vznikající při zvětrávání hornin a minerálů, krystalizací z roztoků nebo reakci z amorfních složek
- ↪ **Proměnné** – při pedogenezi a zvětrávání podleli některým chemickým změnám, ale zachovali si původní typ (vrstevnaté) struktury.

# Koloidní vlastnosti jílových minerálů a doprovodných koloidních složek

## Povrchové náboje koloidů

Řada reakcí probíhajících v půdách spojených s jílovou frakcí probíhá na rozhraní tuhé a kapalné nebo plynné fáze – kationová výměna, adsorpce vody a živin, polutantů.

Tyto povrchy mohou být rozděleny do tří kategorií:

- ↪ Povrchy tvořené vazbami **Si–O–Si** charakteristické pro křemíkovo-kyslíkaté tetraedry – **siloxanové vazby** – jílové minerály skupiny 2:1

# Koloidní vlastnosti jílových minerálů a doprovodných koloidních složek

- ↪ Povrchy tvořené **O–Al–OH** vazbami v oktaedrických vrstvách – povrchy exponované OH skupinami, pod kterými se nacházejí koordinované Al, Fe, Mg atomy v centru oktaedrických vrstev – OH skupiny mohou podléhat disociaci a vedou ke vzniku negativních povrchových nábojů
- ↪ Povrchy tvořené **Si–OH** nebo **Al–OH** spojené s amorfními složkami – **silanolové povrchy (Si–OH)**, **aluminiové povrchy (Al–OH)**, **ferolové povrchy (Fe–OH)** – jsou přítomny v půdách, které obsahují **amorfní gely nebo alofány**. Jiné **chování povrchu** - mají většinou velký měrný povrch, variabilní náboje, povrch je exponován OH skupinami.

# Povrchové náboj koloidů

Povrchové náboje jílových minerálů mohou být výsledkem různých reakcí, z nichž jsou nejdůležitější:

- ↪ **Izomorfní záměna** – v tetraedrických nebo oktaedrických pozicích – Si bývá nahrazován Al; Al za Mg, Ca za Na – princip přibližně stejných iontových poloměrů
- ↪ **Protonace vázaných OH skupin** – vede ke vzniku proměnlivě pH závislých nábojů – vznikají na narušených hranách jílových minerálů, v některých humusových polymerech (interakce s  $-\text{COOH}$ ), v sekundárně hydratovaných oxidech. Mohou být kladné nebo záporné v závislosti na pH .

# Povrchové náboj koloidů

**Hodnota pH, při které jsou koloidy s proměnlivým nábojem neutrální (mají nulový náboj) – nulový bod náboje.**

**Nad touto hodnotou jsou povrchy negativní, pod ní pozitivní.**

**Sekundární Fe-oxidy (ferrihydrit) – nulový bod při pH = 8,5, sekundární oxidy Al při pH = 8,2 – nemají tedy velký vliv na kationtovou výměnnou kapacitu v kyselějších podmínkách.**

**Organické koloidy (humínové polymery) mají nulový bod při pH = 3 – 5 – proto mají vysokou sorpční schopnost v půdách s pH > 5.**

# Měrný povrch

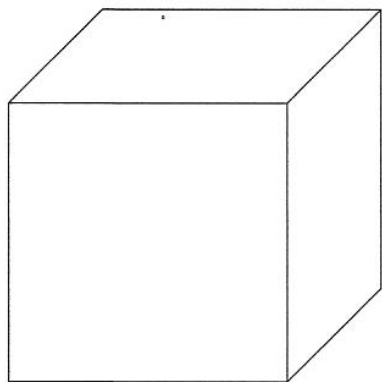
**Měrný povrch půdy – vlastnost půdy nebo její jílové frakce – vyjadřuje celkovou plochu na jednotku hmotnosti nebo objemu.**

**Hodnoty jsou třeba pro interpretaci vlastností povrchu, adsorpční rychlosti, sorpční kapacity, výměny iontů.**

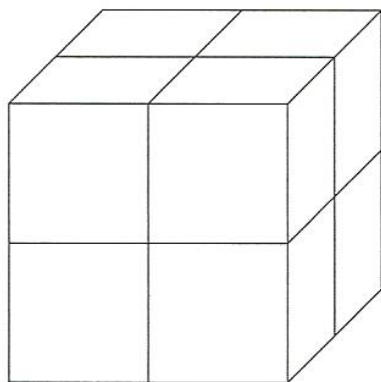
**Plocha měrných povrchů se obecně zvyšuje se zmenšováním jílových částic.**

**Různé typy koloidních složek projevují koloidní vlastnosti při různé velikosti měrných povrchů.**

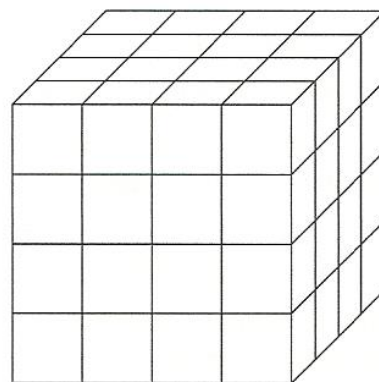
# Měrný povrch



a)  $M_p = 6 \cdot 1 \cdot 1 = 6 \text{ cm}^2$   
 $M_{pt} = 6 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

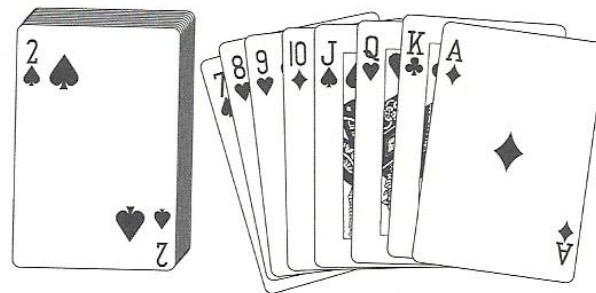


b)  $M_p = 6 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ cm}^2$   
 $M_{pt} = 1,5 \cdot 12 = 8 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$



c)  $M_p = 6 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ cm}^2$   
 $M_{pt} = 0,375 \cdot 64 = 24 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

Obr. 1.22. Schematická prezentácia výpočtu merného povrchu na príklade delenia kocky



Porovnanie balíčka kariet a jednotlivo rozložených kariet, nám dáva predstavu o zväčšení ich merného povrchu



# Flokulace a dispergace

**Agregovaný stav půdy závisí na charakteru koloidů a na přítomnosti iontů, které jsou na ně vázané.**

**Částičky drží pohromadě a tvoří agregáty – flokulují – v důsledku přitažlivých sil (elektrostatické, van der Waalsovy, vodíkové) obvykle jsou-li na povrchu ionty jako  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ .**

**Stabilizace flokulovaného stavu nastává působením cementačních látek jako je humus, karbonáty, oxidy Fe, Mn, Al, Si – strukturotvorné látky – bez agregace by do půdy nepronikal vzduch ani voda, je to děj důležitý pro rychlost infiltrace vody, retenční a filtrační schopnost, aeraci, drenáž – flokulace ovlivňuje množství a distribuci pórů.**

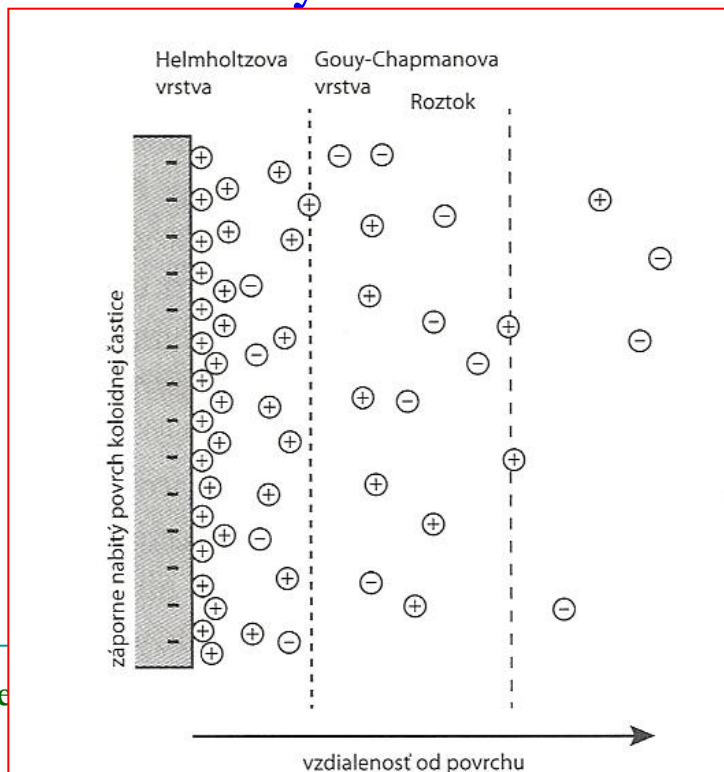
**Dispergace – odpuzování jednotlivých částic – za přítomnosti velkých kationtů s malým nábojem –  $\text{Na}^+$**

# Bobtnání a smršťování

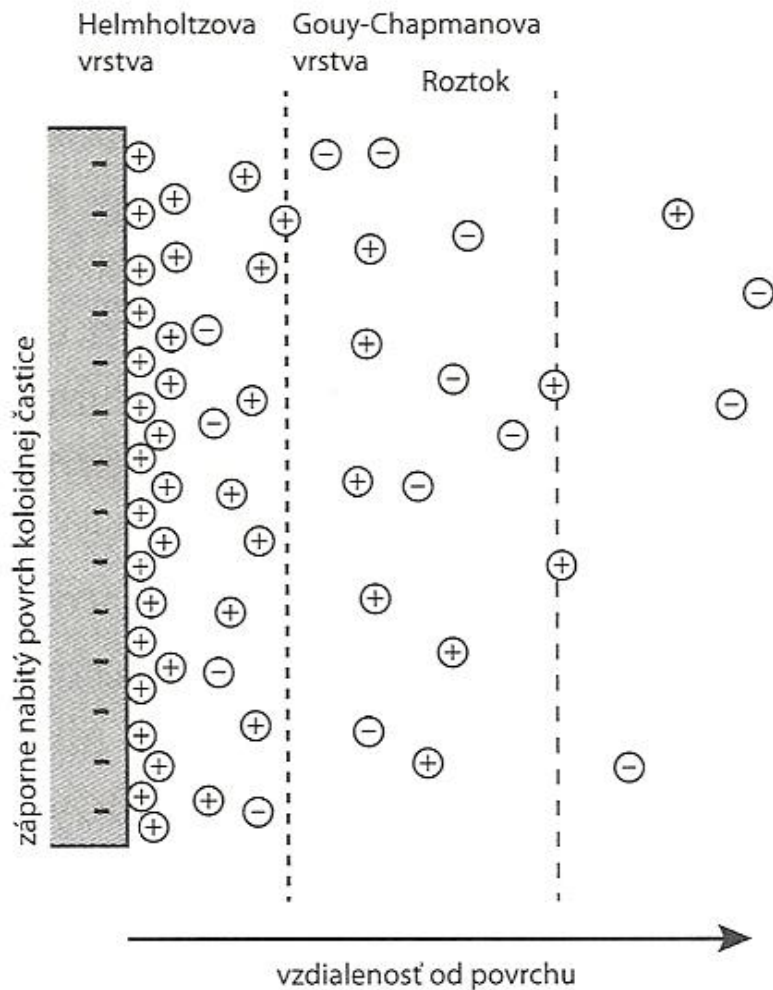
**Bobtnání – půdy jsou vysušené a znovu ovlhčeny – tyto objemové změny jsou funkcí přítomných koloidních složek, zejména jílu.**

**Pokud voda proniká do půd, minerály s nabobtnávací strukturou (smektity) mají schopnost expandovat.**

**Teorie nabobtnávání a smršťování vychází z teorie difuzní dvojvrstvy.**



# Difuzní dvojvrstva



**Kladné ionty** jsou  
přitahovány k povrchu a  
tvoří vrstvou  
přitahovanou k povrchu  
Coulombovými silami a  
tvoří **za velmi suchých  
podmínek.**

Když jsou **koloidy  
hydratované**, opačně  
nabité kladné ionty už  
nejsou silně přitahovány  
k povrchu a **mají  
tendenci difundovat do  
kapalně fáze**

# Sorpční jevy a výměna iontů

Sorpční jevy a výměna iontů probíhají v půdách zejména na rozhraní pevných a kapalných fází.

Sorpce iontů a následná výměna jsou procesy probíhající mezi koloidními složkami půd a půdními roztoky.

**Nejvýznamnější komponenty** – jílové minerály, huminové látky, karbonáty, oxidy Fe, Mn, Al, Ti, **mikroorganismy**.

Sorpce iontů závisí na velikosti povrchových nábojů – sorpční kapacita – je definována jako schopnost udržet určité množství látky ve výměnných pozicích koloidů v  $\text{cmol kg}^{-1}$  půdy.

**Sorpce stopových prvků na půdní koloidy ovlivňují** – typ a kvalita půdních koloidů, pH, koncentrace kationtů v roztoku, přítomnost konkurenčních iontů, přítomnost anorganických a organických ligandů.

# Sorpční jevy a výměna iontů

Největší sorpční kapacitu mají půdy s obsahem jílových minerálů smektické skupiny, nejmenší kapacitu mají půdy s kaolinitem.

Sorpční kapacita klesá v řadě:

Smektity ~ vermikulity > illit, chlorit > halozit > kaolinit

Rozlišujeme kationovou a anionovou výměnnou kapacitu.

# Kationtová výměnná kapacita

**Kationová výměnná kapacita je definována jako celkové množství vyměnitelných kationů, která se může adsorbovat při specifickém pH.**

**Reversibilní proces, velmi důležitý z pohledu výživy rostlin.**

**Vztahuje se na výměnu kationů, které vyrovnávají povrchové náboje koloidů a kationů přítomných v roztoku. Závisí na hustotě nábojů půdních koloidů.**

**V přírodních podmínkách jsou nejčastějšími vyměnitelnými iony  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , v kyselých půdách –  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , v alkalických půdách bez přítomnosti  $\text{H}^+$  může převládat  $\text{Na}^+$ .**

# Efektivní kationová kapacita

**Kationová výměnná kapacita** měřená při aktuální hodnotě pH (< 7) se vypočítá jako součet pěti v půdách nejrozšířenějších kationů –  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$

V alkalickém prostředí součet těchto kationů odpovídá zhruba sorpční kapacitě.

Písčité půdy – nízké – 1 – 5  $\text{cmol kg}^{-1}$

Hlinité půdy – 5 – 30  $\text{cmol kg}^{-1}$

Jílovité půdy – 30 – 300  $\text{cmol kg}^{-1}$

Minerální půdy – až nad 60  $\text{cmol kg}^{-1}$

Organické půdy – až 200  $\text{cmol kg}^{-1}$

# Stupeň nasycení půdního komplexu

Stupeň nasycení půdního komplexu se vyjadřuje v % jako stupeň nasycení bazickými kationy:

$$\% \text{ nasycení} = \Sigma (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{Na}^+) * 100 / \text{CEC}$$

K bazickým kationům patří ještě  $\text{NH}_4^+$ , tyto kationy redukují kyselost půd

Normální rozsahy obsahu hlavních kationtů v sorpčním komplexu a indikace jejich zvýšeného obsahu:

Kation	Normální rozsah [%]	Poznámky
$\text{H}^+$	6 – 12	> 50 % indikuje velmi kyselý charakter půd, nízká hodnota indikuje odolnost vůči acidifikaci
$\text{Na}^+$	< 5	> 15 % indikuje alkalické, dispergované půdy
$\text{K}^+$	5 – 10	Nízký podíl jílu
$\text{Ca}^{2+}$	60 – 70	Obsah $\text{Ca}^{2+}$ by měl být 3 – 6krát vyšší než obsah $\text{Mg}^{2+}$
$\text{Mg}^{2+}$	15 – 25	Důležitý pro produkci chlorofylu
$\text{Al}^{3+}$	< 2	Toxický při vyšších koncentracích



# Aniontová výměnná kapacita

**Aniontová výměnná kapacita** je spojena s uplatněním následujících mechanismů:

- ↪ Přítomnost amino skupin v huminových látkách
- ↪ Přítomnost exponovaných kationů na hranách narušené krystalické struktury
- ↪ Ionizace OH skupin v koloidech jako  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  nebo isomorfní záměnou  $\text{Ti}^{4+}$  za  $\text{Fe}^{3+}$  v oxidech Fe

**Jílové minerály** jsou nositeli převážně **negativních nábojů**, proto je sorpční kapacita minerálních půd ve vztahu ke kationům výrazně vyšší než ve vztahu k anionům – **aniontová výměna** je obvykle **maskována větší** kationovou výměnnou kapacitou.

Aniontová výměna je **nepřímo úměrná pH** – čím jsou hodnoty pH vyšší, tím je AVK nižší.

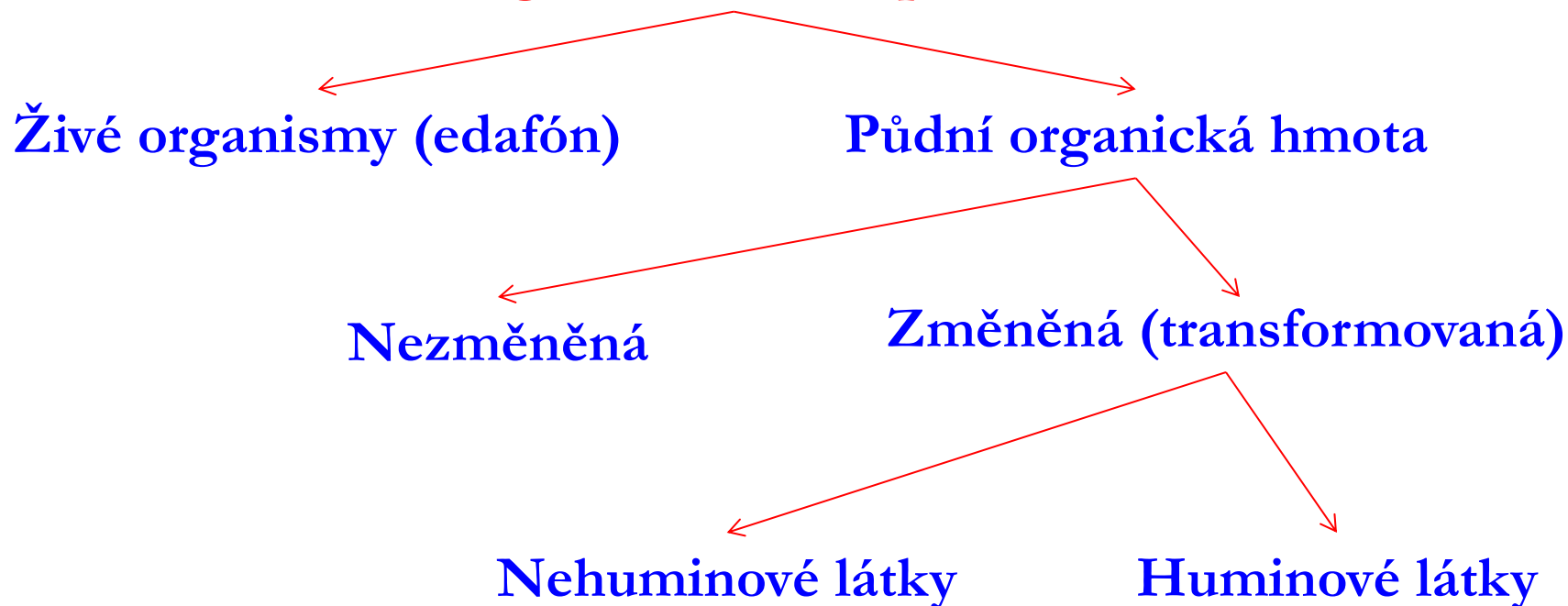
Nitráty – slabá adsorpce, jsou převážně v roztoku, fosfáty naopak mohou být v kyselém prostředí velmi silně adsorbované až

fixované.

# Organické látky

V půdách velmi heterogenní skupina – mohou být rostlinného, živočišného i mikrobiálního původu – relativně čerstvé, v různém stupni rozkladu a přeměny nebo úplně rozložené.

## Organické látky v půdě



# Organické látky

**Půdní organická hmota (SOM) zahrnuje:**

- ↪ Materiály, u kterých je anatomie původních rostlinných těl viditelná
- ↪ Úplně rozložený materiál

**Rozložené látky:**

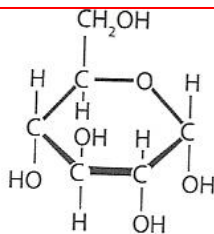
- ↪ Sacharidy
- ↪ Aminokyseliny a bílkoviny
- ↪ Lipidy
- ↪ Třísloviny a fenoly
- ↪ Lignin
- ↪ Humus

# Organické látky

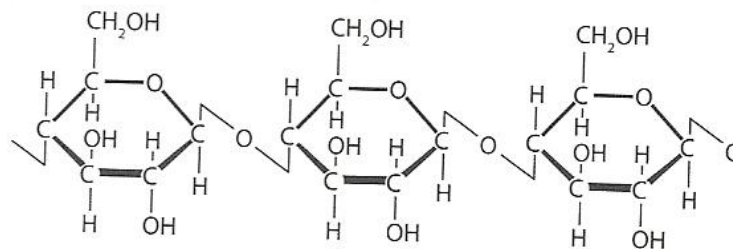
**Sacharidy (polysacharidy)** – mají velký vliv na fyzikální vlastnosti půd, výměnné reakce, na tvorbu organominerálních komplexů a na vznik humusu.

V aerobních podmínkách – rozklad na  $\text{CO}_2$  a vodu, v anaerobních na  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$ , někdy na ethylén.

Nejčastěji se vyskytující – celulóza a hemicelulóza



Modelová struktúra glukózy  
(Stevenson, 1982; Drozd et al., 1997)



Obr. 1.27. Modelová struktúra celulózy  
(Stevenson, 1982; Drozd et al., 1997)

# Organické látky

**Bílkoviny a aminokyseliny** – přítomné karboxylové skupiny jsou nositeli proměnných povrchových nábojů a podílejí se na výměnných reakcích.

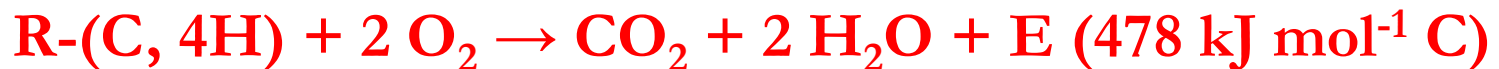
**Lipidy** – různé sloučeniny mastných kyselin, vosků, olejů – rozpustné v organických rozpouštědlech, jejich význam spočívá ve vlivu na tvorbu struktury, vznik humusu, vazbu některých živin (P)

**Třísloviny a fenoly** – heterogenní polymerní sloučeniny, kumulující se v opadu po odumření rostlin. Jejich obsah závisí na typu rozkládající se vegetace, mají antibakteriální účinky a proto podporují kumulaci opadu, zejména v podmínkách lesních půd.

# Organické látky

**Ligniny** - vysokomolekulární aromatické polymery – významný zdroj tvorby humusu – velká resistance proti mikrobiálnímu rozkladu, kumulují se v půdách. Podle podmínek jsou základem tvorby rašeliny a uhlí (lignitu).

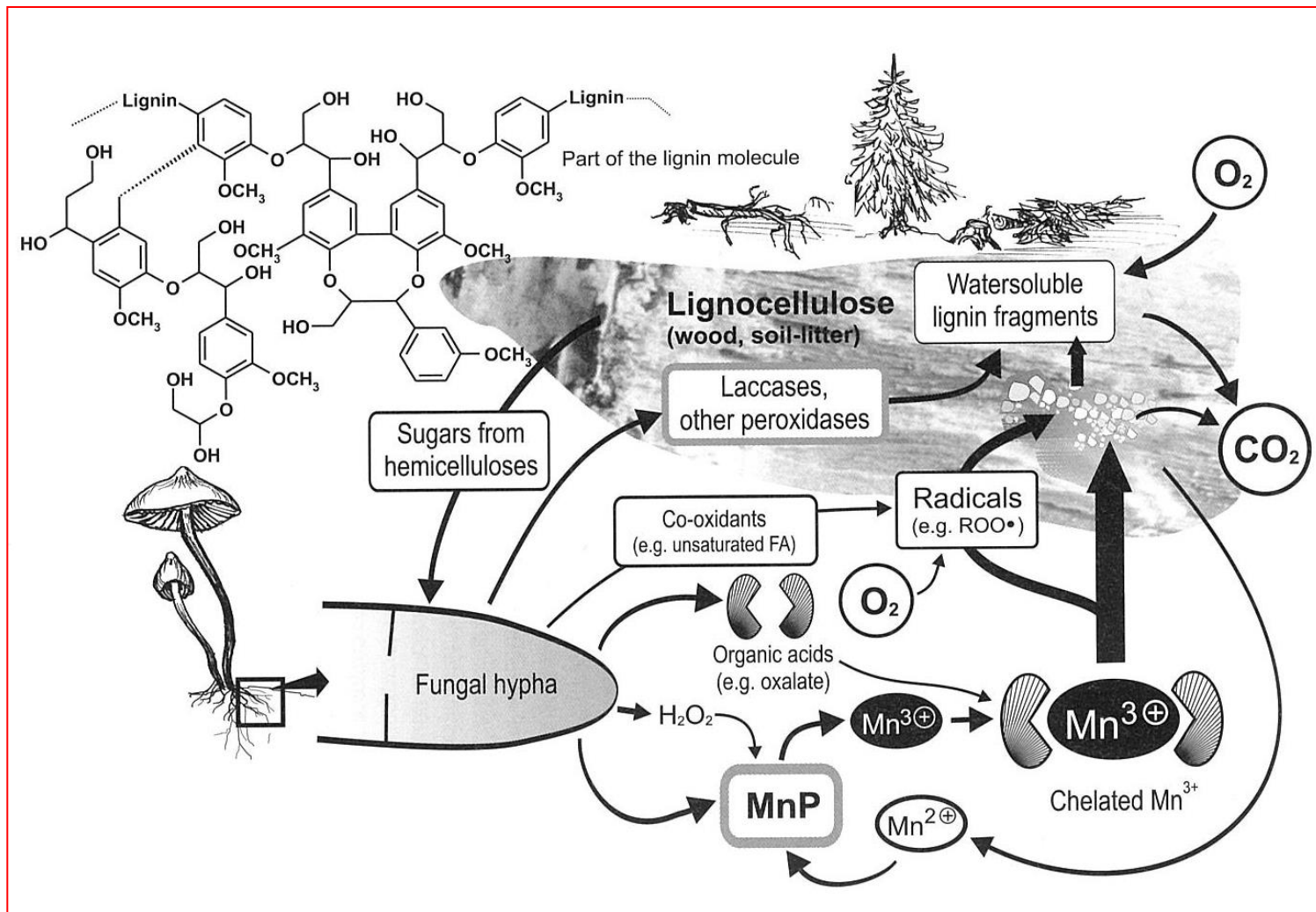
**Aerobní rozklad OL** – enzymatická oxidace C na CO<sub>2</sub> a vodu z rozkladu biomasy:



Ve slabě provzdušněných půdách je rozklad OL pomalý – nízký obsah aerobních mikroorganismů, časem se zvětšuje obsah částečně rozložených látek.

**Rozklad a mineralizace** jsou variabilní a mohou trvat roky – závisí na T, obsahu vody, aeraci a struktuře OL.

# Degradace ligninu – „enzymatické spalování“ – Mn peroxidazou basidiomycet



# Organické látky

**Konečný produktem** chemického a mikrobiálního rozkladu OL jsou **huminové látky (humus)**.

Humus a organické látky – **nejsou to synonymní pojmy**.

**Humus** je směs hnědých až černých OL amorfnní koloidní povahy, které jsou výsledkem mikrobiálního rozkladu – jsou definované jako **amorfní, koloidní polydisperzní látky s relativně vysokou molekulovou hmotností**.

Dělí se na **frakce podle rozpustnosti v kyselých nebo zásaditých roztocích** – huminové kyseliny, fulvokyseliny, hymatomelanové kyseliny, huminy.

Vysokomolekulární látky složité struktury, **odolné vůči dalšímu rozkladu**, dávají půdám tmavé až černé zbarvení.



# Organické látky

**Huminové látky** – složité, ne příliš dobře definované směsi, tvoří kolem 60 – 80 % OL v půdách.

**Rozpustné organické látky (ROL) (Dissolved Organic Matter – DOC)** – frakce OL pod 0,45  $\mu\text{m}$  přítomných v půdním roztoku (ve vodě) – jednoduché sloučeniny (cukry, aminokyseliny organické nízkomolekulární kyseliny – hrají roli v přenosu kontaminantů vázaných na tuto frakci.

# Význam humusu a huminových látek

- ↪ Spolu s jílovými minerály jsou **základem vzniku půdní struktury**
- ↪ **Stimulují růst rostlin** ovlivňováním metabolismu a některých fyziologických procesů – translokace látek, mobilizace Fe, Al
- ↪ Podílí se na **tvorbě půdních horizontů**
- ↪ Díky vysokým povrchovým a proměnným elektrickým nábojům mají velký význam při **sorpčních procesech**.

Obsah humusu kolísá dle půdních typů od 2 do 4 hmotnostních %.

**Základní typy humusu podle morfologie a složení:**

- ↪ **Mor**
- ↪ **Moder**
- ↪ **Mull**

# Typy humusu

**Mor** – nachází se hlavně v půdách pod jehličnatými lesy nebo v rašeliništích – půdy s vysokou biologickou aktivitou. Rozklad OL je pomalý, vytváří se vrstvička se zachovanou strukturou původních rostlin, rozklad probíhá působením hub a drobných živočichů. **Poměr C/N je víc než 20, někdy až 30-40, kyselá půdní reakce.**

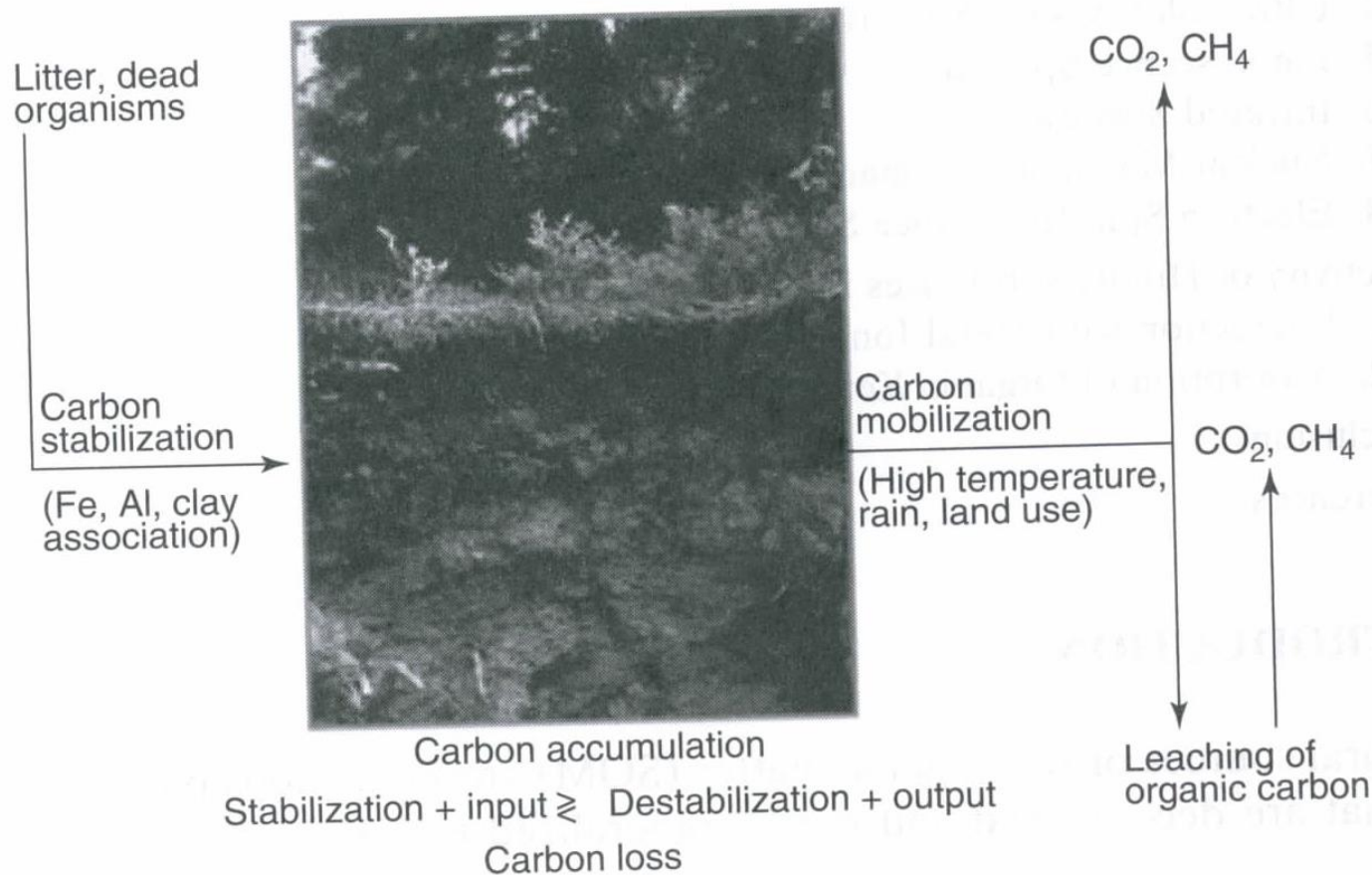
**Moder** – přechodný typ mezi morem a mullem – je charakteristický pro podzolové půdy a horské luční drnové půdy, povrch tvoří mor, který přechází do středně rozloženého humusu, rozklad probíhá vlivem hub a atropod. **Poměr C/N – 15-25.**

**Mull** – typ s dobře huminifikovanými OL, vznikající za podmínek vysoké biologické aktivity, **neutrální reakce, poměr C/N kolem 10, schopnost tvořit minerálně-organické komplexy.**

# Význam humusu pro vlastnosti půd

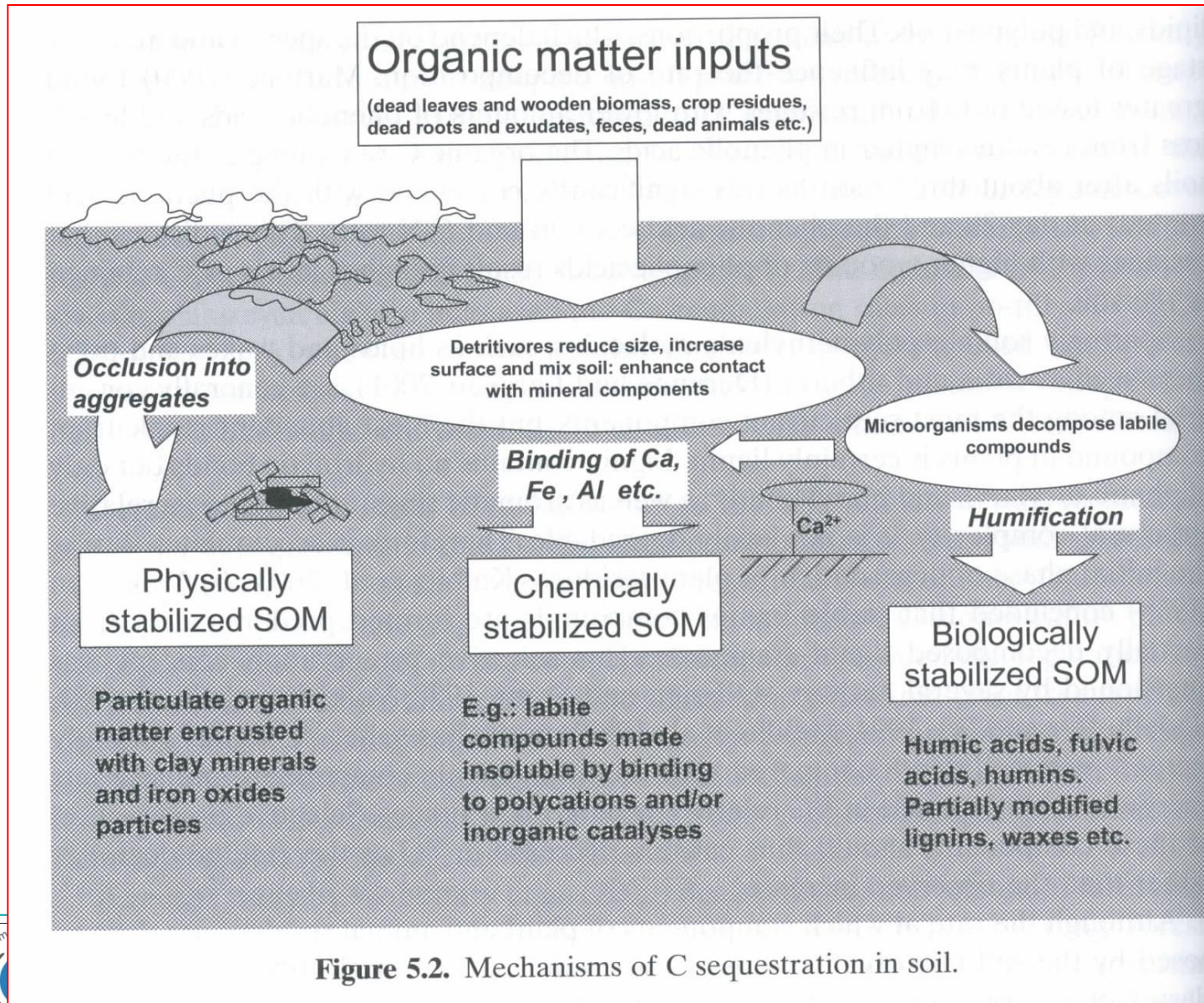
- ↪ **Fyzikální** – cementační a koagulační vliv, tvorba agregátů, zádrž vody, vliv na teplotu, snižuje riziko eroze a smývání díky strukturotvorné funkci, zlepšuje celkový fyzikální stav zejména v jílových půdách, snižuje riziko kompakce půdy.
- ↪ **Chemický** – velká sorpční kapacita, pufrální schopnost, zádrž stopových prvků (živin), zádrž uhlíku před jeho uvolňováním do atmosféry (sekvestrace), redukce negativních dopadů pesticidů a potenciálně toxických prvků.
- ↪ **Biologický** – zdroj živin pro mikroorganismy (bakterie, houby) a pro rostliny (N, P, S).

# Rovnováha organické hmoty v půdách

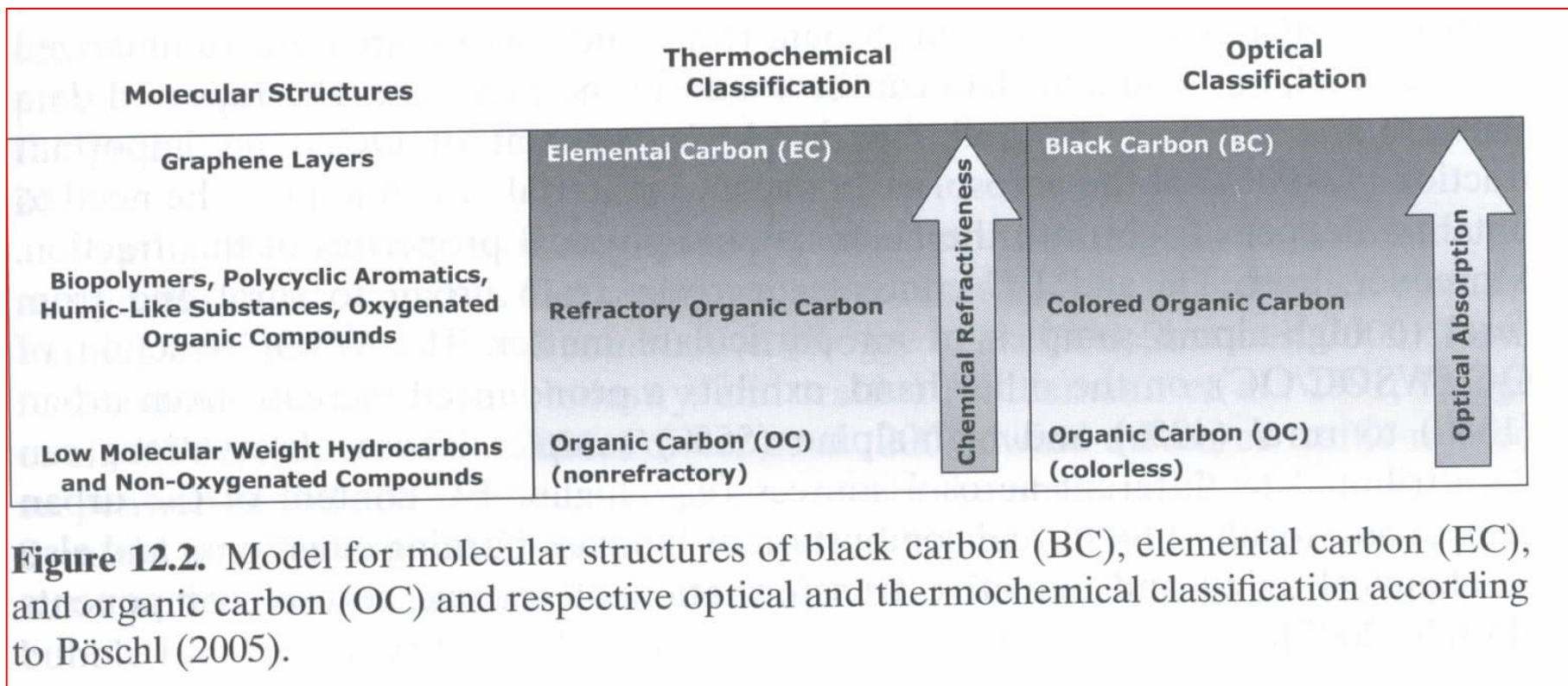


**Figure 4.1.** Balance of organic matter in soils. Reprinted from Schulze, E. D., and Freibauer, A. (2005). Carbon unlocked from soils. *Nature* **437**, 205–206, with permission from Macmillan Publishers Ltd.

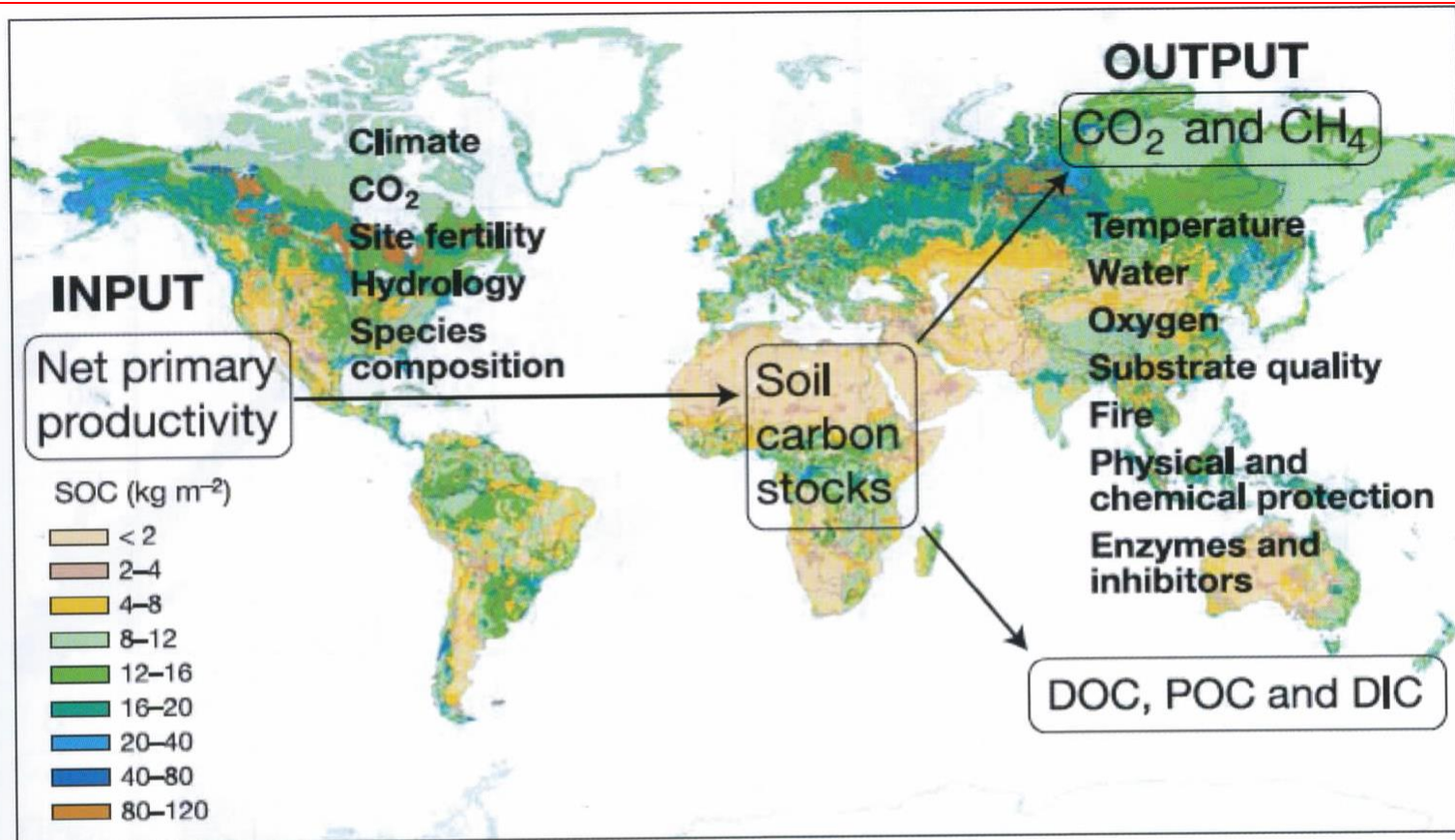
# Sekvestrace uhlíku v půdách



# Model molekulárních struktur různých forem C



# Faktory řídící hlavní vstupy a výstupy půdního C



**Figure 2.1.** Diagram of factors controlling the main inputs and outputs of soil carbon, superimposed over a global map of soil organic carbon stocks. DOC, POC, and DIC stand for dissolved organic C, particulate organic C, and dissolved inorganic C, respectively. The background soil organic carbon (SOC) map (Miller Projection; 1:100,000,000). Reprinted from Davidson, E. A., and Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* **440**, 165–173, with permission from Macmillan.



# Živé organismy - význam rostlin a živočichů

**Rostliny** – podílejí se na procesu kumulace prvků, organických látek, mají vliv na rozklad minerálů a na hydrologický režim půd. Poskytují do půd organické látky prostřednictvím opadu a rozkladem kořenů. Kořeny konzumují kyslík, vodu a živiny a uvolňují CO<sub>2</sub> a různé exudáty. Rostliny mají důležitou funkci při pedoturbaci, pedokompakci a vytváření struktury půdy a humusu.

**Živočichové** – zooedafon – mají schopnost rozkládat, koncentrovat, segregovat, homogenizovat, produkovat.

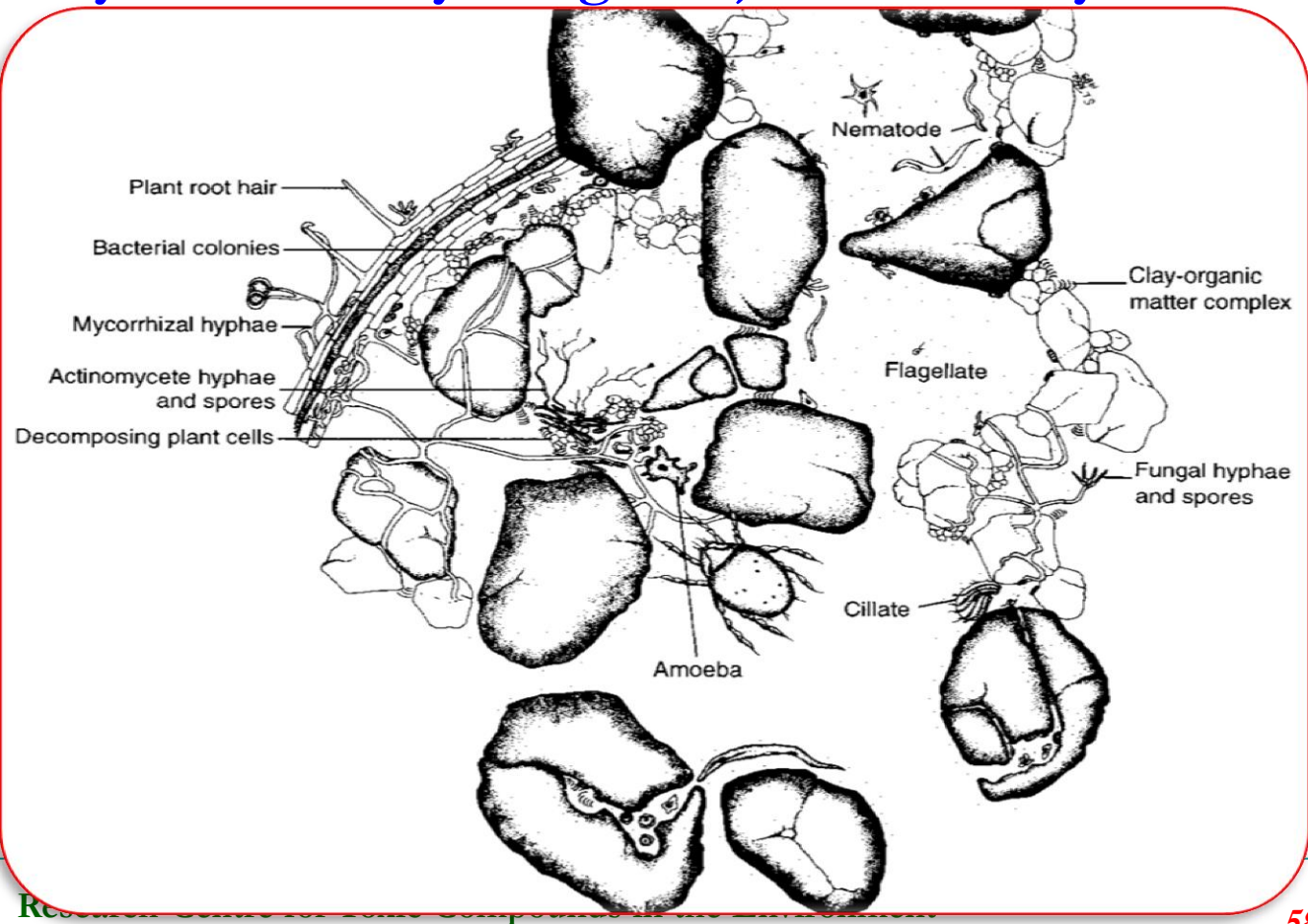
# Půdní biota

**Půda je živá hmota**

v každém kilogramu půdy se vyskytuje  $10^9 - 10^{12}$  mikroorganismů  
a tisíce bezobratlých → takový kilogram je vlastně celý  
ekosystém



půda = biotický  
+ abiotický  
komplex



# Co je půda bez půdní bioty?

## Půdní biota - základní předpoklad půdy

Již v původní definici půdy zakladatele pedologie V. V.

Dokučajeva je činnost půdních organismů chápána jako klíčová pro vznik a fungování půdy

**Biota** je v půdě nezbytná pro:

- ↪ ekosystémové funkce půdy
- ↪ půdotvorné procesy
- ↪ půdní úrodnost
- ↪ dekompozice a přeměny organické hmoty
- ↪ cykly živin
- ↪ vodní a vzdušný režim půd

# Redox poměry v půdě

**Redoxní potenciál** - je daný chemickými pochody v půdě, je přímo ovlivněn koncentrací kyslíku, organických látek, oxidovaných a redukovaných forem látek jako  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ , Fe, Mn, kovů a činností mikroorganismů.

Má vliv na složení mikrobiálního společenstva a biologické procesy v půdě, které budou probíhat = různé metabolické strategie mají různé požadavky:

**Při nedostatku kyslíku, zvýšené vlhkosti vzniká redukční prostředí,** v němž anaerobové redukují látky na  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  apod.

- ↪ dýchání ( $> 0,2$  V)
- ↪ denitrifikace (0,15 - 0,2 V)
- ↪ redukce síry (-0,1 až -0,2 V)

# Redox poměry v půdě

**Redukční pochody** - hnití, rašelinění, methanogeneze, tvorba sulfanu, desulfurikace, denitrifikace, vznik dvoumocného železa a manganu, redukce síranů

**Oxidační pochody** - mineralizace, respirace, tlení, nitrifikace, oxidace železa, sulfurikace

# Skladba půdního oživení

Půdní organismy chápány jako ty, které žijí během stěžejních životních fází v půdě

- ↪ **EDAFON** = soubor organismů přítomných v půdě celými těly, migrace a rychlé množení
- ↪ **ŽIVÉ ORGÁNY VYŠŠÍCH ROSTLIN** – různorodý materiál, doplňování humusového materiálu

Dle příslušnosti k říši:

- 1) **Fytoedafon** - řasy, bakterie, houby, aktinomycety
- 2) **Zooedafon** - prvoci, červi, měkkýši, savci, členovci

# Skladba půdního oživení

## Dle způsobu života:

- ↪ geobionta - celý život v půdě
- ↪ geofila - preferují půdu, alespoň část životního cyklu
- ↪ geoxena - jsou v půdě spíše náhodné
  
- ↪ Euedafon – všechna stádia v půdě (žížala)
- ↪ Protoedafon – jen některá stádia (chroust)
- ↪ Hemiedafon – může žít i mimo půdu (chvostoskok)
- ↪ Pseudedafon – v půdě se jen ukrývají
- ↪ Tychedafon – v půdě jen náhodně (záplavy)

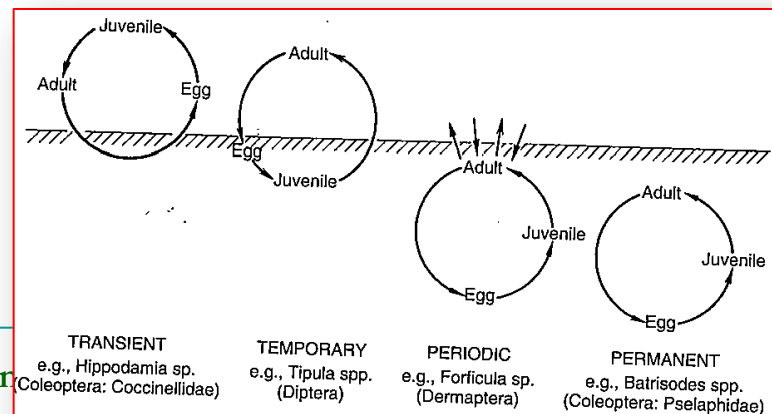


FIGURE 4.1. Categories of soil animals defined according to degree of presence in soil, as illustrated by some insect groups (from Wallwork, 1970).

# Skladba půdního oživení

Dle velikosti:

## 1) mikroedafon

menší než 0,2 mm - mikroorganismy (bakterie, aktinomycety, houby, plísně, prvoci, řasy, sinice) a živočichové menší než 0,2 mm (některé hlístice, vířníci)

někdy se dělí na mikrofaunu a mikroflóru ("*soil microflora*")

## 2) mezoedafon

0,2 - 2 mm – některé houby, někteří vířníci (rotatoria), většina hlístic (nematoda), někteří červi (annelida), většina chvostoskoků (collembola) a roztočů (acarina) a některý hmyz

## 3) makroedafon

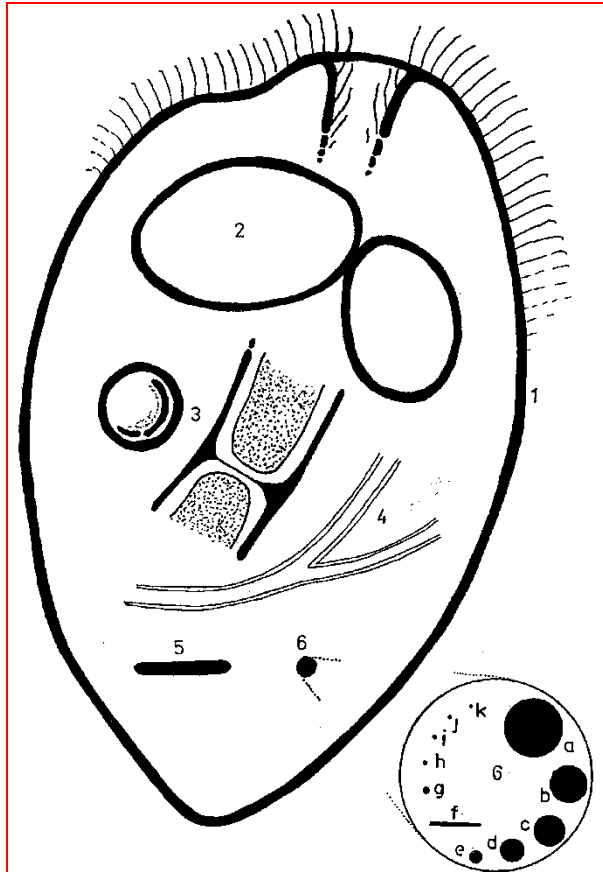
2 – 20 mm – roupice, hmyz, mnohonožky, stonožky, stejnonožci (isopoda), pavouci, měkkýši (molusca)

## 4) megaedafon

> 20 mm - žížaly (lumbricidae) a obratlovci (krtci, myši, hraboši, křečci ...)



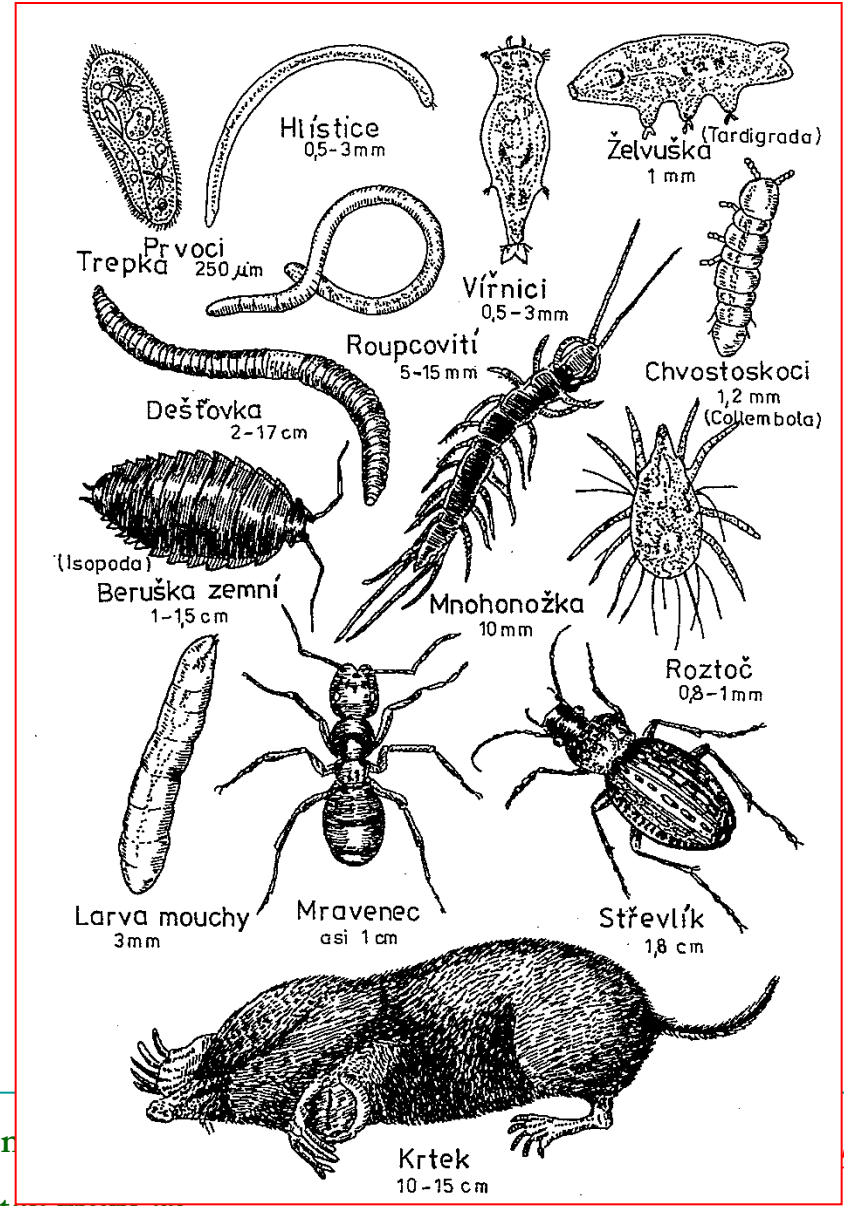
# Velikost půdní bioty



Poměrná velikost mikroorganismů (Káš - Langkramer, 1954)

- 1 - prvok (25x40 μm),
- 2 - kvasinky (8-12 μm),
- 3 - plíseň, spóra a část vlákna (Ø spóry 4 μm, vlákna 5 μm),
- 4 - aktynomyceta (Ø vlákna 0,5-1,2),
- 5 - Bacillus subtilis (0,6-5 μm)
- 6 - stafylokok (Ø μm) - vedle též zvětšený uvnitř obrýsu:

- a - virus papouščí nemoci (Ø 300 nm), b - virus oparu (Ø 150 nm),
- c - virus vztekliny (Ø 125 nm), d - virus chřipky (Ø 100),
- e - bakteriofág (Ø 50-75 nm), f - virus mozaikové nemoci tabáku (15x280 nm), g - virus žluté zimnice (Ø 22 nm), h - virus dětské obrny (Ø 12), i - virus slintavky a kulhavky (Ø 10 nm), j - molekula vaječného albuminu (3x9 nm)



# Velikost půdní bioty

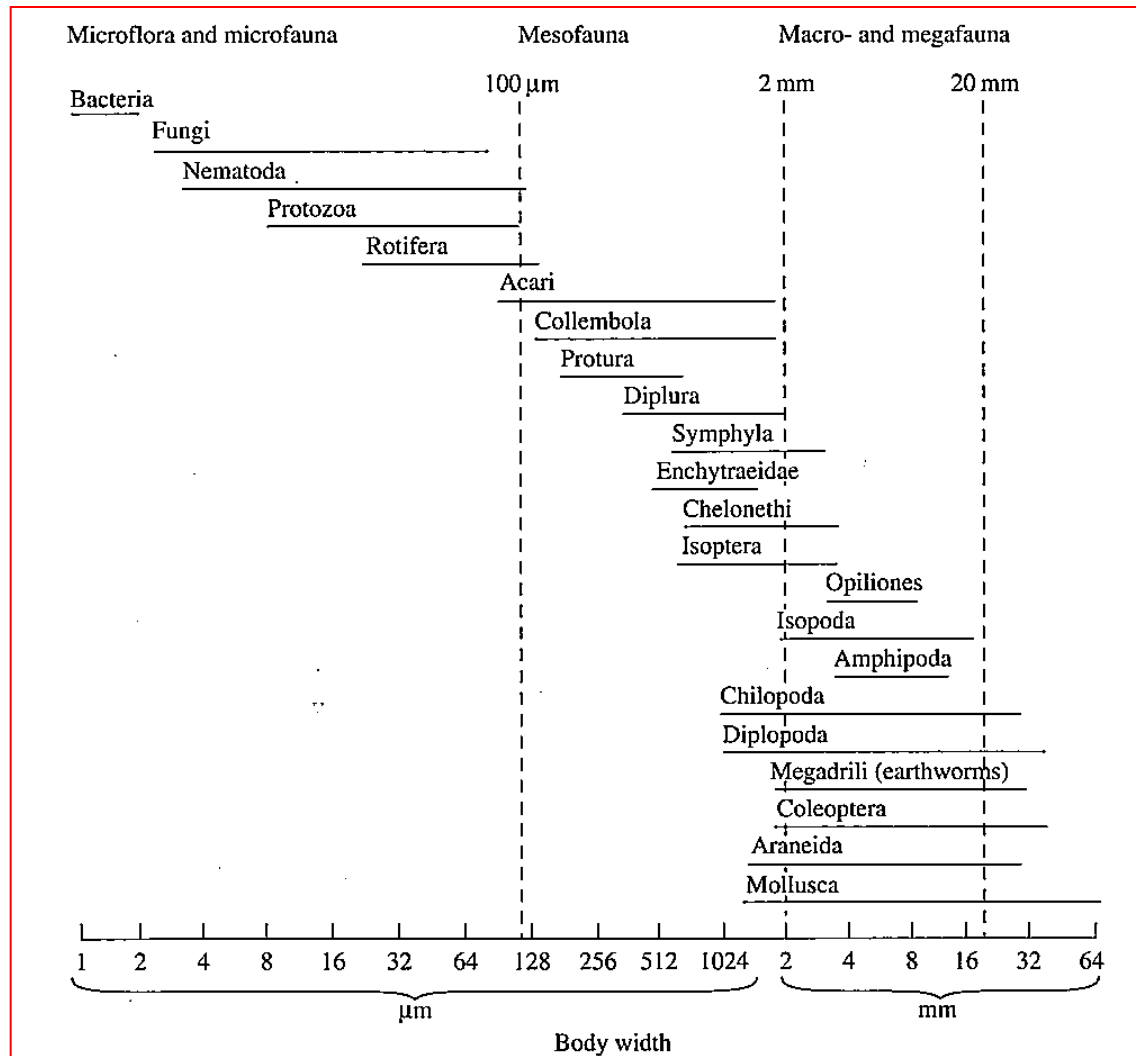


Fig. 2.1 Classification of soil biota on the basis of their body size. (Adapted from Swift et al. 1979).

Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

# Velikost půdní bioty

Table 1.1: The soil biota can be divided into three groups.

Smaller  $\longrightarrow$  Larger

## Microfauna/flora

Size range 1-100  $\mu\text{m}$

### Bacteria

100 billion cells from  
10,000 species

### Fungi

50 km of hyphae from 100's  
of species

### Protozoa

100,000 cells from 100's of  
species

### Nematodes

10,000 individuals from  
100's of species

## Mesofauna

Size range 100  $\mu\text{m}$  – 2 mm

### Tardigrades

### Collembola

### Mites

Combined 1,000's individuals  
from 100's of species

## Macro/Megafauna

Size range > 2 mm

### Earthworms

### Ants

### Woodlice

### Centipedes

### Amphibians and reptiles

### Mammals

### Birds

Combined 100's individuals  
from 10's of species

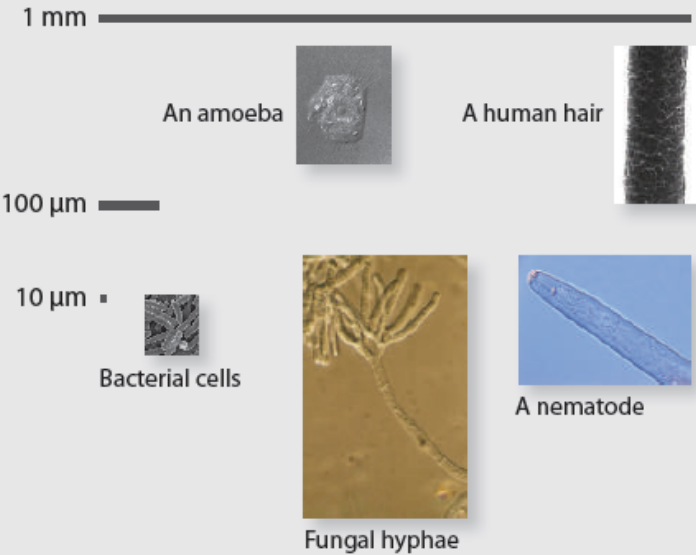
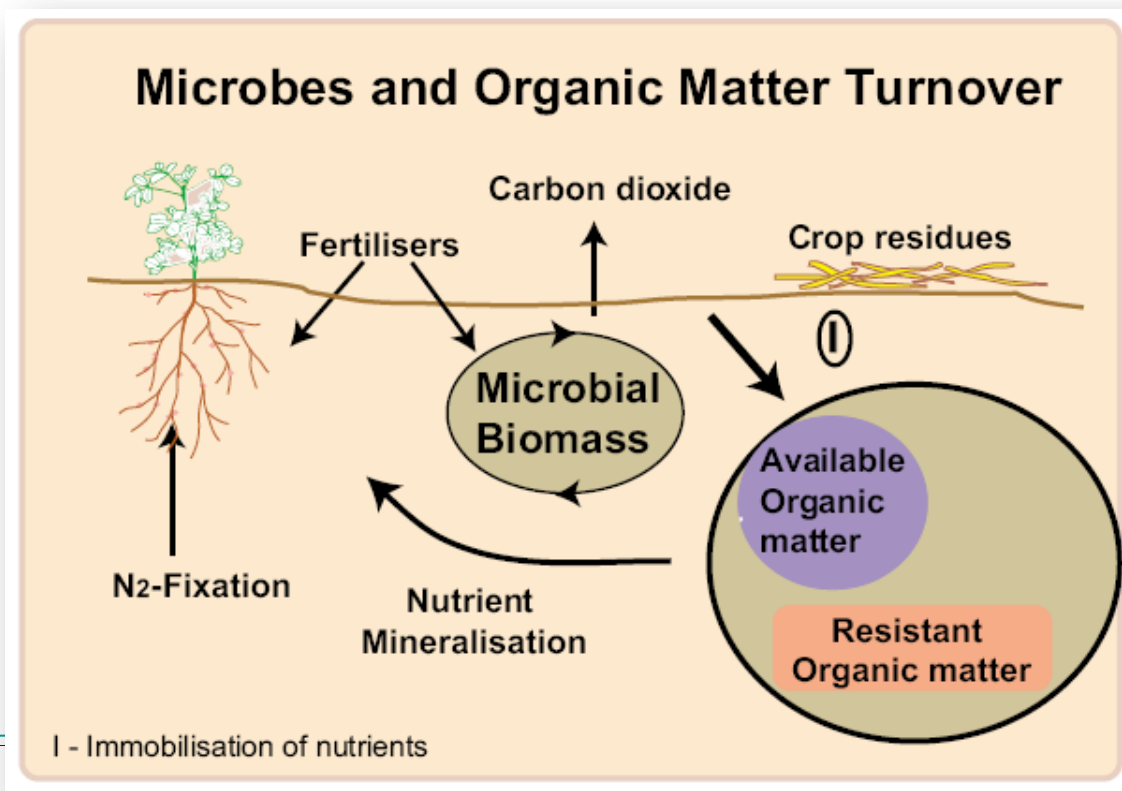


Fig. 1.3: A schematic showing, to scale (approx. 80x magnification), the average relative sizes of different soil microorganisms compared to the thickness of an average human hair. (JRC)

# Kolik je v půdě mikroorganismů ?

- ↪ 0,05 - 0,5% hmoty půdy jsou mikroorganismy
- ↪  $10^5$  až  $10^9$  jedinců v 1 g suché půdy
- ↪ toto množství stačí na zabezpečení veškerých procesů mineralizace a imobilizace a dalších procesů

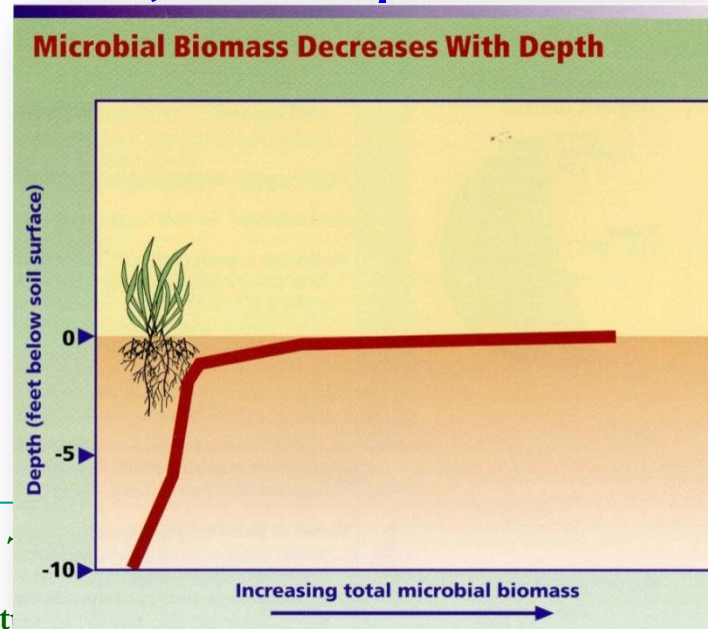


# Kolik je v půdě mikroorganismů ?

Components of soil biota	Biomass (tons ha <sup>-1</sup> )
Plant roots	Up to 90, but generally 20
Bacteria	1-2 !!!!
Actinomycetes	0-2
Fungi	2-5 !!!!
Protozoa	0.5
Nematodes	0.2
Earthworms	0.25
Other soil animals	0-0.5
Viruses	Negligible

# Kde se v půdě MO vyskytují?

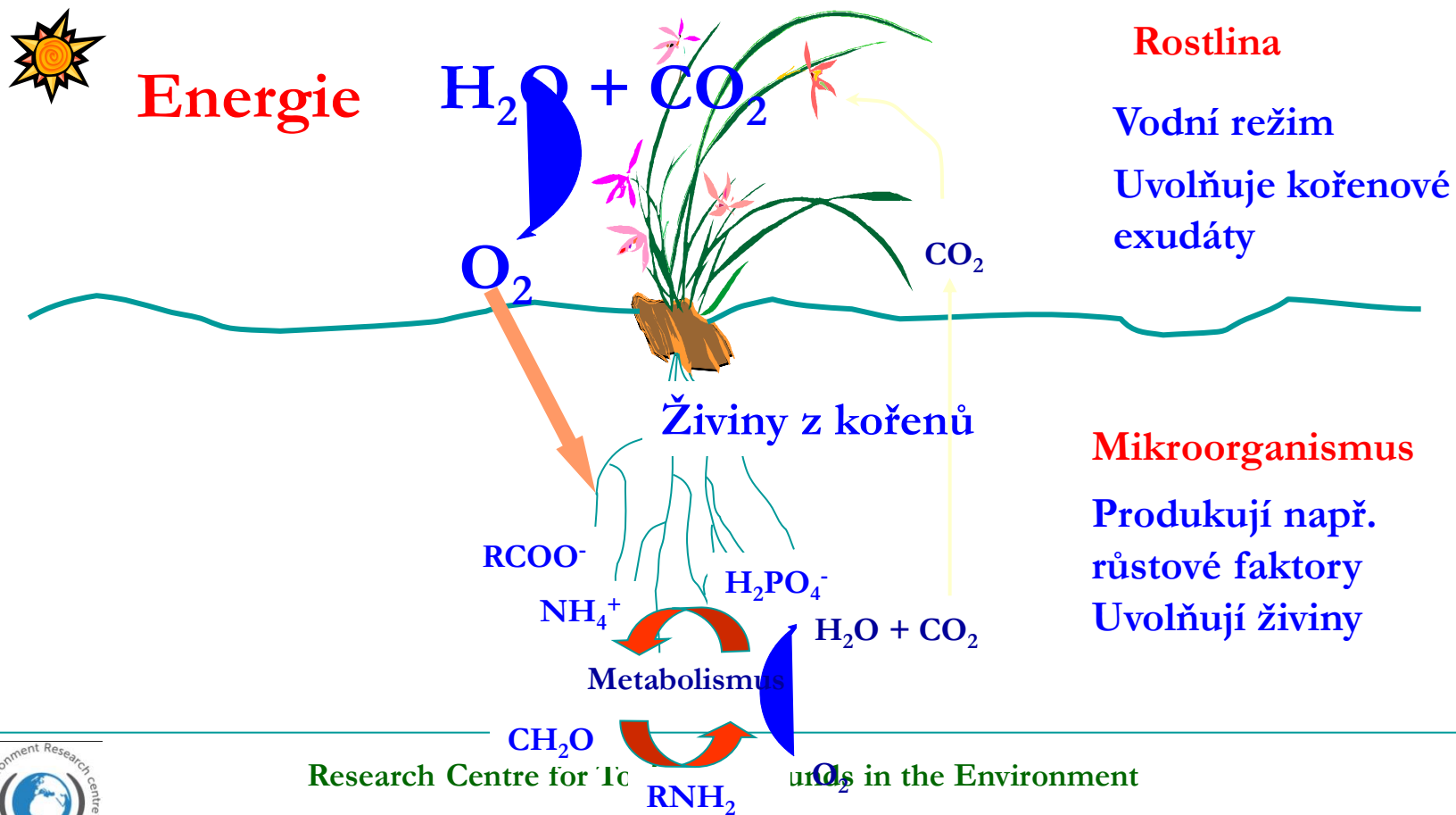
- ↪ největší biomasa mikroorganismů je v humusovém horizontu, v rizosféře a s hloubkou dochází k poklesu
- ↪ fotolitotrofní mikroorganismy jsou samozřejmě vázané pouze na nejvrchnější vrstvičku půdy
- ↪ obligátně anaerobní mikroorganismy se nachází spíše ve spodní části horizontů (bez přístupu kyslíku)
- ↪ mikroorganismy uzavřené v mikroagregátech jsou dobře chráněné před predací protozoí, ale naopak mohou strádat nedostatkem substrátu



# Kde se v půdě MO vyskytují?

## Rhizosféra

- ↪ Ekologická vazba mikroorganismů na kořeny rostlin
- ↪ V okolí kořenů je jiné prostředí než jinde v půdě



# Kde se v půdě MO vyskytují?

MO se v půdě vyskytují volně, či ve složité a dynamické vazbě na površích a uvnitř agregátů a částic organominerálního komplexu

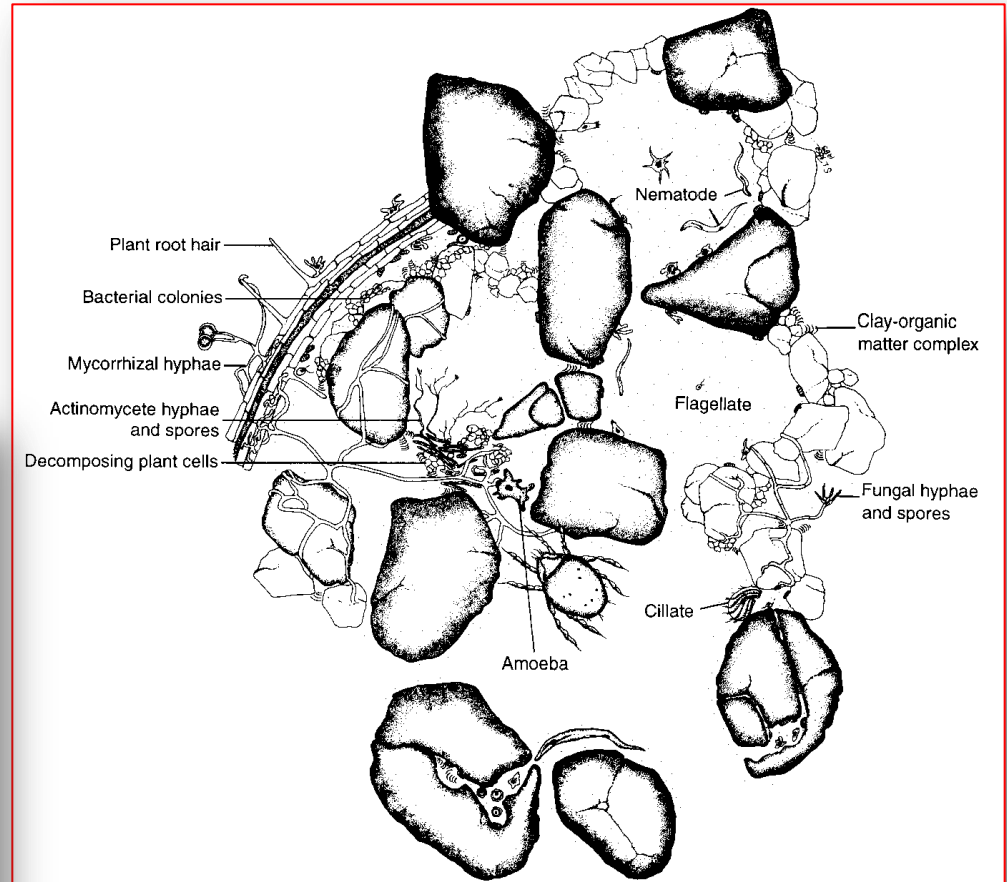
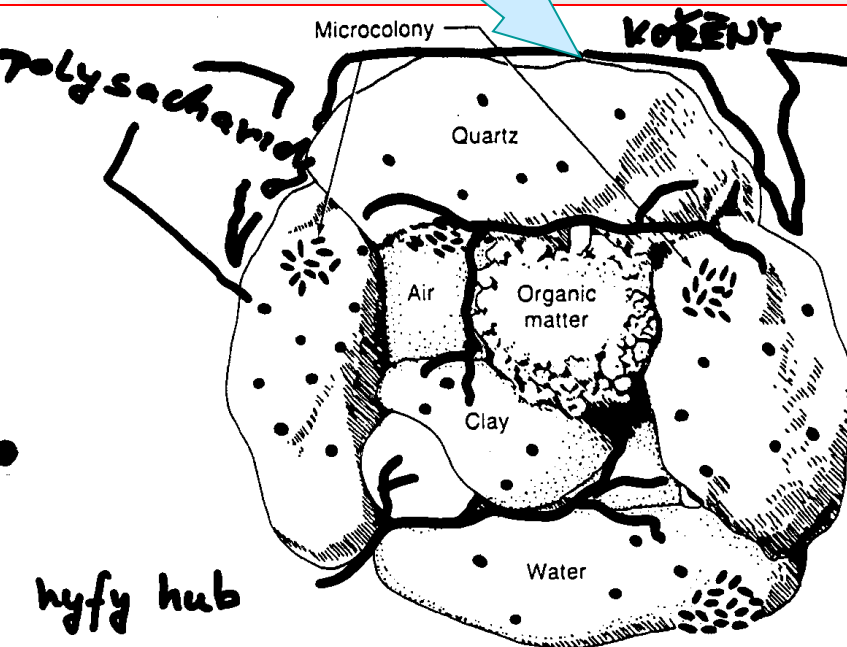
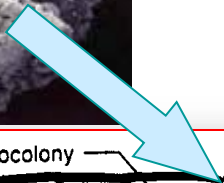
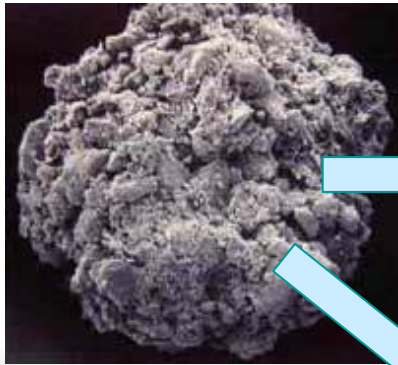


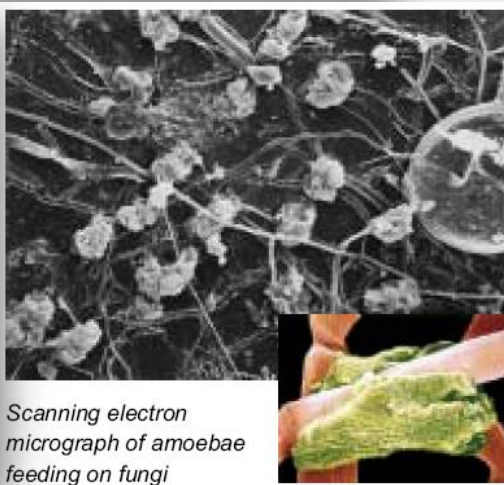
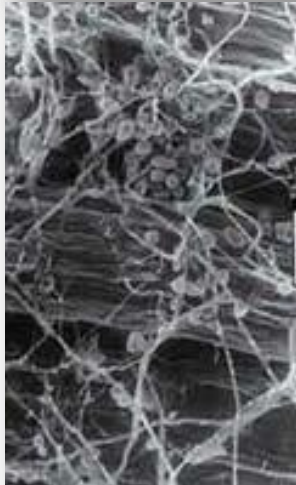
FIGURE 5.2 Diagrammatic representation of a plant root and associated biota approximately 1 cm<sup>2</sup> of a surface grassland horizon associated with a plant root. (Adapted from S. Rose and T. Elliott, personal communication.)



# Kde se v půdě MO vyskytují?



Scanning electron micrograph of fungi in a soil pore. Fungi find soil particles to form aggregates.



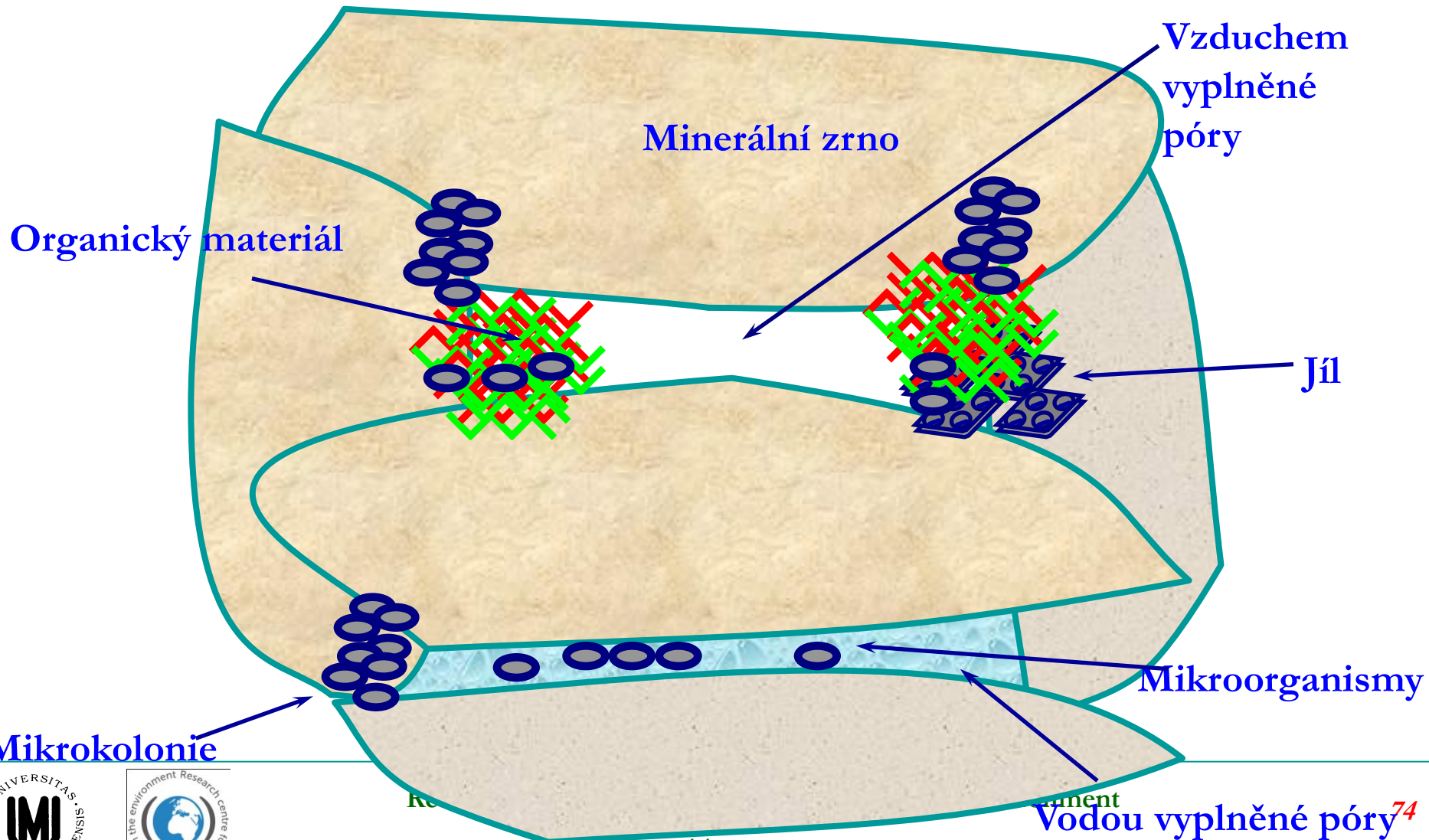
Scanning electron micrograph of amoebae feeding on fungi associated with plant residues



FIGURE 3.3 Scanning electron micrograph of decomposing leaf litter. The bacteria tend to be hidden by slime but various sized filamentous organisms are readily apparent. (Photograph courtesy of R. Todd.)

# Kde se v půdě MO vyskytují?

Niky pro půdní mikroorganismy (dle K.T.Semple)



# Půdní voda

**Půdní voda** (půdní roztok) – kapalná fáze

**Význam:**

Voda je potřeba pro fungování většiny metabolických procesů; optimální vlhkost "spouští" fungování mikroorganismů; vytváří mikroprostředí pro mikroorganismy v pórech a na povrchích částic; ovlivňuje výměnu plynů v půdě; ovlivňuje přístupnost živin; ovlivňuje teplotu půdy.

Význam pro pedogenezi, usměrňuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy.

**Příjem rostlinami** – přes kořenovou zónu půdy.

**Zdroj** – srážkové, povrchové a podzemní vody.

# Půdní voda

- ↪ Zóna aerace - existují prostory vyplněné vzduchem, půdní vláha
- ↪ Zóna saturace - zvoděň, je zcela nasycena vodou, podzemní voda

# Mechanické vlastnosti půd, půdní voda

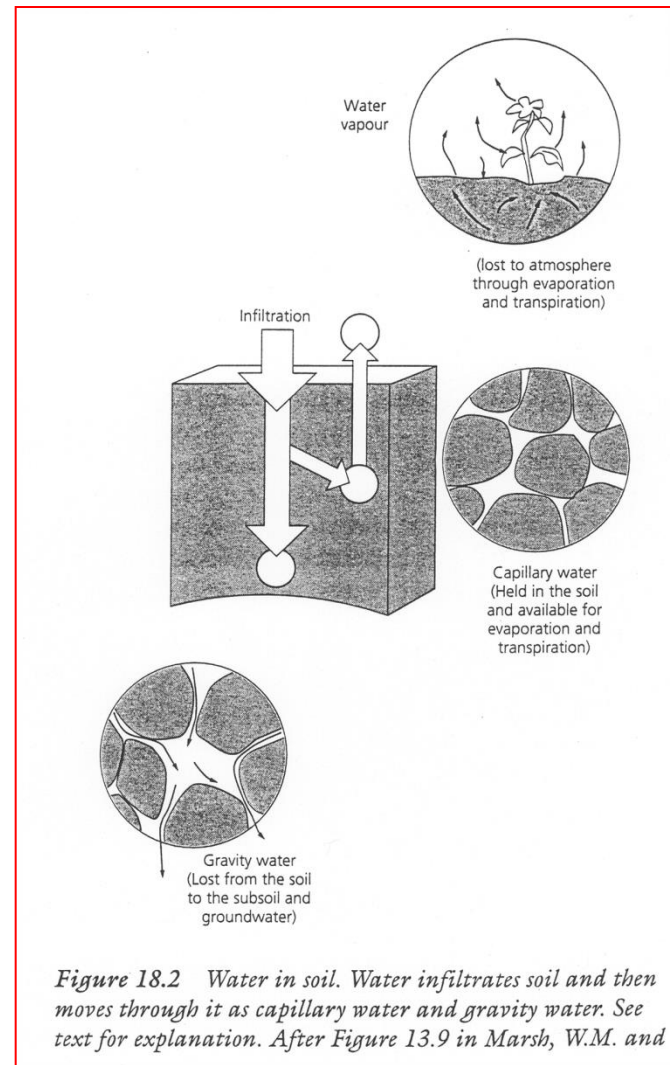
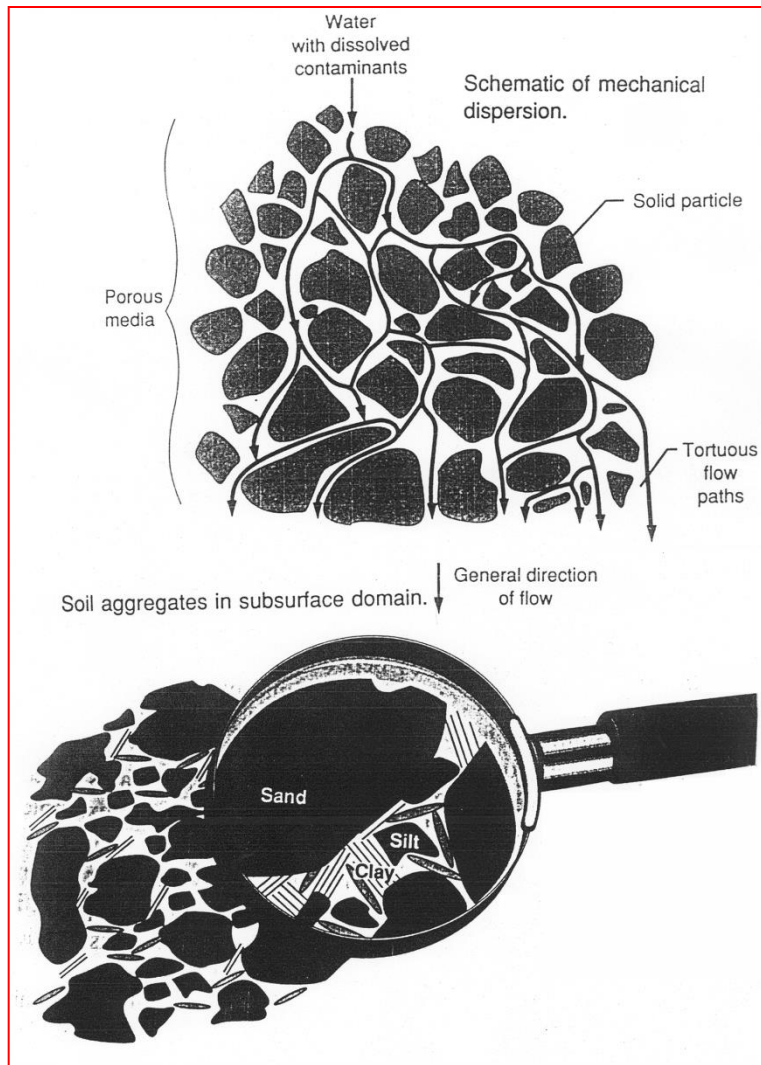
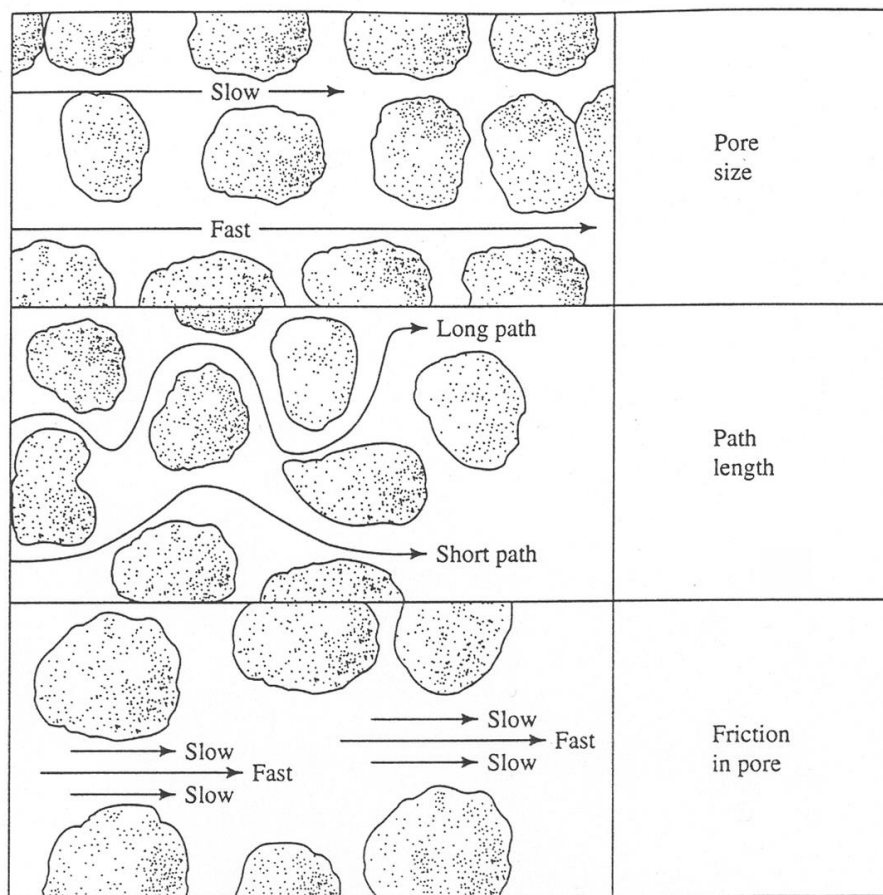
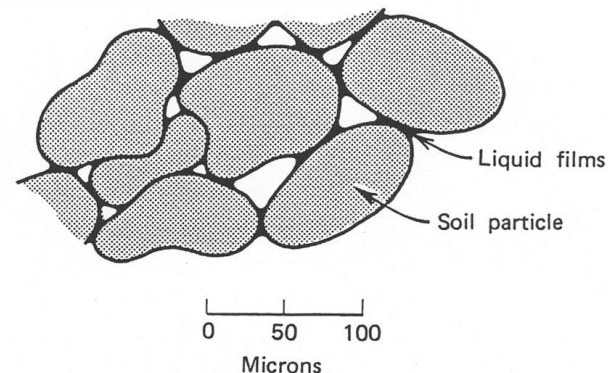


Figure 18.2 Water in soil. Water infiltrates soil and then moves through it as capillary water and gravity water. See text for explanation. After Figure 13.9 in Marsh, W.M. and

# Půdní voda



**FIGURE 2.4** Factors causing longitudinal dispersion at the scale of individual pores. Source: C. W. Fetter, *Applied Hydrogeology*, 2d ed. (New York: Macmillan Publishing Company, 1988).



3-3. Soil water and internal pore structure. (Reprinted by permission from C. W. Fetter, *Applied Hydrogeology*, 2d ed. © 1974 by Macmillan Publishing Co., Inc.)

# Půdní voda

**Vodu v zóně aerace** dělíme podle jejího vztahu s pevnou a plynnou fází půdy a dle dostupnosti pro rostliny a mikroorganismy:

- 1) **Vodní pára** jejíž množství u povrchu kolísá a s hloubkou se stabilizuje.
- 2) **Chemicky vázaná voda**, která je poutána do chemických struktur látek tvořících minerální a organominerální složku půdy, je v podstatě nedostupná.

# Půdní voda

- 3) **Voda hygroskopická**, která tvoří několik molekul tenký film (4-5  $\mu\text{m}$ ) na povrchu částic a je v půdě vždy i při úplném vysušení, pokud není ze vzduchu odstraněna vodní pára. Charakteristiky této vody jsou úplně jiné než vody nevázané. Silně adsorbuje na povrchy vodíkovými vazbami a dipólovými interakcemi a její tenká vrstva na povrchu částic nemrzne ani při nulových teplotách. Je nedostupná pro rostliny
- 4) **Voda adsorpční**, která tvoří vrstvu na povrchu zrn, na rozdíl od vody hygroskopické může zmrznout a pohybovat se alespoň ze zrna na zrno. Je dostupná hlavně rostlinám.



# Půdní voda

- 5) **Kapilární voda** zaplňuje póry a pukliny a je poutaná kapilárními silami, které ji buď vytahují nad hladinu podzemní vody - voda podepřená, nebo dočasně způsobují její setrvání ve vrstvě blízko povrchu - voda zavěšená. Je přístupná pro rostliny
- 6) **Voda prosakující neboli gravitační**, která po vsakuje do půdy slouží jako zdroj předchozích a zaplňuje i nekapilární prostory. Volná voda, podléhá působení gravitace a tak se pohybuje do nižších horizontů až po hladinu podzemní vody. Voda, která v půdě zůstane zachycená po průtoku takovéto gravitační vody tvoří maximální kapacitu nasycení. Vymývá živiny z půdy do podzemních vod

# Půdní voda

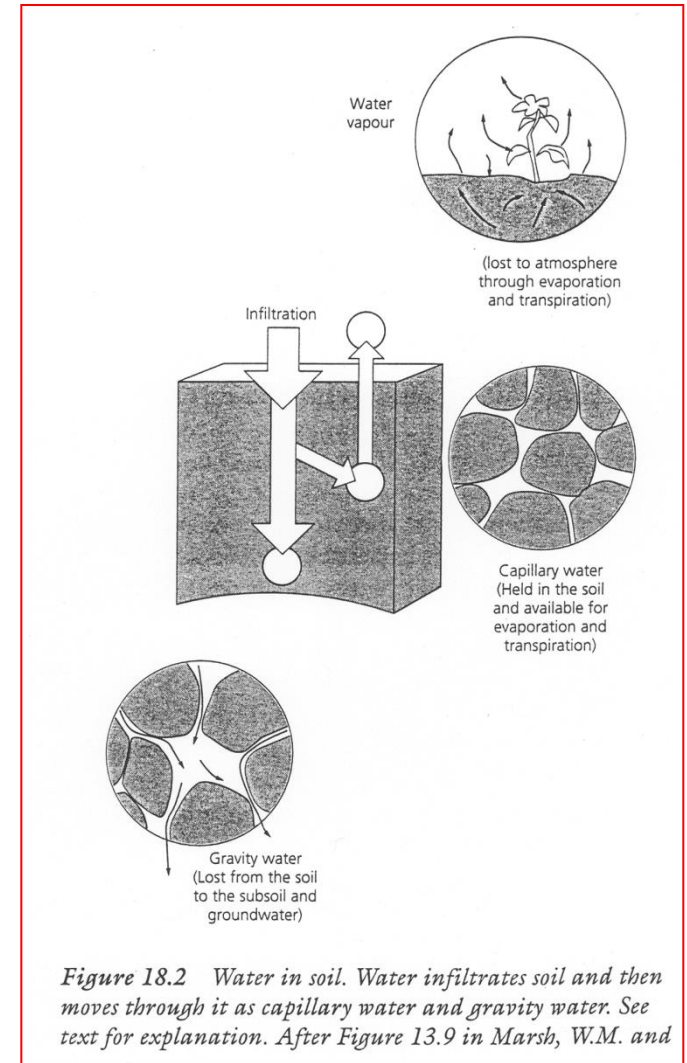
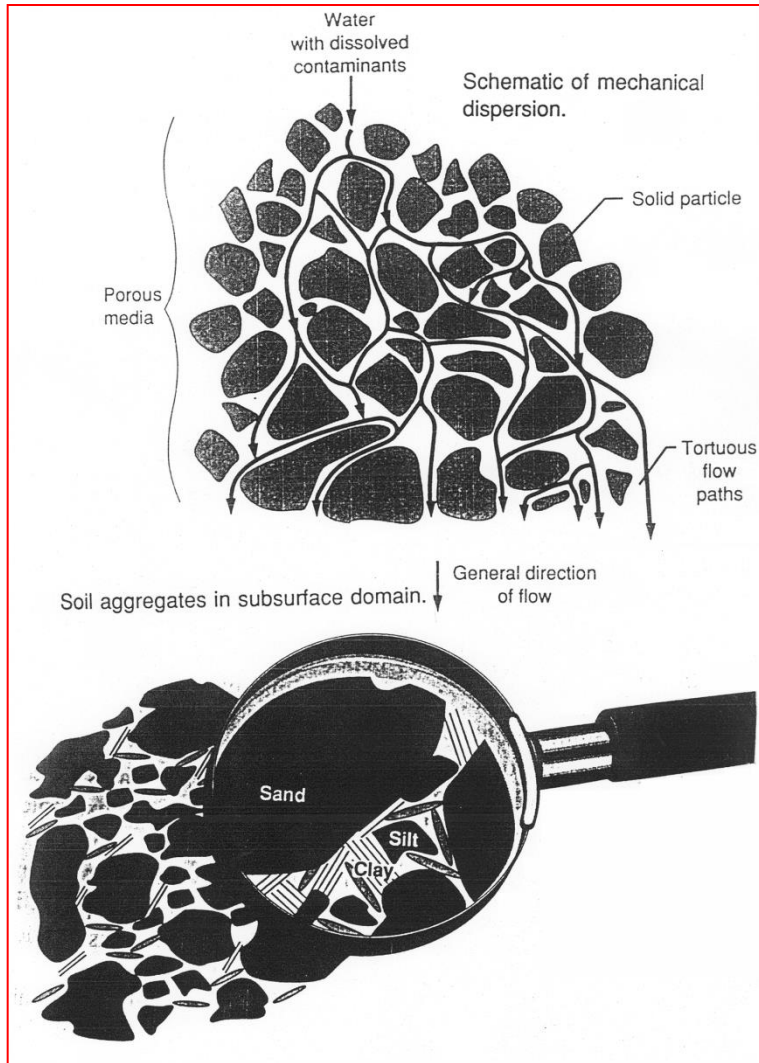


Figure 18.2 Water in soil. Water infiltrates soil and then moves through it as capillary water and gravity water. See text for explanation. After Figure 13.9 in Marsh, W.M. and

# Půdní zóny

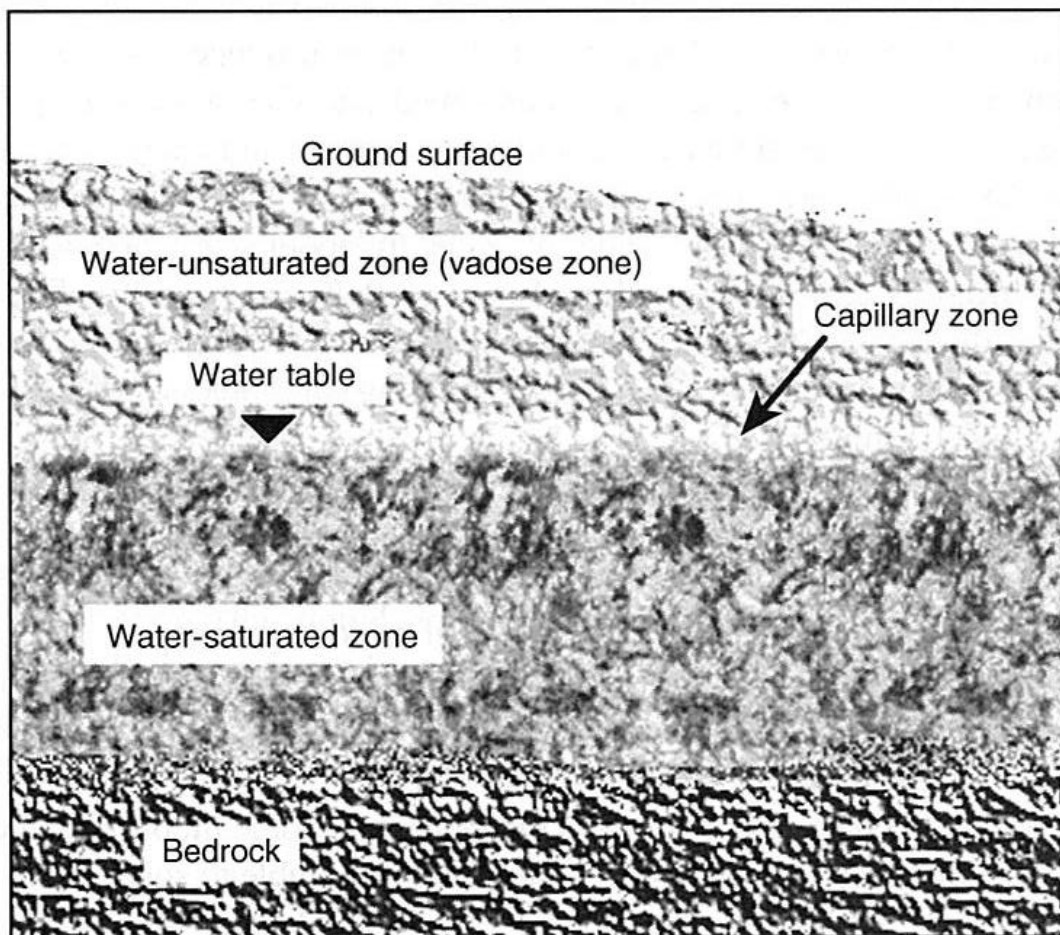
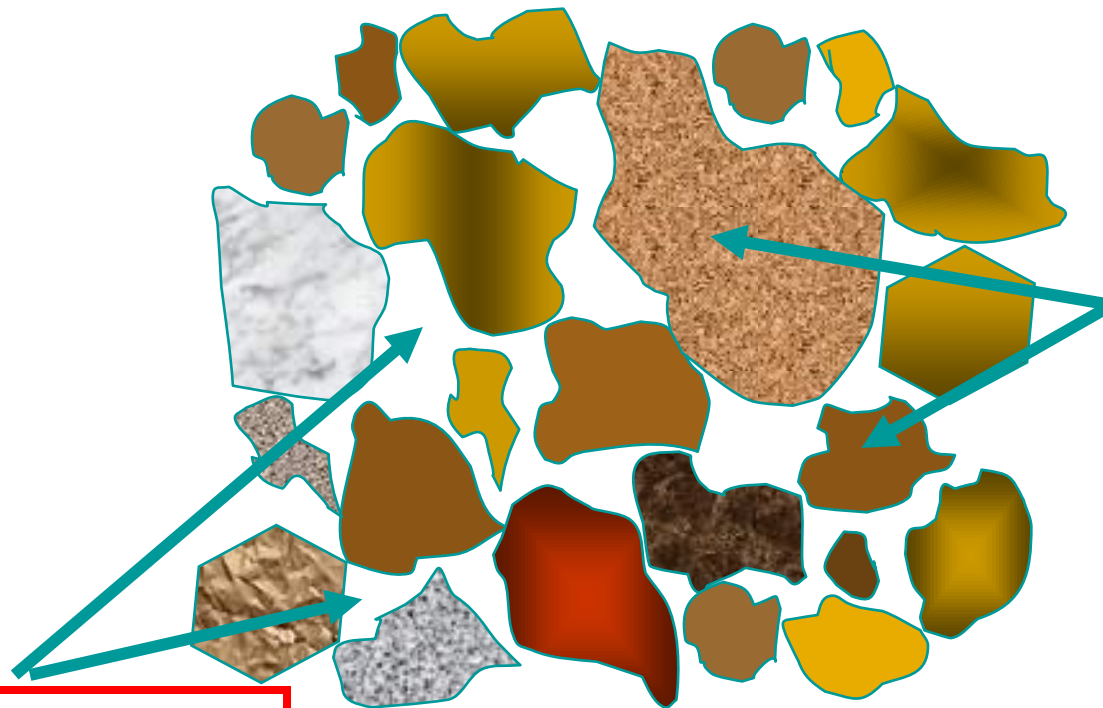


FIGURE 5.4 Soil zones in the subsurface region.

# Základní půdní složky



**Půdní částice:  
Minerální a  
organické**

**Prostory pórů:  
výskyt vzduchu  
a vody**

# Půdní voda

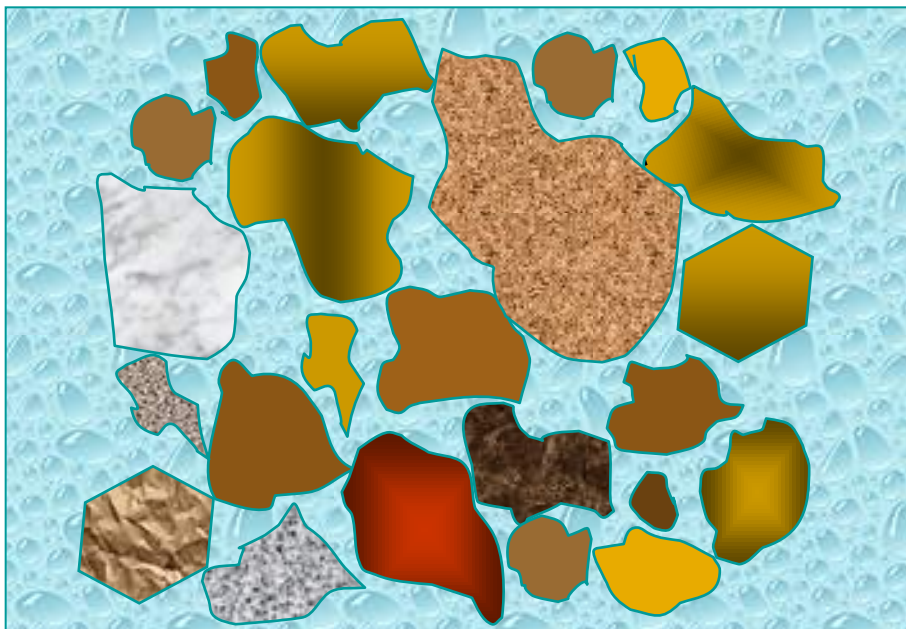
## ↪ Půdní vlhkost: základní pojmy

- ✓ **Polní kapacita:** voda, která zůstává v půdě po působení gravitačních sil.
- ✓ **Procento trvale vyschlé půdy:** množství vody po dosažení bodu trvalého vyschnutí.
- ✓ **Dostupná voda:** množství vody v půdě mezi polní kapacitou a procentem trvale vyschlé půdy.

# Půda za různých úrovní půdní vlhkosti

**Při nasycení**

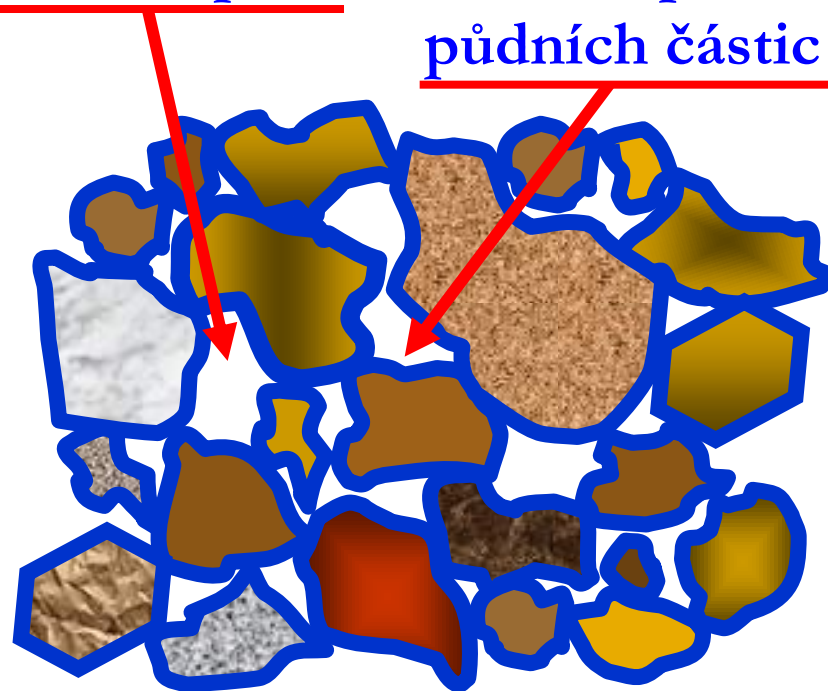
**Pórový prostor je zaplněn vodou**



**Při dostupné vodě:**

**Prostor pórů**

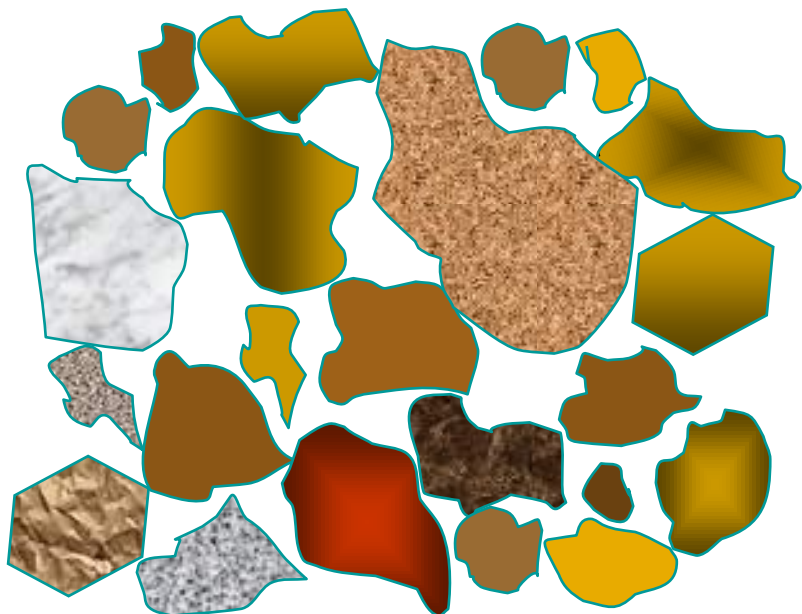
**Voda na povrchu  
půdních částic**



# Půda za různých úrovní půdní vlhkosti

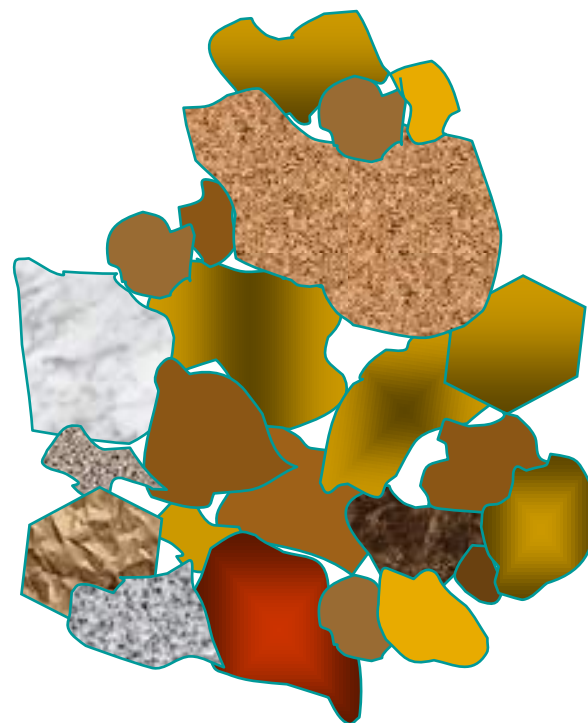
Při trvalém vysýchání

V půdních pórech není přítomna žádná voda



Kompaktní

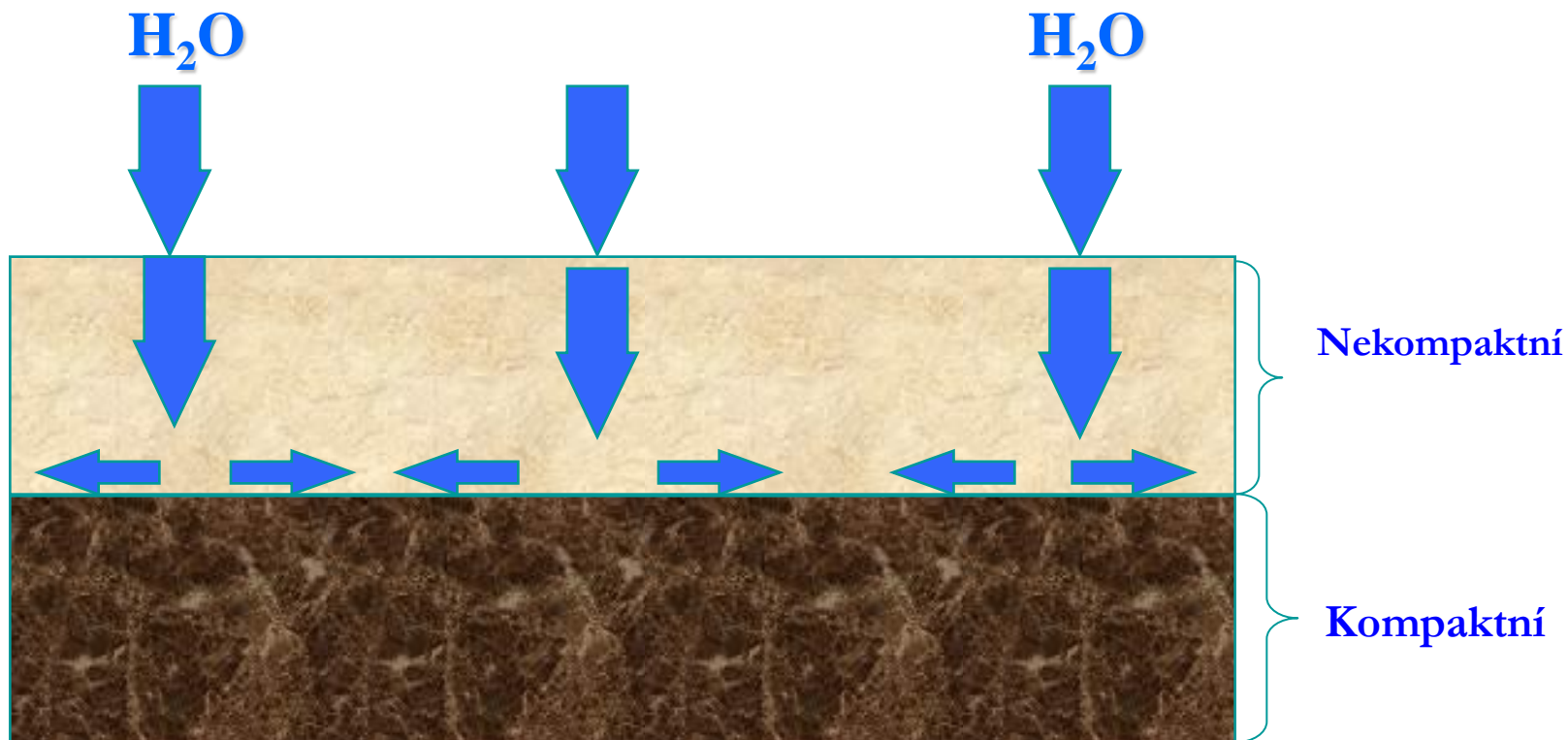
Prostor půdních pórů se hroutí



# Půdní vrstvy

Kompaktní zóna

Nepropustná vrstva

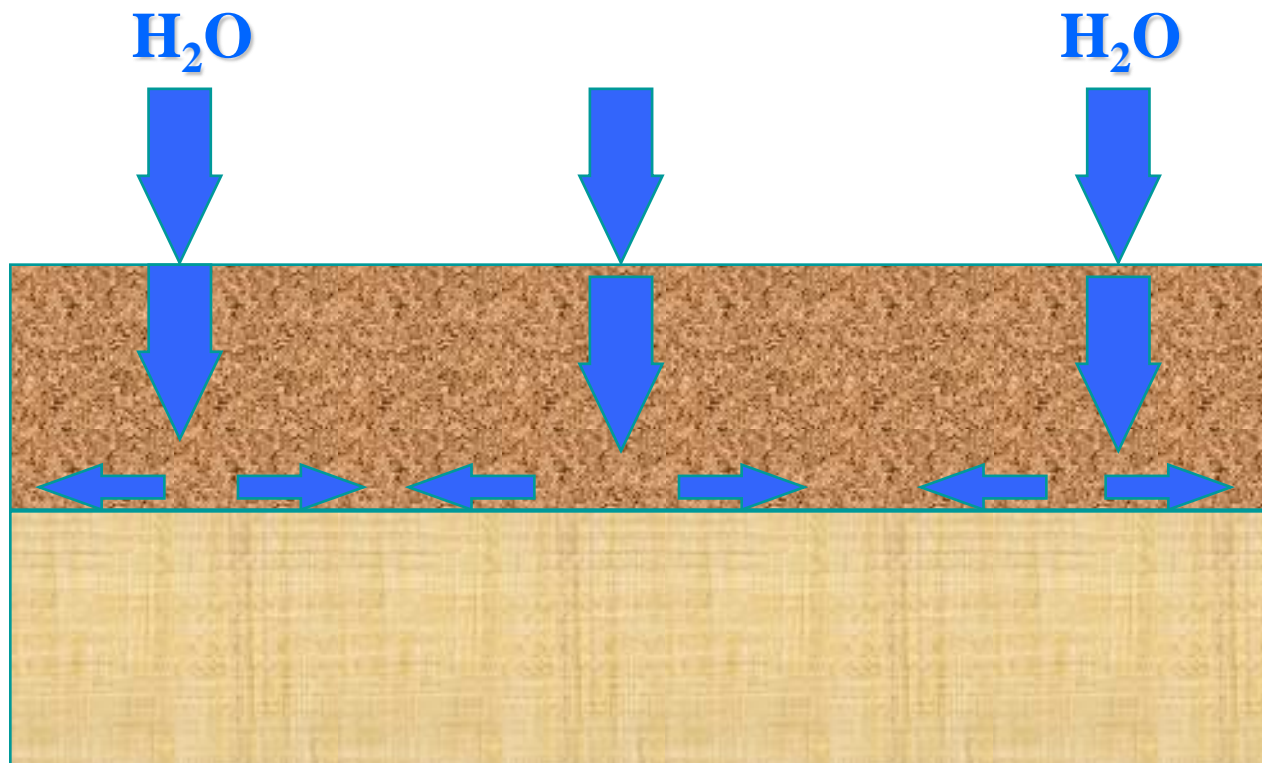




# Půdní vrstvy

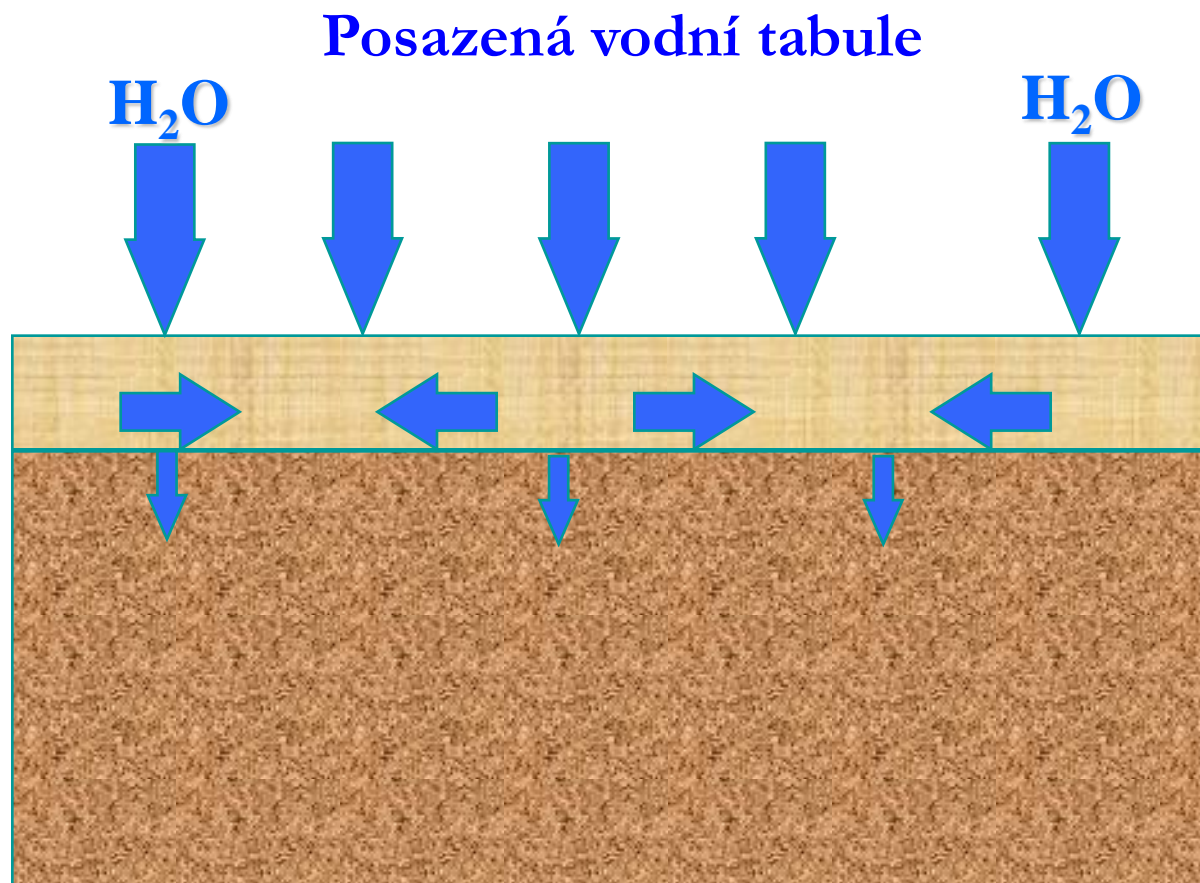
Písek nad jílem

Nepropustná vrstva



# Půdní vrstvy

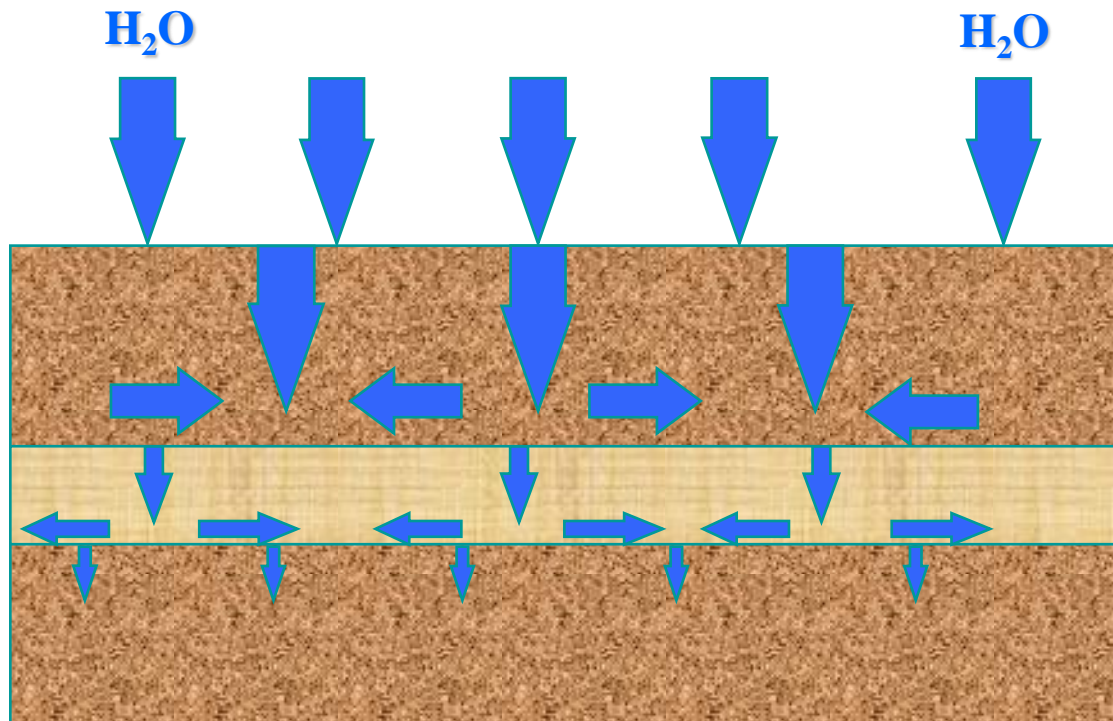
## Jíl nad pískem



# Půdní vrstvy

## Půdní sendviče

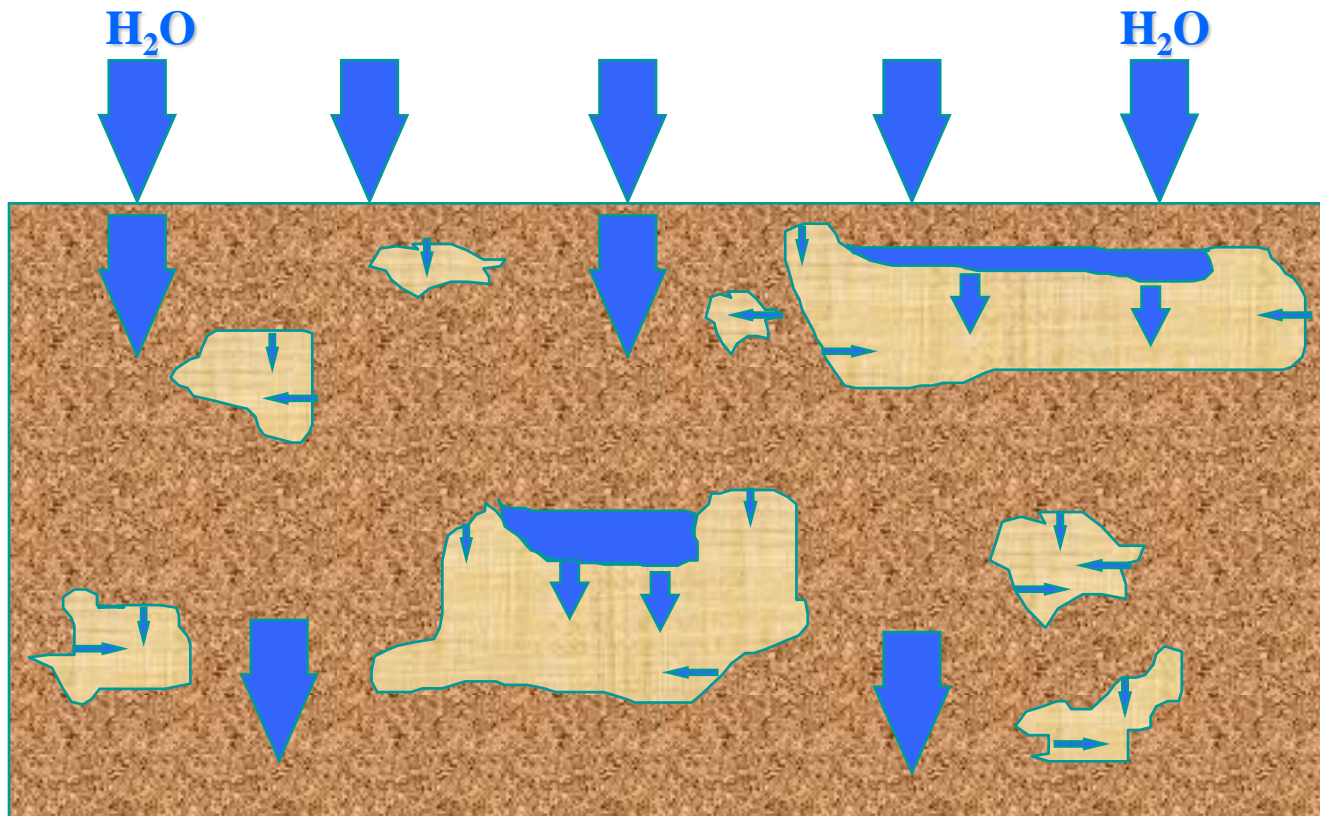
### Mokrě a suché vrstvy



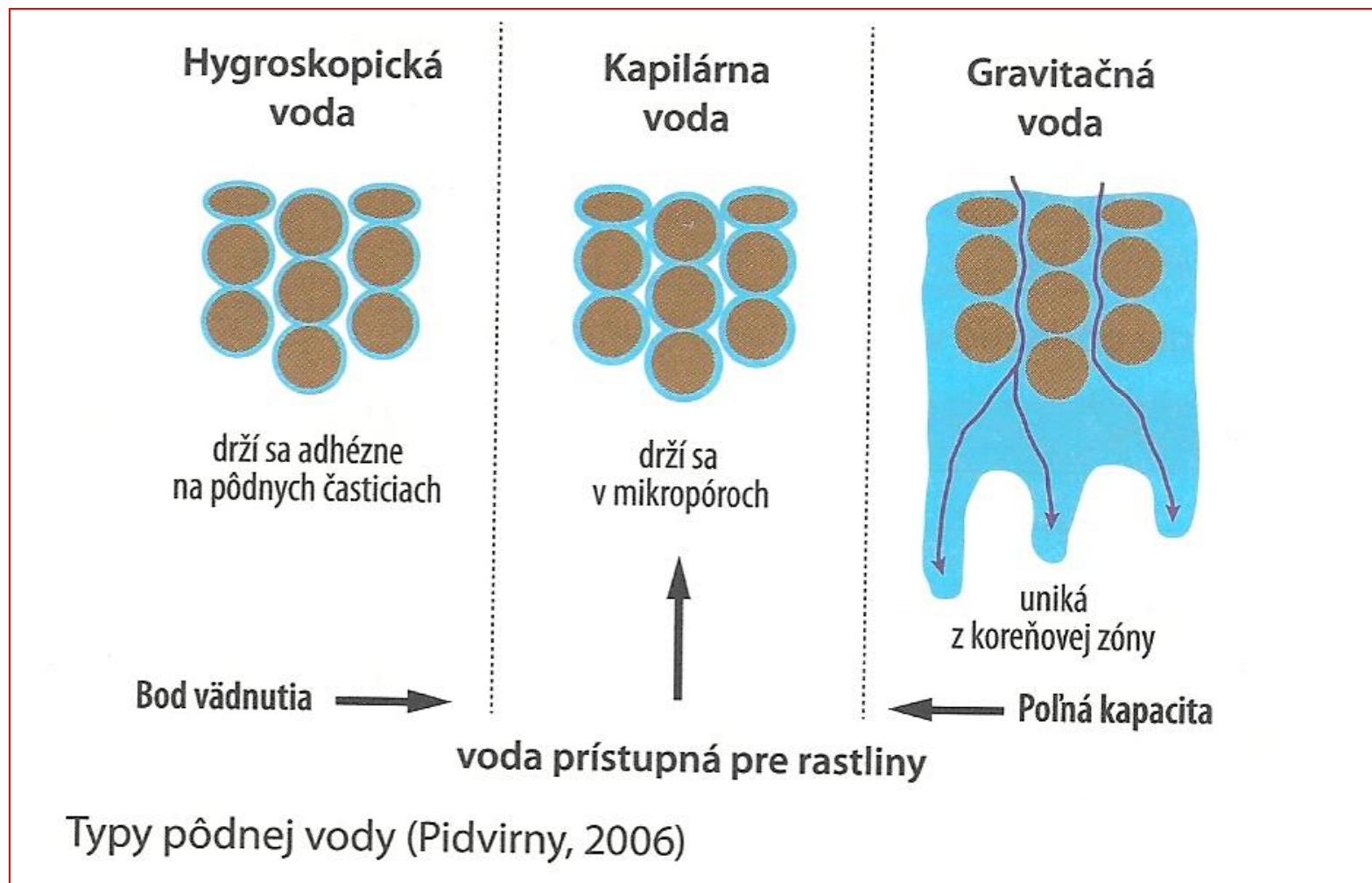
# Půdní vrstvy

## Půdní saláty

### Roztroušená půdní vlhkost



# Typy půdní vody



# Půdní roztok

- ↪ Ve vodě rozpuštěné různé organické i minerální látky (celková koncentrace rozpuštěných látek většinou nepřesahuje 1%), **elektrolytický roztok** – složením se blíží povrchovým vodám
- ↪ **Nejdůležitější minerální látky** v půdním roztoku:  $\text{NH}_4^+$  soli, kationty Ca, Mg, K a Na, které jsou progresivně nahrazovány  $\text{H}^+$  a  $\text{Al}^+$ , dusičnany, sírany, chloridy a fosforečnany
- ↪ **Rozpustnost plynů v půdním roztoku** závisí na daném plynu, teplotě, koncentraci roztoku a parciálním tlaku plynu v půdní atmosféře; nejvíce rozpustné plyny jsou  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  a  $\text{H}_2\text{S}$ , zatímco  $\text{O}_2$  je méně rozpustný a  $\text{N}_2$  ještě méně
- ↪ má charakteristický **osmotický tlak**
- ↪ důležitou vlastností je jeho **pH**

# Objemy vody, vzduchu a látek jako faktor určující půdní typ

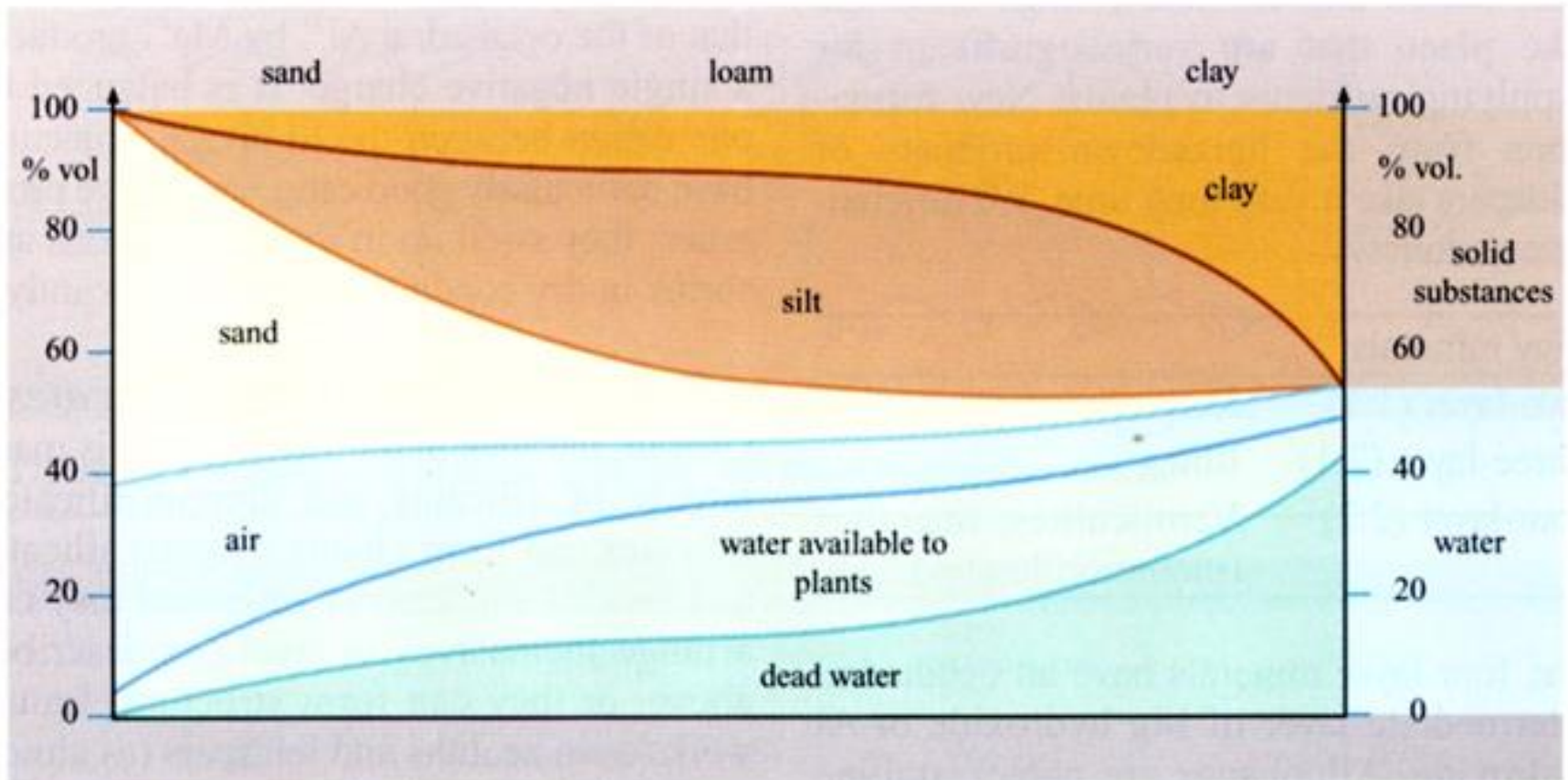


Figure 4.2.5 Volumes of water, air and substances as a factor of soil type

# Měření půdní vlhkosti

**WHC (water holding capacity) - česky retenční vodní kapacita či maximální vodní kapacita = maximální množství vody, které udrží půda po nadměrném zavlažení**

↪ udává se jako ml/g suš.

↪ pro standardizaci podmínek v půdně - ekotoxikologických testech se užívá ovlhčování na **XX % WHC** (např. 60%, 80% apod.)

↪ často je alternativou vyjádření pomocí vlhkostního potenciálu – tlak, pF

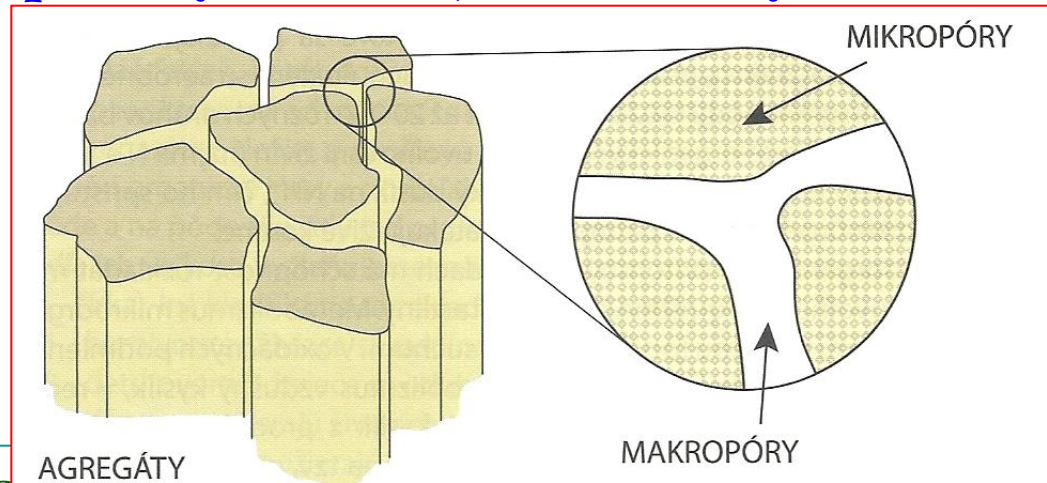


# Půdní vzduch

**Půdní vzduch** je plynná směs přítomná v těch pórových prostorech, které nejsou zaplněny vodou.

**V půdě se vyskytují:**

- ↪ **makropóry ( $d > 0,008 \text{ mm}$ )** – vyskytují se mezi agregáty nebo intergranulárně – ovlivňují pohyb vody a vzduchu a zakořeňování rostlin,
- ↪ **mikropóry ( $d < 0,008 \text{ mm}$ )** – nacházejí se v agregátech, pohyb vody je v nich pomalý, ovlivňují zadrž vody.



# Půdní vzduch

**Obsah vzduchu klesá s rostoucím obsahem vody a opačně.**

**Množství vzduchu v půdě je dáno jako doplněk od objemu pórů zaplněných vodou do celkového objemu pórů.**

**Obsah vody v půdách kolísá od 15 do 30% v písčitých půdách a od 40 do 45% v jílech.**

**Obsah pórů v půdě je v průměru 50% a póry naplněné vzduchem tedy tvoří v různých půdách různý objem.**

**Obecně však platí, že 10% pórů naplněných vzduchem je minimální objem nezbytný pro aeraci půdy, vysoká pórovitost (kolem 60 %) je indikátorem dobrých půdních vlastností.**

# Půdní vzduch

Hlavní plyny půdní atmosféry jsou **plyny vyskytující se i v normální atmosféře**, zejména  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ .

Jsou přítomny i **plyny pocházející z biologických aktivit** jako  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ , těkavé organické kyseliny a alkoholy, některé ovšem jenom přechodně, neboť jsou reaktivní s půdními složkami.

# Půdní vzduch

V dobře provzdušněné půdě je obsah  $O_2$  18 - 20% a  $CO_2$  zřídka dosáhne 1 - 2%.

Někdy však, zvláště v jílovitých, vysoce provlhčených půdách, může být obsah  $CO_2$  až 10% (toxický pro rostliny!!).

Obsah  $CO_2$  v půdní atmosféře je tedy významně vyšší než v atmosféře celkové (kde je 400 ppm  $CO_2$ ).

Difusním pochody, které jsou podmíněny odlišnými parciálními tlaky vzduchu uvnitř a nad půdou.

Takto tedy proudí atmosférický  $O_2$  do půdy a půdní  $CO_2$  z půdy ven - tzv. **půdní dýchání**.

# Půda

## Zrnitost:

- ↪ ovlivňuje pohyb vody v půdě (písčítá – jílovitá) – průchodnost
- ↪ velmi zrnitá – větší aktivní povrch, lepší sorpční vlastnosti

## Vzdušnost (aerace):

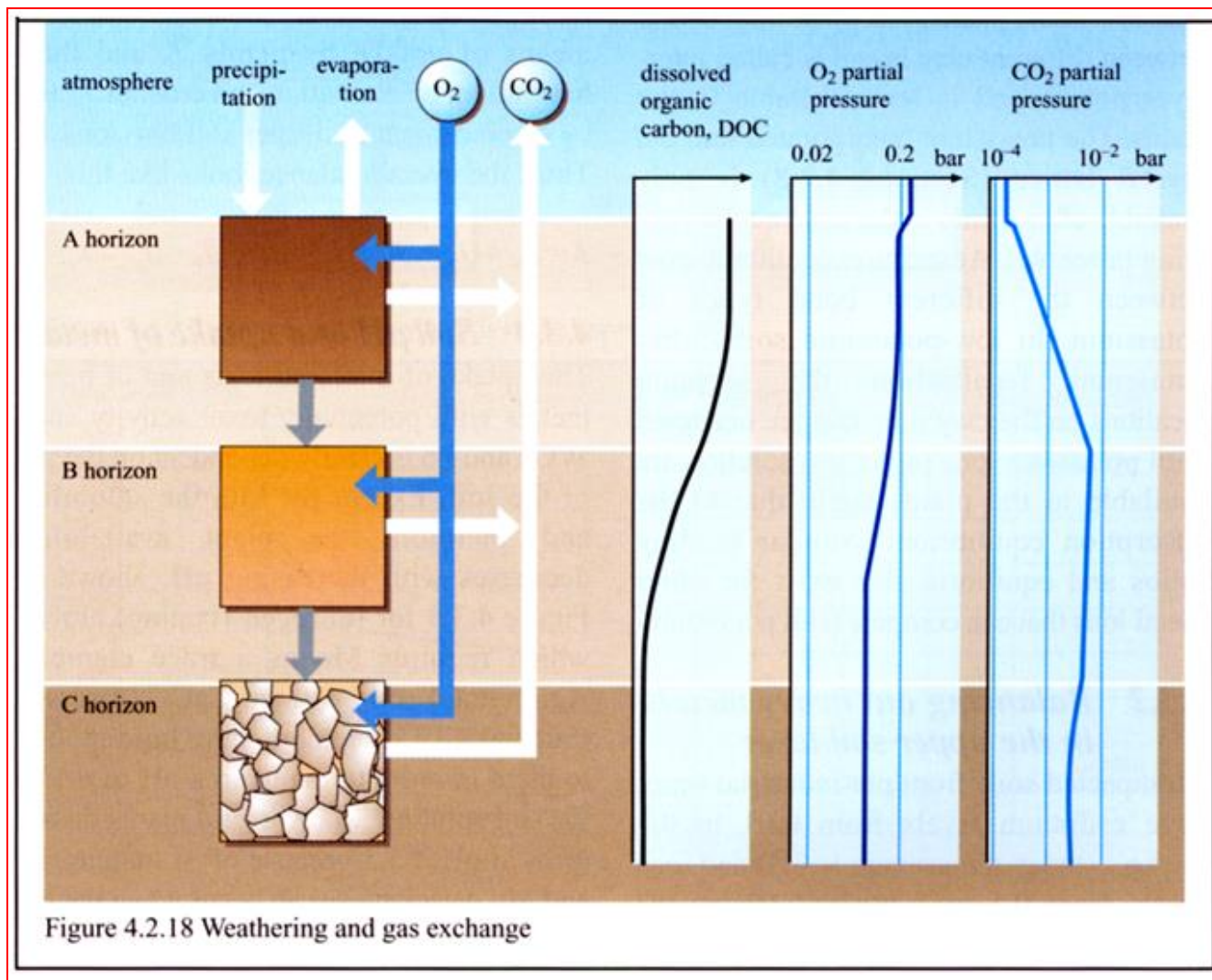
- ↪ důležitá pro průběh samočisticích pochodů – obsah a složení vzduchu v půdních pórech
- ↪ obsah kyslíku – klesá s hloubkou za zvyšování obsahu CO<sub>2</sub>,
  - 1 m pod zemí – obsah O<sub>2</sub> – 18,8 – 20,3 obj. %,
  - 6 m pod zemí – obsah O<sub>2</sub> – 14,2 – 14,9 obj. %,
  - 1 m pod zemí – obsah CO<sub>2</sub> – 0,9 – 1,1 obj. %,
  - 1 m pod zemí – obsah CO<sub>2</sub> – 4,2 – 8,9 obj. %.

# Složení půdního vzduchu v různých půdách

Charakter pôdy	CO <sub>2</sub>	O	N
Lesná pôda	0,87	19,61	79,52
Ílovitá pôda	0,66	19,61	79,35
Nehnojená pôda pod šparglôu	0,74	19,02	80,24
Zrelý kompost	3,64	16,45	79,91
Pôda ryžových polí	4,23 - 4,69	0,31 - 0,99	84,35 – 86,60
Pod koreňmi slnečnice	12,12 - 16,99	2,23 – 4,67	79,77 – 81,63
Pod koreňmi kukurice	12,30	7,25 – 3,84	74,47 – 81,59

1.22. Zloženie pôdného vzduchu v rôznych pôdach, pod rôznymi kultúrami v % (FAO, 2005)

# Zvětrávání a výměna plynů v půdách



# Obsah kyslíku a oxidu uhličitého v půdním vzduchu

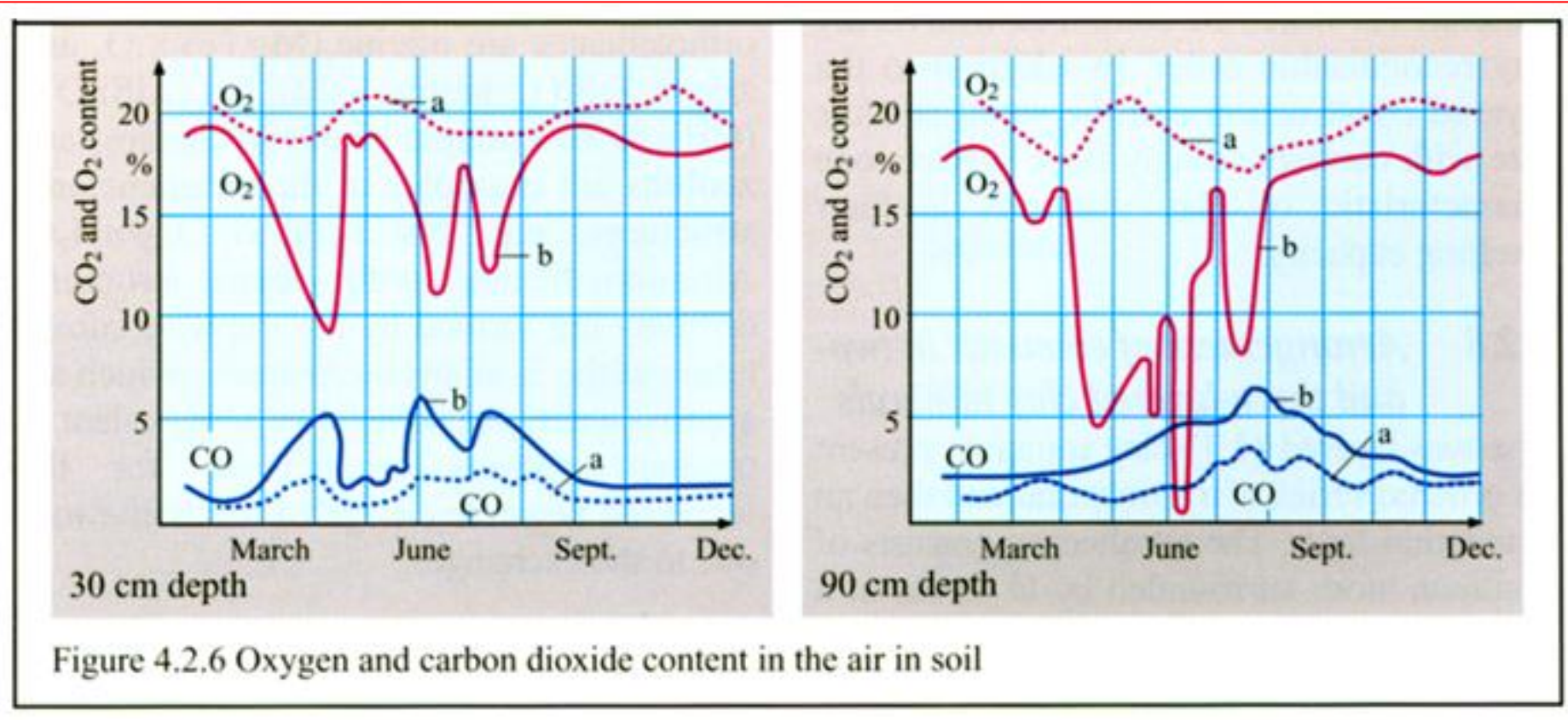


Figure 4.2.6 Oxygen and carbon dioxide content in the air in soil



# Půdní vzduch

Anaerobní procesy v půdě s nedostatkem  $O_2$  mohou vést ke hromadění methanu, vodíku  $NO_x$  i sulfanu, které mohou brzdit růst rostlin a působit toxicky na organismy.

Změna od aerobního k anaerobnímu metabolismu probíhá při koncentraci  $O_2$  menší než 1%.

Provzdušnění půdy jako celku není tak důležitá jako aerace jednotlivých shluků a agregátů.

# Půdní vzduch - shrnutí

- ↪ **Hladina kyslíku** s hloubkou klesá důsledku jeho zpomalené difuze z povrchu do půdy
- ↪ **Písčité půdy** mají nižší celkovou pórovitost, ale velké individuální póry
- ↪ **Jílovité půdy** mají obecně velkou pórovitost, ale malé individuální póry
- ↪ **Aerace a drenáž** – půdy s velkými póry mají dobrou drenáž a aeraci (písčité půdy), půdy s malými póry mají špatnou drenáž a aeraci (jílovité půdy), snadněji se dostávají do anaerobních podmínek, protože mikroby spotřebují kyslík dříve než se nahradí difuzí, mokré půdy přecházejí snadněji do anaerobních podmínek
- ↪ **Vodní pára** - relativní vlhkost půdního vzduchu kolísá mezi 5 a 100 %

# Samočistící schopnost půdy

- ↪ huminifikace
- ↪ mineralizace
- ↪ filtrace
- ↪ sorpce
- ↪ oxidace
- ↪ redukce
- ↪ mikrobiální aerobní a anaerobní procesy

# Tlumivá (pufrační) schopnost půdy

Jedna z nejvýznamnějších půdních funkcí – **schopnost odolávat působení kyselin nebo zásad** při udržování určitého rozmezí pH.

**Tlumivá schopnost** – maximální množství silných kyselin nebo zásad, které je potřebné dodat na 1 g půdy pokud chceme změnit hodnotu pH o jednotku.

**Rozsah pH hodnot základních půdních tlumivých systémů:**

- ↪ Ca-karbonátový – pH > 8 – 6,2
- ↪ Kationově výměnný – pH 6,2 – 5,0
- ↪ Silikátový – pH 5,0 – 4,2
- ↪ Hliníkový – pH 4,2 – 2,8
- ↪ Železitý – 3,8 – 2,4

# Tlumivé systémy v pôdach

Puфраčné zložky	Typické reakcie	Rozsah pH pufr. pôsob.	Chemické zmeny pôd
<b>KARBONÁTY</b>			
Kalcit	$\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$	8-6,5	strata $\text{CaCO}_3$ , ako $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
Hydrogén-karbonát	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	7-4,5	
<b>LÁTKY S PREMENLIVÝM NÁBOJOM</b>			
Ílové minerály	$\text{IM-OH]M} + \text{H}^+ \rightarrow \text{IM-OH}_2^+ + \text{M}^{+1}$	8 < 5	strata vymeniteľných katiónov
	$\text{IM-OH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{IM-OH}_2^+$	6 < 3	protonácia rôznych nábojov
Humínové látky	$\text{R-(COO)M} + \text{H}^+ \rightarrow \text{R-(COO)H} + \text{M}^+$	6 < 3	
	$\text{R-NH}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{R-NH}_3^+$	> 7-4	
<b>SILIKÁTY</b>			
primárne silikáty	$-(\text{SiO})\text{M} + \text{H}^+ \rightarrow -(\text{SiOH}) + \text{M}^+$	< 7	uvoľnenie bázičných katiónov z mriežky, tvorba ílu
ílové minerály bez stálych nábojov	$-(\text{SiO})_3\text{Al} + 3\text{H}^+ \rightarrow -(\text{SiOH})_3 + \text{Al}^{3+}$		rozklad ílov, nárast vymeniteľného Al a Al v pôdnych roztokoch,
ílové minerály so stálymi nábojmi oktaédrické	$\text{Mg}(\text{O,OH})_2\text{]M} + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{M}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	< 4,5	väzba Al v medzivrstevných priestoroch, zníženie CEC
tetraédrické	$\text{AlO}_2\text{]M} + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{M}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$		zníženie odosu vymeniteľných katiónov, uvoľnenie iónov z mriežky (Mg a Al)

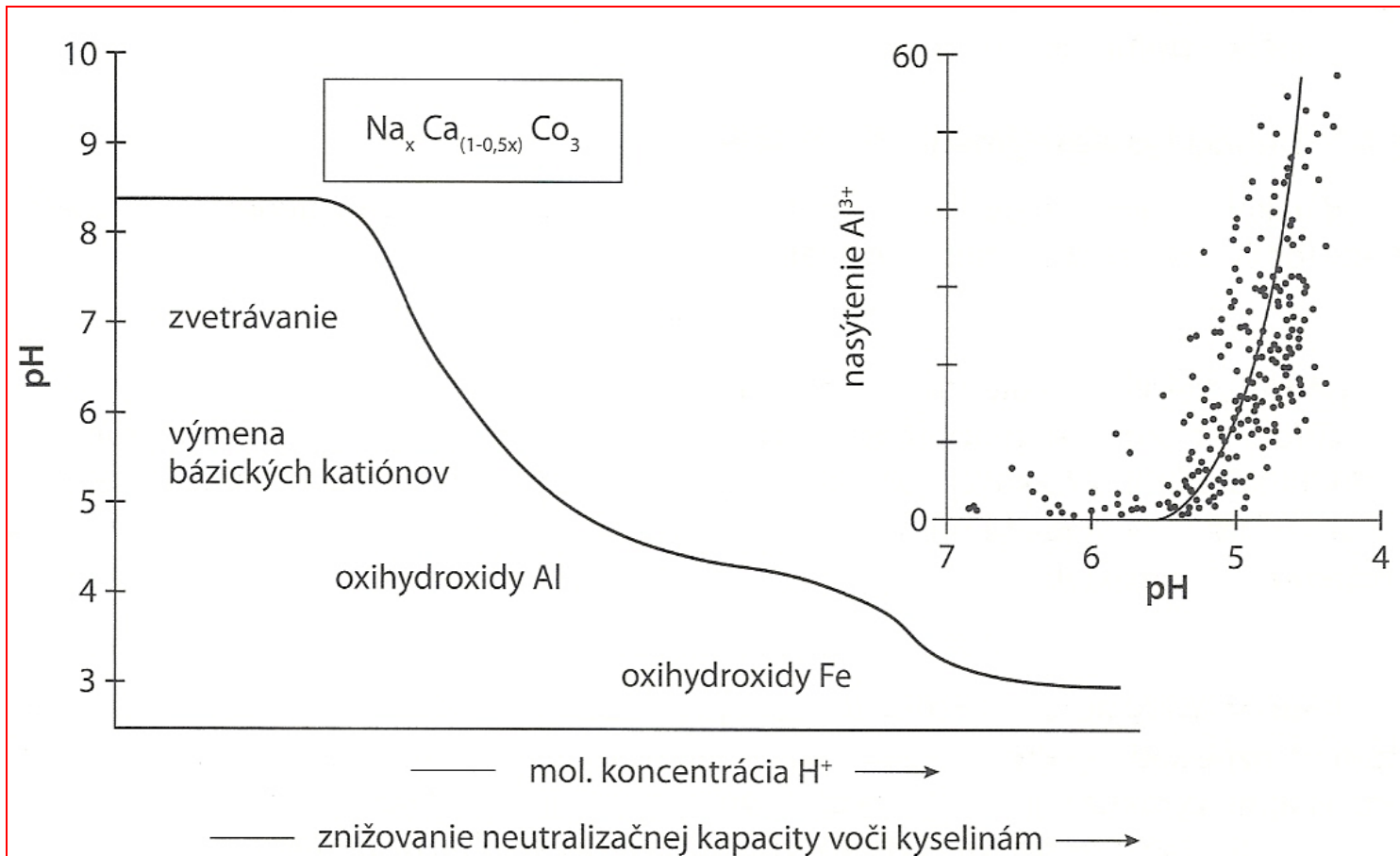
# Tlumivé systémy v pôdach

OXIDY / HYDROXIDY				(Mg a Al)
Al - hydroxidy medzivrstevné Al oktaédrické	$\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+$	$\rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$	4,8-3	Al v pôdných roztokoch, vymeniteľné Al ióny, zvýšenie CEC
Al - OH sulfáty	$\text{AlOHSO}_4 + \text{H}^+$	$\rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	4,5-3	uvoľnenie sulfátových iónov
Fe-oxidy-hydroxidy bez redukcie	$\text{FeOOH} + 3\text{H}^+$	$\rightarrow \text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	< 3	vymeniteľné ióny Fe a Mn
s redukciou	$4\text{FeOOH} + \text{CH}_2\text{O} + 8\text{H}^+$	$\rightarrow 4\text{Fe}^{2+} + \text{CO}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$	< 7	ióny Fe a Mn v pôdnom roztoku
Mn-oxidy-hydro- xidy s redukciou	$2\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{CH}_2\text{O}$	$\rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	< 8	

Poznámka: M = Ca, Mg, K, Na

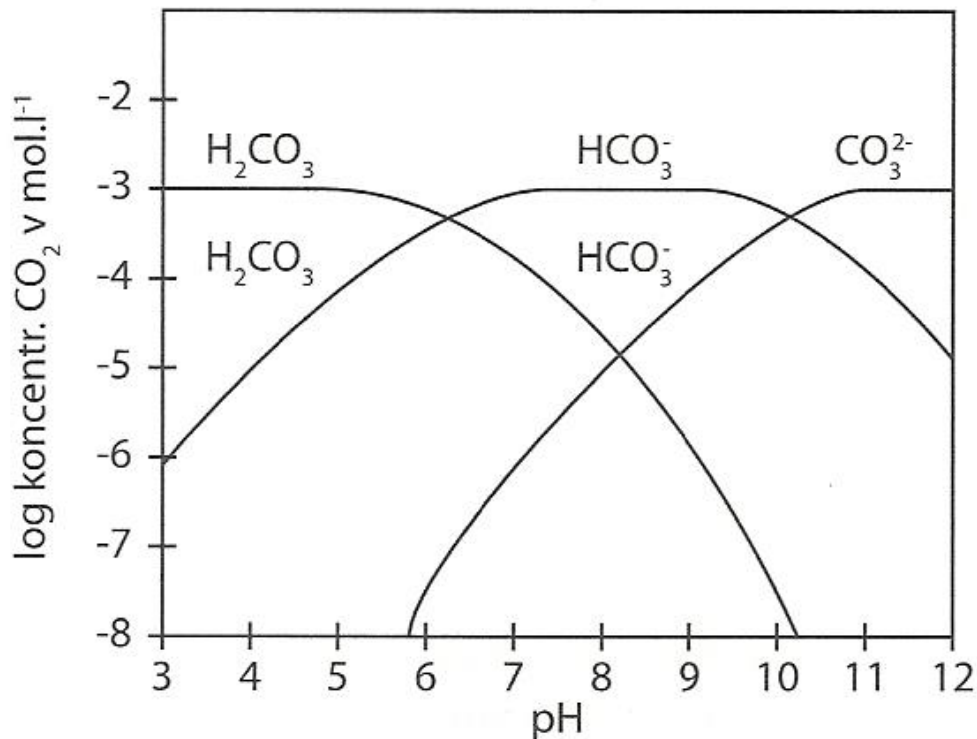
Tab. 5.14. Pufračné zložky, pufračné reakcie, rozsah pufračného pôsobenia a chemické zmeny pôd (Schwertmann et al., 1987)

# Schématizovaná puфраční křivka



br. 5.14. Schematizovaná puфраčná křivka straty neutralizačnej kapacity voči kyselinám so zvyšovaním H<sup>+</sup> iónov a ich rozdielny vplyv na pH v závislosti od puфраčných reakcií. Vpravo vplyv stupňa nasýtenia Al<sup>3+</sup> na znižovanie pH (Scheffer a Schachtschabel, 1976)

# Karbonátový tlumivý systém



Prítomnosť jednotlivých karbonátových iónov (špécii) v roztoku v závislosti od pH (Adriano, 2001)



# Mechanismy vazeb chemických látek v půdách

## Fyzikální:

- ↪ sorpce (voda, živiny, kovy, karbamáty..)
- ↪ iontová výměna
- ↪ změna produktů rozpustnosti

## Chemické:

- ↪ kovalentní nebo chelátové ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ..)
- ↪ iontové ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ..)
- ↪ organické látky
- ↪ srážecí reakce

## Biochemické:

- ↪ zabudování nízkomolekulárních organických molekul do málo reaktivních makromolekul
- ↪ mikrobiální rozklad – metabolismus, kometabolismus
- ↪ biomethylace

# Mechanismy vazeb chemických látek v půdách

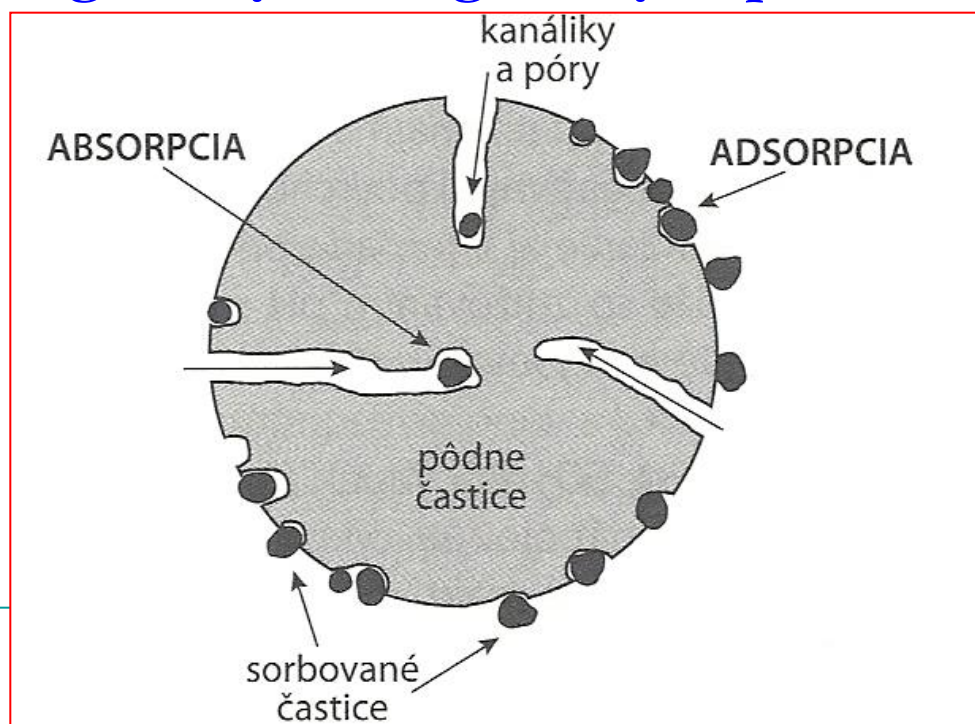
**Sorpce** – rychlá - dočasná inaktivace – desorpce, biodegradace – pomalá - trvalá.

**Prvky** – mobilita je dána vzájemnými vztahy mezi sorpčními procesy na jílových minerálech, humusu, hydratovaných oxidech (Fe, Mn, Al) a hydrotermickými podmínkami dané lokality včetně aktivní půdní mikroflóry na straně druhé.

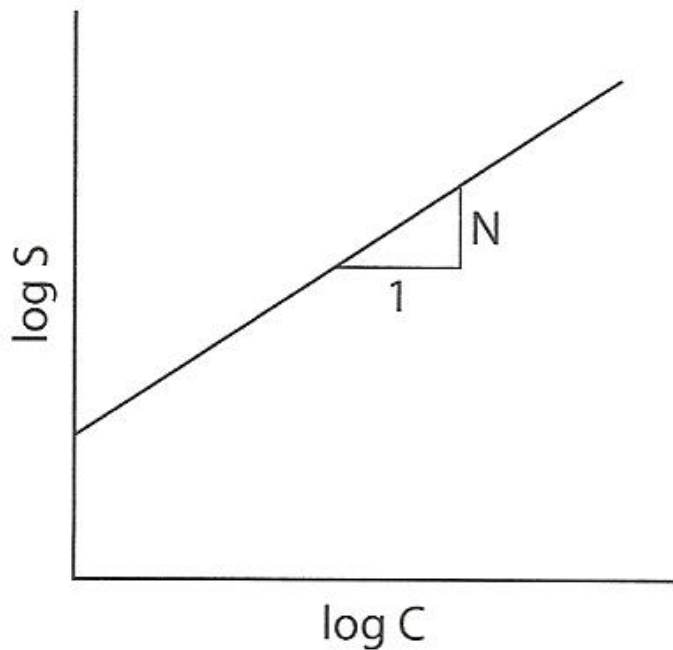
# Sorpce

Sorpce je definovaná jako přitahování rozpuštěných složek ve vodním prostředí k tuhým povrchům koloidů.

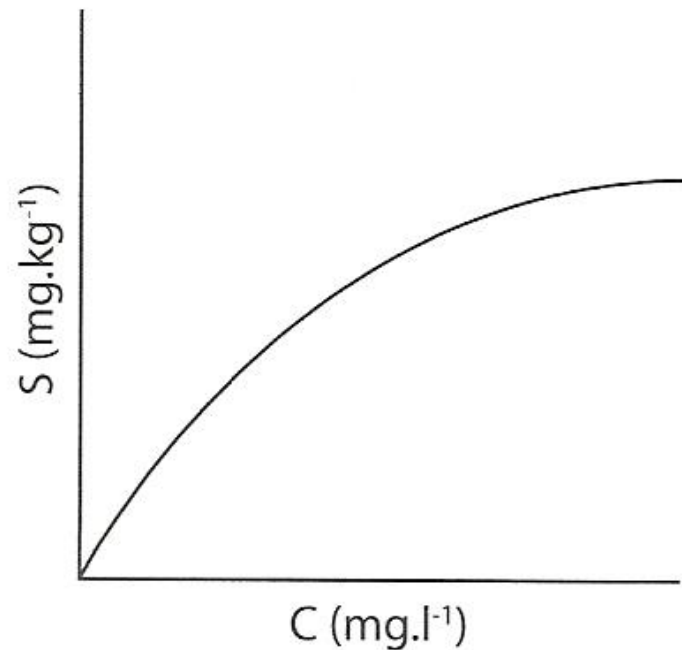
V půdách a sedimentech je to nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím pohyblivost, transport, osud, (bio)dostupnost a účinky anorganických i organických polutantů.



# Adsorpční izotermy

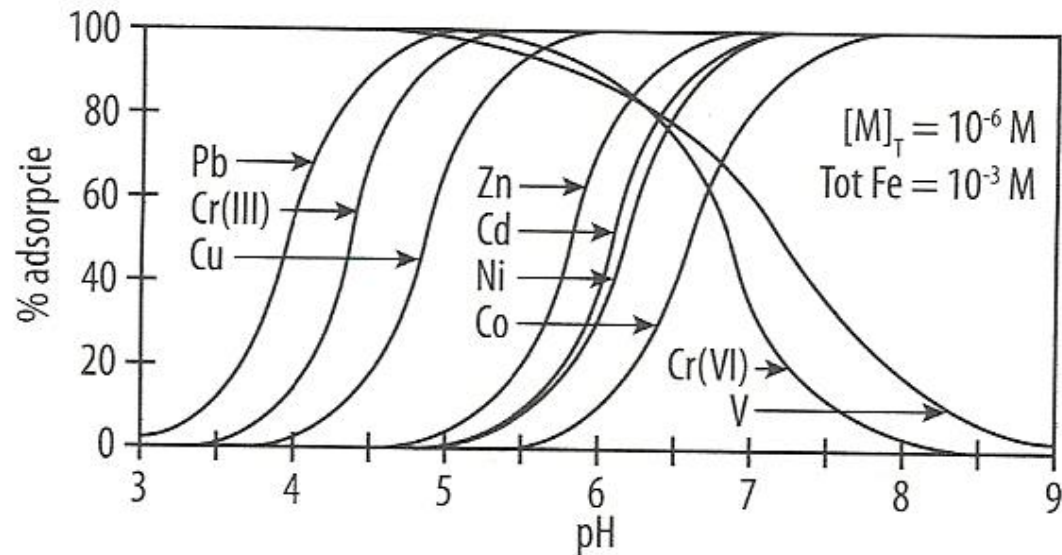


Freundlichova izoterma



Obr. 5.22. Langmuirova izoterma

# Adsorpce prvků – modelový příklad



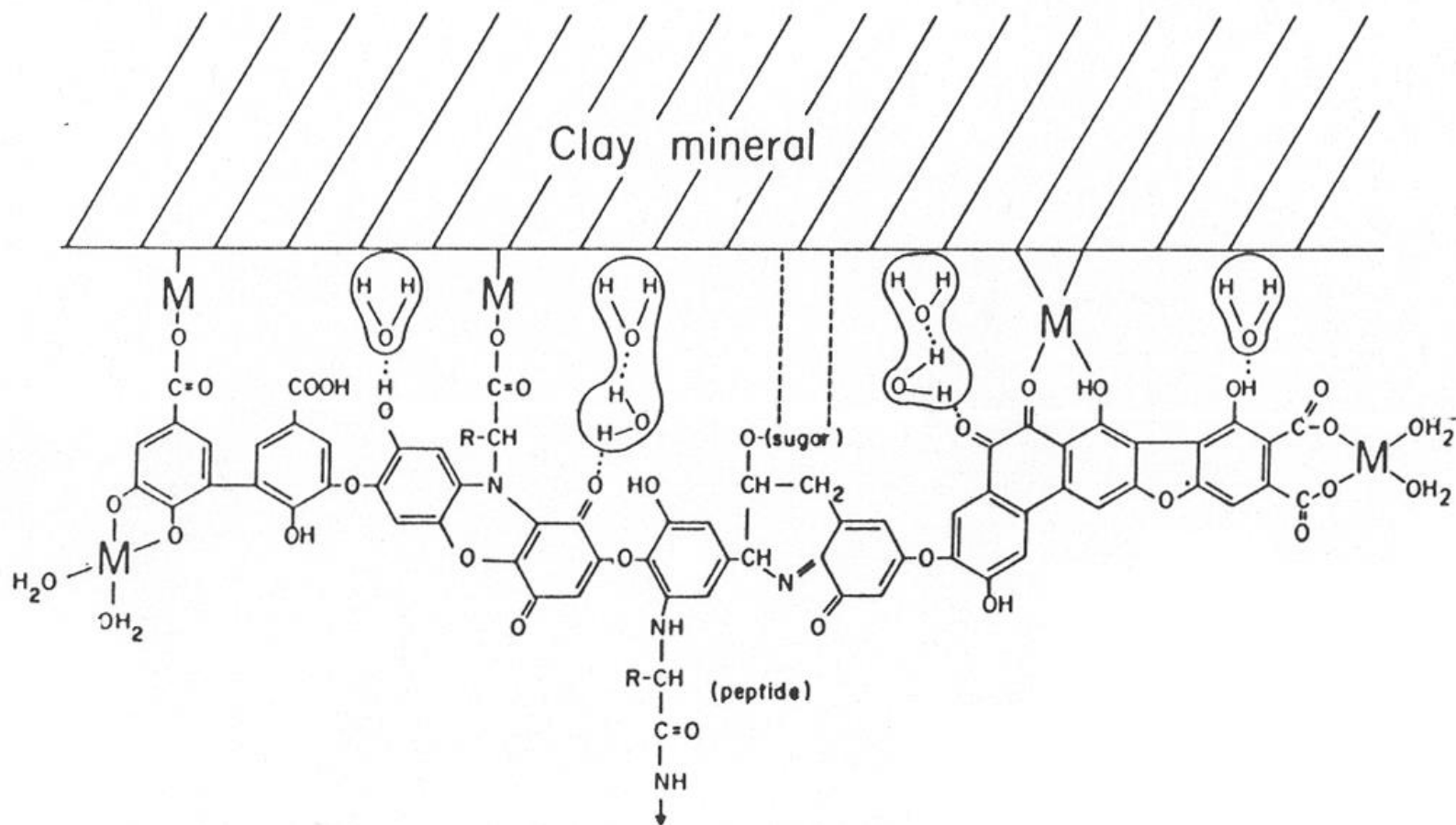
Modelovaná adsorpce některých stopových prvků na hydratovaných železitých oxidoch v závislosti od pH (Evans et al., 1995)

# Selektivita sorpcie dvojmocných kovů na půdních koloidech

Pôdny sorbent	Zostupnosť selektivity
Montmorillonit (Na)	Ca > Pb > Cu > Mg > Cd > Zn > Cd = Zn > Ni
Smektit. vermikulit	Zn > Mn > Cd > Hg
Illit (Na)	Pb > Cu > Zn > Ca > Cd > Mg
Kaolinit	Pb > Ca > Cu > Mg > Zn > Cd
Albit. labradorit	Zn > Cd > Mn > Hg
Rašelina	Pb > Cu > Cd > Zn > Ca
Fe oxihydroxidy	
Ferrihydrit	Pb > Cu > Zn > Ni > Cd > Co > Sr > Mg
Hematit	Pb > Cu > Zn > Co > Ni
Goetit	Cu > Pb > Zn > Co > Ni

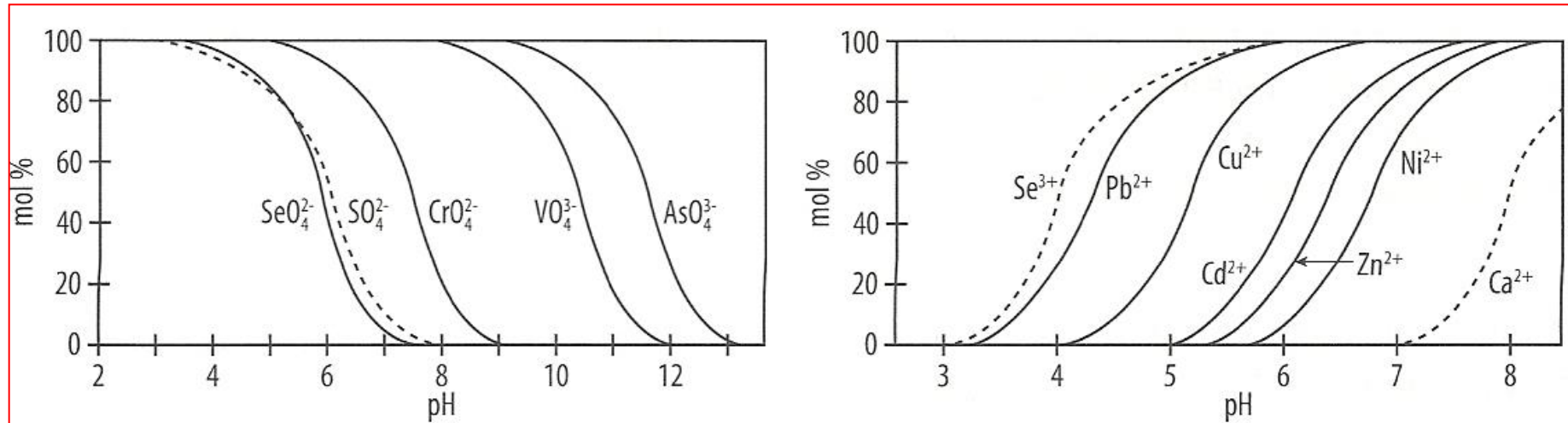
Selektivita sorpcie dvojmocných kovov na pôdnych koloidoch  
(Podľa: Alloway, 1999)

# Vazba chemických látek na půdní bio-organo-minerální komplex



**FIGURE 9.** Schematic diagram of a clay-humate complex in soil. From Stevenson and Arda-kani (1972).

# Změna sorpčních schopností anionů a kationů v závislosti na pH huminových kyselin



obr. 5.20. Změna sorpčních schopností anionů a kationů v závislosti od pH na huminových kyselinách. So vzrastom pH stúpa sorpcia kationů a klesá sorpcia anionů (Stumm et al., 1992)



# Redox potenciál

**Oxidačně redukční procesy** se charakterizují jako  $p_e$ -hodnota - záporný dekadický logaritmus elektronegativity nebo častěji jako **redox potenciál  $E_h$** , tedy míra afinity látky (V) získat elektrony v porovnání s vodíkovou elektrodou (0 V).

Každá složka má svůj **vlastní potenciál**, složky elektronegativnější než vodík mají pozitivní redox potenciál a tendenci k oxidaci, složky s nižší elektronegativitou než vodík mají negativní redox potenciál a tendenci k oxidaci.

**Redox potenciál** odráží elektrický stav půdního systému.

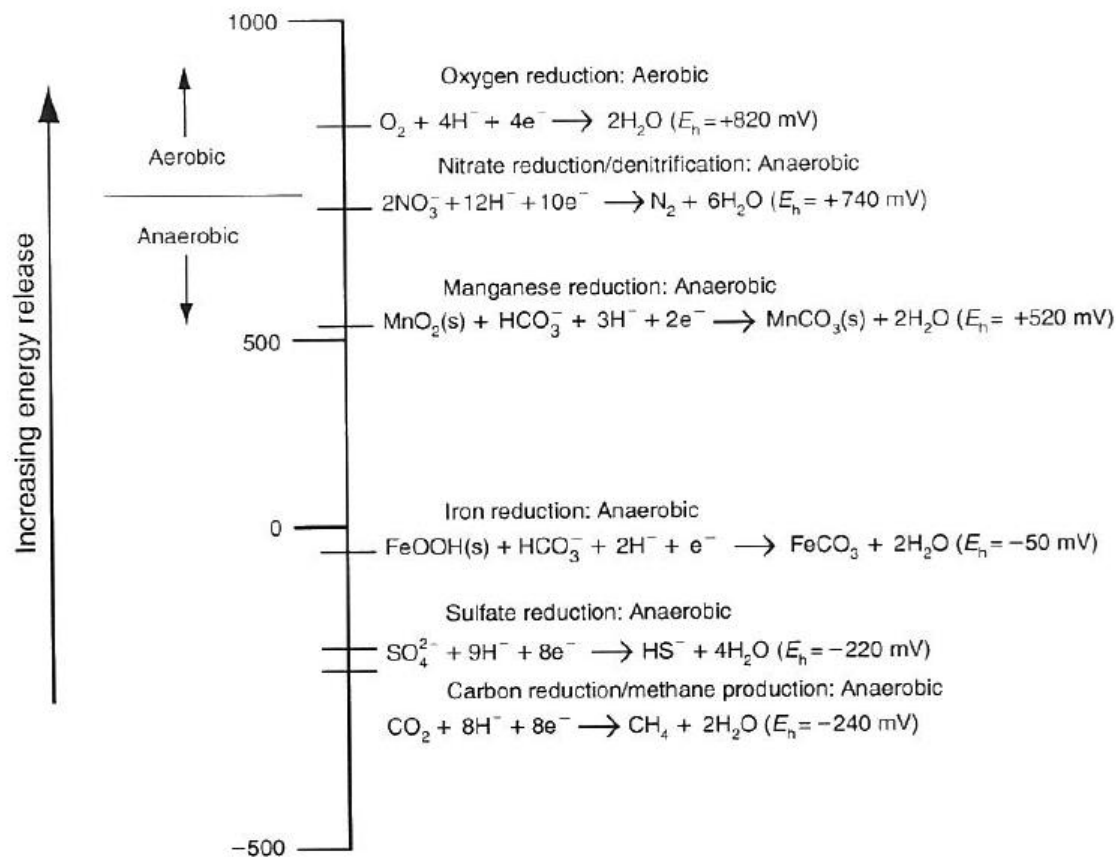
Velmi důležitý parametr **ovlivňující** řadu chemických a biochemických procesů v půdním ekosystému – změna mobility a toxicity anorganických a organických kontaminantů.

# Mikrobiálně zprostředkované oxidačně-redukční změny stopových prvků

Premena	Stopový prvek
Redukcia	As <sup>5+</sup> , Cr <sup>6+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Hg <sup>+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , Mn <sup>4+</sup> , Se <sup>4+</sup> , Te <sup>4+</sup>
Oxidácia	As <sup>3+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Fe <sup>0</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Sb <sup>3+</sup>
Metylácia	As <sup>5+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , Se <sup>4+</sup> , Sn <sup>2+</sup> , Te <sup>4+</sup>
Demetylácia	Hg <sup>2+</sup>

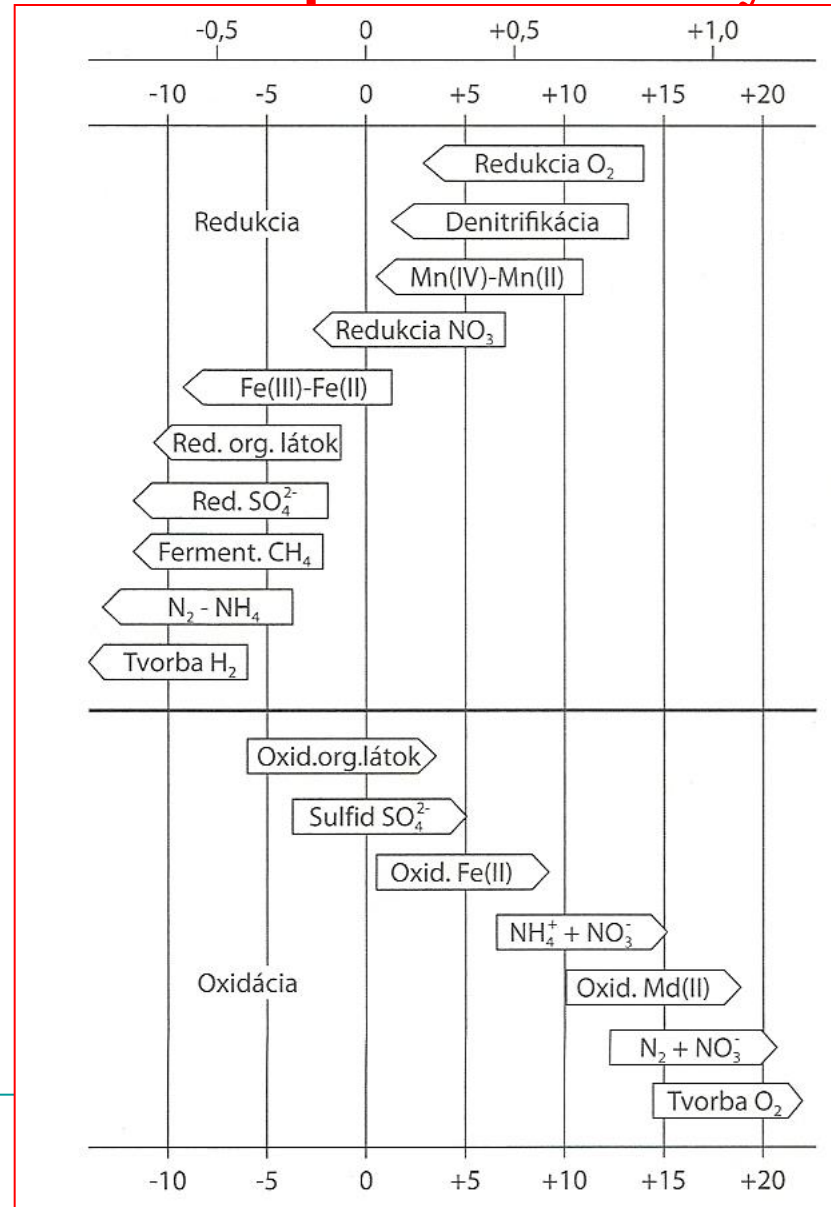
Tab. 5.18. Mikrobiálne sprostredkované oxidačno-redukčné zmeny stopových prvkov (Alloway, 1995)

# Rozsah mikrobiálních redoxních reakcí

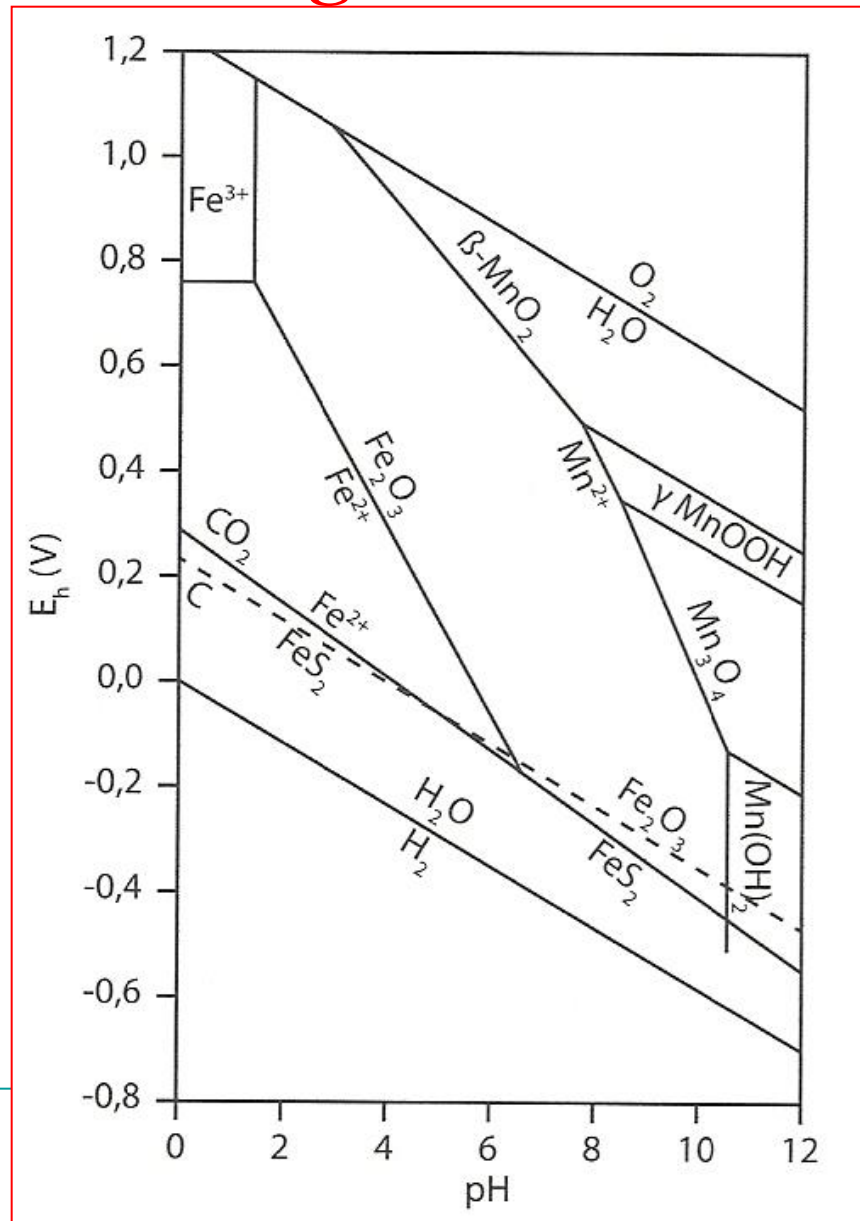


**FIGURE 8.3** Order of successive microbially mediated redox reactions, is from top to bottom, from higher to lower redox potential. The more positive the redox potential is, the more energy is released per electron transferred. (Adapted from Wiedemeier, T.H., Wilson, J.T., Kampbell, D.H., Miller, R.N., and Hansen, J.E., 1995, *Technical Protocol for Implementing Intrinsic Remediation with Long-Term Monitoring for Natural Attenuation of Fuel Contamination Dissolved in Groundwater*, U.S. Air Force Center for Environmental Excellence, San Antonio, 1995.)

# Posloupnost mikrobiálních zprostředkovaných redox reakcí v přírodních systémech



# Eh-pH diagram – pole stability Fe a Mn oxidů, pyritu a organického uhlíku



# Jílové minerály jako polyfunkční výměnný systém

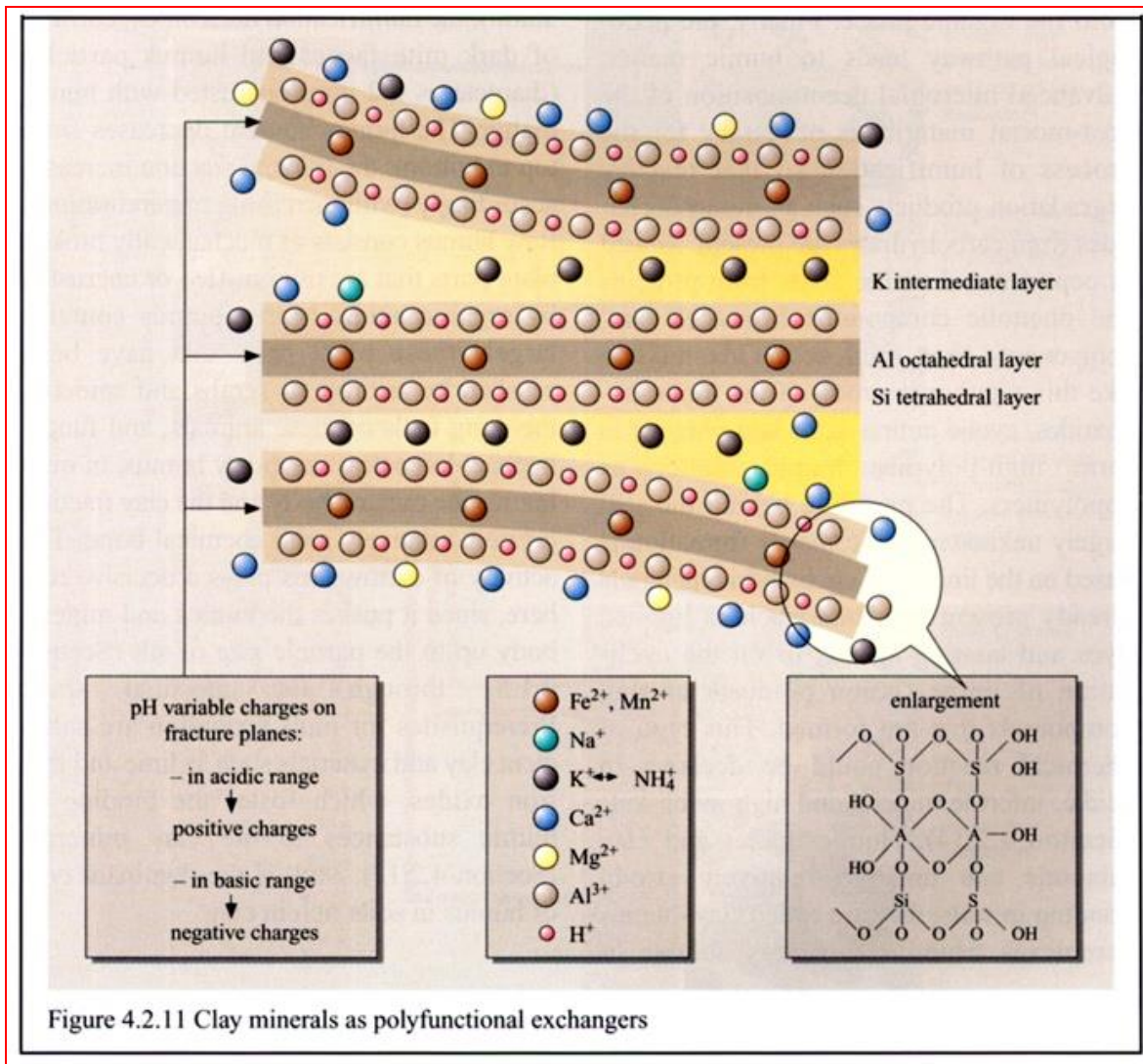
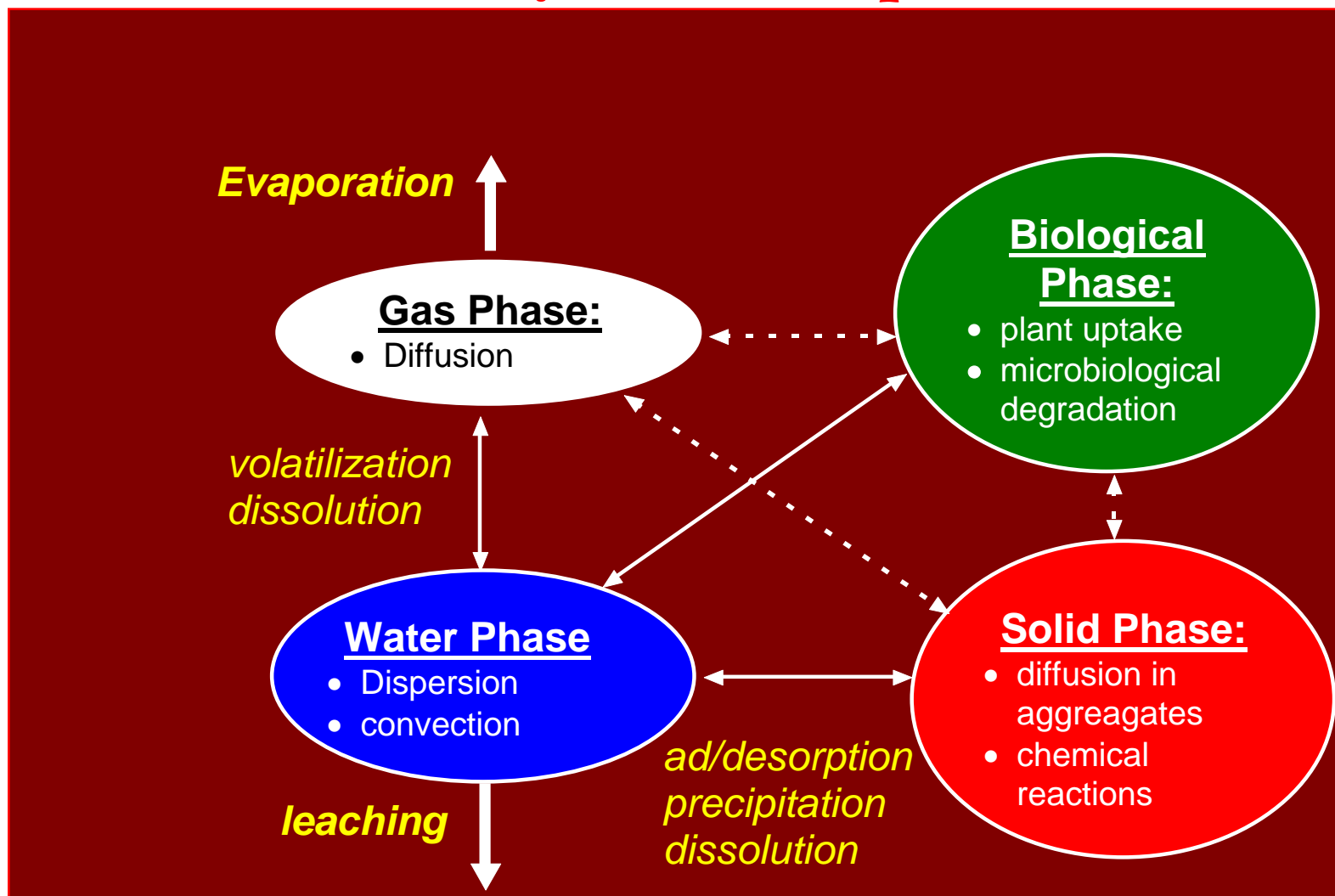


Figure 4.2.11 Clay minerals as polyfunctional exchangers

# Schema procesů důležitých pro transport a osud chemických látek v půdách



# Biodostupnost

**Bioavailability** refers to the extent to which humans and ecological risk receptors are exposed to contaminants in soil or sediments.

**Bioavailability** has recently piqued the interest of the hazardous waste industry as an important consideration for deciding how much waste to clean up.

The rationale is that if **contaminants in soil and sediment are not bioavailable**, then more contaminant mass can be left in place without creating additional risk.

L. J. Ehlers and R. G. Luthy, ES&T, 2003



# Biodostupnost polutantů v půdách

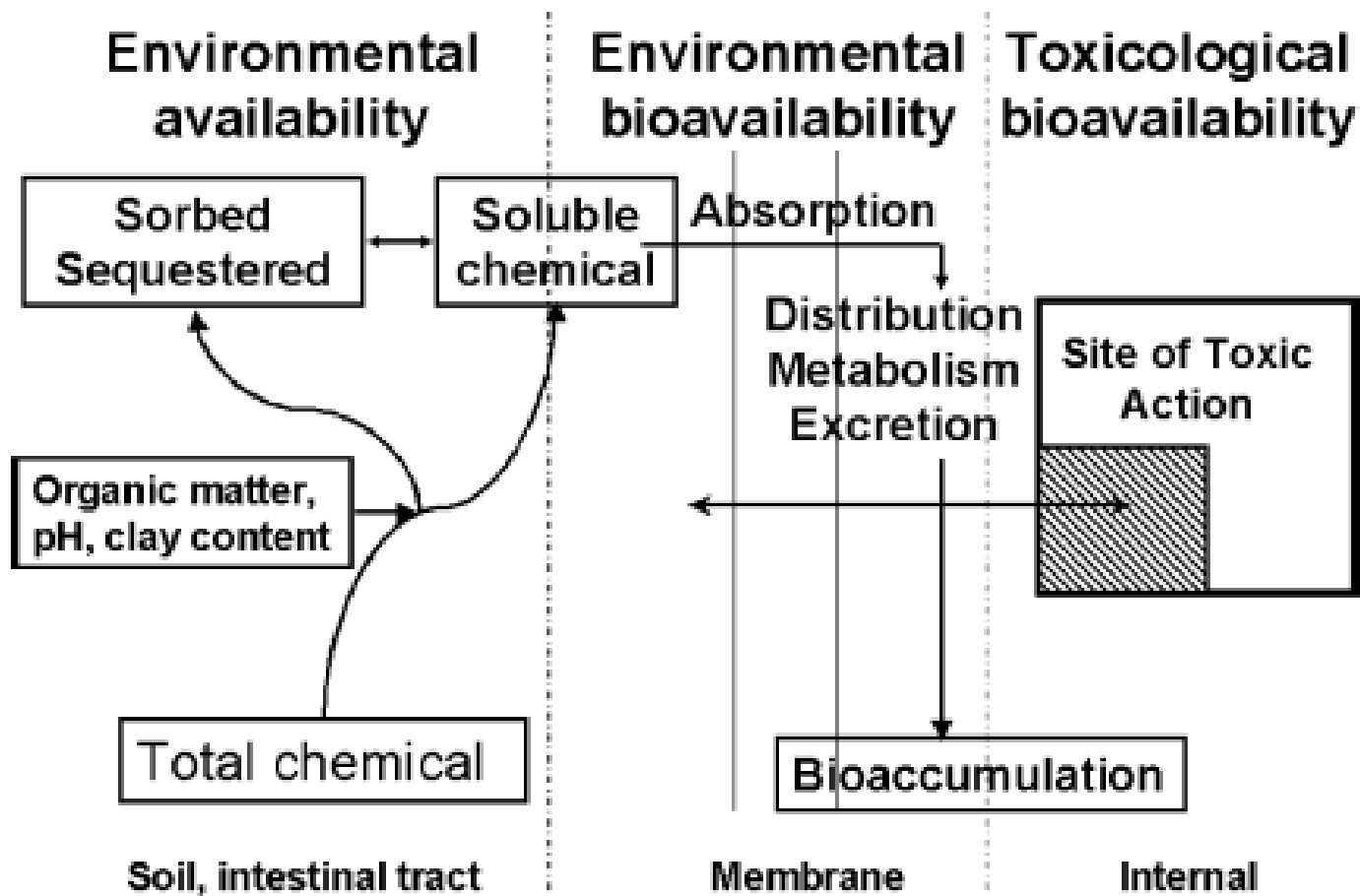
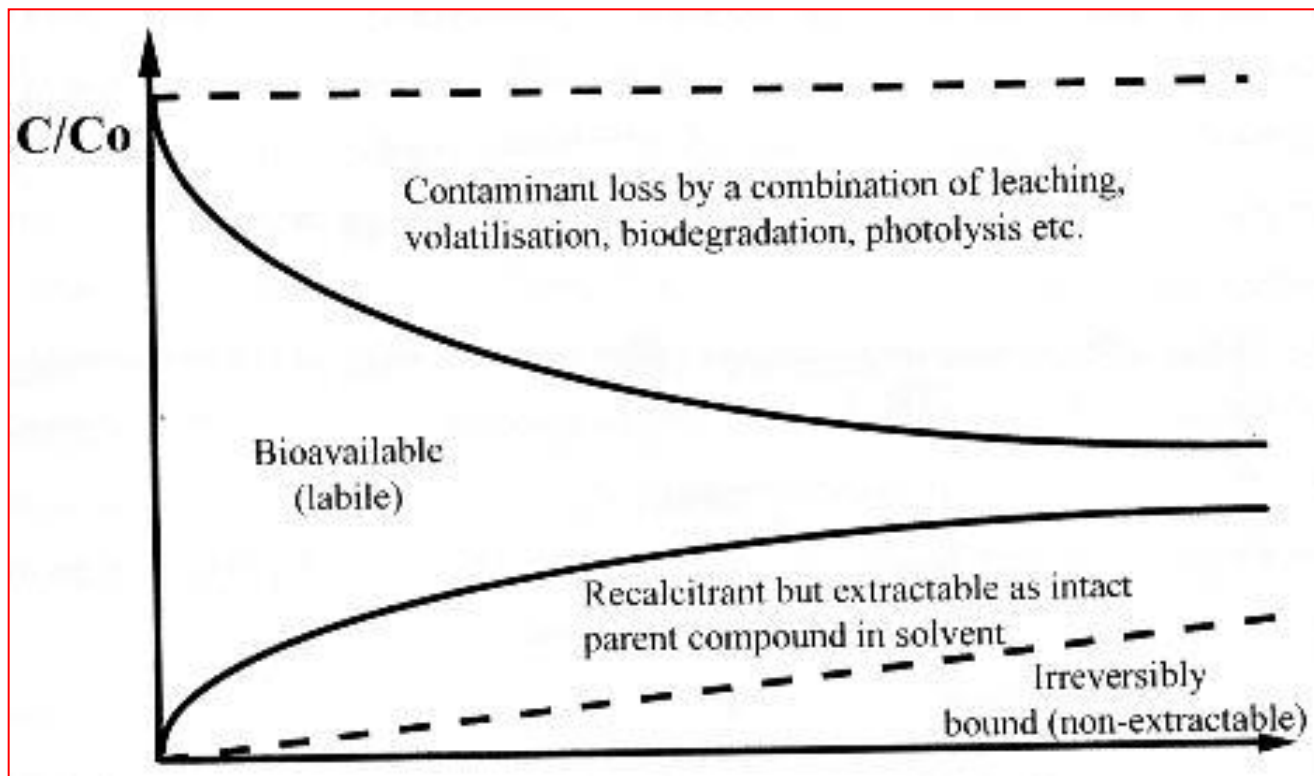


Fig. 2. Schematic model of bioavailability (with permission from Lanno, 2003).

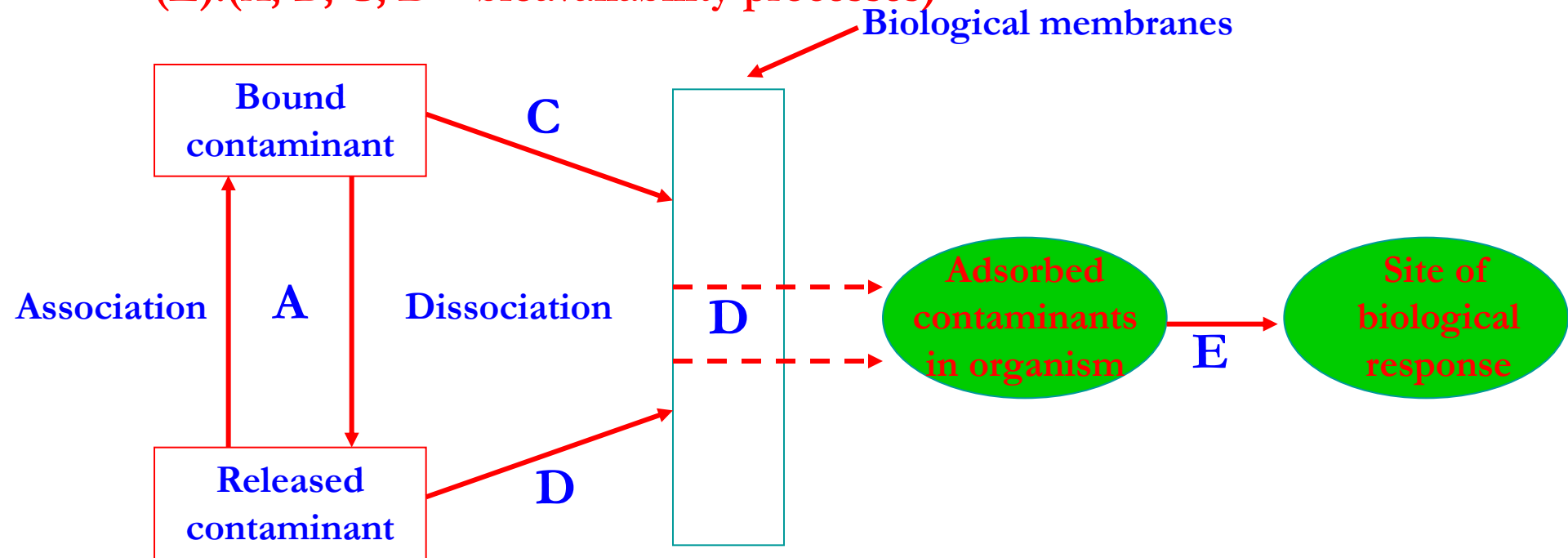
# Biodostupnost polutantů v půdách

Bioavailability processes can be defined as the individual physical, chemical and biological interactions that determine the exposure of organisms to chemicals associated with soils and sediments.



# Biodostupnost

In both soil and sediment, processes that determine exposure to contamination include release of a solid-bound contaminant (A) and subsequent transport (B), transport of bound contaminants (C), uptake across a physiological membrane (D), and incorporation into a living system (E). (A, B, C, D – bioavailability processes)



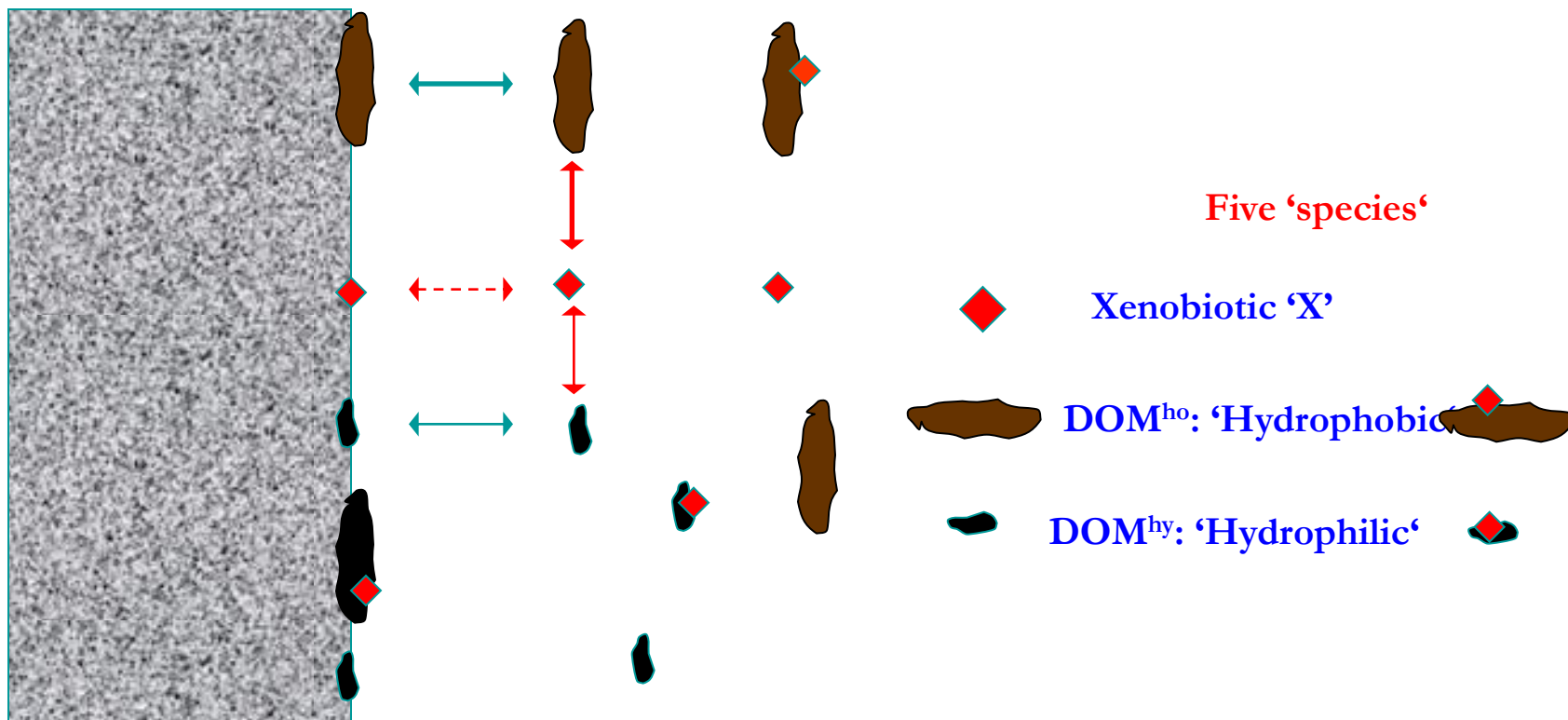
# Současný vývoj procesů porozumění transportu a osudu polutantů v půdách

- ↪ Faktory ovlivňující transport chemických látek
- ↪ Interakce mezi půdní organickou hmotou a xenobiotiky: Koc koncept?
- ↪ Ko-transport v půdách
- ↪ Chemická a biologická heterogenita v půdách

# Effect of co-transport with mobilized particles: colloids and/or dissolved organic matter (DOM)?

Solid phase:  
organic + inorganic

Liquid phase





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Inovace tohoto předmětu je spolufinancována  
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem  
České republiky**