

# Chemie životního prostředí II – Znečištění složek prostředí Pedosféra

(03)

## Půdotvorné faktory a procesy

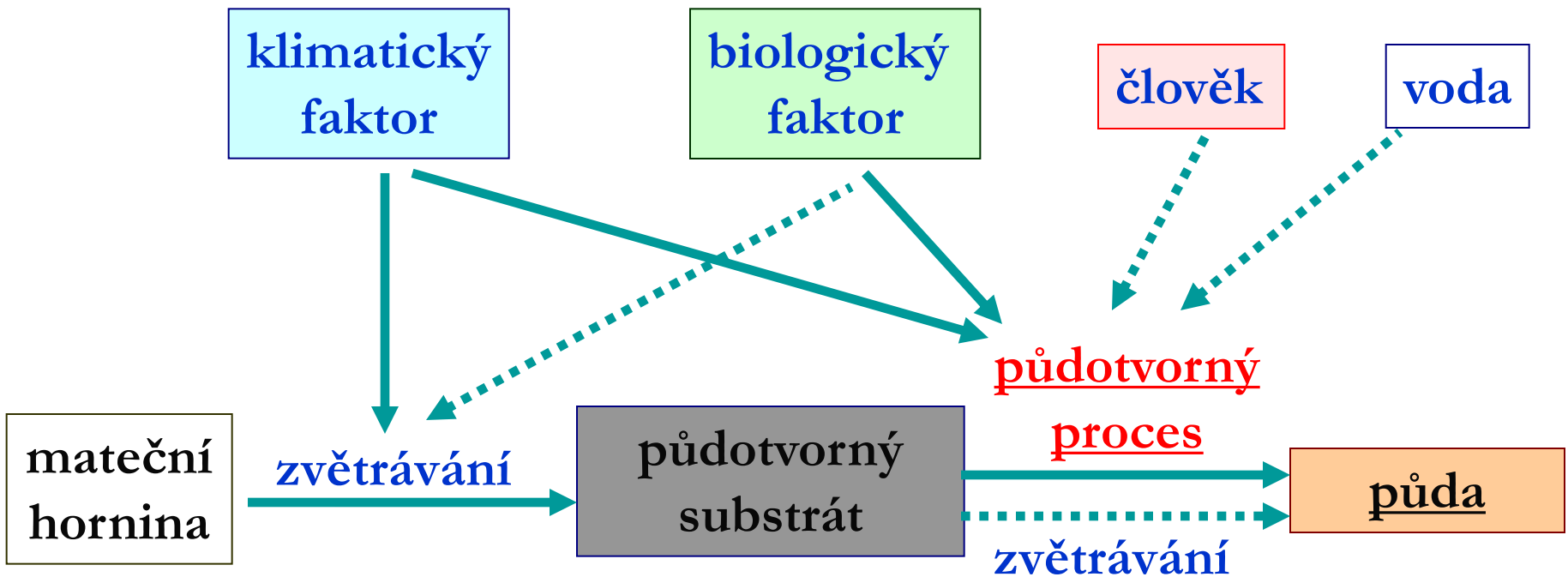
Ivan Holoubek

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

holoubek@recetox.muni.cz; <http://recetox.muni.cz>

# Půdotvorný proces

- ↪ **Zvětrávání** (zejména kombinace mechanických a chemických procesů) vede ke vzniku půdotvorného substrátu a není ještě zahrnováno do půdotvorného procesu
- ↪ Půdotvorný proces zahrnuje významně činnost organismů



**Podmínky půdotvorného procesu:**

- čas (100' až 1000' let)
- reliéf (např. svah)

# Pedosféra

**Faktory a podmínky půdotvorného procesu:**

**Půda vzniká působením půdotvorných činitelů, které dělíme do dvou hlavních skupin:**

- ↪ **půdotvorné faktory**
- ↪ **podmínky půdotvorného procesu**

**Faktory** působí při vzniku půd přímo, **podmínky** naopak přes svůj vliv na půdotvorné faktory.

# Půdotvorné faktory

## Substrát (matečná hornina)

- ↪ výchozí materiál pro vznik půdy, předmět přeměn probíhajících v půdě;
- ↪ petrologické složení substrátu ovlivňuje rychlost tvorby půdy (zvětrávání pevných hornin) a s tím související hloubku půdy a její zrnitostní složení, na kterém závisí fyzikální, fyzikálně-chemické, biologické i další půdní vlastnosti;
- ↪ chemismus při vývoji půd – obsah bází (Ca, Mg) – na jejich množství závisí rychlost vyluhování půdy; minerální síla substrátu – Ca, Mg, P, K;
- ↪ uhličitany Na, K, lehce rozpustné soli – sírany a chloridy – zasolení půd;

# Půdotvorné faktory

## Podnebí :

- ↪ ovlivňuje směr, intenzitu a rychlost pochodů v půdě;
- ↪ na teplotě, množství a rozvržení srážek během roku závisí, zda dochází k vynášení látek vzlínající vodou (v suchém – aridním – klimatu převládá výpar) nebo k vyluhování (ve vlhkém – humidním – klimatu převládá infiltrace);
- ↪ podnebí (klimatický faktor) – určující faktor při tvorbě půd;

# Půdotvorné faktory

## Biologický faktor

- ↪ vegetace (+ edafon) – dodavatel organické hmoty – výchozí materiál k tvorbě humusu;
- ↪ podstatně ovlivňuje mikrobiální život půdy, tím i hospodaření s živinami (zvláště N):
- ↪ lesní porosty – vytvářejí zpravidla jen malá množství hodnotného humusu (poměrně chudý kořenový systém dřevin, opad se hromadí na povrchu půdy, kde je mineralizován nebo se mění na surový humus) a silným okyselováním působí ve směru půdního vyluhování;
- ↪ původní stepní případně lesostepní porosty naopak svým rozvinutým kořenovým systémem podporují huminifikaci přímo v minerální hmotě půdy a akumulací minerálních látek spolupůsobí při odolnosti vůči vyluhování.

# Půdotvorné faktory

## Podzemní voda

- ↪ spolu s vodou povrchovou ovlivňuje celkové vláhové poměry v půdě;
- ↪ velký obsah vody vede k fyzikálně-chemickým a chemickým změnám a tím k uplatnění oglejení a nebo glejového procesu;
- ↪ vysoká vlhkost zpomaluje rozklad organických látek a podporuje jejich hromadění (rašelinění);
- ↪ spodní voda bohatá na rozpuštěné látky ale také může způsobovat zasolení;

# Půdotvorné faktory

## Vliv člověka:

### ↪ příznivý:

- ➔ zvyšuje hloubku prohumózněné vrstvy;
- ➔ zlepšuje fyzikální, fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půd;

### ↪ nepříznivé:

- ➔ kulturační činnost způsobuje úbytek humusu v proorávané vrstvě;
- ➔ vystavuje půdu účinkům eroze;
- ➔ kontaminuje půdu cizorodými látkami;



# Podmínky půdotvorného procesu

**Utváření terénu (reliéf)** – ovlivňuje ostatní půdotvorné činitele:

- ↪ klima v závislosti na nadmořské výšce a expozici stanoviště (větší či menší oslunění);
- ↪ rozložení matečných substrátů;
- ↪ vodní režim území;
- ↪ ovlivnění intenzity infiltrace;
- ↪ rušivě – eroze, akumulace;

**Čas** (doba uplatnění půdotvorných pochodů) – stáří půdy – časový úsek, po který nerušeně působí soubor přibližně stejných půdotvorných procesů – projevuje se zralostí půd – čím je půda starší, tím je zpravidla půdní profil lépe vyhraněn.

# 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

## 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

# Půdotvorné procesy

**Zvětrávání** – předchází vlastnímu vzniku půd a probíhá i během jejího vývoje – fyzikální a chemické změny probíhající při rozpadu horniny – podstatou je mechanický rozpad a chemická přeměna prvotních (primárních) minerálů v druhotné (sekundární), uvolňování bází, oxidů Fe a Al, kyseliny křemičité, tvorba jílu aj. – je silně ovlivněno klimatem a biologickým faktorem.

**Humifikace** – mikrobiální a chemické procesy, při kterých se mění organické zbytky v humus – probíhá ve větší či menší míře ve všech půdách a je tím nejvlastnějším půdotvorným pochodem, který podmiňuje vznik půdy.

# Půdotvorné procesy

**Eluviace** – vyplavování, ochuzování – proces, při kterém dochází k přemístování jednotlivých půdních složek (ve formě roztoků nebo koloidních roztoků) prosakující vodou do spodních vrstev – podle intenzity se dělí dále na:

- ↪ **vyluhování** – posun rozpustných solí,
- ↪ **degradaci** – posun  $\text{CaCO}_3$ ,
- ↪ **illimerizaci** – posun jílu,
- ↪ **podzolizaci** – posun sloučenin Fe a Al obvykle spolu s organickými látkami;
- ↪ (zvláštní forma – **slancování** – probíhá na zasolených půdách);

**Iluviace** – obohacování – opak eluviace – při ní se vyluhované součásti opět v určité vrstvě hromadí;

# Půdotvorné procesy

**Oglejení a glejový proces** – probíhá v zamokřených půdách:

**Oglejení:**

- ↪ probíhá při periodickém převlhčování povrchovou vodou,
- ↪ typickým je střídání redukčních a oxidačních procesů při střídavém převlhčování a vysychání svrchních půdních vrstev,
- ↪ dochází při něm především k uvolňování sloučenin Fe a v období vyschnutí k jejich shlukování do nápadných kongrecí, tzv. železitých broček a jiných novotvarů,
- ↪ při silnějším oglejení vznikají charakteristické mramorované horizonty,
- ↪ znaků oglejení do hloubky obvykle ubývá,

# Půdotvorné procesy

## Glejový proces:

- ↪ probíhá při více méně trvale zvýšené hladině podzemní vody,
- ↪ redukce sloučenin Fe, př. Mn podmíněná nedostatkem vzduchu (anaerobní podmínky) při současném zvyšování organických látek a rozkladu prvotních minerálů vlivem vysoké půdní kyselosti,
- ↪ projevuje se zajičením, šedou, zelenavou nebo namodralou barvou zeminy, způsobenou přítomností  $\text{Fe}^{2+}$ ,
- ↪ při slabším uplatnění tohoto procesu dochází ke střídání redukčních a oxidačních procesů a ke vzniku rezavých skvrn,
- ↪ znaků glejového procesu do hloubky ubývá

# Půdotvorné procesy

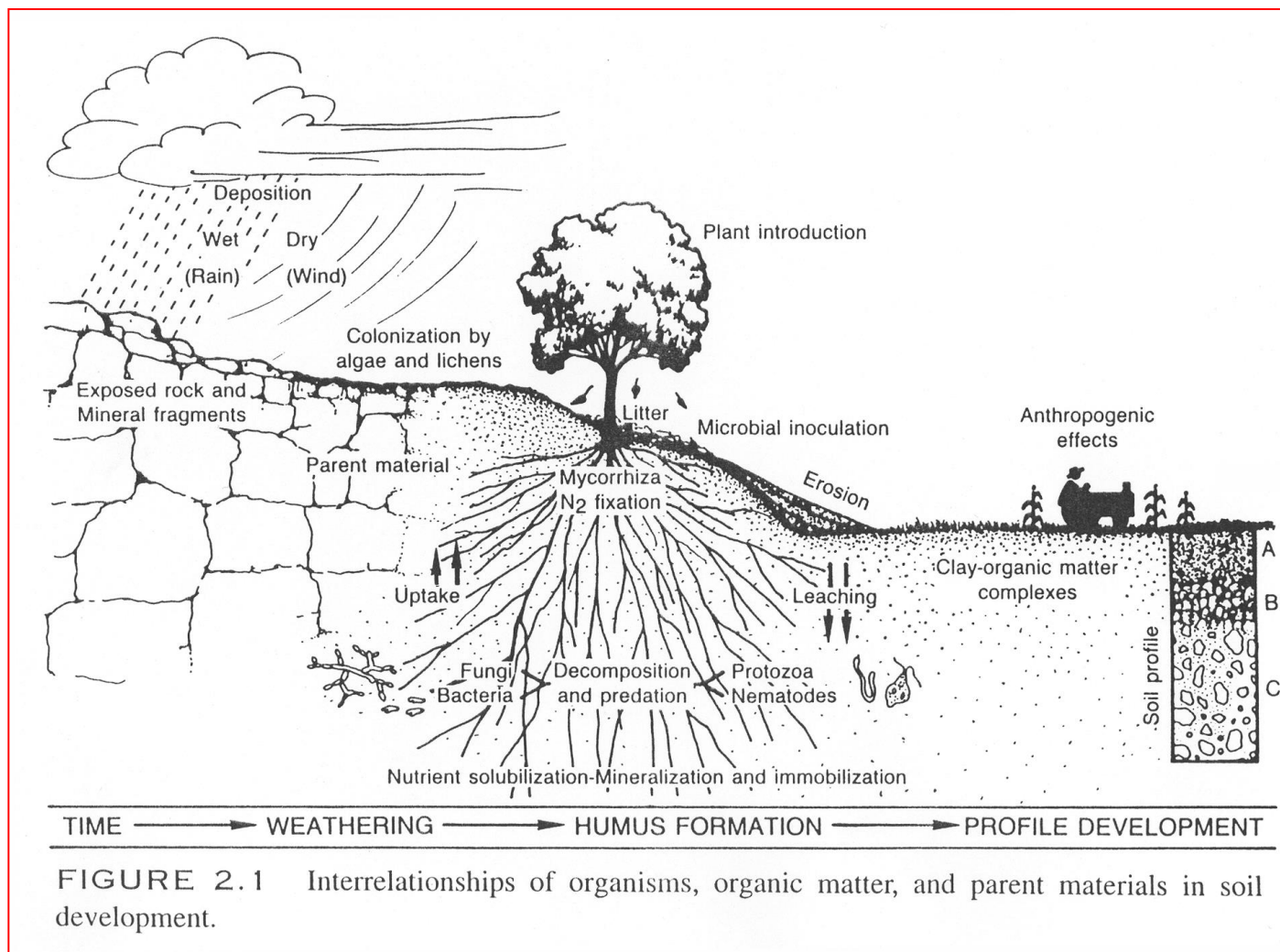
**Solončakování** – proces, při kterém jsou do půdního profilu vnášeny lehce rozpustné soli – sírany, uhličitany a chloridy jednomocných kationtů (Na) – v našich podmínkách jde nejčastěji o vynášení solí vzlínáním mineralizované podzemní vody v aridnějším klimatu

**Slancování** – vymývání solí z povrchových vrstev a jejich akumulace ve spodních vrstvách (spodině).

Zpravidla probíhá **současně několik půdotvorných procesů**, z nichž jeden se uplatňuje vedoucím způsobem – hlavní půdotvorný proces, ostatní se nazývají vedlejšími – uplatní-li se některý výrazněji – podřízený půdotvorný proces.



# Půdotvorné procesy – vztahy mezi půdními organismy, půdní organickou hmotou a mateřskými horninami



# Pedogeneze

Soubor vzájemně se podmiňujících a ovlivňujících se procesů, které se dají rozdělit do dvou skupin:

- ↪ Přeměna mateřské horniny a minerálů na půdotvorný substrát - zvětrávání
- ↪ Tvorba půdního profilu s mechanickou a chemickou diferenciací půdních složek – (pedogeneze)

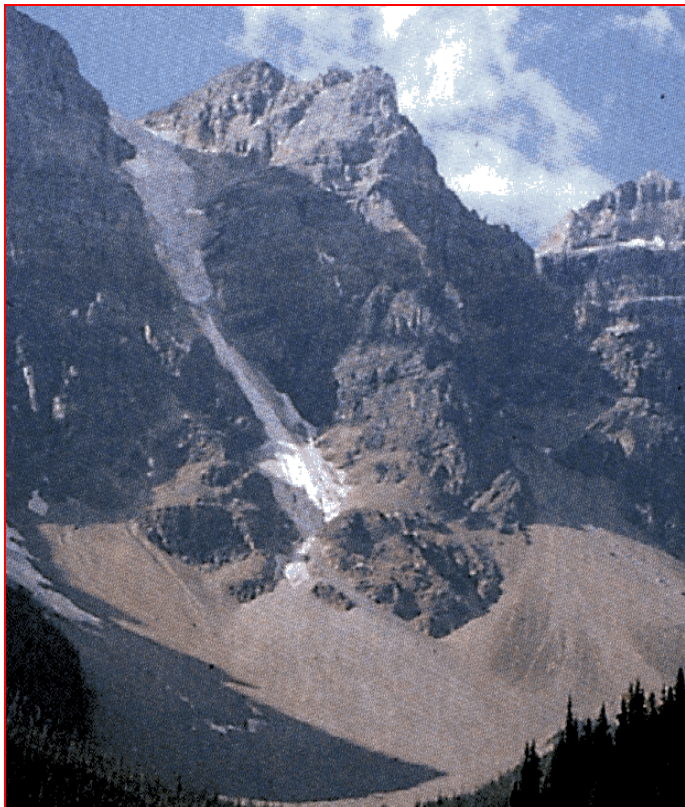
# Zvětrávání

**Zvětrávání** – základní hypergenní proces na zemském povrchu probíhající v zóně interakce litosféry atmosféry, hydrosféry a biosféry, který vede k **dezintegraci a přeměně vyvřelých, metamorfovaných a sedimentárních hornin** vlivem mechanických, chemických a biologických procesů.

Předchází vlastnímu vzniku půd a probíhá i během jejího vývoje – **fyzikální a chemické změny** probíhající při rozpadu horniny – podstatou je mechanický rozpad a chemická přeměna prvotních (primárních) minerálů v druhotné (sekundární), uvolňování bází, oxidů Fe a Al, kyseliny křemičité, tvorba jílu aj. – je silně ovlivněno **klimatem a biologickým faktorem**.

# Zvětrávání

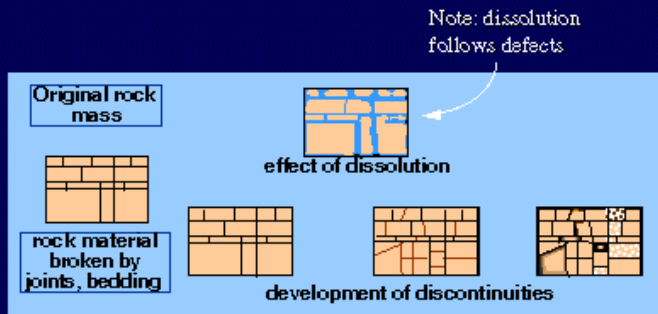
**Zvětrávání** – chemická a fyzikální degradace hornin na relativně jemné částice (půdy a sedimenty) a rozpuštěné látky, klíčový prvek exogenního geochemického cyklu



- ↪ salinita oceánů
- ↪ výživa pro biotu
- ↪ rudy
- ↪ transformace povrchu
- ↪ spotřeba  $H^+$
- ↪ spotřeba  $CO_2$

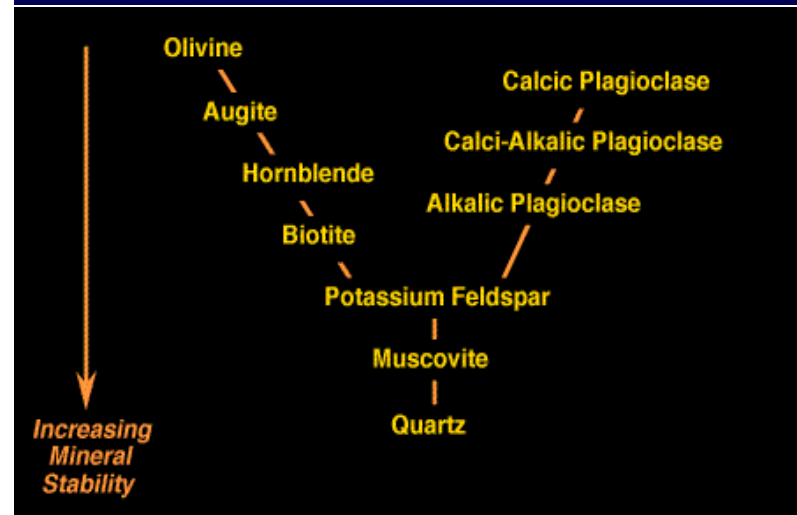
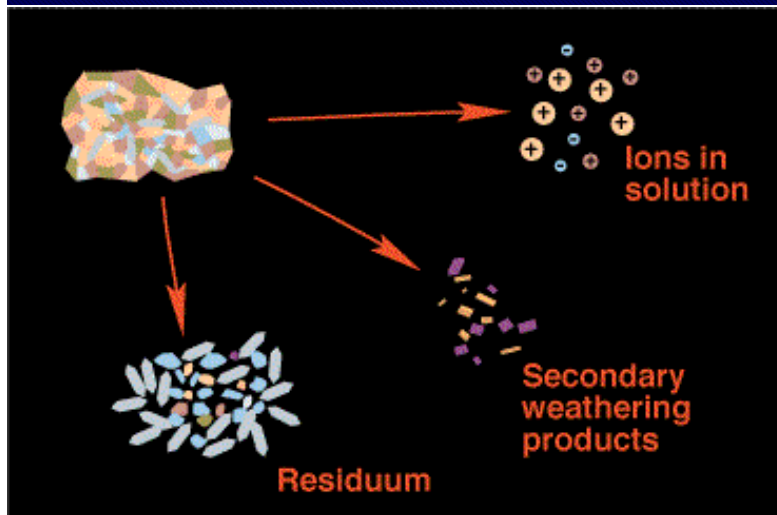
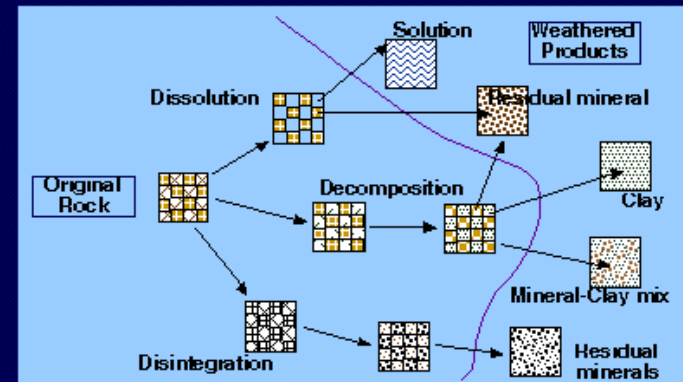
# Zvětrávání

## Continued disruption of rock material



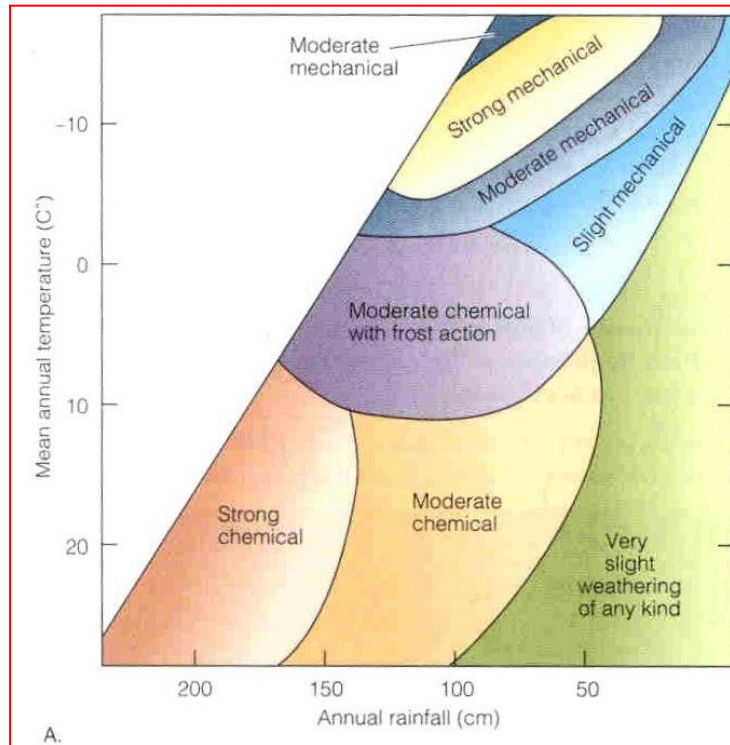
Physical breakdown extends, broadens original defects

## Weathering effect on rock material



# Faktory ovlivňující zvětrávání

- ↺ Typ a struktura horniny
- ↺ Sklon svahů
- ↺ Klima
- ↺ Hrabavá zvířata, hmyz, červi
- ↺ Charles Darwin – červi –  $2,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$
- ↺ Čas



# Faktory ovlivňující zvětrávání

**Table 6.7** A classification of different weathering processes

Type of weathering	Factor involved	Process
Disintegration	Crystallisation Temperature change	Salt weathering, frost weathering Insolation weathering (heating and cooling), fire, expansion of dirt in cracks
Decomposition	Wetting and drying (especially of shales) Pressure release by erosion of overlying material Organic processes	Root wedging
	Biological-chemical changes	Hydration and hydrolysis oxidation and reduction solution and carbonation chelation Organic weathering

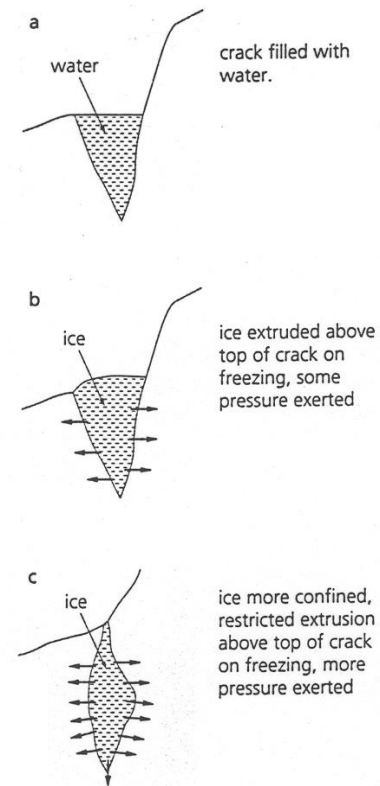
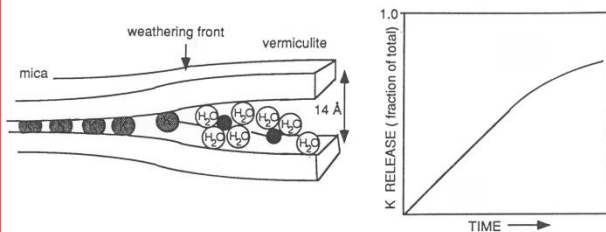


Figure 6.5 Frost weathering of rocks

## EDGE WEATHERING



## LAYER WEATHERING

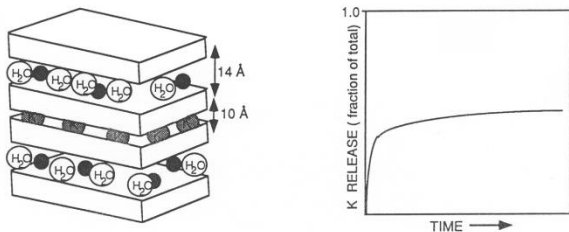


Figure 6.4. Schematic picture of edge weathering of large mica particles and layer weathering of small mica particles.

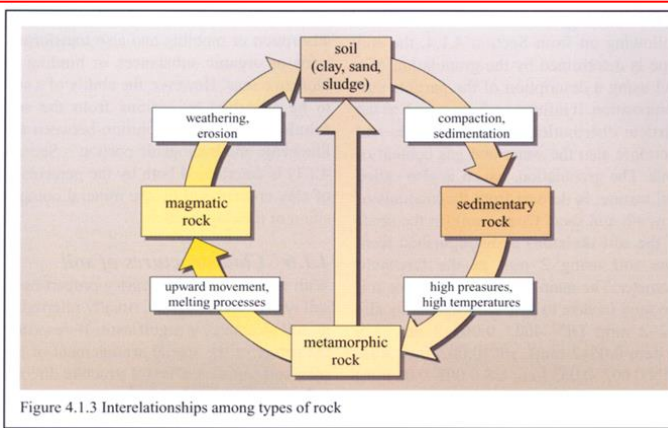
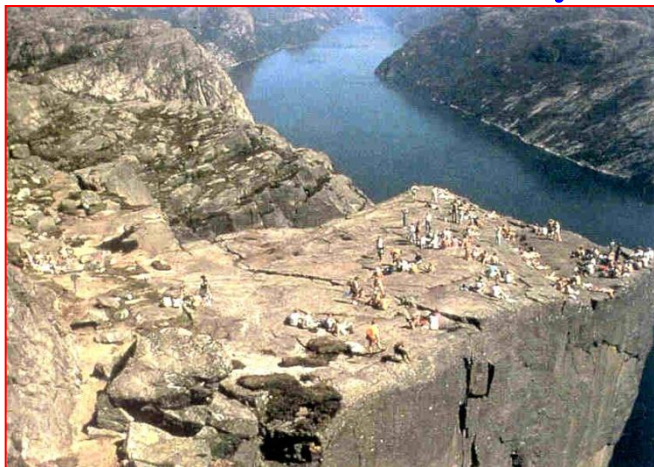


Figure 4.1.3 Interrelationships among types of rock

# Mechanické zvětrávání



Zvětrávání bazaltové lávy na Hawaii



Pulpit, Lysefjord, severní Norsko

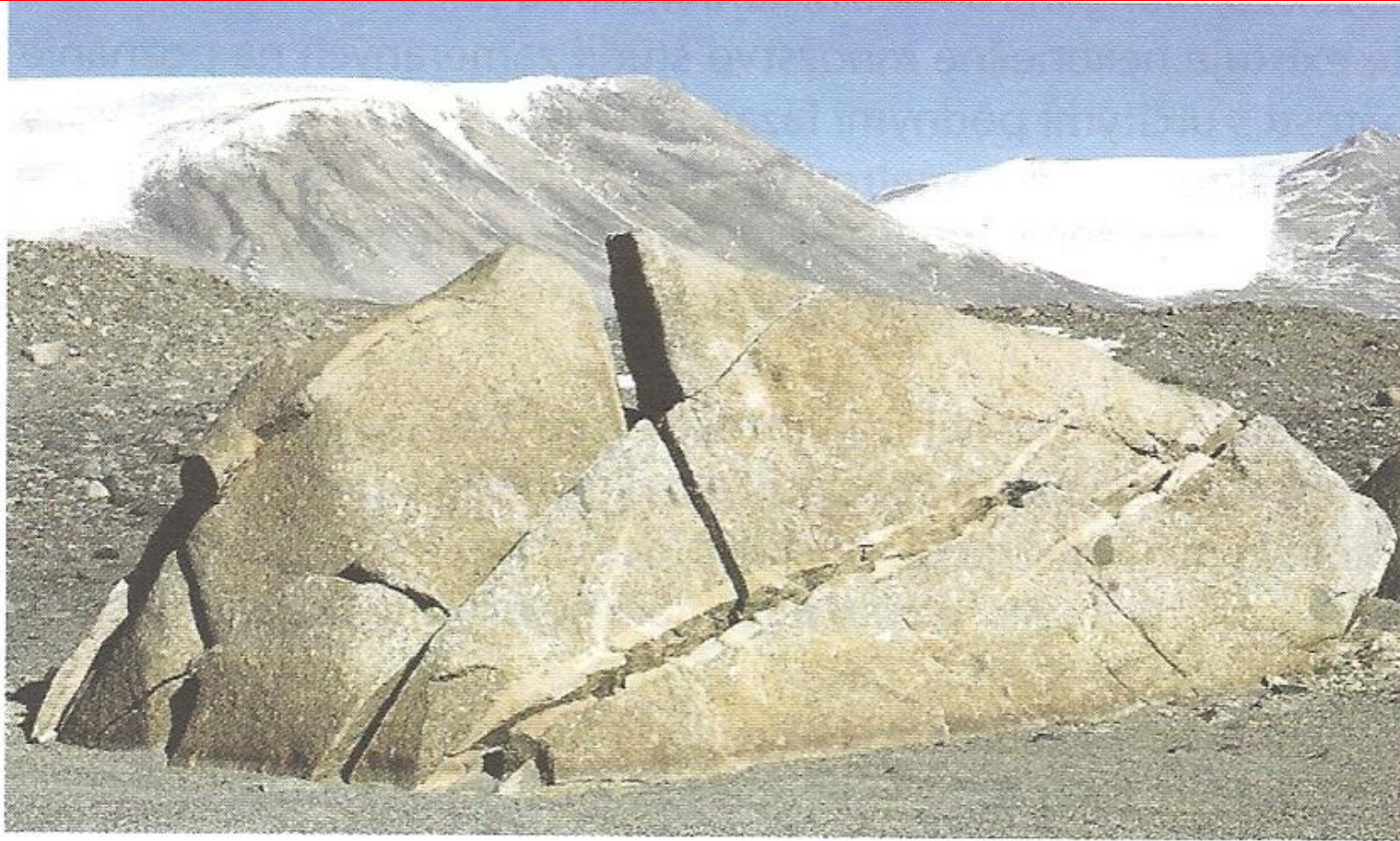
- ↙ Mrazové štípání
- ↙ Růst krystalů
- ↙ Působení tepla
- ↙ Kořeny rostlin



Mount Whitney, Sierra Nevada

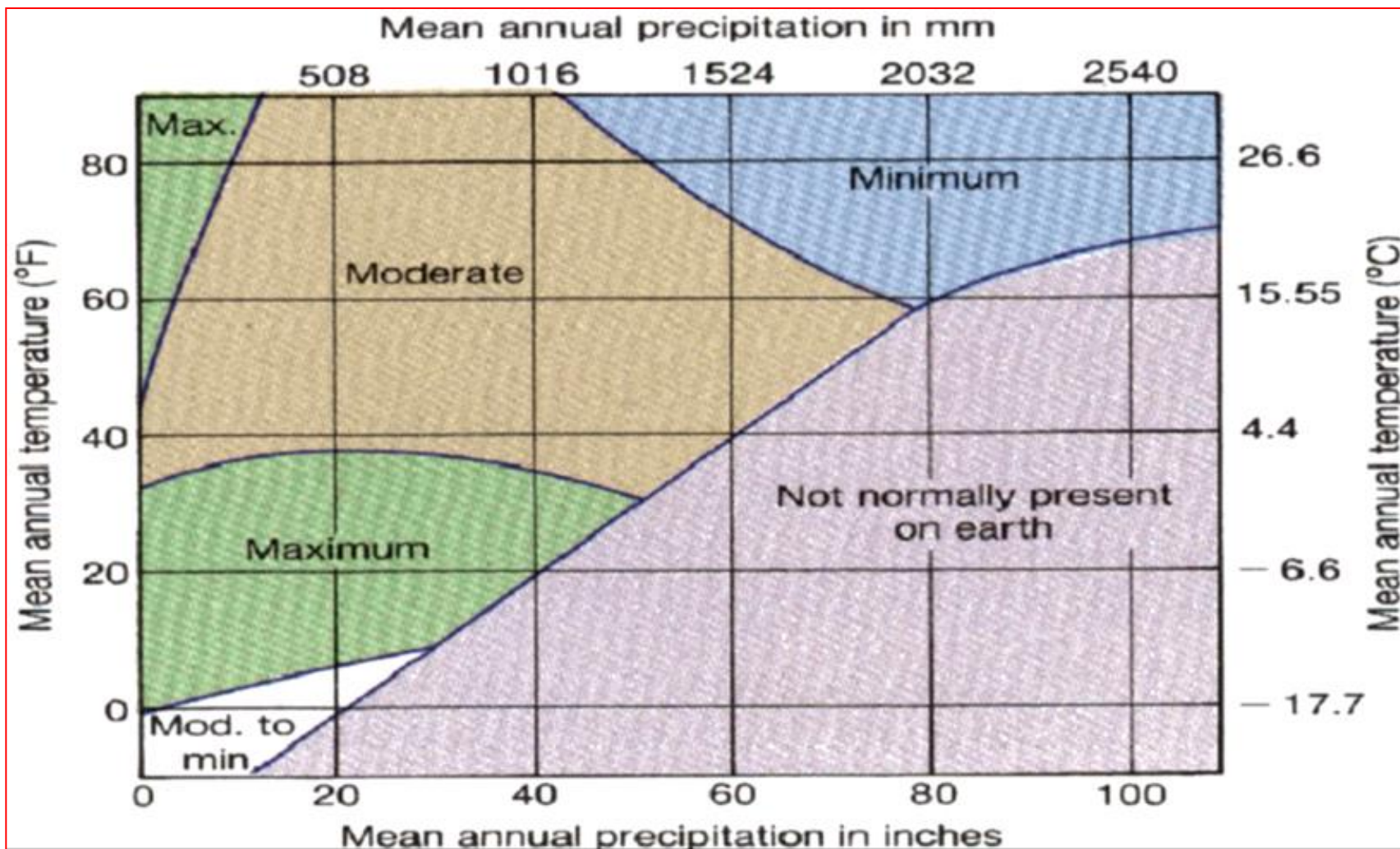


# Mechanické zvětrávání – vlivu mrazu



Prejavy mrazového zvetrávania hornín vo vysokohorských podmienkach

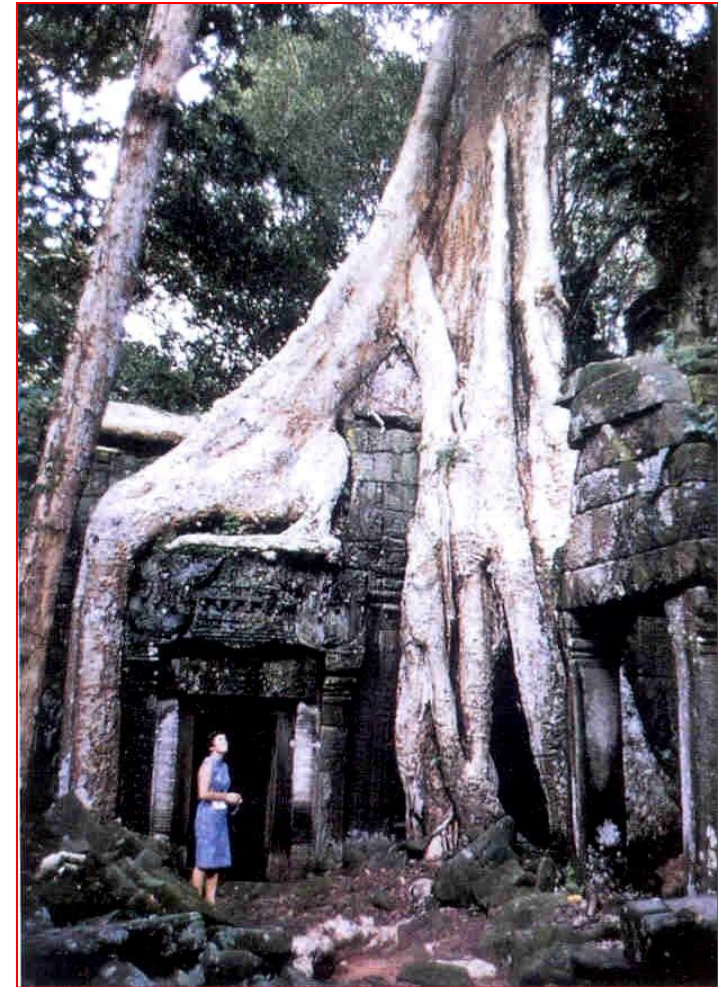
# Rychlost fyzikálního zvětrávání



# Mechanické zvětrávání



Yellowstone National Park



Ta Prohm u Angkoru, Kambodža

# Biologické zvětrávání

- ↪ Kořenové systémy mechů, lišejníků a rostlin – tvorba puklin, působení exkrudátů – zpřístupnění mechanickému a chemickému vlivu
- ↪ Ovlivňují pH a vlhkostní režim – urychlení zvětrávání
- ↪ Kombinovaný mechanický a chemický efekt

# Chemické zvětrávání

↪ Voda, kyslík, oxid uhličitý

↪ Hydrolyza

↪ Hydratace

↪ Oxidace

↪ Vyluhování



Oxidovaná půda na Hawaii

# Chemické zvětrávání

↪ Prosté zvětrávání (určeno součinem rozpustnosti)

↪ Rozpouštění karbonátů:



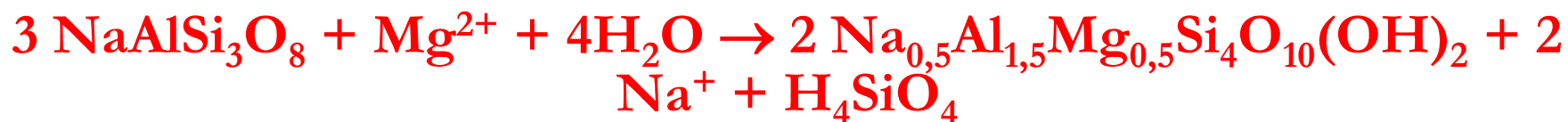
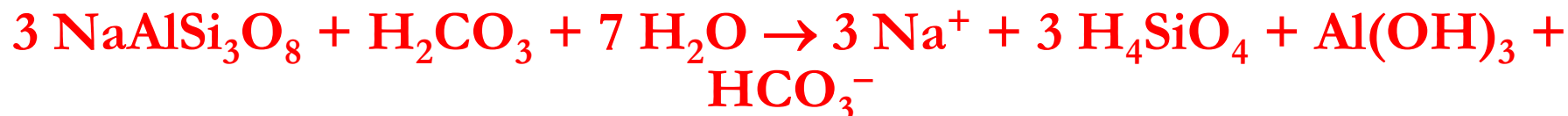
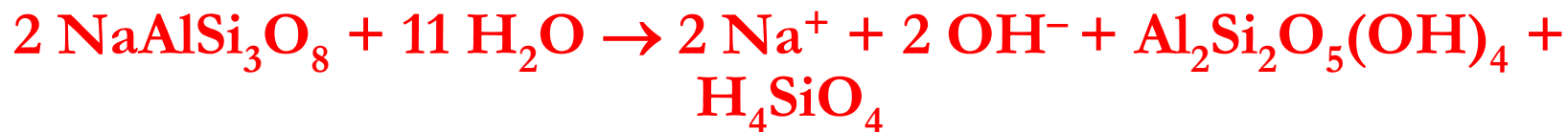
↪ Oxidace:



↪ Hydrolyza:



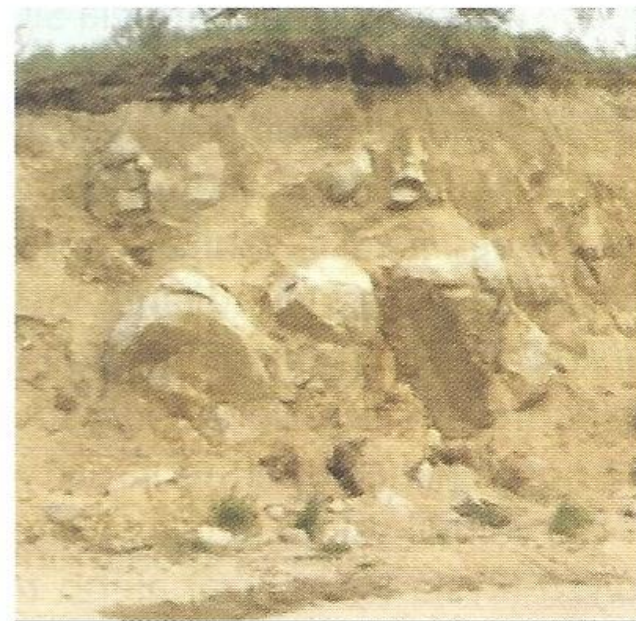
# Chemické zvětrávání



# Chemické zvětrávání



a)



b)

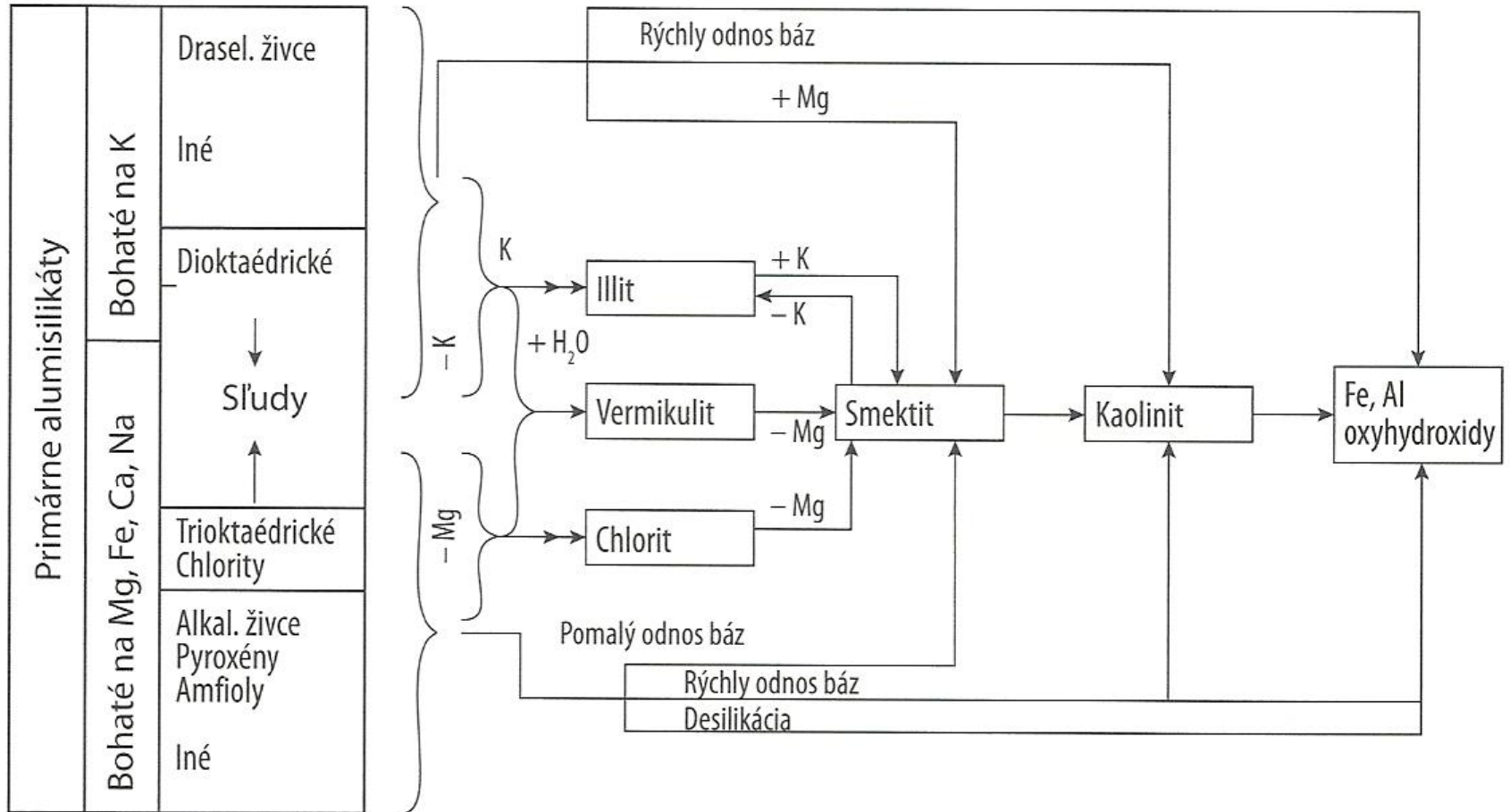
Obr. 5.3.

a) Selektivne rozpúšťanie menej odolných hornín.

b) Selektivne zvetrávanie pozdĺž puklín v granitoidných hornín a tvorba balvanitých produktov zveranín

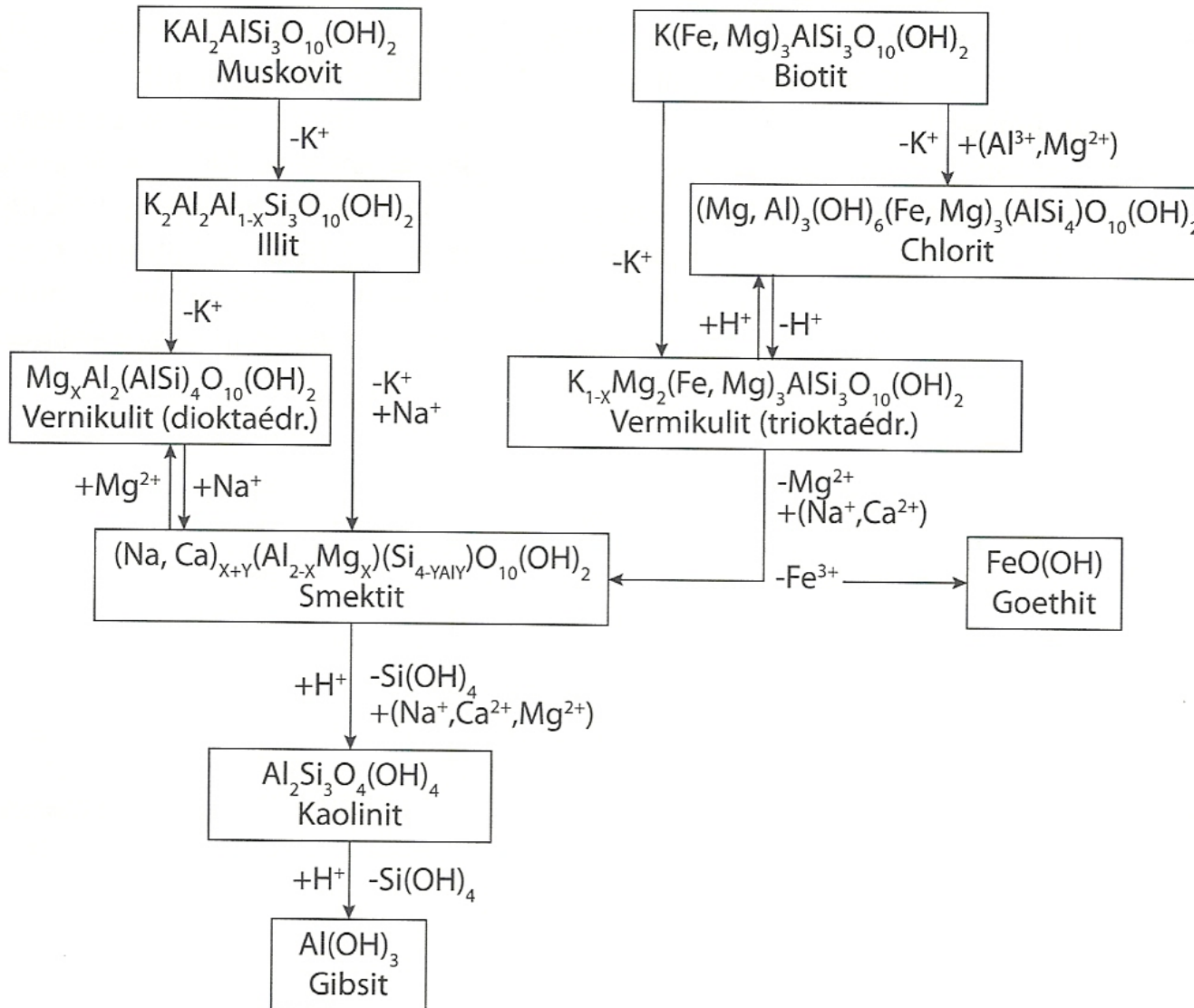


# Chemické zvětrávání



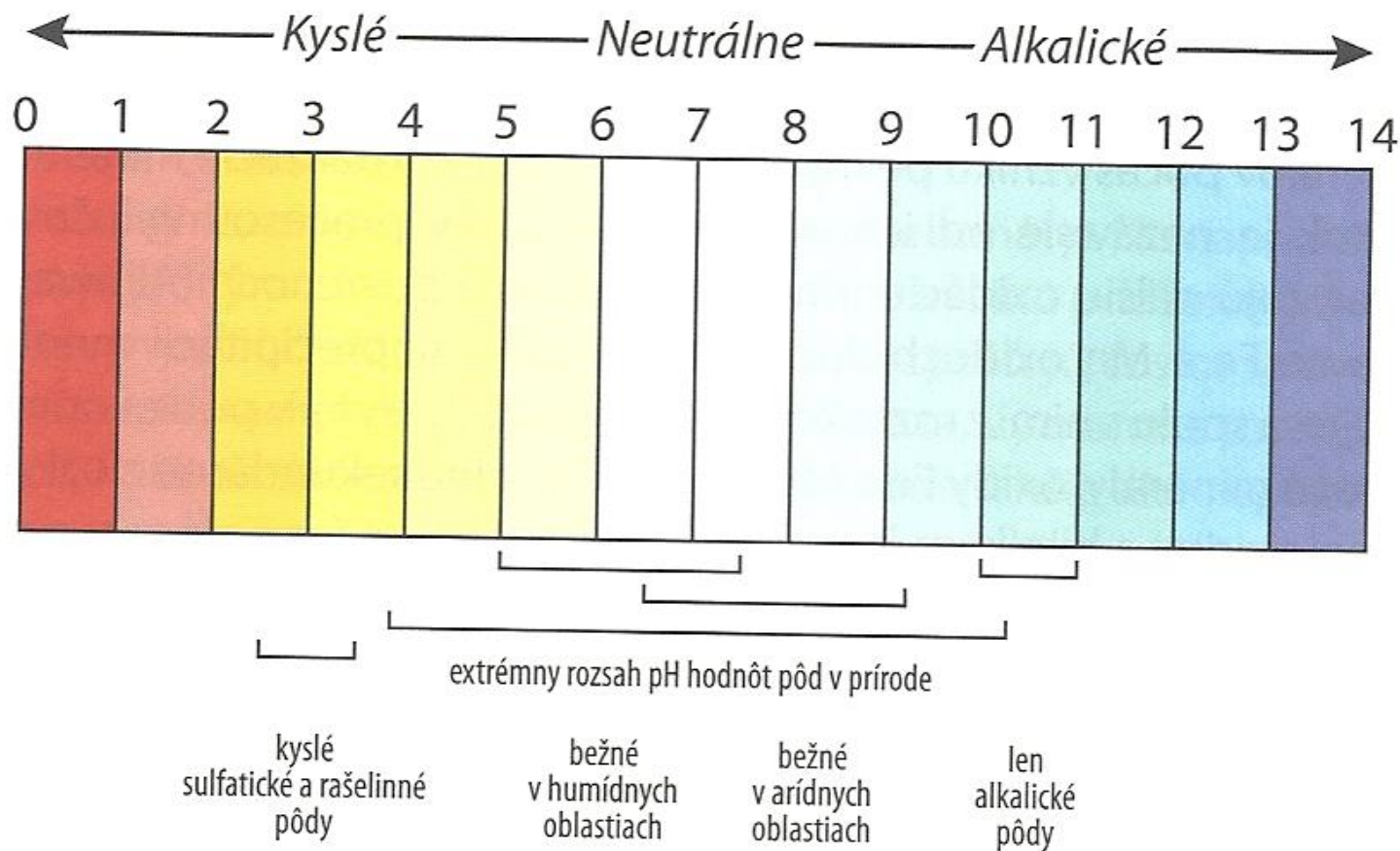
Obr. 5.6. Premeny primárnych minerálov pri procesoch zvetrávania (Podľa: Brady, 1990)

# Chemické zvětrávání



Obr. 5.7. Možné chemické premeny slúd pri zvetrávaní (Podľa: Sparksa, 1996)

# pH – nejdůležitější chemická charakteristika půd



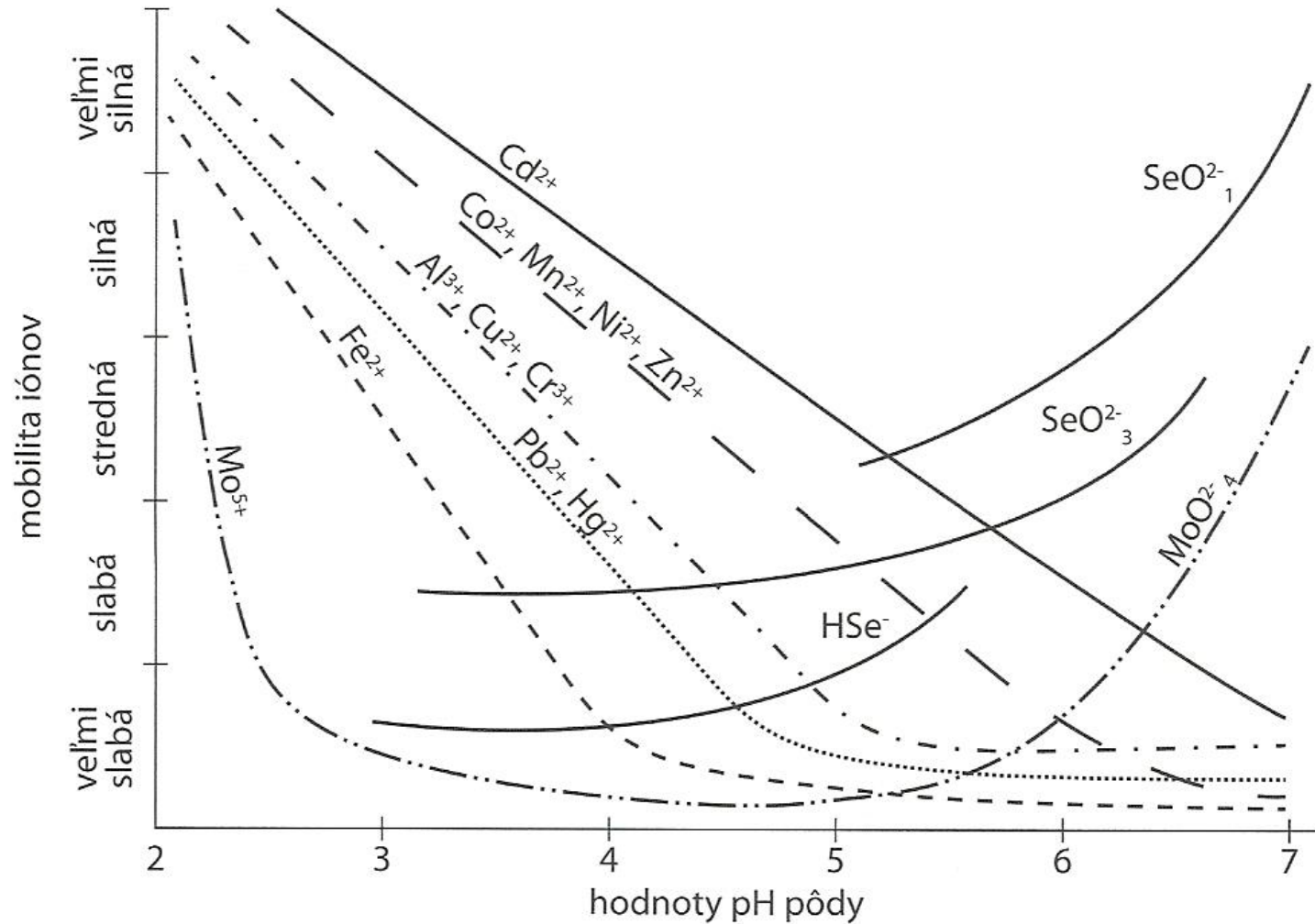
Pôdna reakcia, jej hodnotenie a rozsahy hodnôt v jednotlivých podmienkach

# Mobilita prvků v půdách v závislosti na hodnotě pH

## Pohyblivost prvků v závislosti na pH:

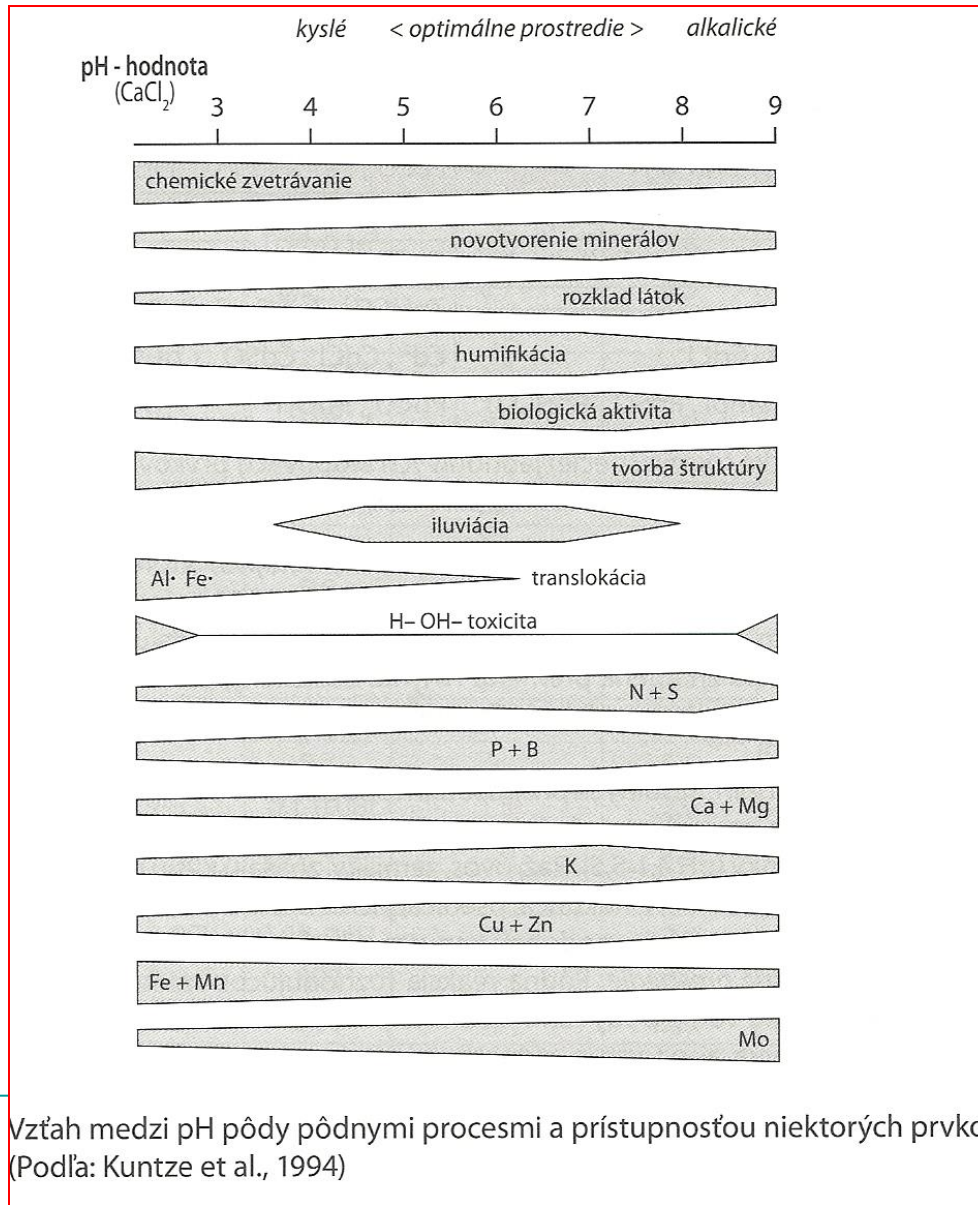
- ↪ **Kyselé oxické prostředí** – pH < 3 – velmi pohyblivé - Cd, Co, Cu, Ni, Zn; pohyblivé – Hg, Mn, Re, Zn; ostatní slabě pohyblivé nebo nepohyblivé
- ↪ **Oxidační prostředí bez obsahu Fe v půdních složkách** – pH > 5,5 – velmi pohyblivé – Cd, Zn; pohyblivé - Mo, Re, Se, Sr, Te, V; nepatrně pohyblivé – ostatní
- ↪ **Oxidační prostředí s půdními částicemi s obsahem Fe** – pH > 5 – žádné nejsou velmi pohyblivé; Cd a Zn – pohyblivé; ostatní slabě až nepatrně pohyblivé
- ↪ **Redukční prostředí bez H<sub>2</sub>S** - pH > 5 – žádné nejsou velmi pohyblivé; pohyblivé – Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Sr, Zn; ostatní slabě až nepatrně pohyblivé
- ↪ **Redukční prostředí s H<sub>2</sub>S** - pH > 5 – žádné nejsou velmi pohyblivé; Mn, Sr – pohyblivé; ostatní – slabě až nepatrně

# Mobilita prvků v půdách v závislosti na hodnotě pH

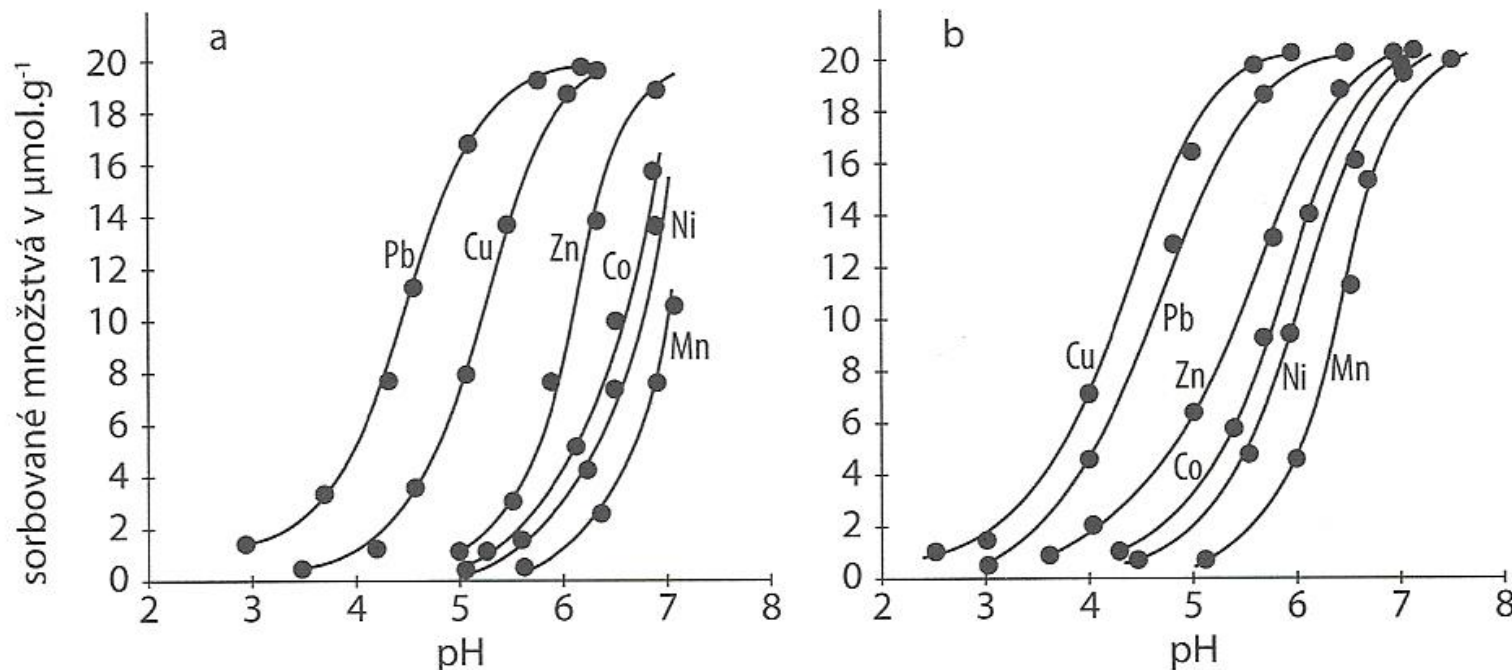


Obr. 5.9. Schematický trend mobility prvkov v pôde v závislosti od hodnôt pH (podľa Kabata- Pendias a Pendias, 2001)

# Chemické zvětrávání

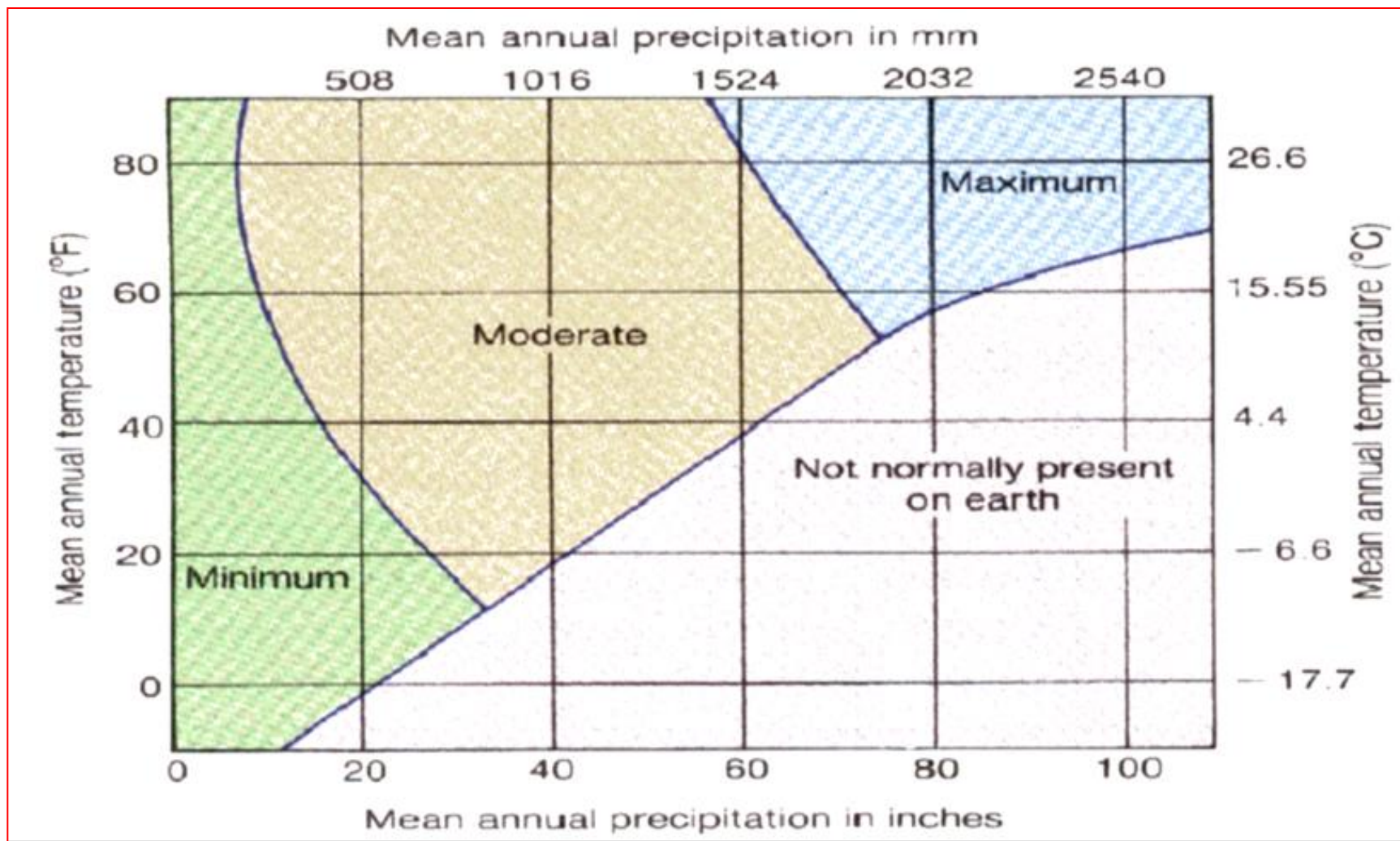


# Chemické zvětrávání



Obr. 5.11. Adsorpcia vybraných stopových prvků na pevných povrchoch v závislosti o pH hodnôt. Významné zmeny môžu nastať pri malom rozpätí hodnôt (Podľa: Sparks, 1999)

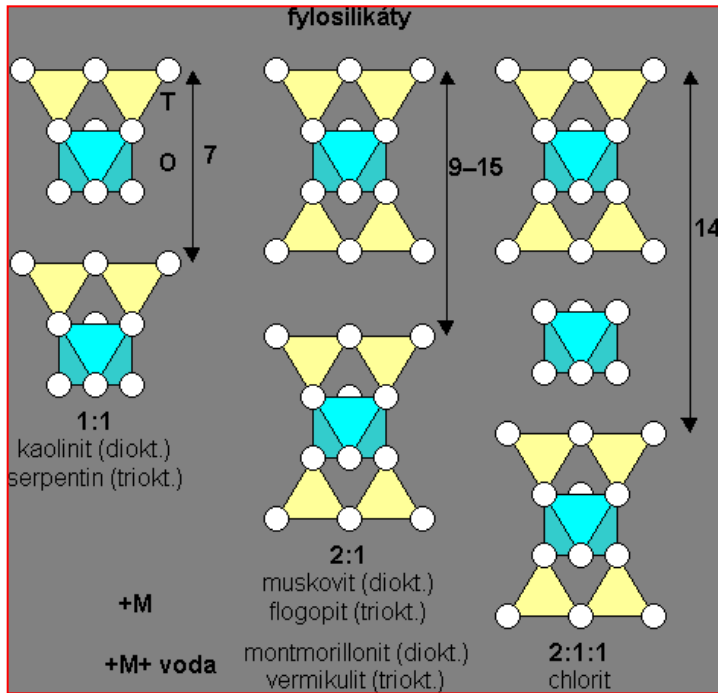
# Rychlost chemického zvětrávání



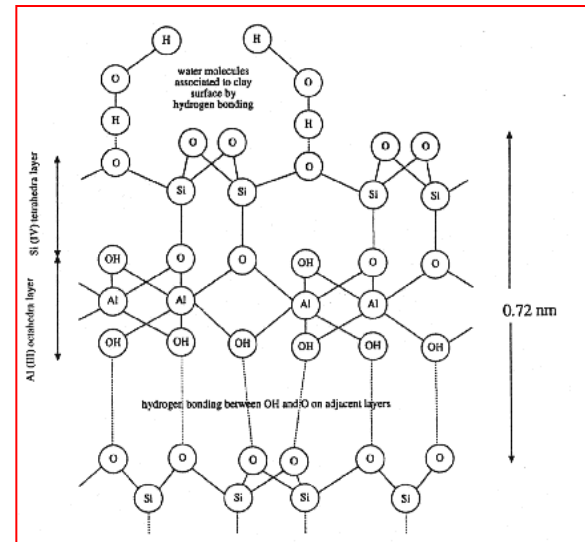


# Zvětrávání

Zvětráváním horninotvorných minerálů vznikají jílové minerály: Variabilní zastupování  $\text{Si}^{4+}$  ionty  $\text{Al}^{3+}$ , nábojová nevyrovnanost vrstev, kompenzována dalšími ionty, vyměnitelné kationty, výměnná kapacita



Skupina	Obecný vzorec
Montmorillonit	$\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$
Illit	$\text{K}_{0-2}\text{Al}_4(\text{Si}_{8-6}\text{Al}_{0-2})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$
Kaolinit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$



# Vznik, transformace a rozklad jílových minerálů

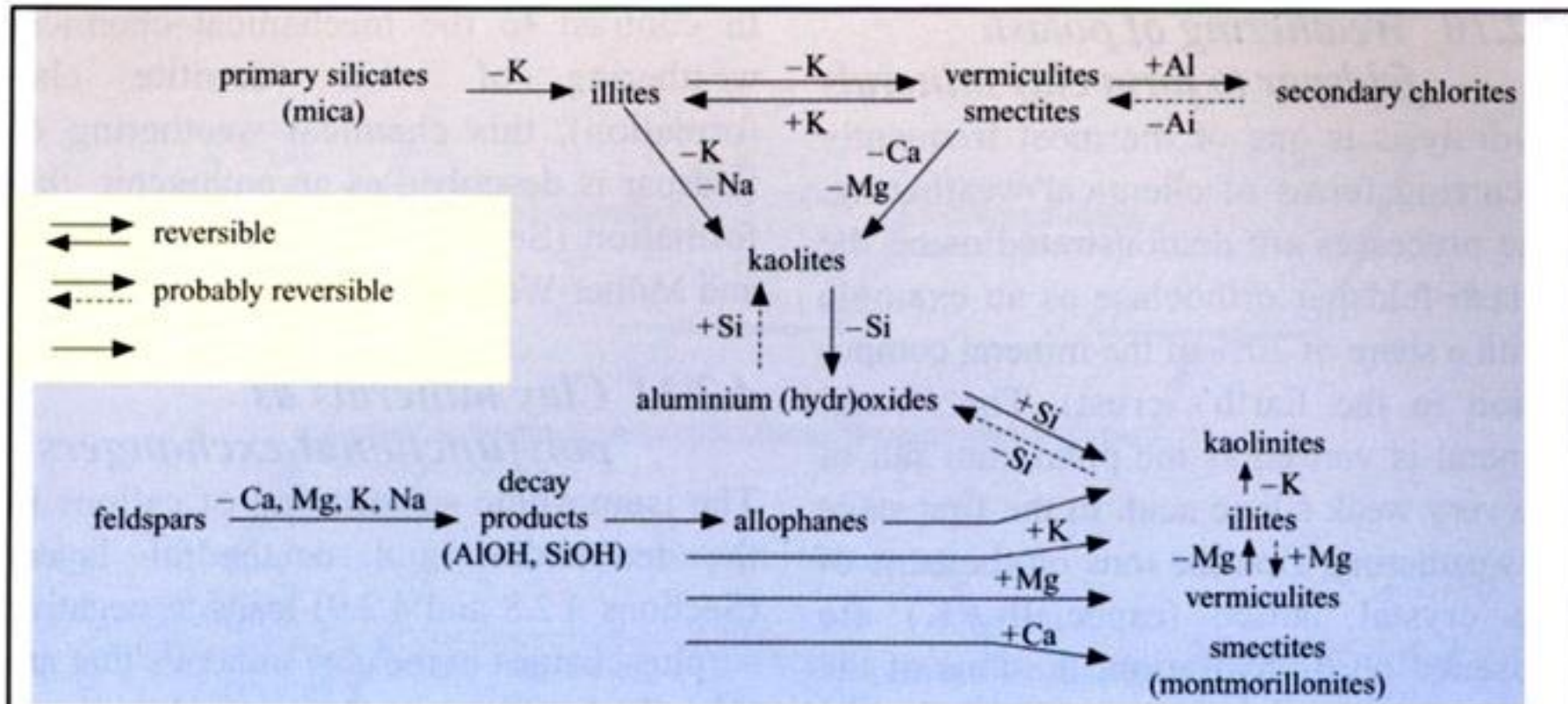


Figure 4.2.7 Formation, transformation and decomposition of clay minerals

# Strukturní typy silikátů a jílových minerálů





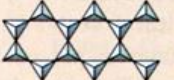
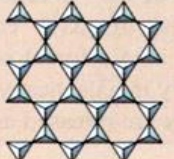
Structure	Formula	Description	Si-O ratio
	$\text{SiO}_4^{4-}$	orthosilicates	0.25
	$\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$	disilicates	0.29
	$\text{Si}_3\text{O}_6^{6-}$ $\text{Si}_6\text{O}_{18}^{12-}$	cyclosilicates	0.33
	$(\text{SiO}_3^{2-})_n$	pyroxenes	0.33
	$(\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-})_n$	amphiboles	0.36
	$(\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-})_n$ $(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x\text{O}_8^{2-})_n$ $(\text{SiO}_2)_n$	phyllosilicates 3D structures (tectosilicates) kieselguhr	0.40 < 0.50 0.50

Figure 4.2.9 Structural types of silicates

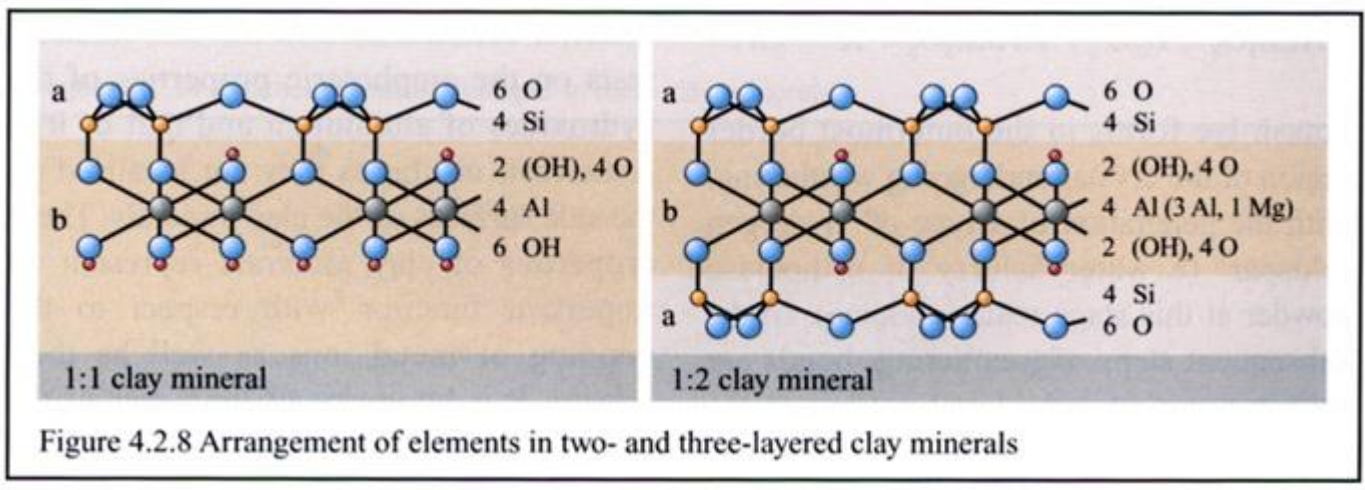
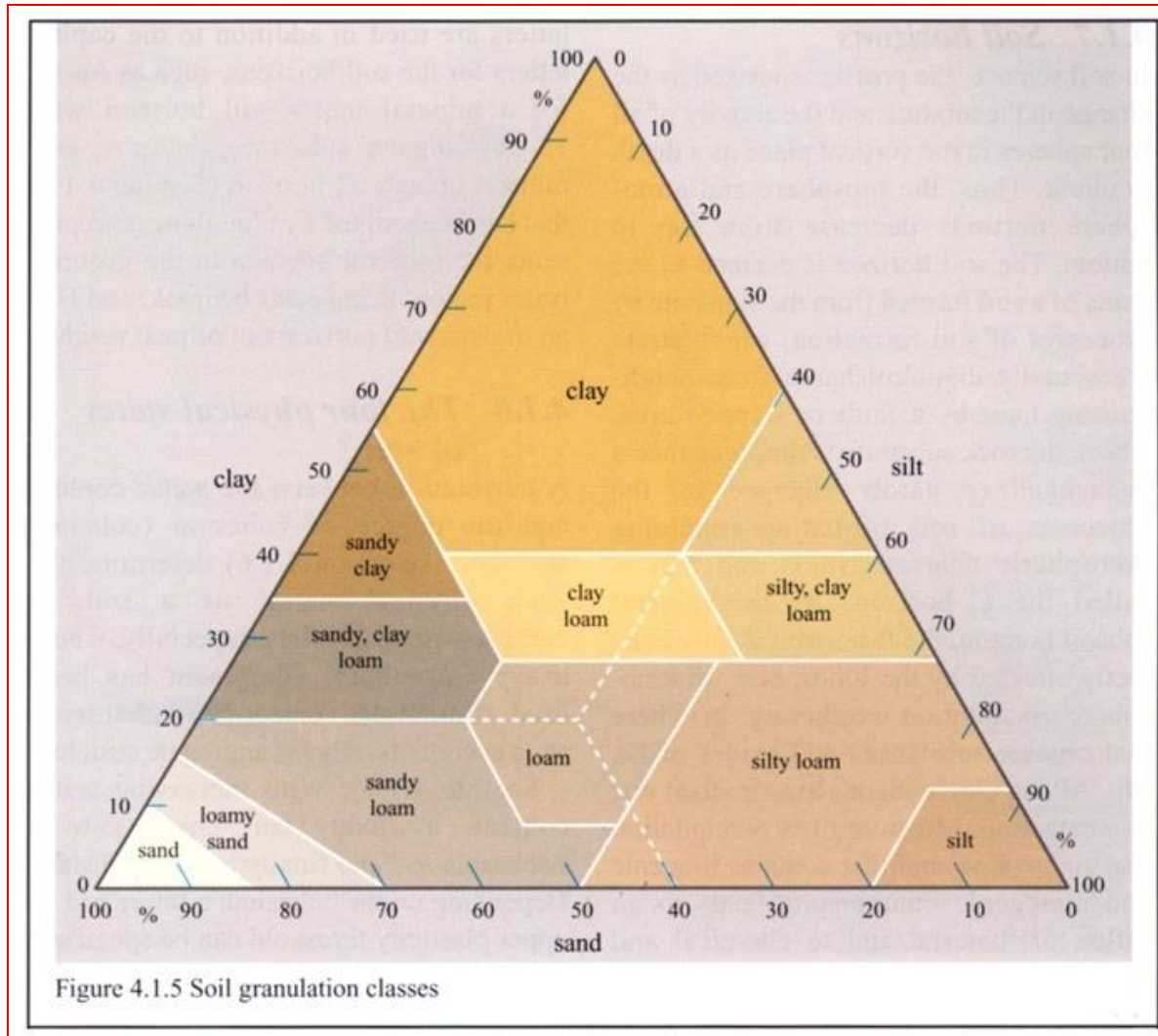


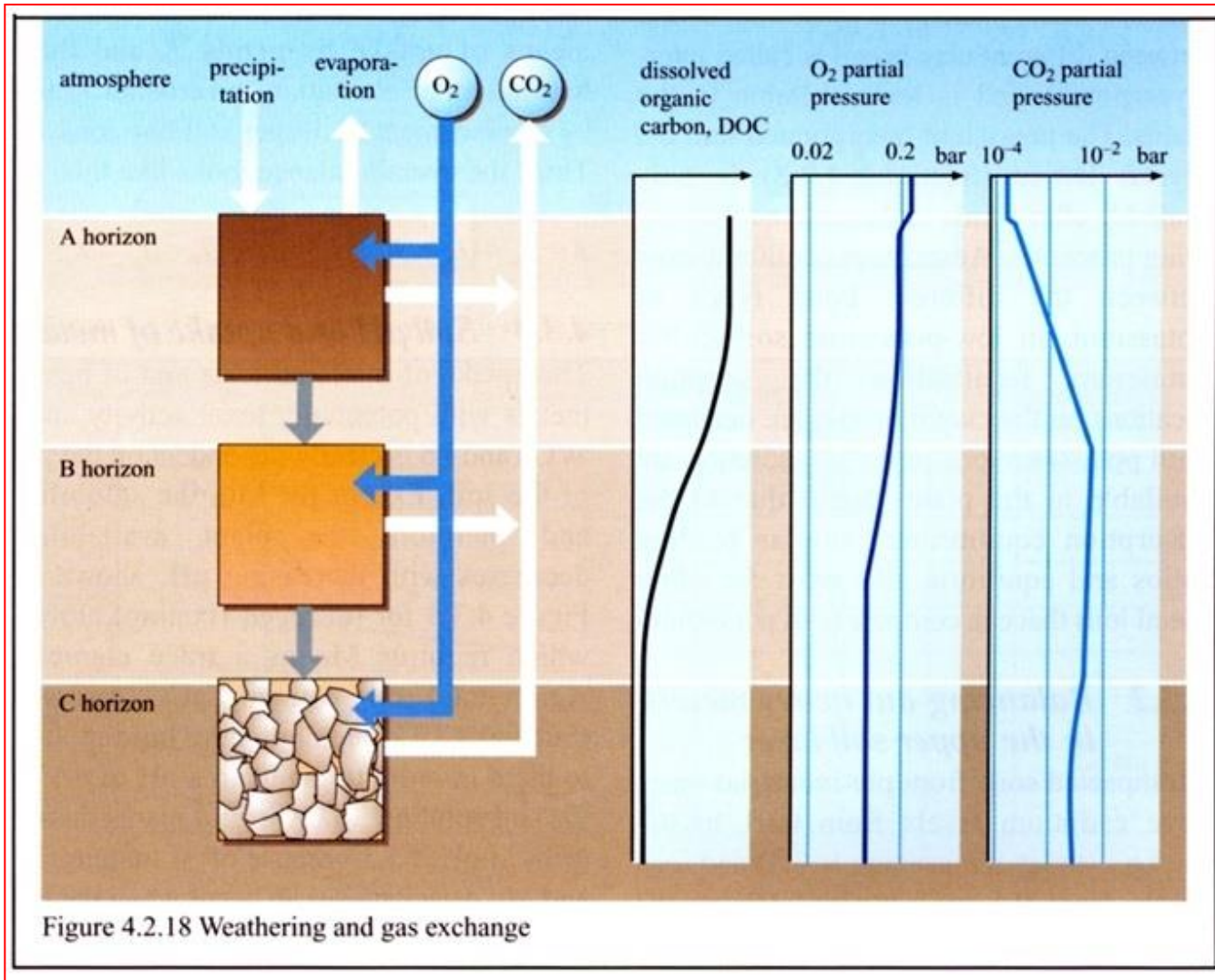
Figure 4.2.8 Arrangement of elements in two- and three-layered clay minerals



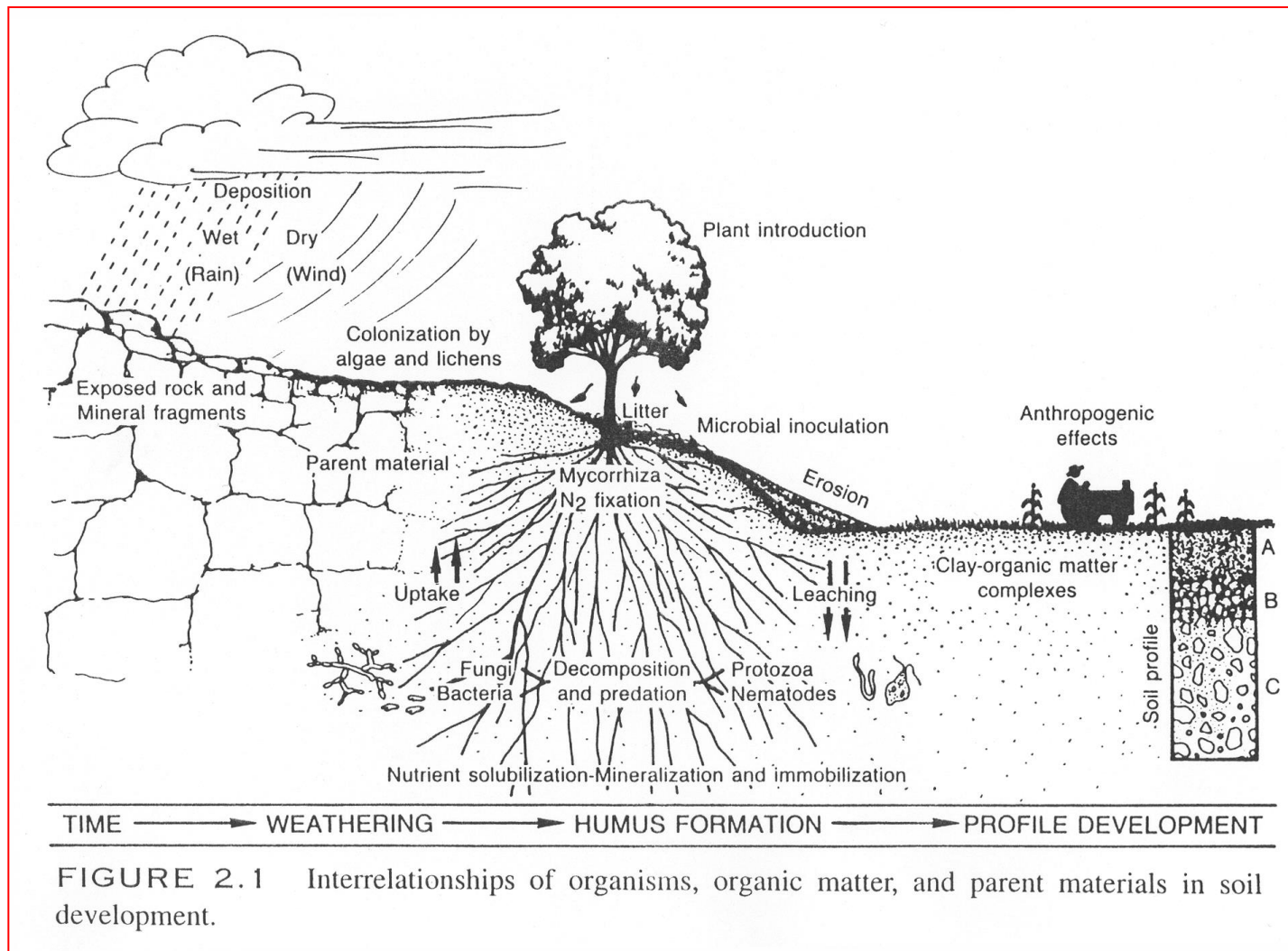
# Půdní granulometrické složení



# Zvětrávání a výměna plynů



# Vztahy mezi organismy, organickou hmotou a minerály



# Typy minerálů a hornin

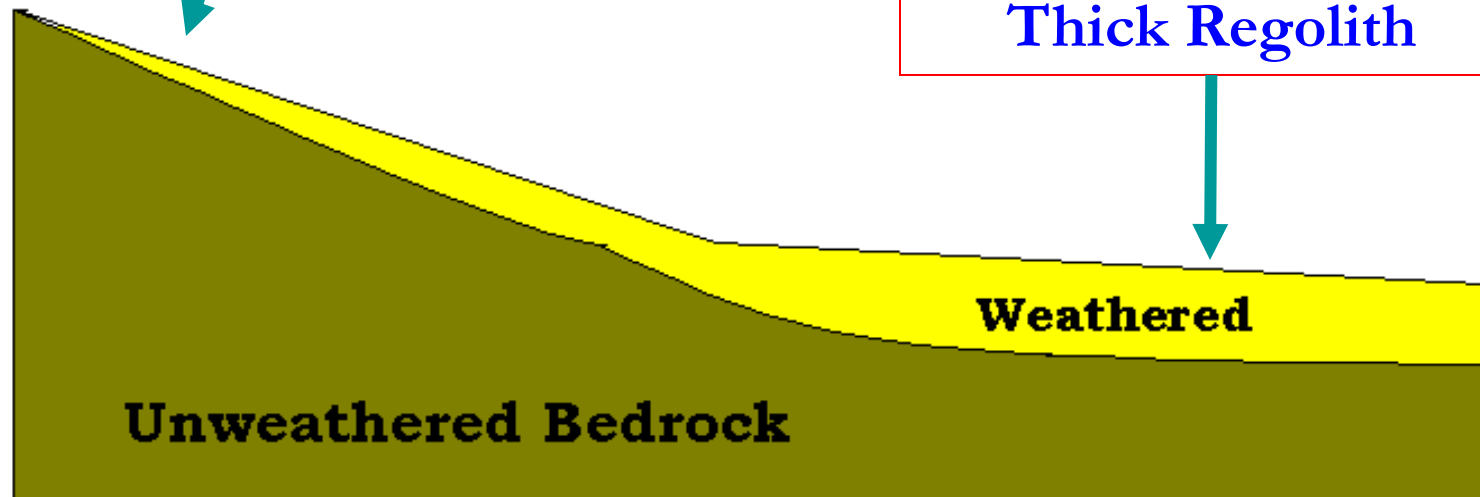
<p><b>Slow</b></p> <p><b>Fast</b></p>	<p><b>Stable</b></p>	<p>quartz clays muscovite</p>	<p>Remain as residue</p>
	<p><b>Unstable</b></p>	<p>K-feldspar biotite Na-plagioclase amphibole pyroxene Ca-plagioclase olivine calcite halite</p>	<p>Soluble Components Dissolved ions removed in solution</p> <p>Insoluble components Stable minerals produced by weathering</p>



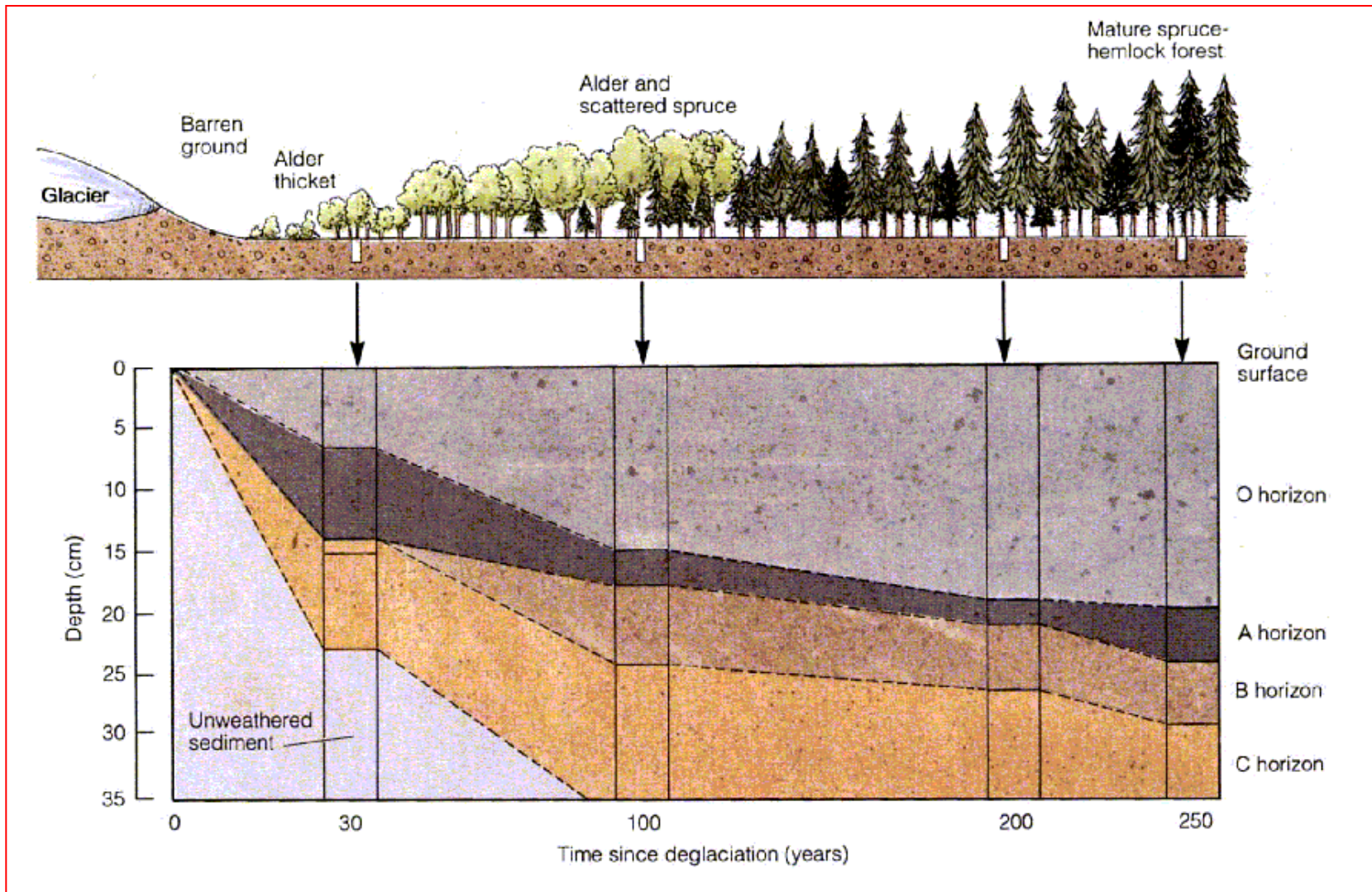
# Svah

Steep Slopes  
Products Removed  
Thin Regolith

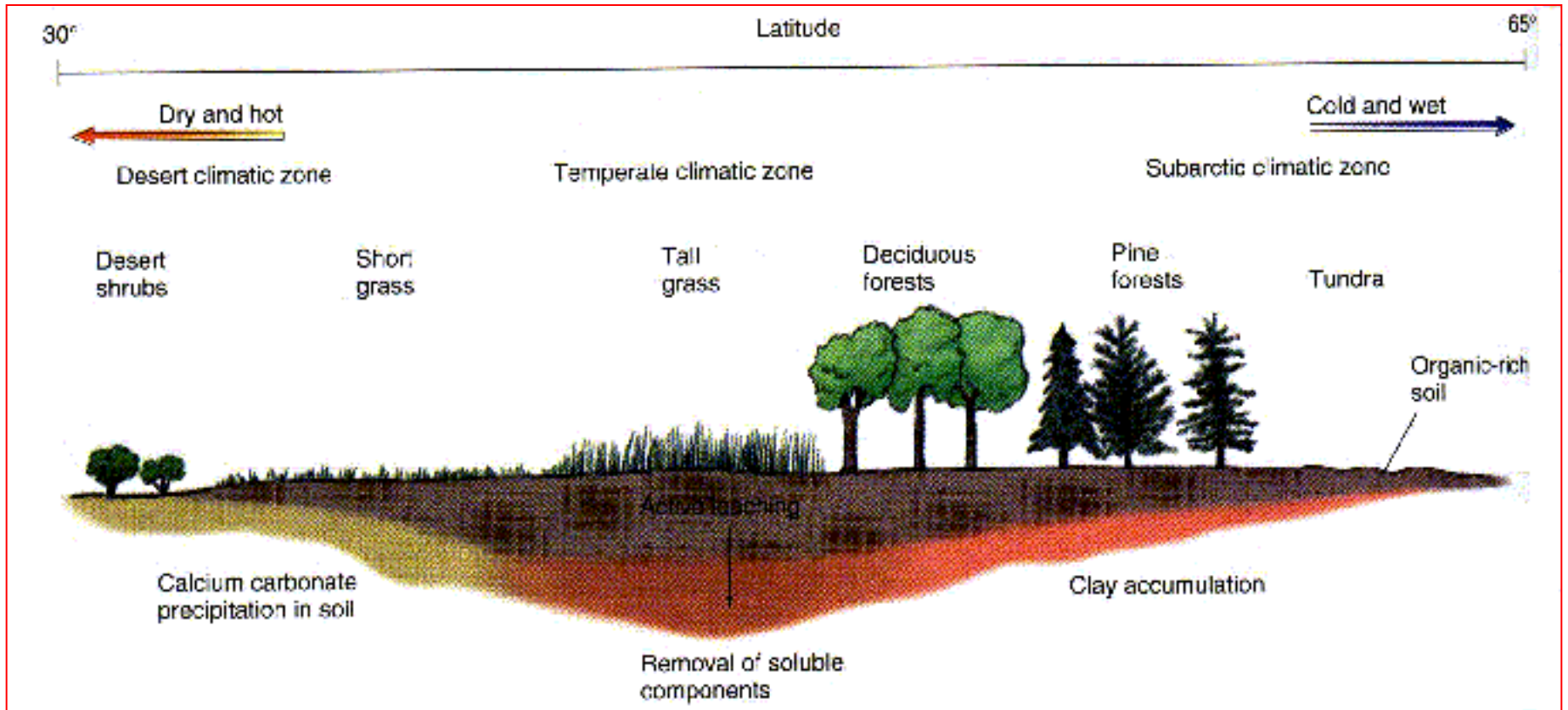
Gentle Slopes  
Products Accumulate  
Thick Regolith



# Vliv času na vývoj



# Půdy a klima



# Eroze

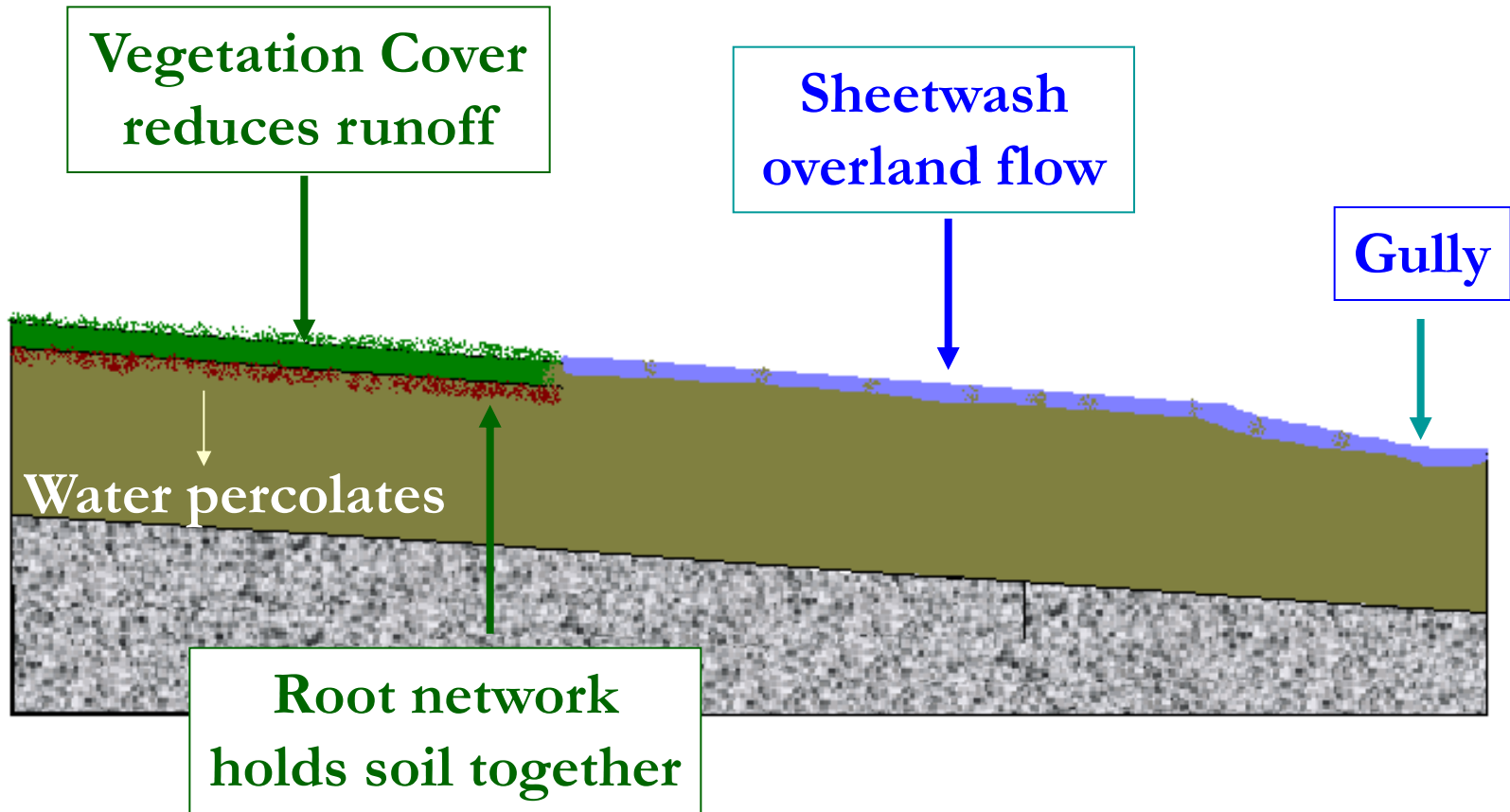
## Odstraňování zvětralého materiálu:

- ↪ Vodou
- ↪ Větrem
- ↪ Ledovci

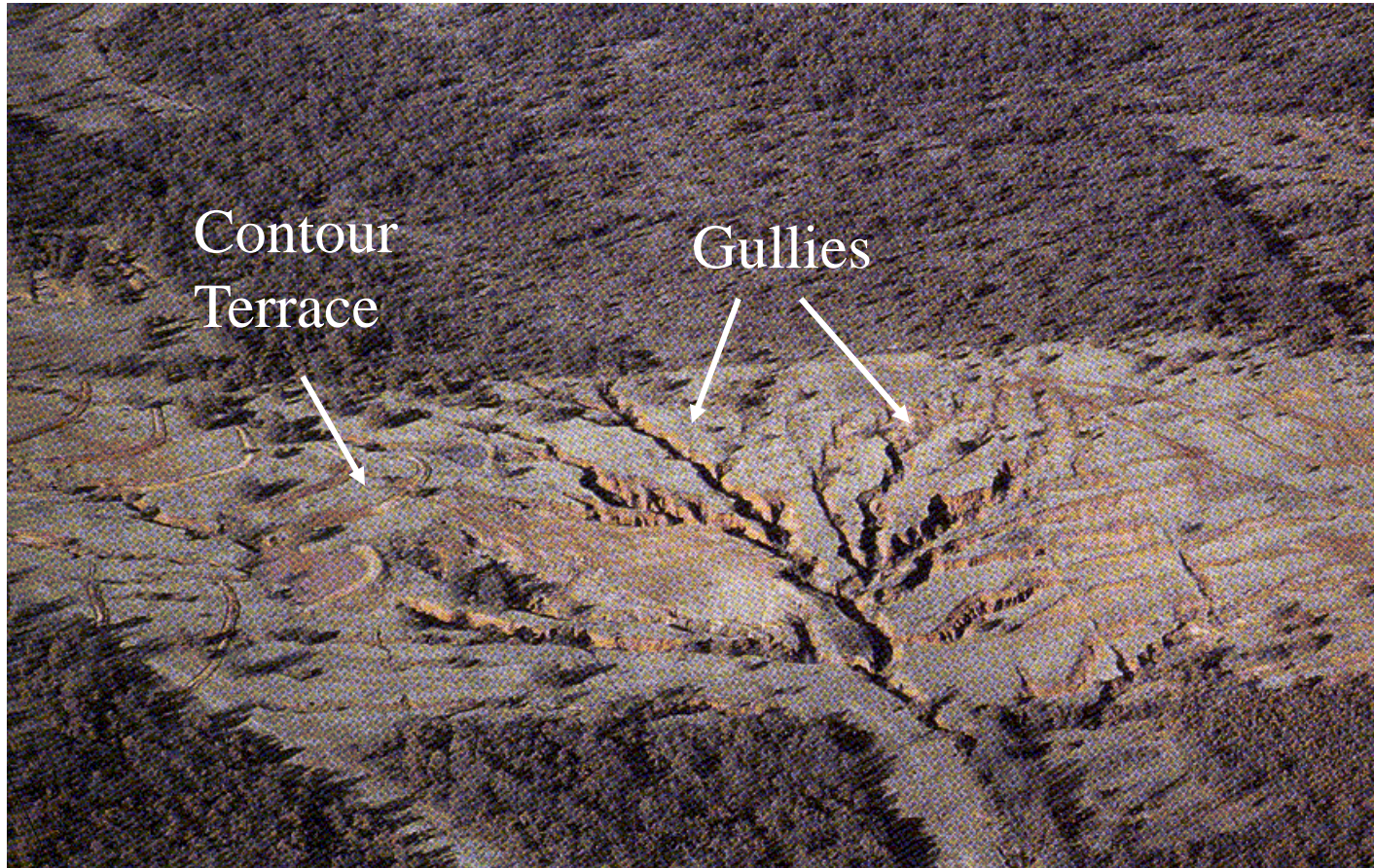
## Přírodní část horninového cyklu

Může být urychleno antropogenními aktivitami

# Vodní eroze

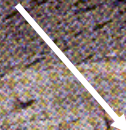


# Vodní eroze



Contour  
Terrace

Gullies



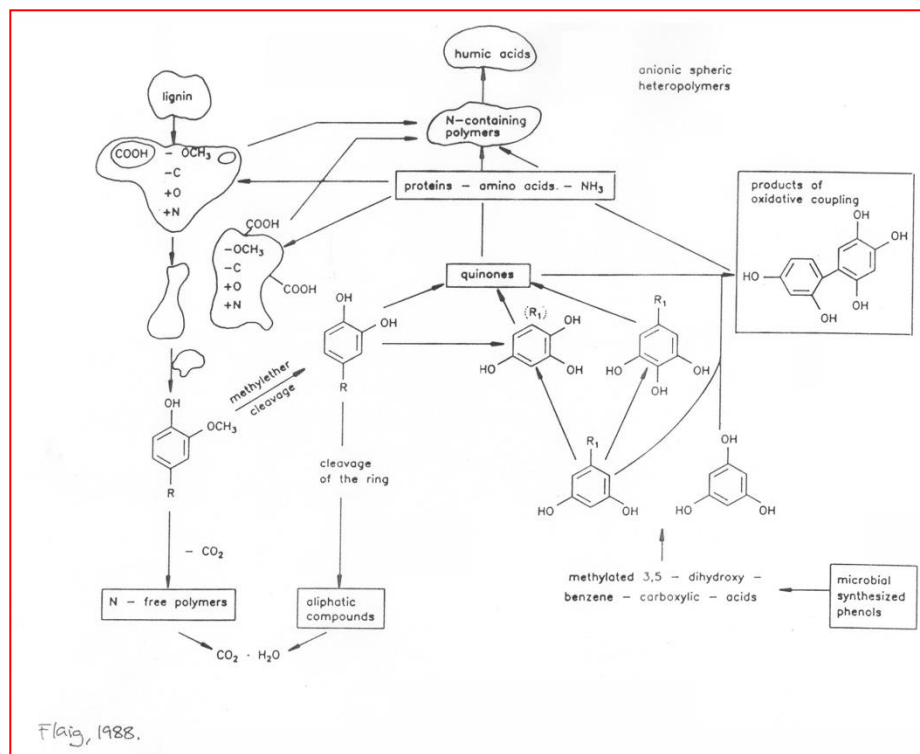
# Složky půdního systému

## 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 %

# Půdotvorné procesy

**Humifikace** – mikrobiální a chemické procesy, při kterých se mění organické zbytky v humus – probíhá ve větší či menší míře ve všech půdách a je tím nejvlastnějším půdotvorným pochodem, který podmiňuje vznik půdy;





# Vztahy mezi organismy, půdní organickou hmotou a minerály

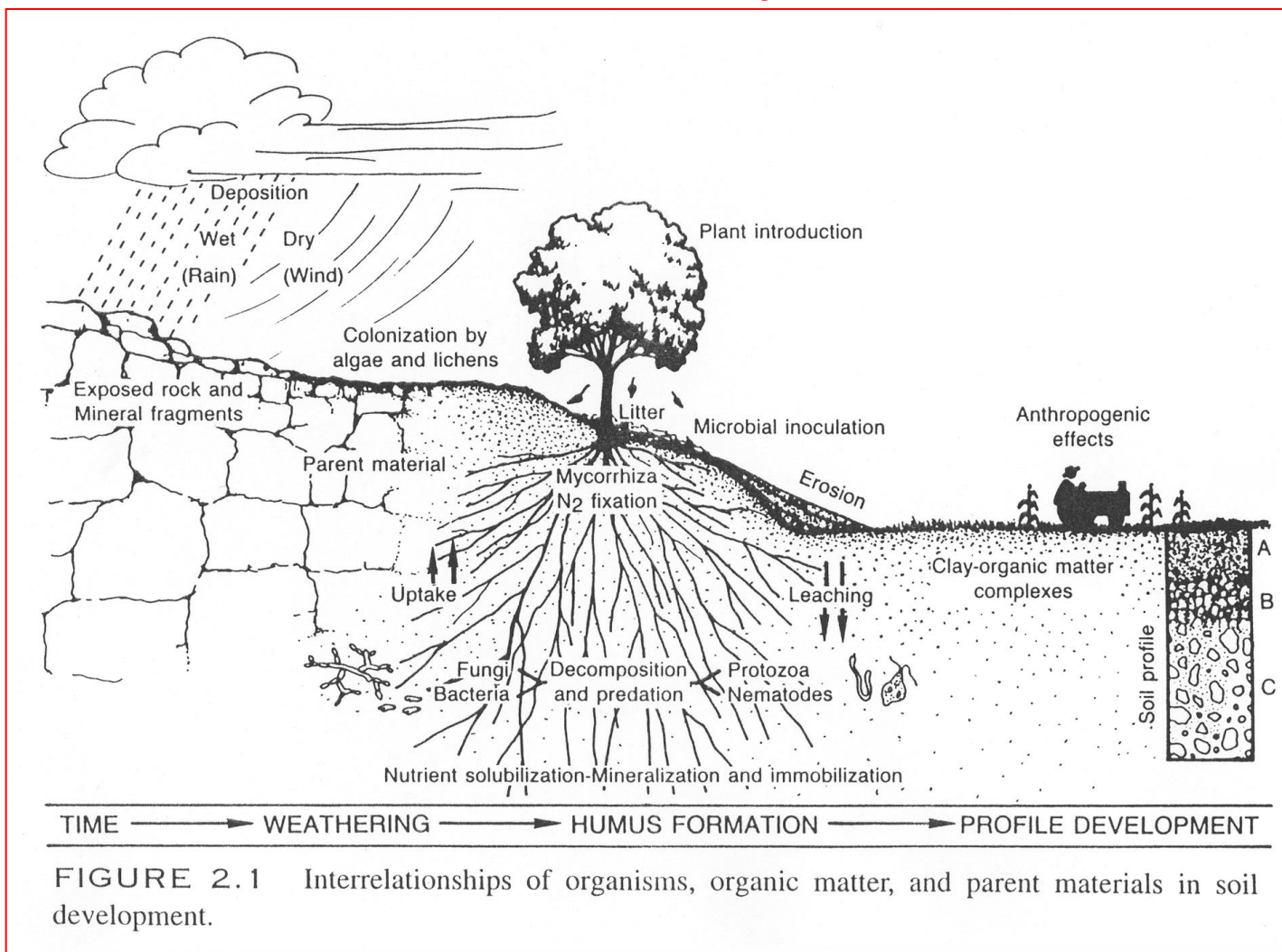


FIGURE 2.1 Interrelationships of organisms, organic matter, and parent materials in soil development.

# Diagenese a humifikace

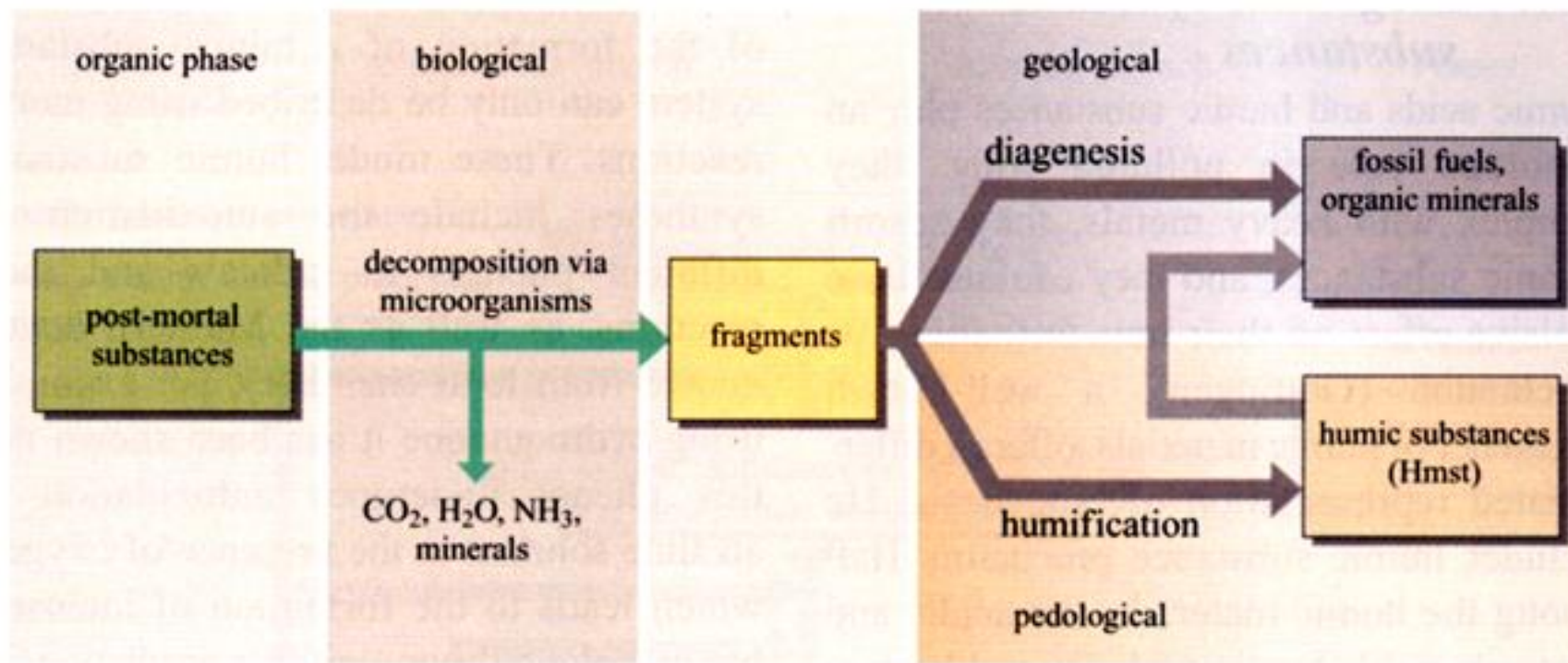
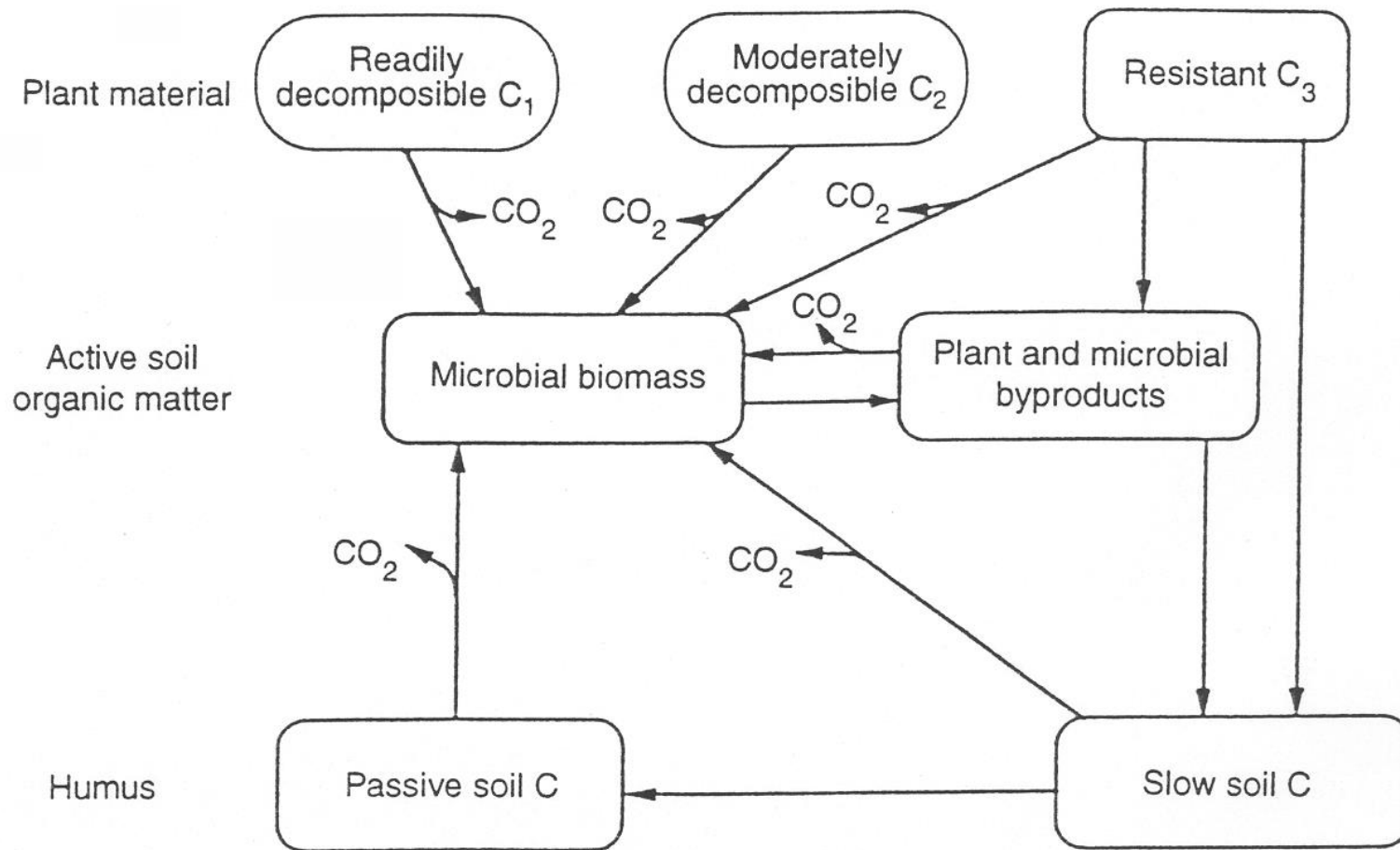


Figure 4.2.12 Diagenesis and humification

# Humus

- ↪ ovlivňuje dynamiku teplotních a vlhkostních poměrů v půdě, dynamiku vodního a vzdušného režimu,
- ↪ jako teplotní izolátor zmenšuje teplotní výkyvy – denní i sezónní,
- ↪ zachycuje srážky, rozhoduje o průsaku, výparu, jímavosti, odtoku vody,
- ↪ ovlivňuje tvorbu půdní struktury,
- ↪ brání škodlivým účinkům vodní a větrné eroze,
- ↪ ovlivňuje dynamiku kyselosti půd, koloběh živin (C, N, P), tvorbu CO<sub>2</sub>,
- ↪ ovlivňuje biologickou aktivitu půdy – zdroj potravy a energie pro půdní organismy,
- ↪ komplexace živin a polutantů.

# Význam živých organismů pro produkci půdní organické hmoty



The role of living organisms in the production of soil organic matter.

# Půdní organická hmota

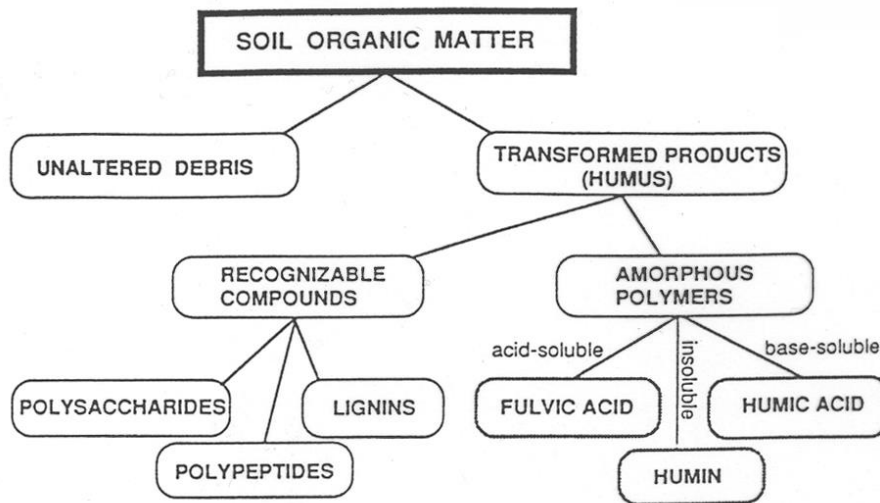


Figure 2.21. A classification scheme for soil organic matter. (After M.H.B. Hayes and R. S. Swift. 1978. The chemistry of soil organic colloids. In D. J. Greenland & M.H.B. Hayes (eds.), *The Chemistry of Soil Constituents*. New York: Wiley.)

Table 2.5. Some Fundamental Properties of Humic Substances

	Fulvic Acid	Humic Acid	Humin <sup>a</sup>
Molecular wt.	1000–5000	10,000–100,000	> 100,000
% C	42–47	51–62	>62
% O	45–50	31–36	<30
% N	2.0–4.1	3.6–5.5	>5
Acid content (moles/kg) <sup>b</sup>	14	5	<5

<sup>a</sup>Values for humin are uncertain because of difficulty in separating this fraction from the mineral particles for elemental analysis.

<sup>b</sup>The acid content is equivalent to the potential cation exchange capacity once the acidity is neutralized by alkali.

# Püda a humus

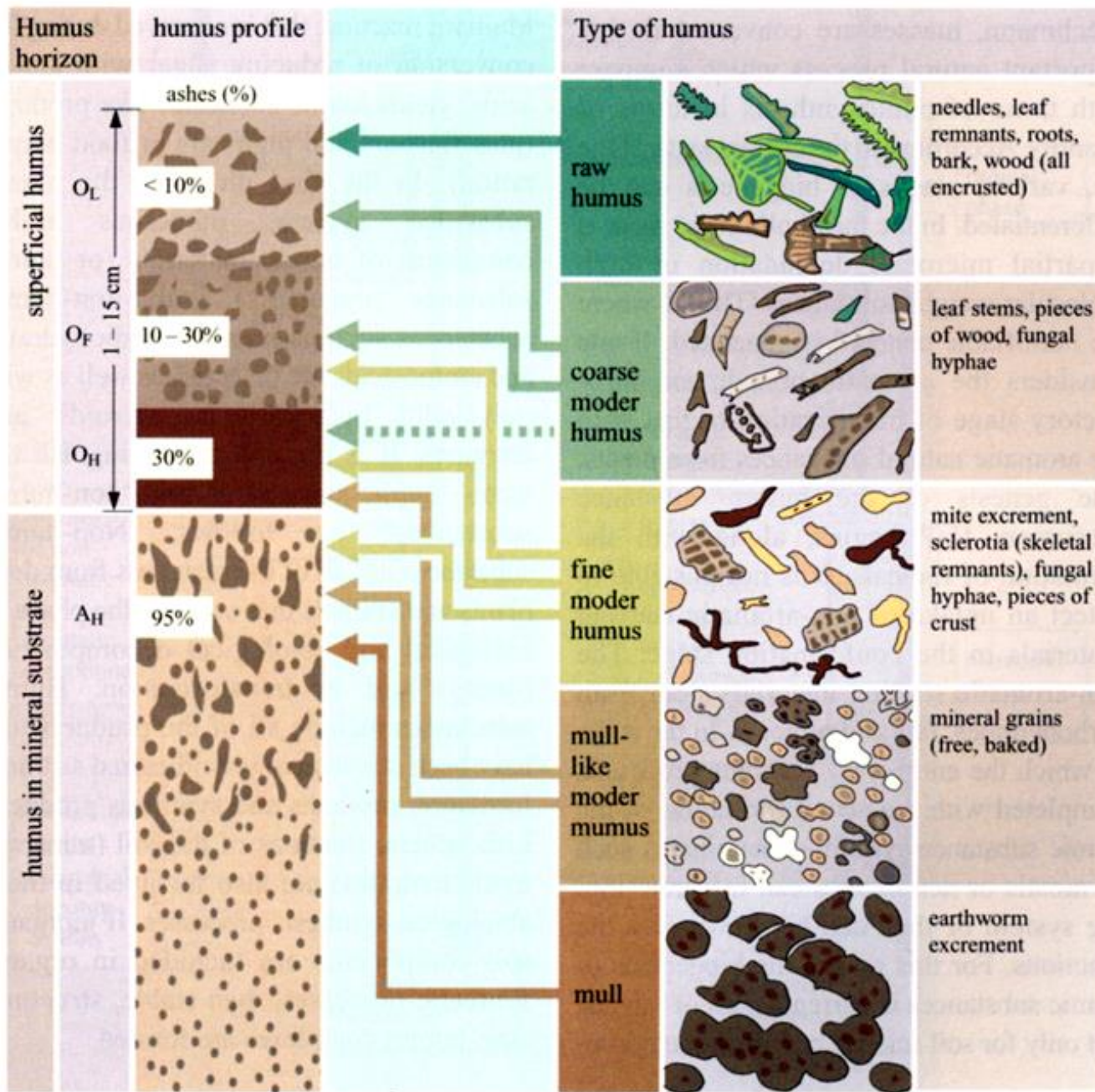


Figure 4.2.13 Soil and humus

# Biogeneze huminových látek

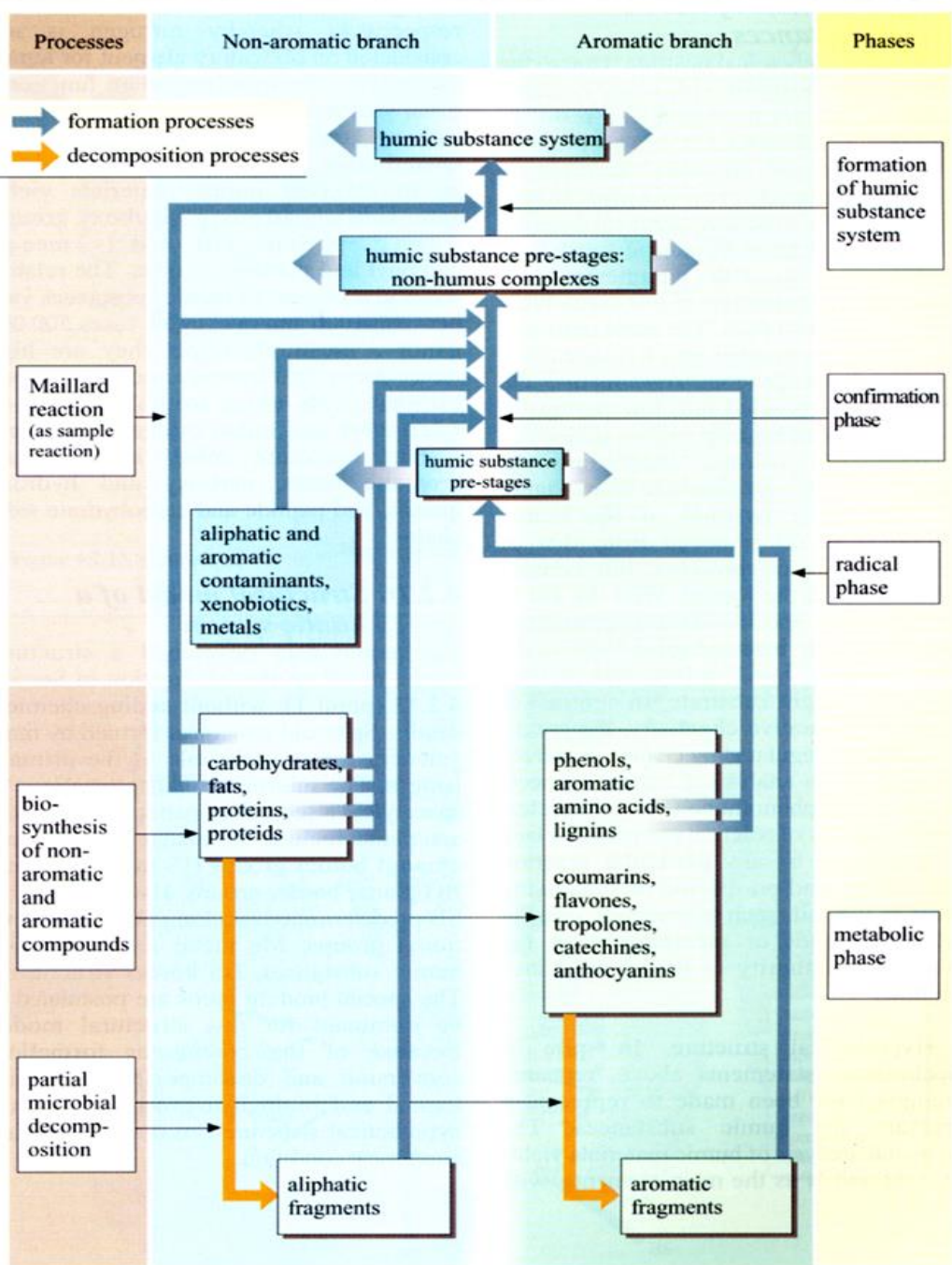


Figure 4.2.14 Biogenesis of humic substances

# Huminové kyseliny

Všechny skupiny HL jsou si strukturně podobné, liší se MH, obsahem funkčních skupin, kyselostí, komplexačními schopnostmi a rozpustností v některých rozpouštědlech.

## HK

- ↪ Rozpustné v zásadách
- ↪ Nerozpustné v kyselinách

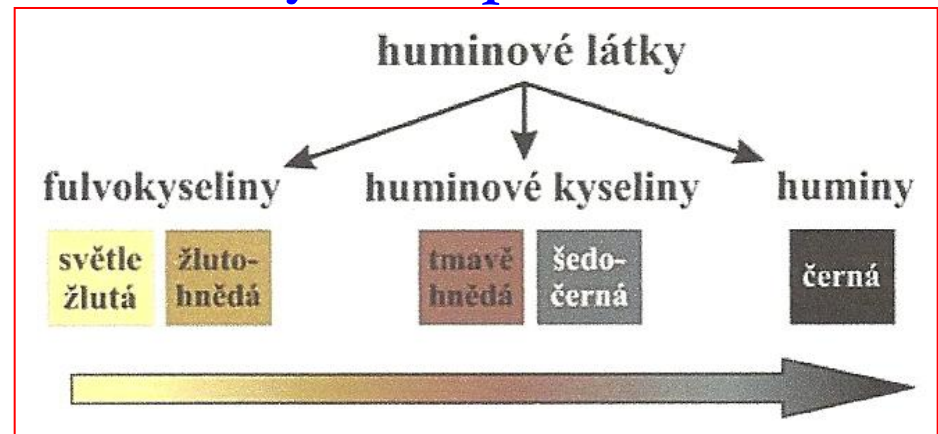
## FK

- ↪ Rozpustné v zásadách
- ↪ Rozpustné v kyselinách

## Huminy

- ↪ Nerozpustné v kyselinách
- ↪ Nerozpustné v zásadách

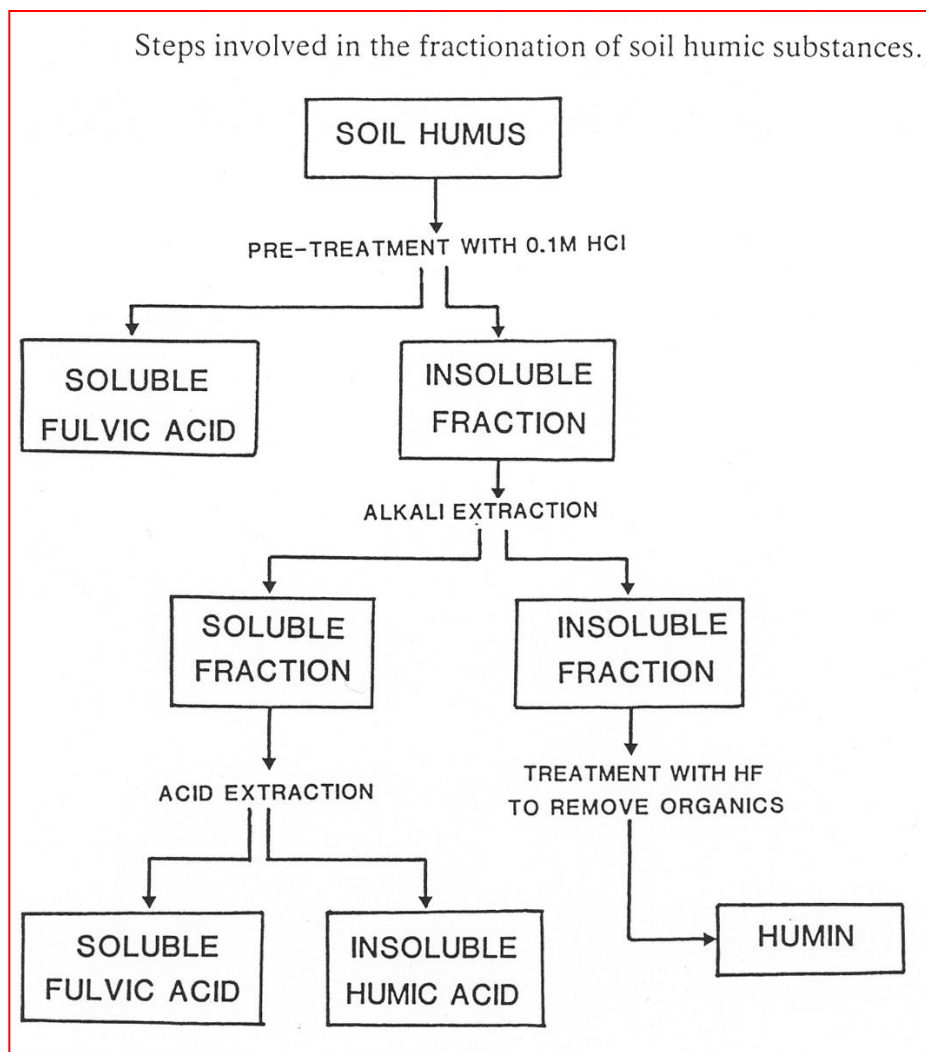
**Ve vodách díky větší rozpustnosti převažují FK**



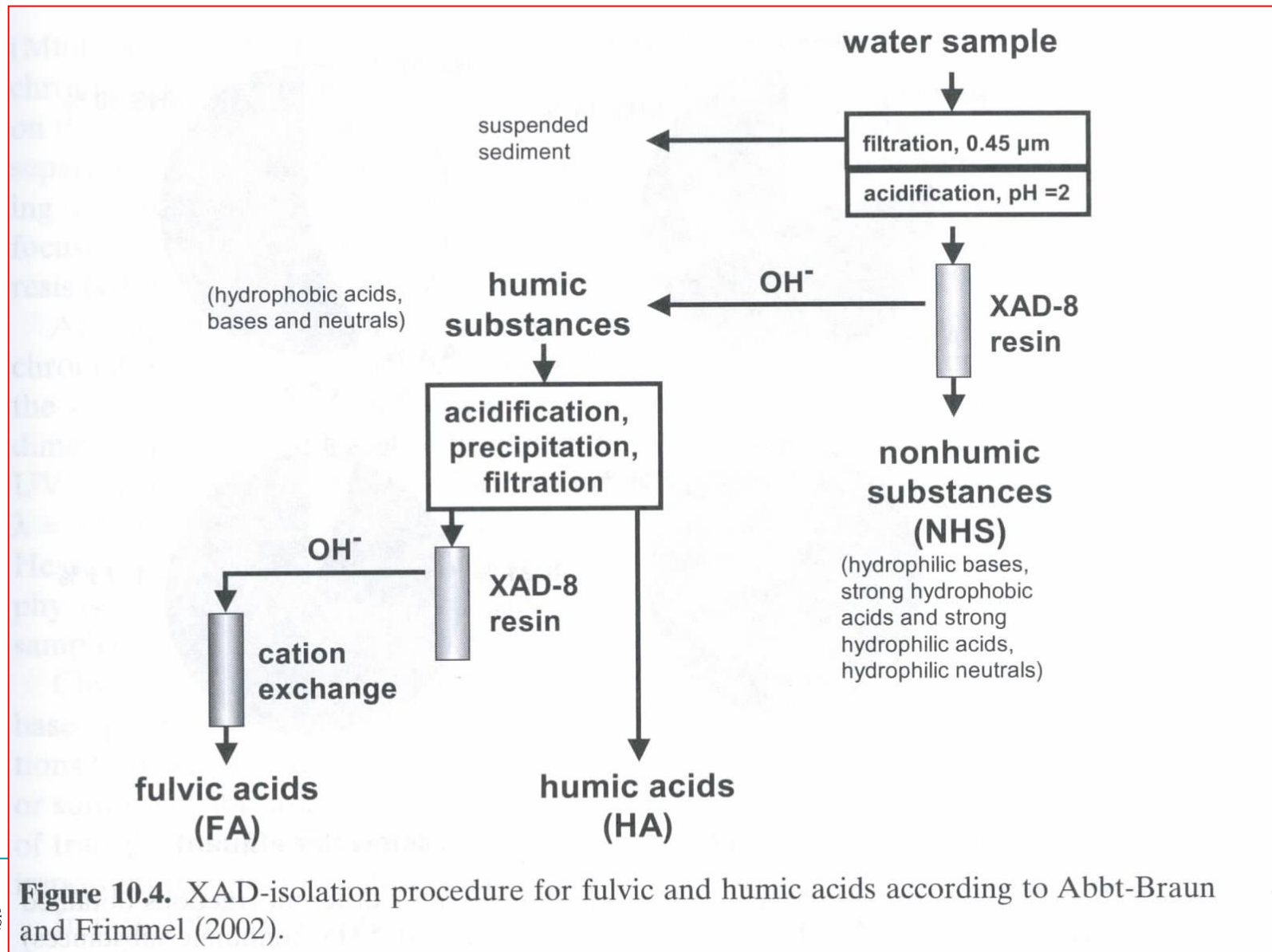
- ↪ Růst intenzity zbarvení
- ↪ Růst stupně polymerizace
- ↪ Růst MH (2 000 – 300 000 ?)
- ↪ Růst obsahu C (45 – 62 %)
- ↪ Pokles obsahu O (48 – 30 %)
- ↪ Pokles výměnné acidity (1 400 – 500)
- ↪ Pokles rozpustnosti



# Kroky frakcionace půdních huminových látek

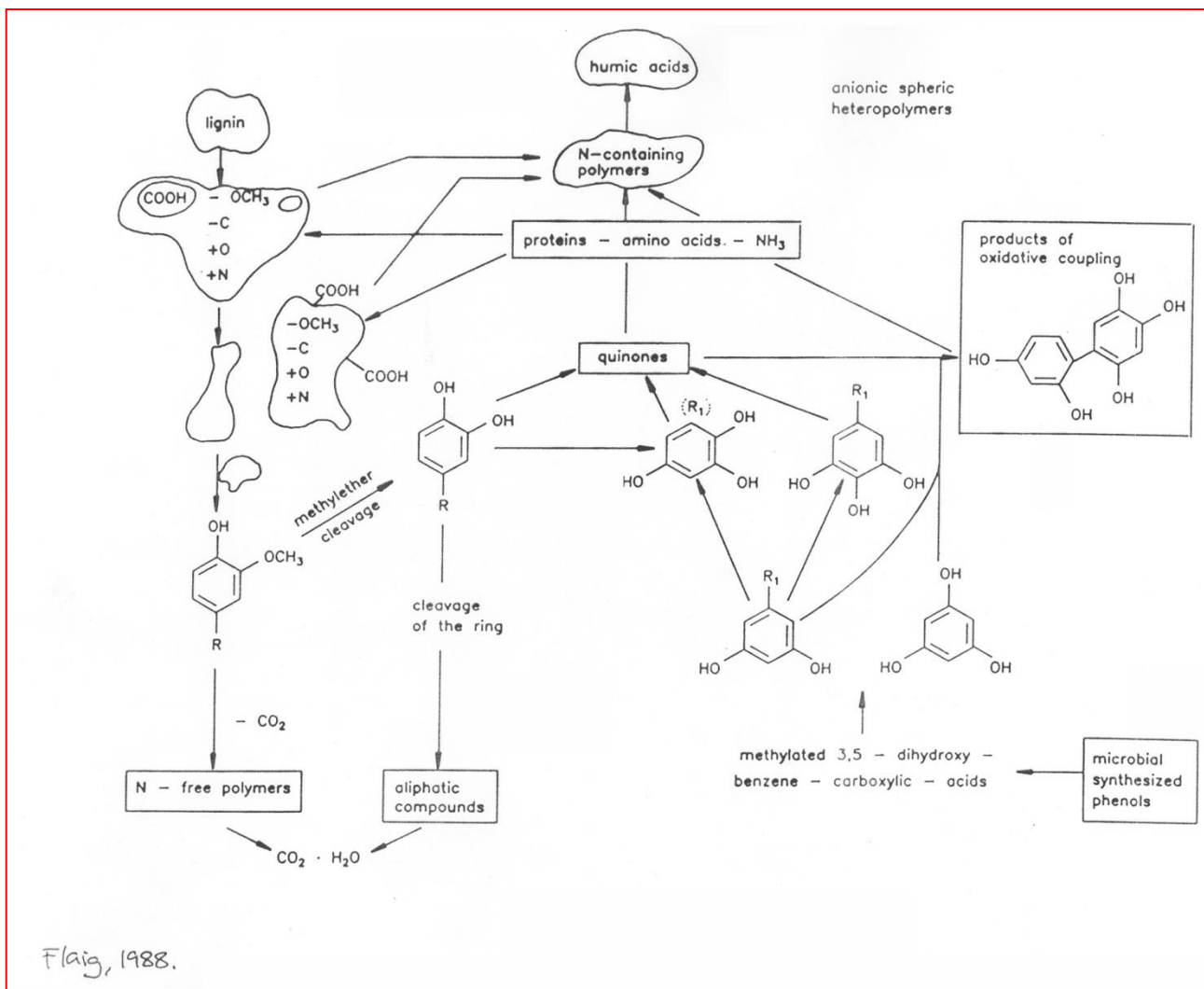


# XAD izolační postup pro fulvo- a huminové kyseliny

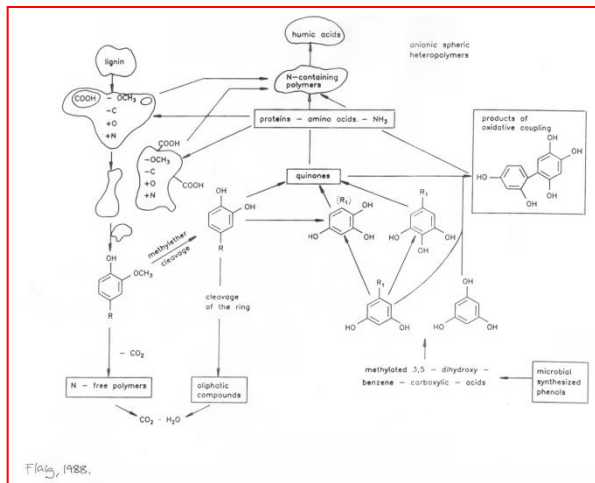


**Figure 10.4.** XAD-isolation procedure for fulvic and humic acids according to Abbt-Braun and Frimmel (2002).

# Humifikace



# Humifikace



**Tvorba humusu**

**Mineralizace**

**V podmínkách příznivých teplot, vlhkosti, provzdušnění.**

**V půdě je v těchto podmínkách pozorovatelná silná činnost aerobních bakterií, které rozkládají organickou hmotu na jednoduché složky (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, oxidy) v tomto případě se humus netvoří, nebo je velmi rychle rozkládán.**

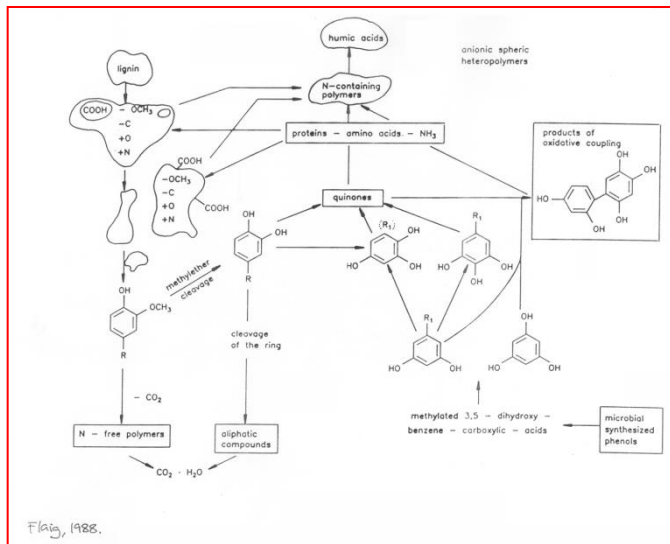
**Rašelinění nebo uhelnatění**

**V podmínkách kyselé reakce prostředí, nízké teploty, vysoké vlhkosti, za omezeného přístupu vzduchu, anaerobních podmínek, nedostatečné oxidace.**

**Nedokonalá přeměna organické hmoty - nedokonalý rozklad organický zbytků, enzymatický a biochemický proces způsobený zejména anaerobními bakteriemi**

**Výsledkem jsou huminové a ulminové látky tmavohnědé-černé barvy s vysokým obsahem uhlíku.**

# Humifikace



## Humifikace

Optimální podmínky jsou periodické ovlhčování a vysychání, střídání aerobních a anaerobních procesů.

Proces humifikace je převážně anaerobní, soubor převážně enzymatických a biochemických pochodů, při nichž se z meziproductů rozkladu tvoří resyntézou tzv. huminové látky.

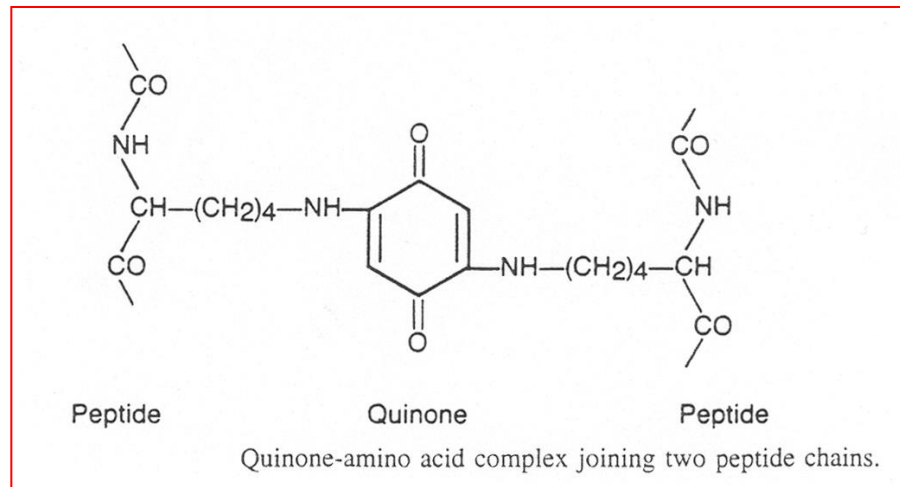
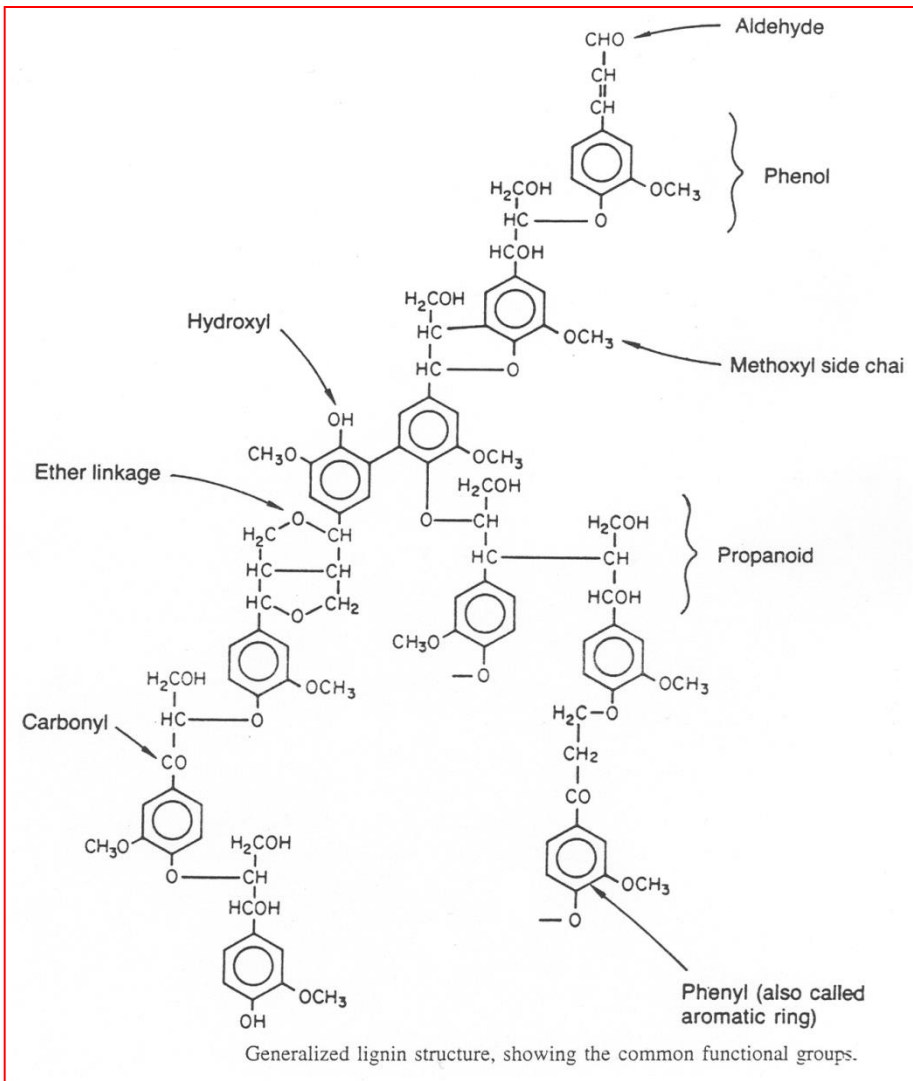
Mají obsah uhlíku k dusíku 1:10, hnědou až černohnědou barvu a vlastnosti koloidů.

Humifikace je provázena mineralizací výchozích látek (nikdy nezhumifikuje všechna organická hmota).

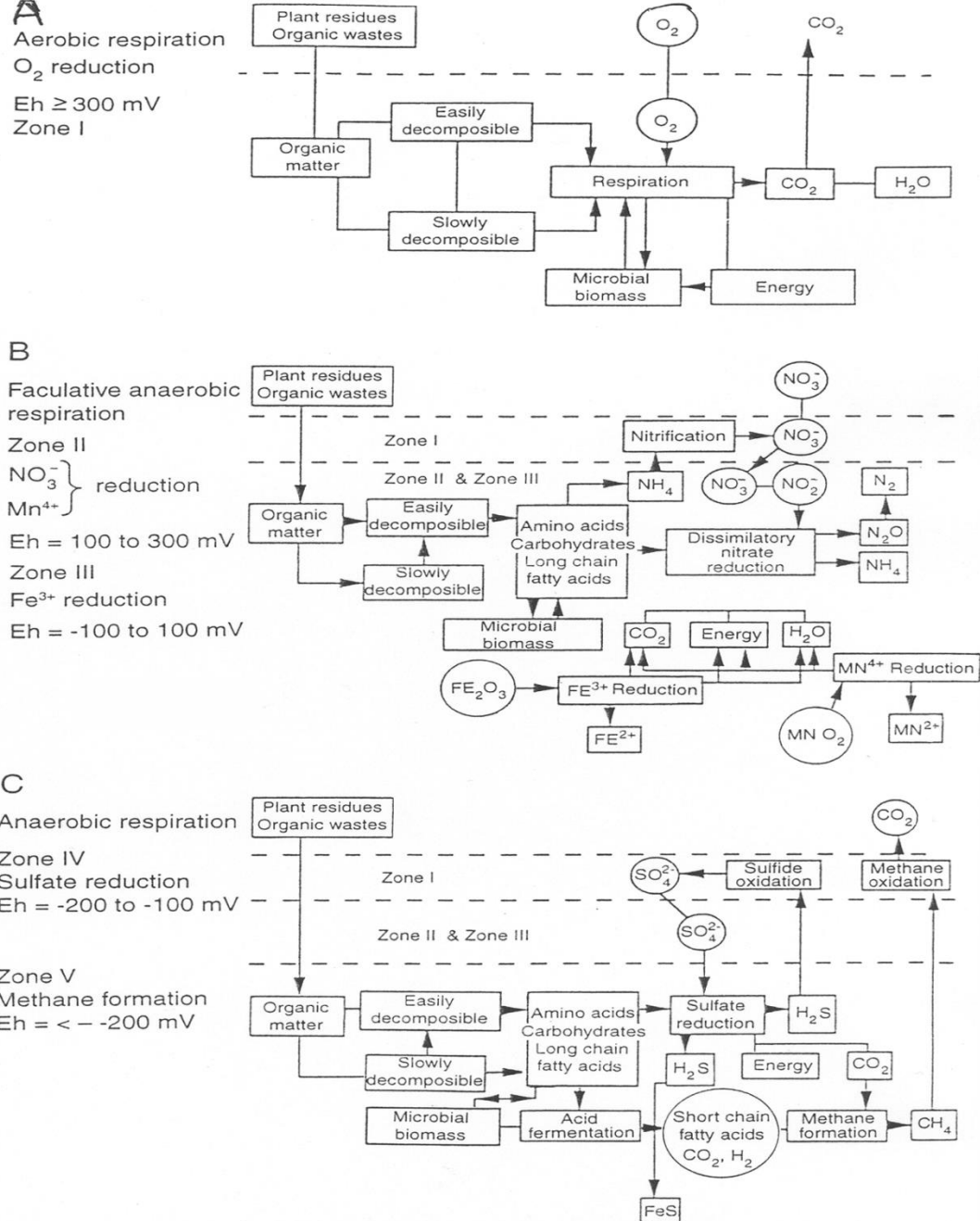
Článkem tvorby humusových látek je kondenzace strukturních jednotek, ke které dochází oxysličením fenolů přes fermenty typu fenoloxidáz vedoucím k tvorbě chinonů a vzájemným reakcím chinonů s aminokyselinami a peptidy, závěrečnou fází je polymerace (polykondenzace).

Ta je reverzibilním procesem a proto je nutné aby byl produkt z prostředí odváděn, jinak může dojít k rozpadu již vytvořených kondenzátů (např. při nadbytku vody v půdě).

# Prekurzory vzniku huminových látek



# Rozklad půdní organické hmoty aerobními a anaerobními procesy



ounds in the Environment

muni.cz

FIGURE 7.8 (A) Pathways of organic matter decomposition during aerobic respiration. (B) Pathways of organic matter decomposition during facultative anaerobic respiration. (C) Pathways of organic matter decomposition during anaerobic respiration. (From Reddy *et al.*, 1986.)

# Potenciální struktura huminových kyselin

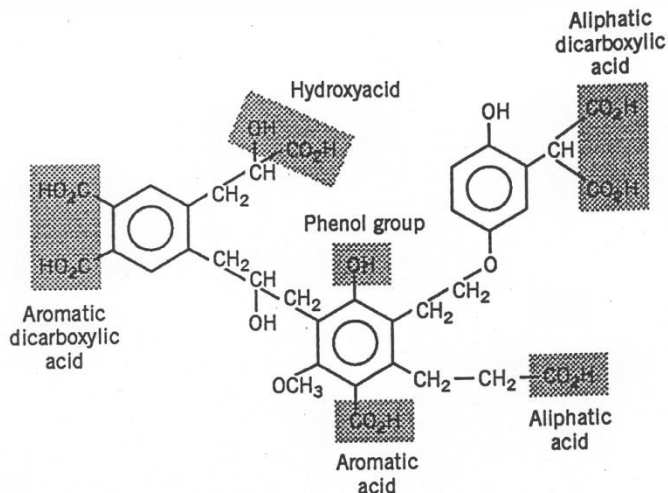


Figure 3.12. Exemplification of different possible —OH and —COOH groups in a hypothetical humic acid polymer. (From Thurman, 1985.)

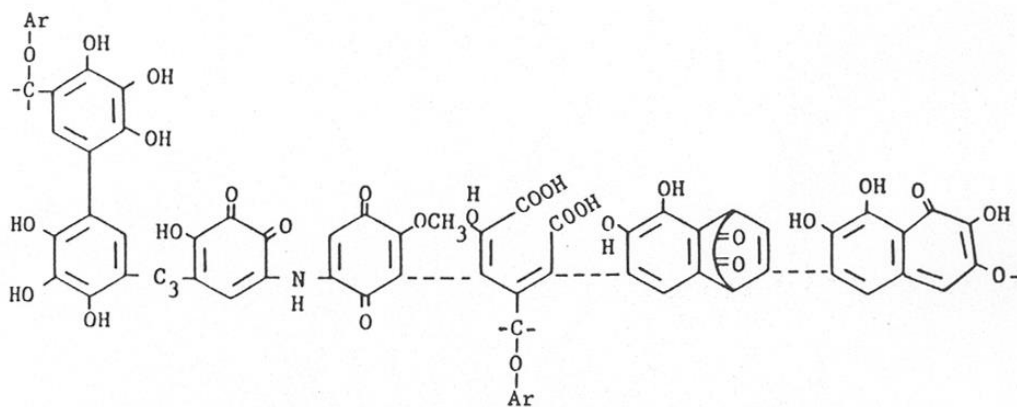


FIGURE 3. Hypothetical structure of humic acid according to Flaig (1960b).

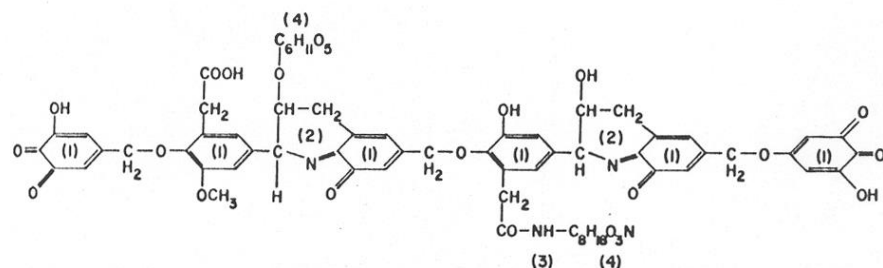


FIGURE 2. Dragunov's structure of humic acid as recorded by Kononova (1966): (1) Aromatic ring of the di- and trihydroxybenzene type, part of which has the double linkage of a quinone group. (2) Nitrogen in cyclic forms. (3) Nitrogen in peripheral chains. (4) Carbohydrate residue.

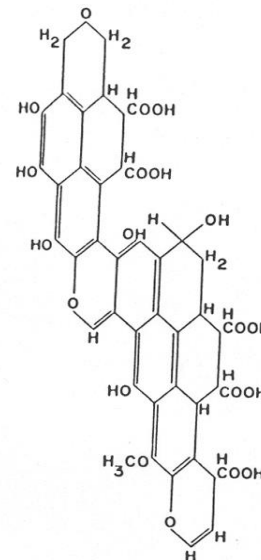
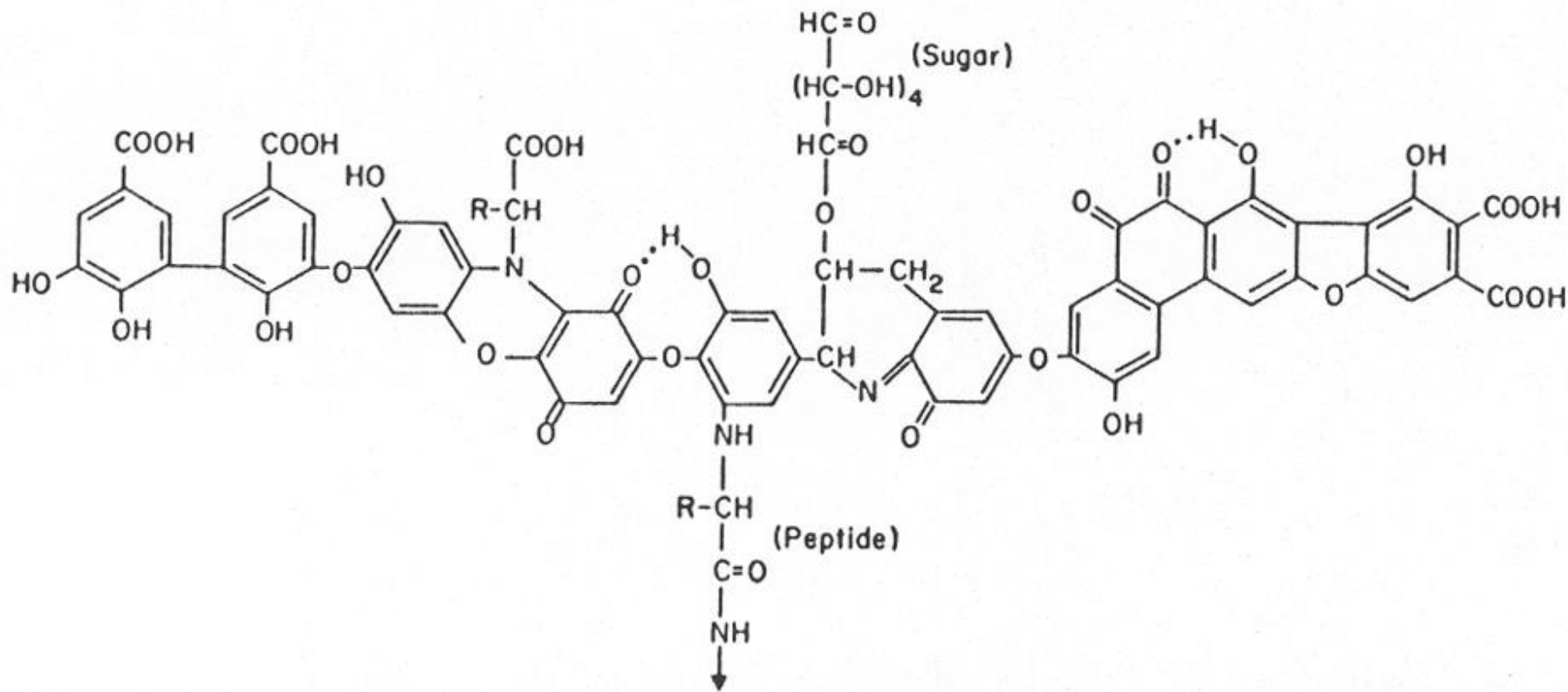


FIGURE 1. Structure of humic acid according to Fuchs.



# Potenciální struktura huminových kyselin



**FIGURE 4.** Hypothetical structure of humic acid showing free and bound phenolic OH groups, quinone structures, oxygen as bridge units, and carboxyls variously placed on the aromatic ring. From Stevenson (1982).

Obsahují cca 50 – 57 % C, 34 – 38 % O, 4 – 6 % H, < 1 % N a S

# Potenciální struktura fulvo kyselin

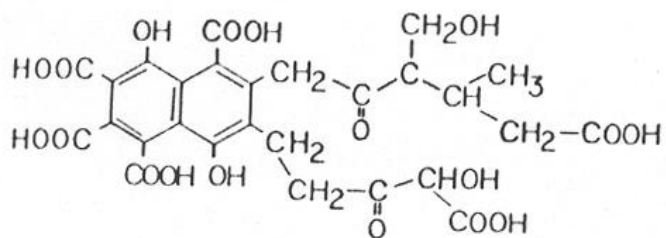


FIGURE 6. Type structure of fulvic acid as proposed by Buffle (1977).

Obsahují cca 46 – 55 % C, 37 – 50 % O, 4 – 5 % H, < 1 % N a S

# Humus

## Struktura

- ↪ aromatické a cyklické struktury,
- ↪ boční řetězce,
- ↪ funkční skupiny: - COOH, - OH, C=O, -OCH<sub>3</sub>,
- ↪ identifikace - po frakcionaci, hydrolýze, oxidaci, redukcii – typické produkty – aldehydy, ketony, alkoholy, karboxylové kyseliny, aminokyseliny,
- ↪ frakce – huminové, fulvo, hymatomelanové kyseliny, humin,
- ↪ huminové kyseliny – slabě disociované, vícesytné organické kyseliny;  $K = 10^{-4} - 10^{-5}$ ,
- ↪ v roztoku se chovají jako micelární koloidy, koloidní částice mají záporný náboj, isoelektrický bod – v kyselé oblasti,
- ↪ v silně alkalické oblasti – tvoří pravé roztoky.

# Strukturní podobnost huminových kyselin

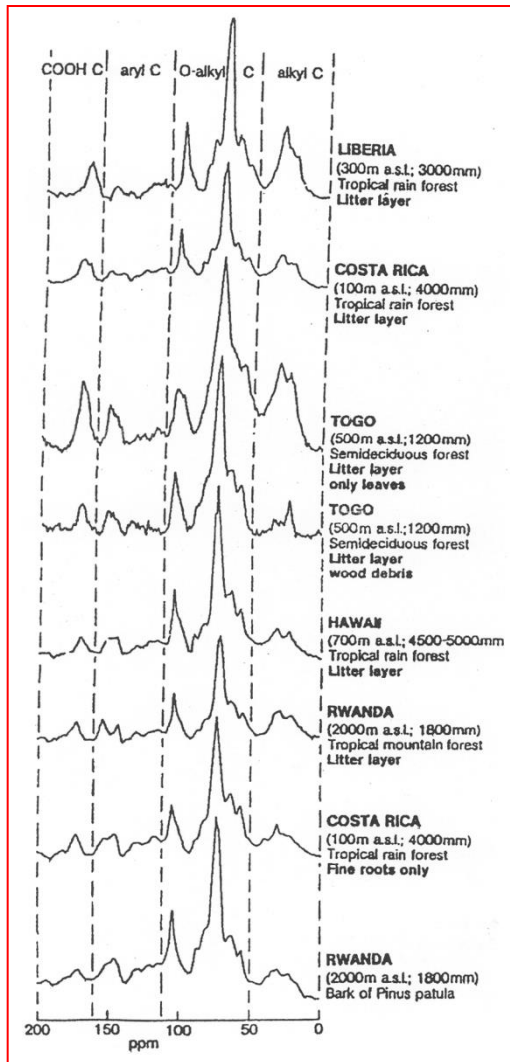
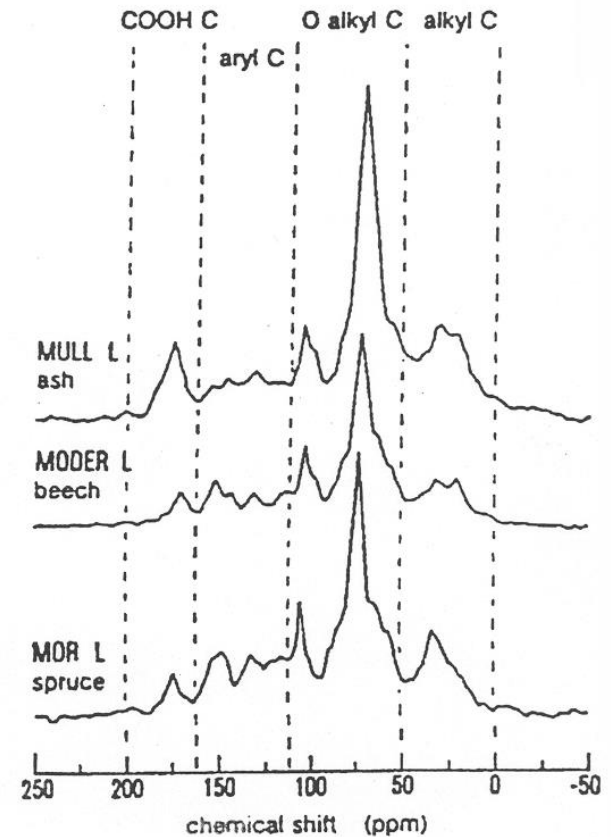


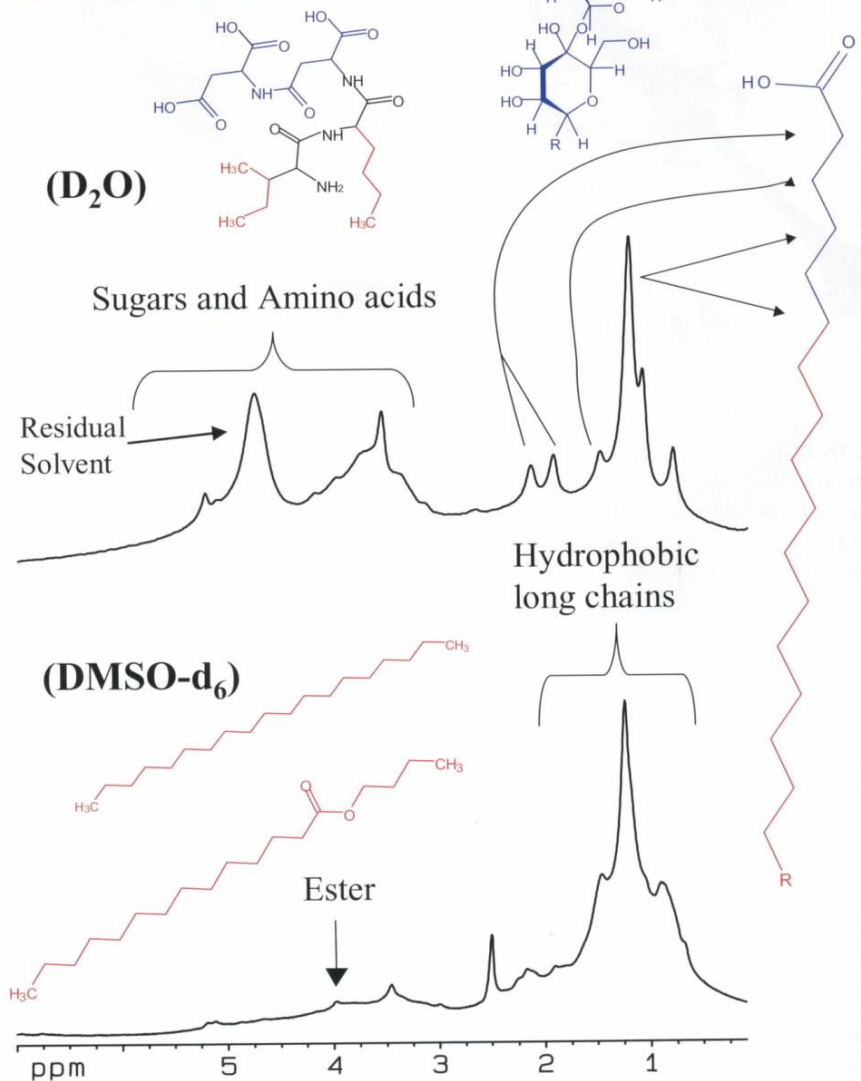
Fig. 1. CPMAS  $^{13}\text{C}$  NMR spectra of some litter layers of temperate forests, ash (*Fraxinus excelsior*), beech (*Fagus sylvatica*), and spruce (*Picea abies*).



# NMR lesních půd

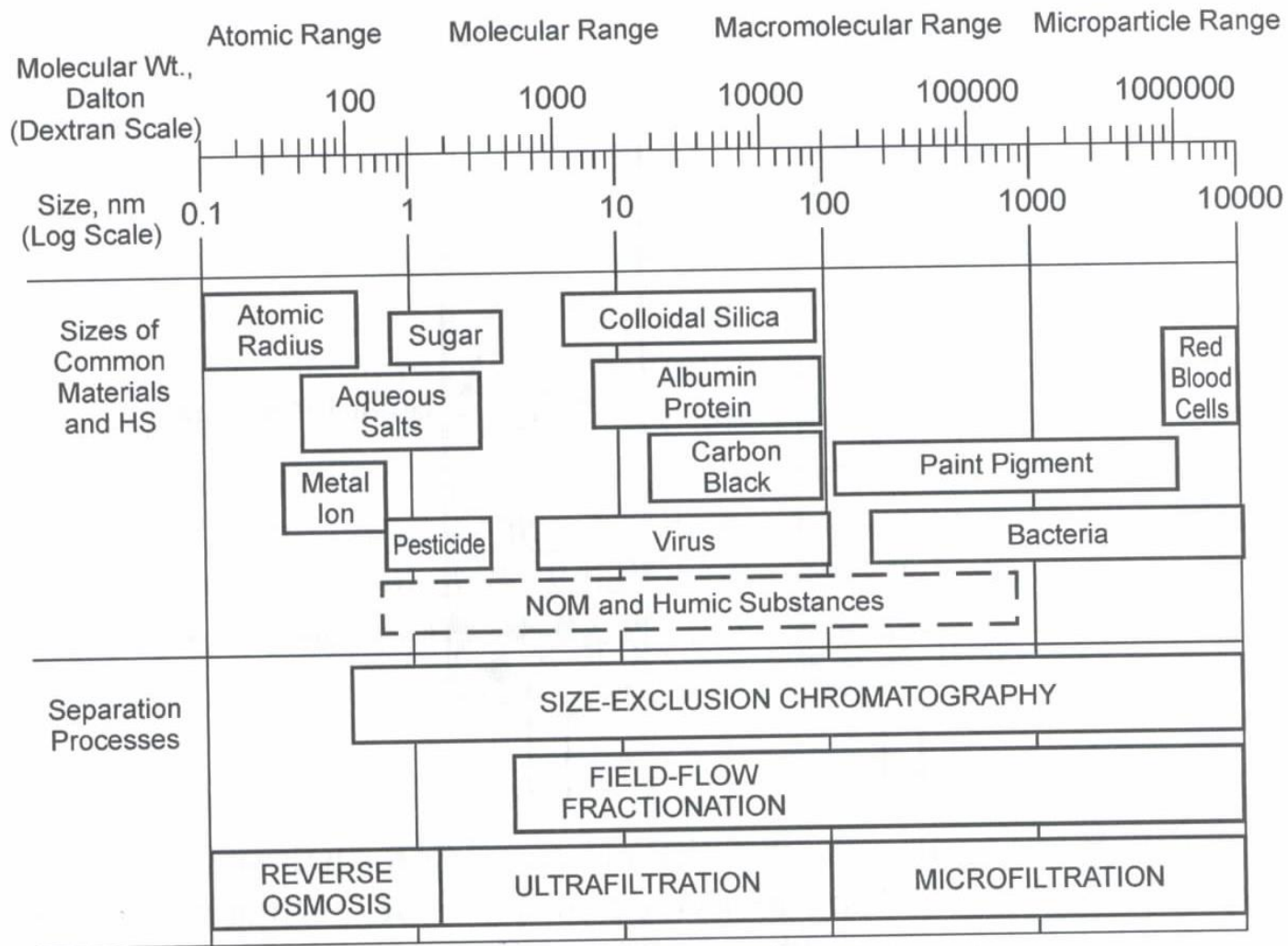
Blue = Hydrophilic

Red = Hydrophobic



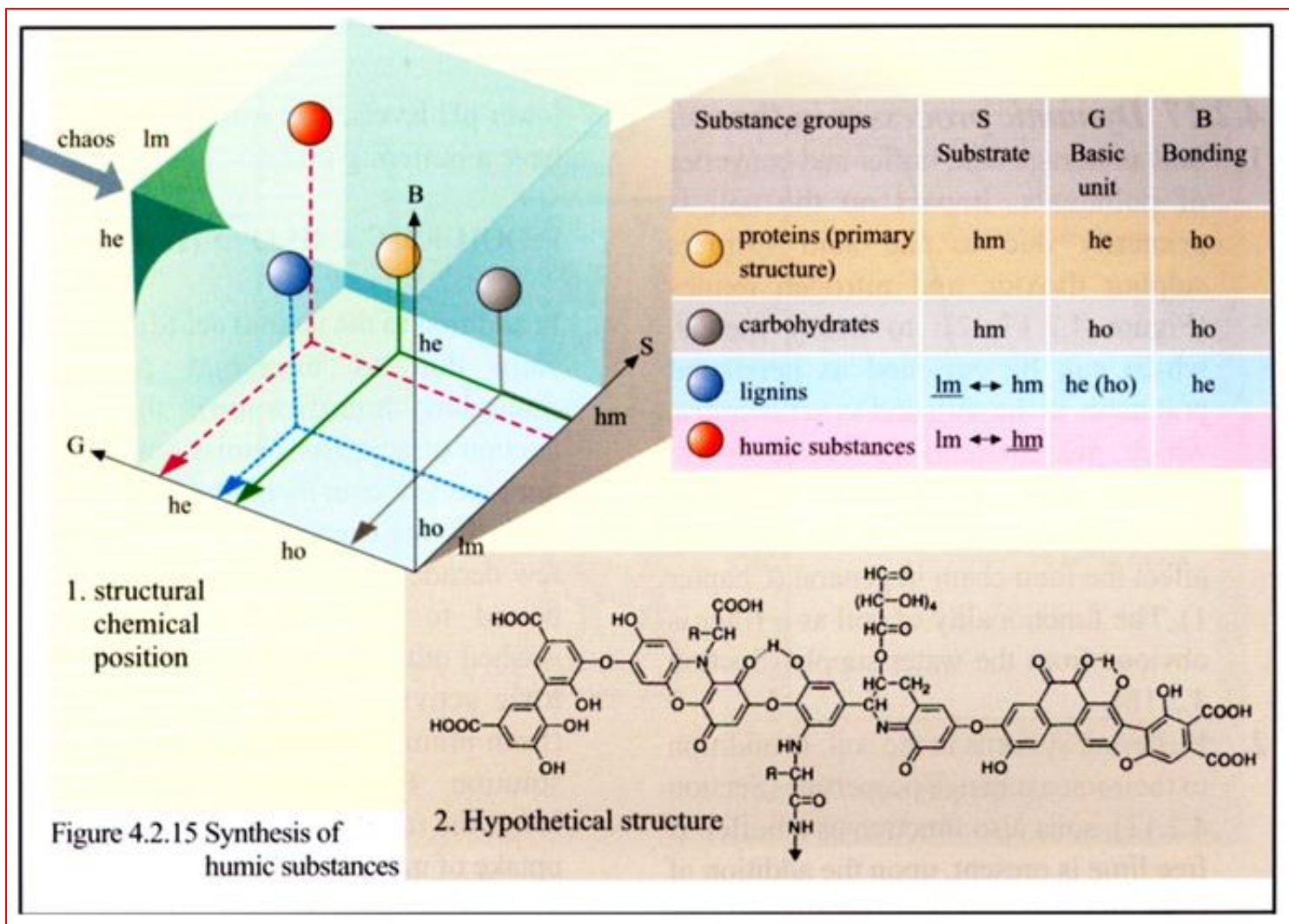
**Figure 15.7.** <sup>1</sup>H HR-MAS NMR of a forest soil. **(Top)** Sampled and analyzed “as is” after the addition of 10 μl of D<sub>2</sub>O as a lock signal. Resonances in the top spectrum are those that are in contact with water, and thus at the soil–water interface. **(Bottom)** Same sample as top, but freeze-dried and swollen in DMSO-d<sub>6</sub>. Note that DMSO is an excellent swelling solvent and penetrates into both the polar and hydrophobic domains in NOM (Simpson et al., 2001b).

# Rozsah velikostí

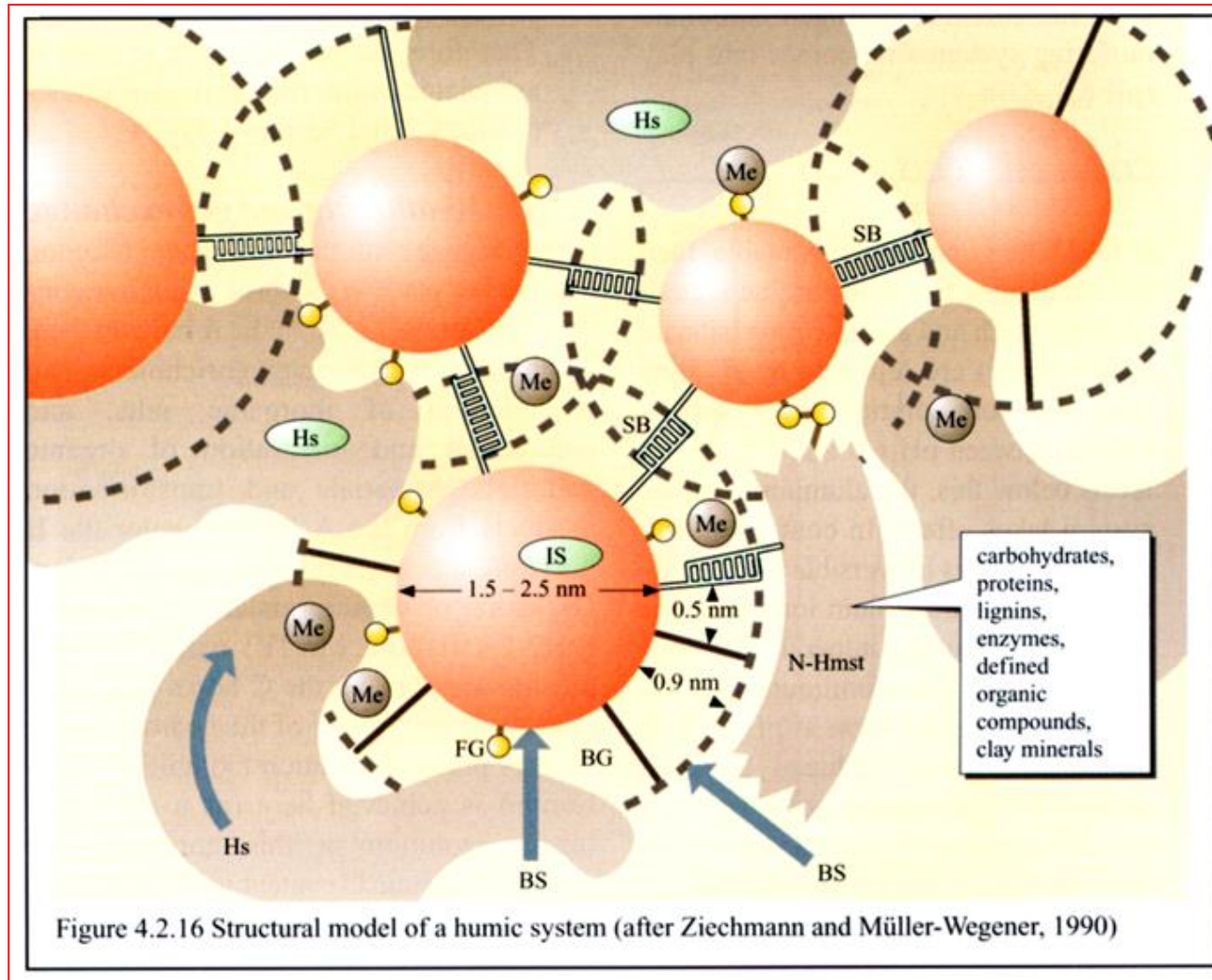


**Figure 13.1.** Size range of common materials, conversion scale between molecular size and weight based on the dextran scale, and separation range of different analytical methods.

# Potenciální struktura huminových kyselin



# Strukturní model huminových kyselin





# Vlastnosti huminových látek

Negativně nabité, povrchově aktivní makromolekuly.  
Záporný náboj HL je dán přítomností karboxylových a hydroxylových skupin.

## Příčiny kyselosti HL

### 1) Přítomnost karboxylových a hydroxylových skupin

Karboxylové skupiny – silně kyselé ( $K = 10^{-2} - 10^{-5}$ )

Hydroxylové skupiny – slabě kyselé ( $K = 10^{-9} - 10^{-11}$ )

### 1) Rozmístění karboxylových skupin v molekule

### 2) Polarita (dipólový moment) molekul HL

S rostoucí polaritou molekul HL roste i jejich kyselost

# Strukturní model huminových kyselin

**Tvorba komplexů s vícemocnými kationty je dána:**

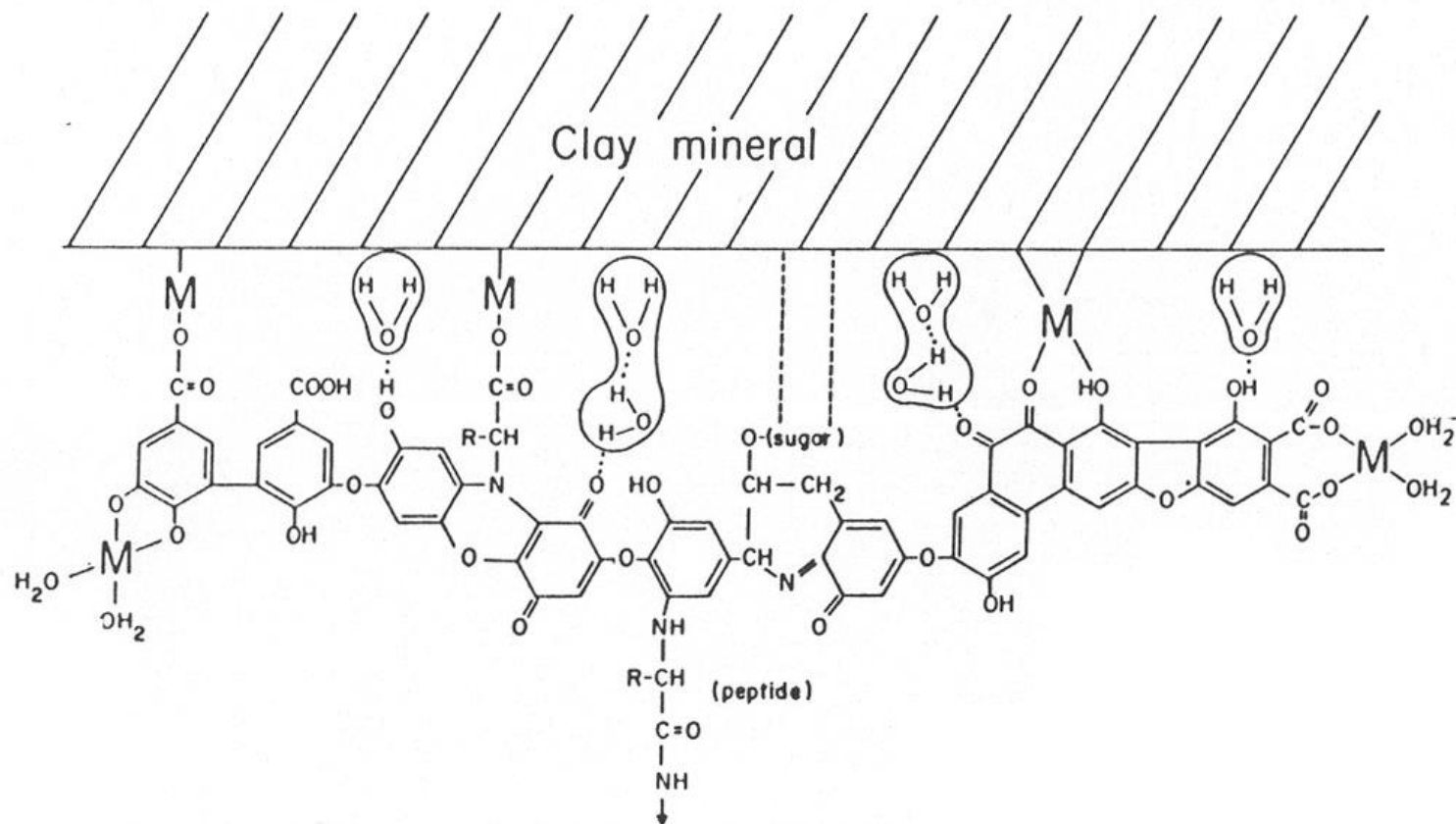
- 1) Přítomností karboxylových a fenolových skupin
  - 2) Aromaticitou molekul
- ↙ Schopnost tvorby komplexů se zvyšuje se vzrůstající hodnotou pH
  - ↙ Rozpustnost komplexů závisí na hmotnostním poměru kationtů a HL – se vzrůstajícím zastoupením kationtů klesá rozpustnost komplexů

**Huminové vody:**

- ↙ Vysoký obsah HL
- ↙ Nízký obsah Ca, Mg a  $\text{HCO}_3^-$  iontů
- ↙ Nízká hodnota pH a KNK4,5
- ↙ Často zvýšený obsah Al
- ↙ Nevyhovující sensorické vlastnosti vody (barva, chuť, zápach)

# Strukturní interakce huminových látek a jílových minerálů

## komplexace živin a polutantů



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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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