

Základy půdoznalství a mikrobiologie

přednáška 1

Vítězslav Vlček, Ph.D.

ústav 221

Pod pojmem půda budeme rozumět složitý, mnoha vazbami propojený systém živých a neživých součástí, který umožňuje růst rostlin a život mnoha půdních organismů. Půda se účastní globálních cyklů látek a ovlivňuje stav atmosféry i dostupnost vody...

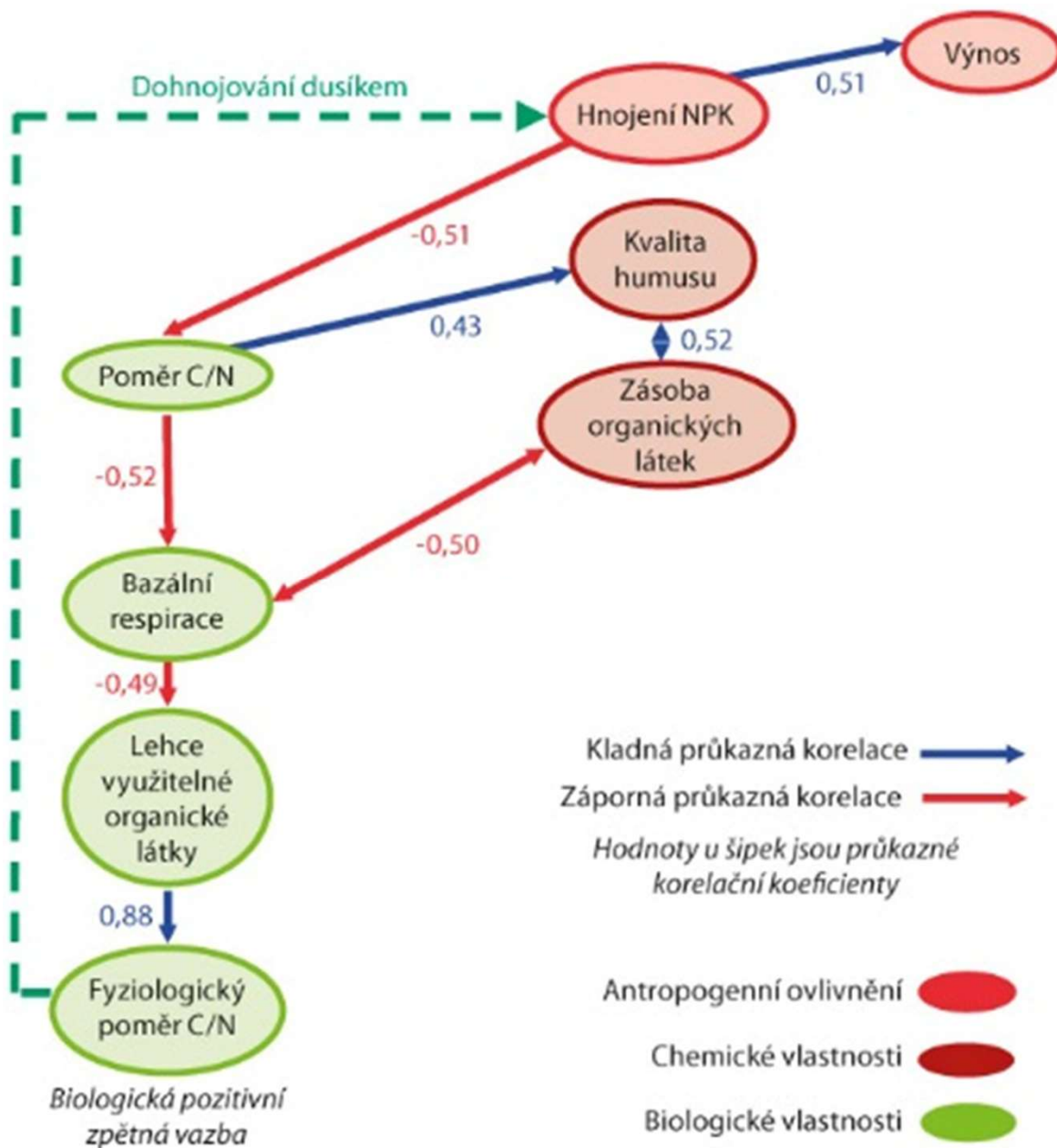
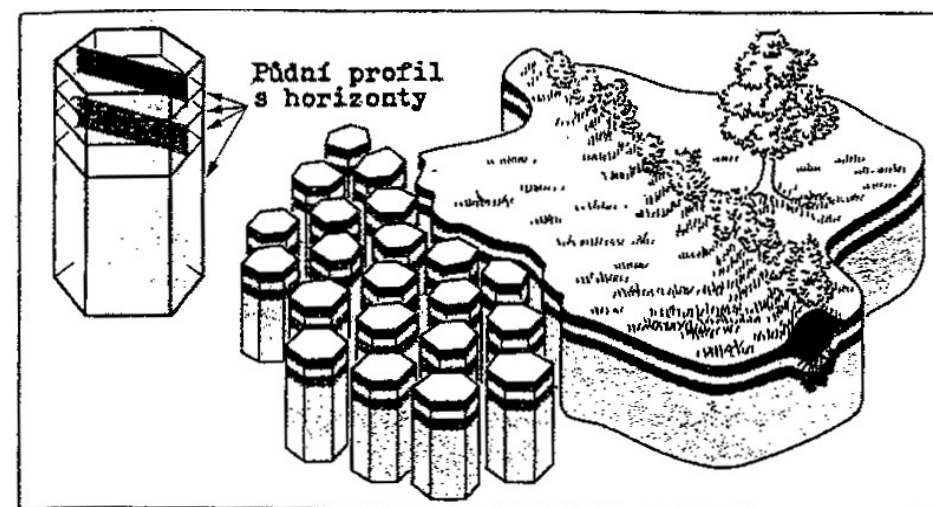
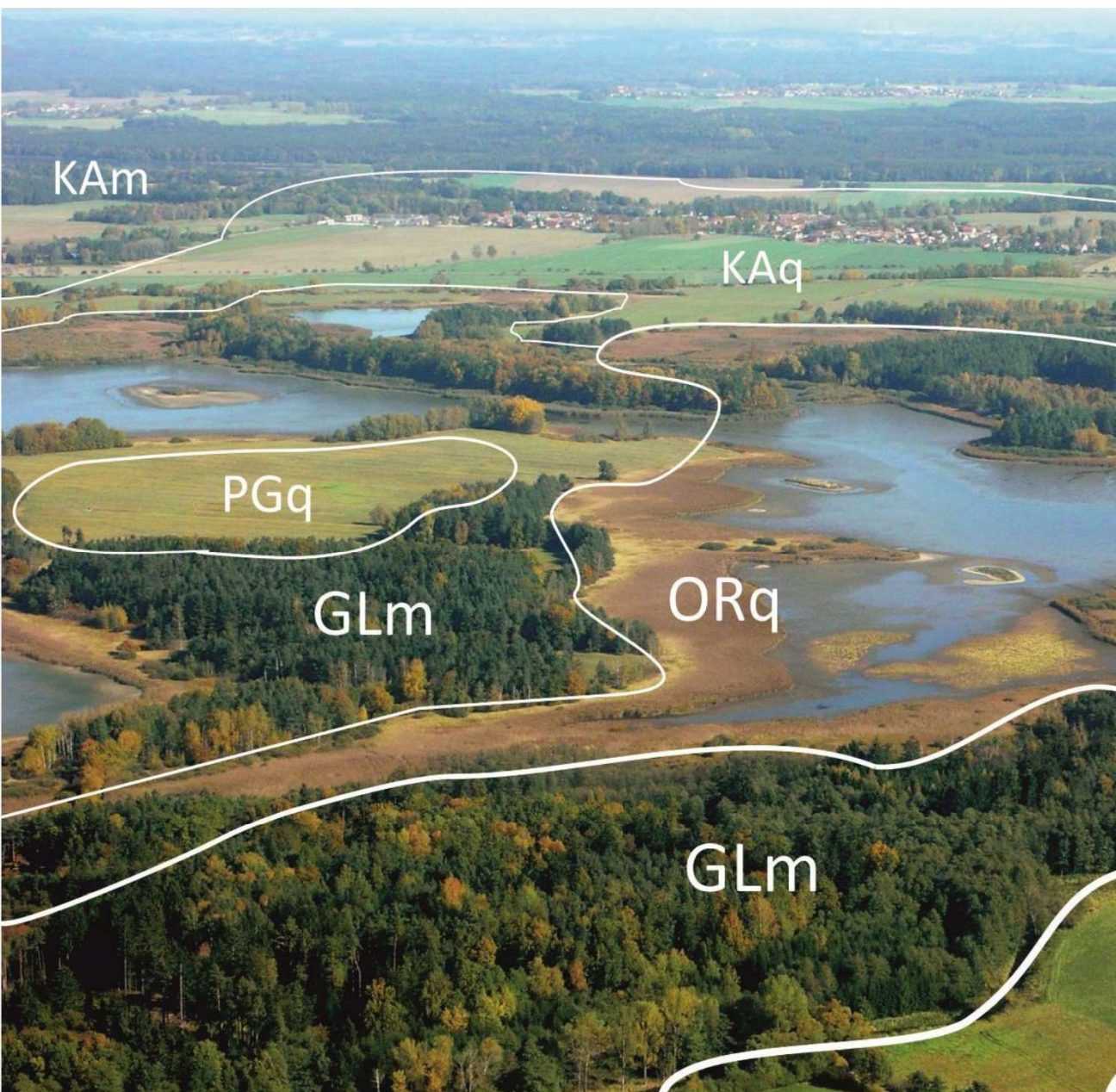


Schéma pozitivního zpětnovazebného systému mezi hnojením dusíkem a biologickou aktivitou černozemě (Pokorný a kol. 2012)

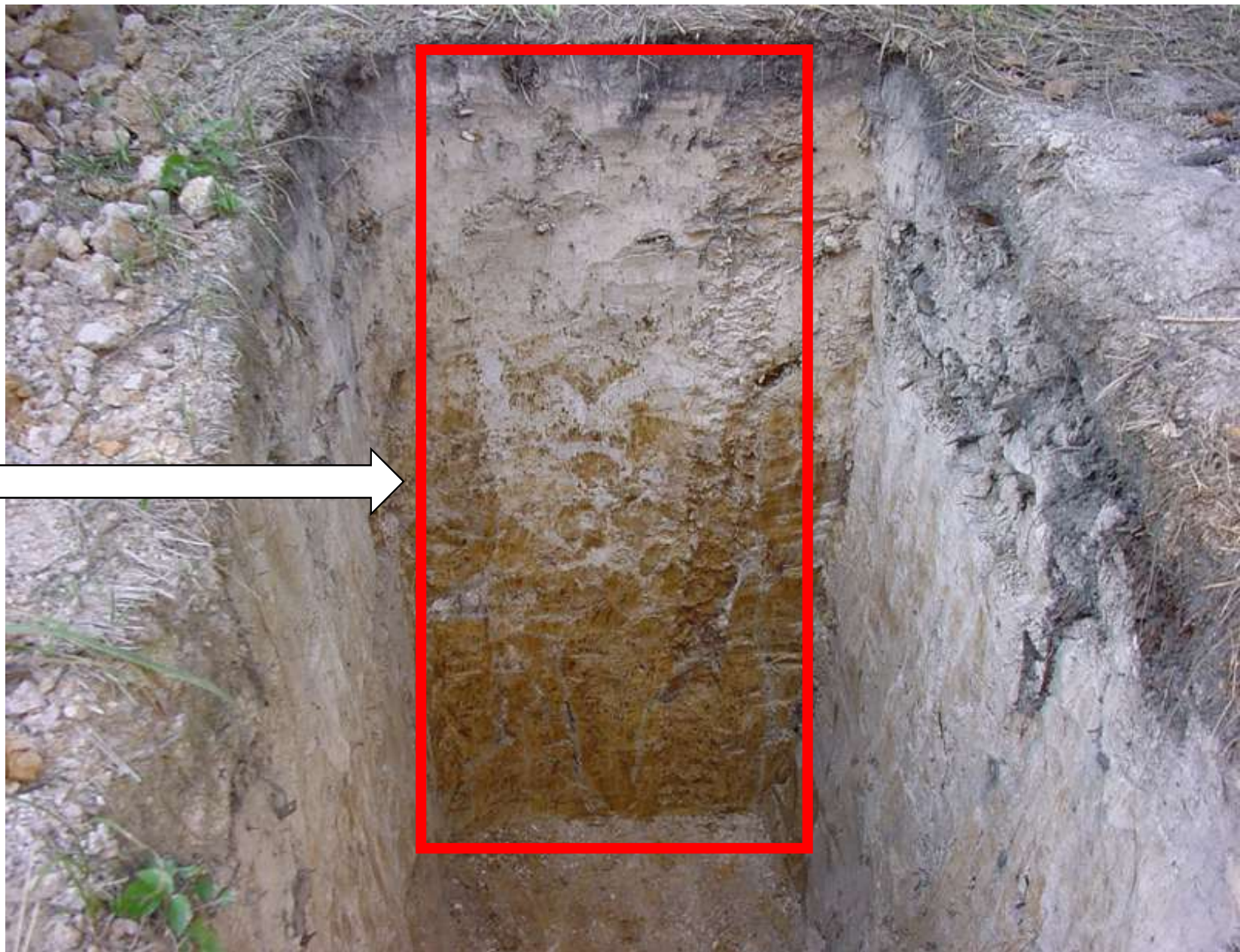
1. Úvod do půdoznalství

Půdy jsou zkoumány v podobě **přírozených trojrozměrných půdních jednotek – tzv. pedonů** (tj. prostorově nejmenších homogenních půdních jednotek).

Vlastnosti **pedonů** zkoumáme, měříme a vyhodnocujeme v **pedologických sondách**.



**tzv. čelo sondy,
které
popisujeme**



Pedologické sondy odkrývají v čele sondy vertikální **půdní profil** celého sledu **půdních horizontů** a svrchní části **půdotvorného substrátu**, případně **mateční horniny** nebo i **podložní horniny**.





Půdní horizont je definován souborem **vizuálních** morfologických a **analytických znaků** s hraničními měřitelnými parametry.

Půdotvorný substrát je zvětrávacími procesy mechanicky a chemicky narušená mateční hornina.

Mateční hornina je hornina, nedotčená zvětrávacími pochody, narušená pouze fyzikálně na svém povrchu, je rozhodujícím materiálním zdrojem pro vznik a evoluci půdy.

Podložní hornina se svým materiálem nezúčastnila tvorby půdy, má odlišné vlastnosti než půdotvorný substrát, ze kterého vznikla půda.



Moderní, dynamické pojetí půdy má své základy v pracích ruského geologa **V. V. Dokučajeva (1846 - 1903)**.

Definice Dokučajeva:

Půda je samostatný přírodně-historický útvar, který **vzniká a vyvíjí se** zákonitým procesem **působením** (vícerých) **půdotvorných činitelů**.

Vývoj půdy v sobě zahrnuje tři fáze: vznik půdy, evoluci půdy a metamorfózu půdy.

- **vznik půdy** znamená její formování působením půdotvorných činitelů, dokud půda nezíská svoje typické složení (ontogeneze půdy),

- **evoluce půdy**, tj. postupná změna již zformované půdy za určitý čas (např. vznik pseudogleje z luvizemě v důsledku dlouhodobého průběhu illimerizace),

- **metamorfóza půdy**, tj. změna půdy vlivem změny charakteru působení půdotvorných faktorů. Např. změna semihydromorfní černice na černozem. Tyto změny mohou být vyvolány jak přirozenými pochody (snížení hladiny podzemní vody vlivem zahloubení dna recipientu v údolní nivě), tak umělým zásahem člověka (úpravou vodního toku, odvodněním půd apod.).

Současná definice: Půda je samostatný přírodně-historický útvar, který vznikl v důsledku komplexního působení vnějších činitelů (klíma, biologický faktor, podzemní voda) na mateční horninu v určitém čase.

Tím vznikne úplně nová substance, která se částečně podobá živé hmotě tím, že má látkovou výměnu s prostředím, ale také neživé hmotě tím, že se nerozmnožuje. Jde pouze o obnovu, při níž se nezachovávají dědičné znaky.

Půda se výrazně odlišuje od mateční horniny případně půdotvorného substrátu **ú r o d n o s t í**.

Úrodnost je schopnost půdy vytvářet podmínky pro růst vyšších zelených rostlin.

Z hlediska **ekonomického** se půda chápala a chápe jako **základní výrobní prostředek v zemědělské a lesnické výrobě**, jehož vlastnosti se v procesu výroby mění. V kladném i záporném směru.

Půda se tak stává od určitého stupně vývoje lidské společnosti nejen **objektem**, ale také **produktem lidské práce**.

Půda je nezastupitelná v plnění těchto funkcí:

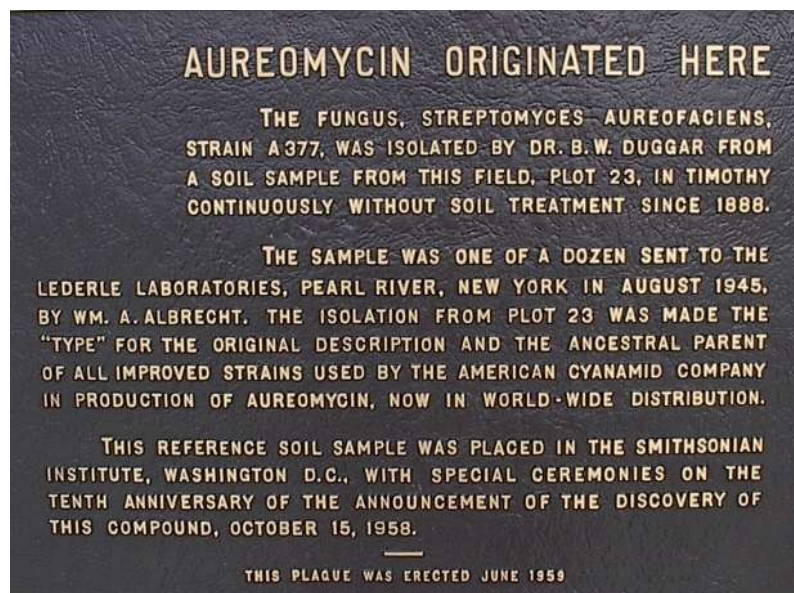
Půda je základním článkem potravního řetězce a současně substrátem pro růst rostlin.

Půda je životně důležitou zásobárnou vody pro suchozemské rostliny a mikroorganismy a je filtračním čistícím prostředím, přes které voda prochází.



Mikroorganismy žijící v půdě jsou obrovskou a nedoceněnou zásobárnou genetické informace a umožňují průběh důležitých procesů v ekosystémech.

Cyklus vody, uhlíku, dusíku, fosforu, a síry probíhá v půdě prostřednictvím interakcí mikrobiální složky s fyzikálními a chemickými vlastnostmi.



Půdní organická hmota je hlavní suchozemskou zásobárnou uhlíku, dusíku, fosforu a síry; bilance a přístupnost těchto prvků je neustále ovlivňována mikrobiální mineralizací a imobilizací.



Půda hraje zcela zásadní a nezastupitelnou roli ve stabilitě ekosystémů a v ovlivňování bilancí látek a energií.

Působí jako environmentální pufrální medium, jež mimo jiné zadržuje, degraduje, ale za určitých podmínek i uvolňuje potenciálně rizikové látky.

- Z půdy pochází mnoho základních složek stavebních materiálů a surovin, současně půda poskytuje prostor pro umísťování staveb, pro rekreační činnost a další aktivity člověka.
- Půda je prostředím, v němž probíhá archeologický a paleontologický výzkum.

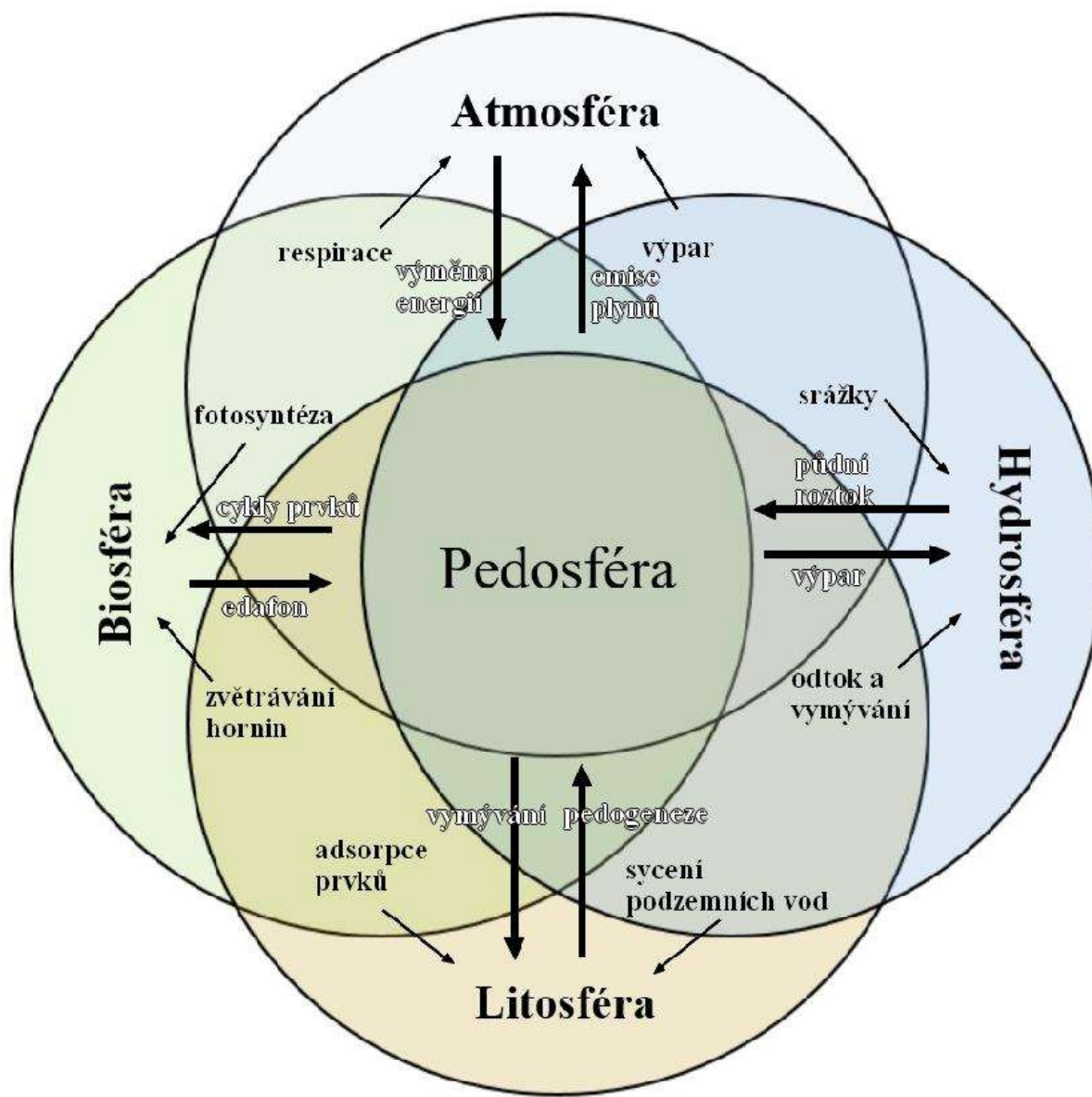




Půda a životní prostředí

Půda (pedosféra) spolu s **atmosférou**, **hydrosférou** a **biocenózou** (soubor všech rostlinných, živočišných a bakteriálních populací žijících v daném prostředí) tvoří funkční ekologický systém zvaný **ekosystém**.

Ekosystém je tedy funkční celek, zahrnující komunitu živých organismů a jejich prostředí.

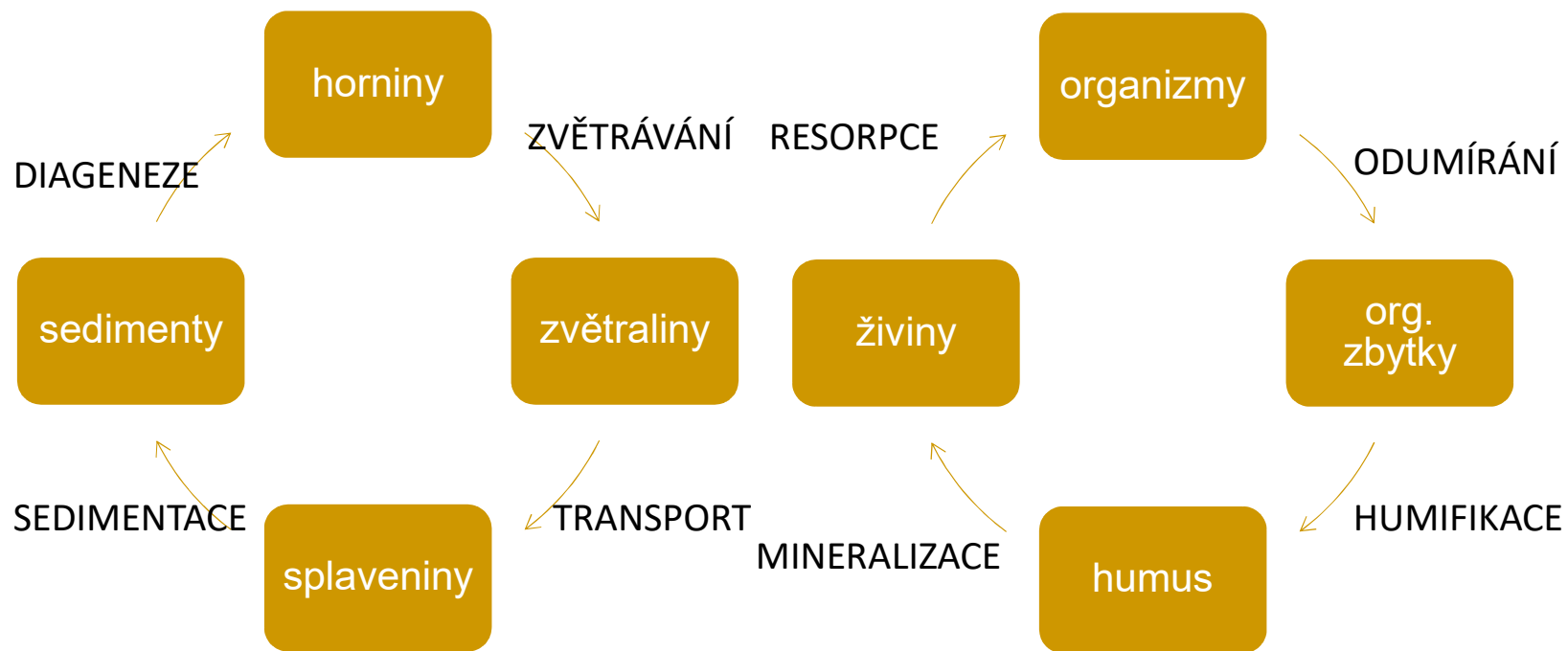


Obdobně jako ostatní složky životního prostředí ovlivňují půdu, tak také zpětně půda působí na ostatní složky.

Tento vzájemný vliv znamená, že zásah do jedné složky ekosystému je zásahem do ekosystému jako celku.



Půda a koloběh látek



**SCHÉMA GEOLOGICKÉHO + BIOLOGICKÉHO KOLOBĚHU
LÁTEK**

Biologickým koloběhem získává původní zvětralina (půdotvorný substrát) nové vlastnosti, které ji postupně mění v půdu.

V povrchové vrstvě se hromadí odumřelé organické zbytky a produkty jejich přeměn, koncentrují se v ní živiny včetně sloučenin dusíku, narůstá schopnost vázat je ve snadno uvolnitelných formách, stupňuje se schopnost zadržovat vodu.

Vznikají nové vlastnosti, které v souhrnu podmiňují úrodnost tvořící se půdy.

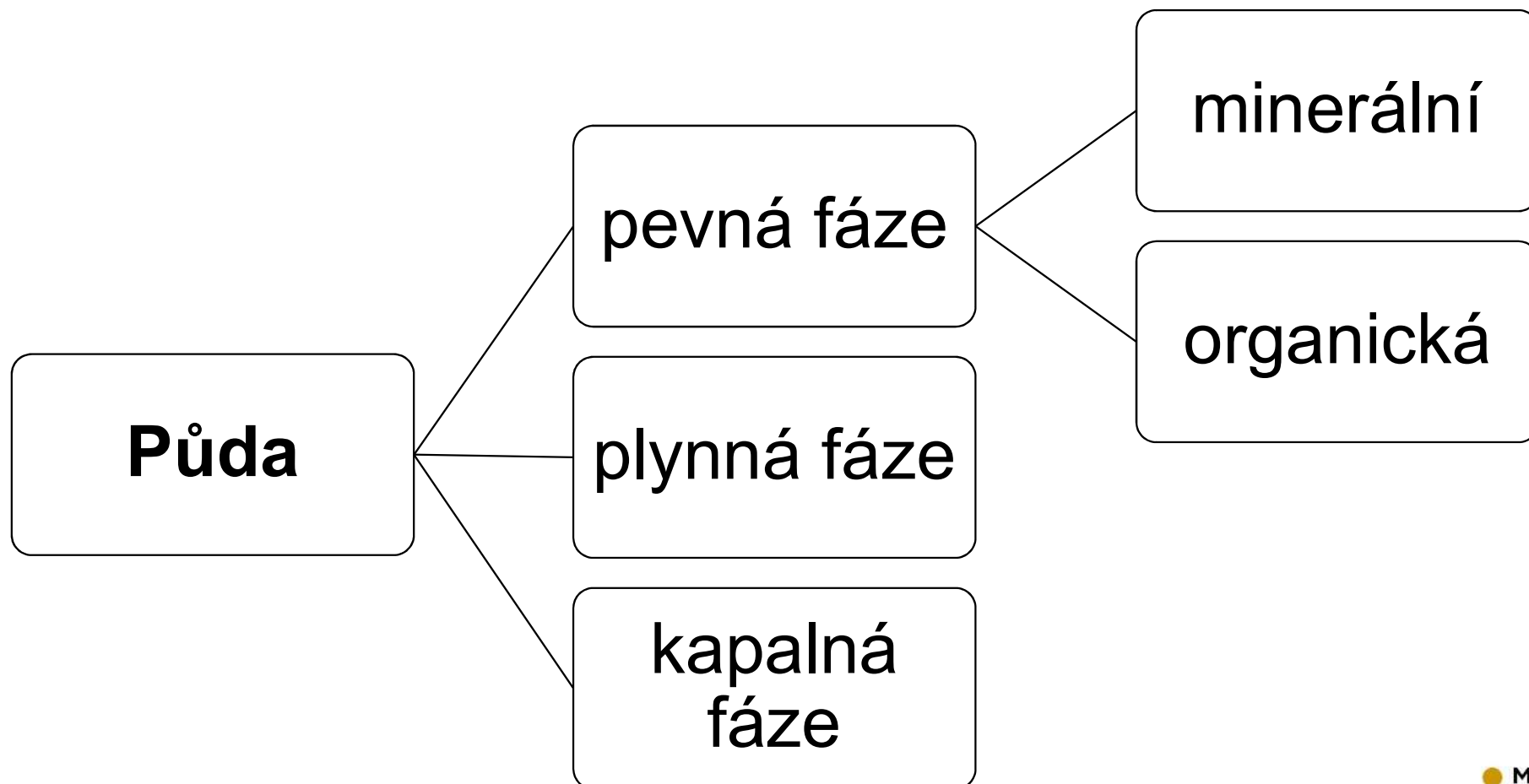
Geologický i biologický koloběh látek se vzájemně prolínají a jejich výsledným přirozeným projevem je půdotvorný proces, jehož kvalita je závislá na půdotvorných faktorech a podmínkách ve kterých se půda vyvíjí.

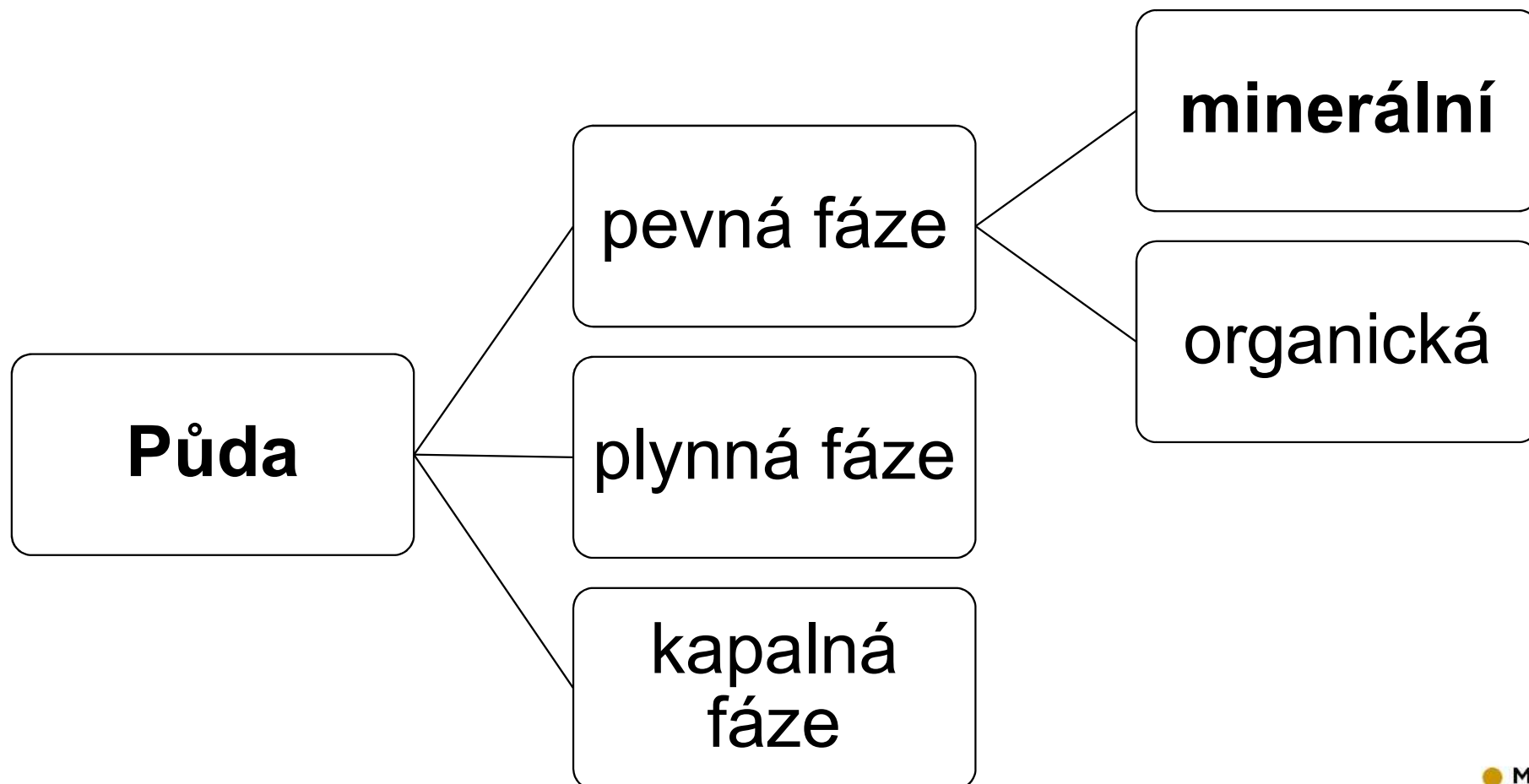


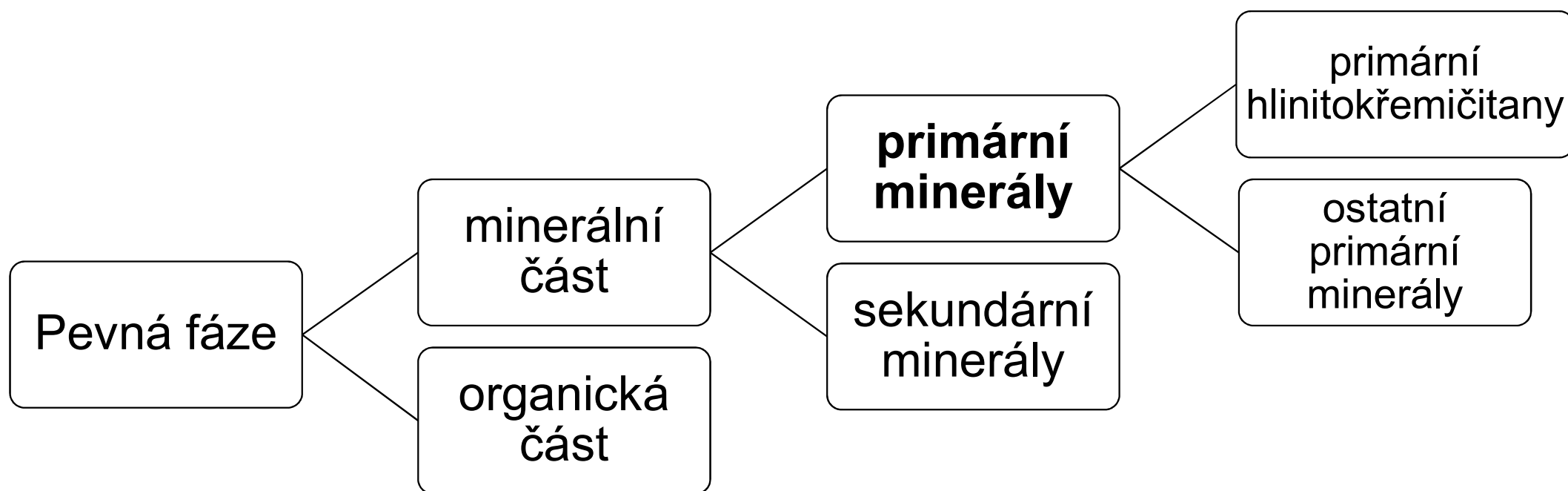
Díličími pochody v půdotvorném procesu dochází postupně k vertikální diferenciaci půdotvorného substrátu tak, že vznikají diferencované půdní vrstvy odlišující se vzájemně jak vnějšími znaky (barvou, strukturou), tak vnitřními vlastnostmi (různá propustnost pro vodu, různá půdní reakce apod.).

Tyto vrstvy jsou na svislém řezu půdou - půdním profilu jasně patrné a označujeme je jako **půdní horizonty**.

Vzhledem k převažující značné pestrosti a heterogenitě půdních poměrů je nutné při studiu půdy vycházet z **prostorově nejmenší homogenní půdní jednotky**, kterou lze považovat za reprezentativní ukazatel daných podmínek a tou je **pedon**.







Primární hlinítokřemičitany: živce

Slovo „živce“ zavedl do češtiny (potažmo slovenštiny) **Jan Svatopluk Presl** (1791–1849) veden nejspíše skutečností, že živce při svém rozpadu uvolňují do půdy živiny. Anglický a ruský název (anglicky feldspar, rusky polevoj špat) je odvozen z německého Feldspat.



Z preslovských jmen botanických i dalších zůstala živá naprostá většina (například kopretina, kukuřice či bledule, lebeda pro *Atriplex*, šťovík pro *Rumex* atd.). Presl pojmenoval například i tuleně, vorvaně, lachtana, bobra, dikobraza, zubra, mrože nebo hrocha či klokana.

Je autorem českých a slovenských názvů pro draslík, kyslík, vápník a také pro minerály cínovec, kazivec a živce.

Nejvíce jsou v půdách rozšířeny **draselné** a **sodnovápenaté živce**.

Draselný živec – ortoklas: KAlSi_3O_8 .

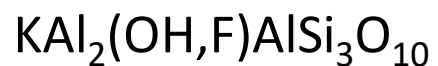
Sodnovápenaté živce – plagioklasy jsou izomorfní směsí albitu: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ a anortitu: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.



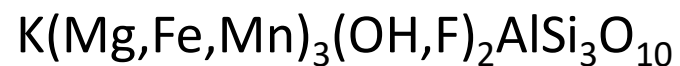
Ortoklas a albit

Další primární hlinitokřemičitany: slídy

světlá slída – muskovit



tmavá slída – biotit



Ostatní primární minerály

oxidy:

- křemen SiO_2
- oxidy železa: magnetit Fe_3O_4 , hematit Fe_2O_3 , goethit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, limonit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

uhličitany:

- kalcit CaCO_3
- dolomit $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
- magnezit MgCO_3



Křemen



Goethit



kalcit



dolomit



magnezit

Zvětrávání hornin

Postupný proces přeměny hornin zemské kůry v půdu prochází třemi vývojovými stupni:

Mateční hornina → Půdotvorný substrát → Půda

Zvětrávací a půdotvorné procesy nicméně nelze přesně vzájemně oddělit. Oba typy procesů probíhají v substrátech i v půdách souběžně.

Zvětrávací proces je soubor pochodů, kterými se původní masivní horniny (vyvřelé, přeměněné, zpevněné sedimenty, ale i rozpojené nezpevněné, sedimenty) rozrušují a mění své fyzikální, mineralogické a chemické složení.

Horninotvorné minerály vykryštovaly zpravidla za podmínek vysokého tlaku a poměrně vysoké teploty. Vystavení horniny termodynamickým a chemickým podmínkám zemského povrchu (nízký tlak, nízká teplota, působení vody, CO₂, O₂ apod.) vede ke ztrátě stability řady jejích minerálů.

Přeměňují se v minerály nové, tzv. **sekundární**, které jsou stálé v nových podmínkách.

Zvětratelnost hornin závisí na jejich struktuře a textuře.

Horniny s tmavě zbarvenými minerály a s vrstevnatou texturou zvětrávají snáze než ostatní.

Minerály s bohatšími izomorfními substitucemi, obsahující oxidovatelné ionty, s méně kompaktní krystalovou mřížkou a s malou velikostí krystalů rovněž zvětrávají snadno.

Minerály s jednoduchou a kompaktní strukturou jsou proti zvětrávání rezistentní (např. křemen).

Podle způsobu zvětrávání rozlišujeme zvětrávání **mechanické** čili **fyzikální, chemické a biologické**.

Mechanické (fyzikální) zvětrávání je pouhým mechanickým rozpadem celistvé horniny na úlomky různé velikosti. Vytvořené hrubé úlomky se pak dále rozpadají v drobnější suť, drť, písek a konečným produktem mechanického zvětrávání je zpravidla **jemný prach – silt**.

Hlavními příčinami mechanického zvětrávání jsou:

kolísání teploty, působení mrazu, krystalizace solí a destrukce horninového materiálu při transportu větrem, vodou a ledovci.

Rozpad hornin kolísáním teploty.

Horniny jsou špatnými vodiči tepla, jsou nestejnorodé. Jednotlivé minerály mají v různých směrech různou roztažitelnost, vlivem rozdílných barev i různě pohlcují tepelnou energii.

Při oteplování se minerály nestejně roztahují, při ochlazování se opět nestejně smršťují.

V horninách nastávají nestejnoměrná vnitřní napětí, která se uvolňují vznikem drobných trhlinek, které se postupně rozšiřují, to může vést v určitých případech k rozpadu horniny.

Při velkých tepelných rozdílech mezi dnem a nocí vzniká opakované silné napětí hlavně v povrchových vrstvách horniny. V hornině se tvoří trhlinky rovnoběžné s povrchem a hornina se podle nich rozpadá a loupá.

Rozpad hornin kolísáním teploty se projevuje nejvýrazněji v oblastech s nedostatečným půdním pokryvem a s nedostatečným rostlinným krytem.



Působení mrazu.

Do pórů hornin a do všech trhlin v hornině vniká voda, která se mrazem mění v led a zvětšuje svůj objem až o 9 %. Dochází tak ke vzniku silných tlaků na stěny pórů a puklin. Pukliny se rozšiřují a prohlubují. Led vniká do horniny stále hlouběji až se horniny při opakujícím mrznutí a tání rozpadnou.

Trhací účinek ledu se uplatňuje nejsilněji v krajinách s arktickým klimatem nebo ve vysokých horách.

V našich podmínkách horniny promrzají maximálně do hloubky 150 cm. V horách.



Mechanické účinky krystalizace druhotných solí

Do pórů hornin a do všech trhlin v hornině vnikají roztoky hygroskopických solí. Po odpaření vody soli znovu krystalizují a přitom vyvolávají na stěny pórů a trhlin tlak, kterým dochází k trhání hornin.

Tyto účinky se projevují nejvíce v aridních a semiaridních podmínkách.

V ČR dochází k mechanickému porušení krystalizací solí zejména v jílovitých břidlicích s jemně rozptýleným pyritem a to jako následek krystalizace druhotně vytvořených síranů.

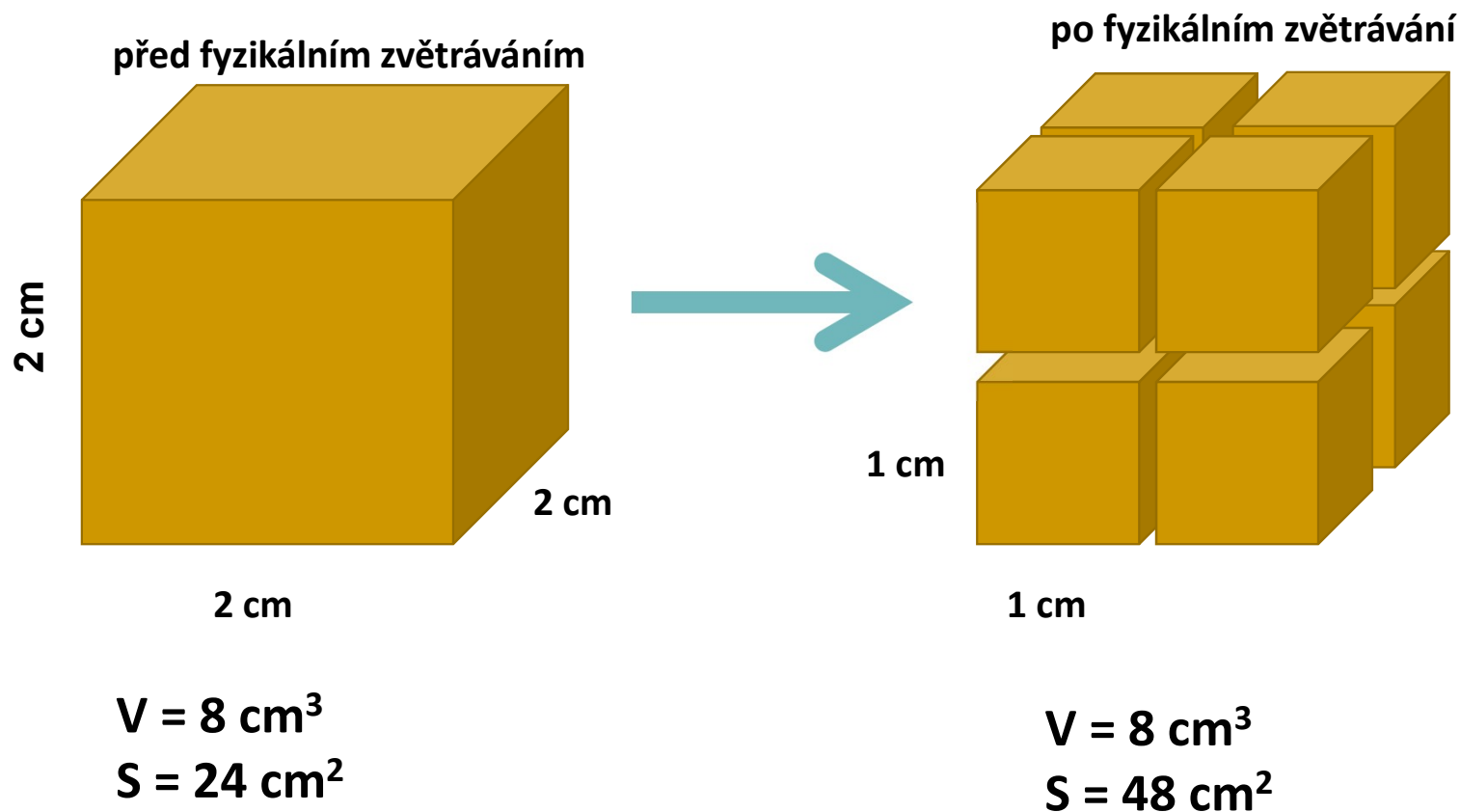
Přenos horninových úlomků větrem, vodou nebo ledovci

Unášené částice se jednak navzájem otloukají a obrušují a velikost úlomků se zmenšuje, jednak je unášenými částicemi rozrušován a vymílán skalní podklad, břehy apod.

Rozpadlá hornina jako důsledek **mechanického (fyzikálního) zvětrávání** má mnohonásobně větší měrný povrch částic. Mezi úlomky a částicemi jsou volné prostory, umožňující vnikání vody a vzduchu.

V další fázi se může plně uplatnit **chemické zvětrávání**.

Změna velikosti povrchu částic zvětráváním



Nárůst stupně disperzity a měrného povrchu u jednotkového objemu 1cm^3 a hustoty 1g/cm^3

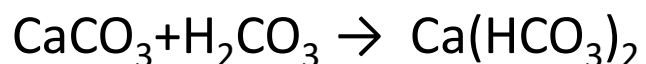
Délka hrany (mm)	Celkový povrch cm^2	Název disperze
10	6	štěrk
1	60	hrubý písek
0,1	600	písek
0,01	6 000	prach
0,001	60 000	jíl
0,000 1	600 000	koloidní jíl

Chemické zvětrávání

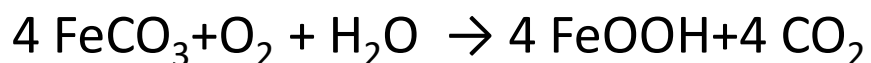
Rozkladem hornin a minerálů při chemickém zvětrávání působením **vody, O_2 , CO_2** , vzniká z rozpadlé horniny (tzv. detritátu) substrát s odlišným chemickým a mineralogickým složením.

Hlavní reakce chemického zvětrávání jsou:

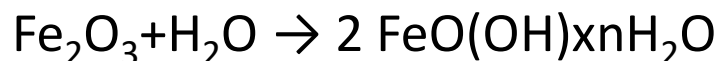
Rozpouštění a precipitace (srážení), např. u kalcitu:



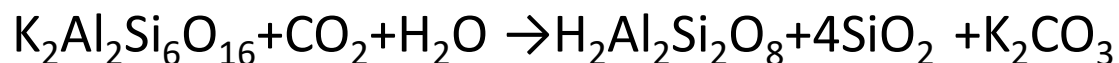
Oxidace a redukce, např. u sideritu:



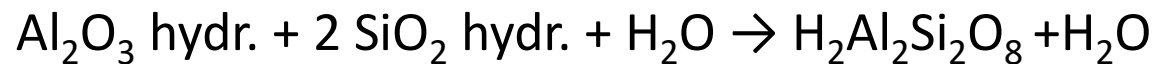
Hydratace a dehydratace, např. u hematitu:



Hydrolýza, např. u ortoklasu:



Syntéza jílových minerálů (sekundárních alumosilikátů), např. kaolinitu



Nejdůležitější změnou v rámci chemického zvětrávání je:

vznik jílových minerálů (sekundárních alumosilikátů, které se stávají hlavní součástí půdních koloidů), a

uvolňování iontů z krystalových mřížek hornin do vodorozpustných forem

ionty jsou poutány jílovými minerály, následuje osídlení zvětraliny prvními organizmy, může následovat biologické zvětrávání a půdotvorný proces.

Biologické zvětrávání.

Živé organizmy se zúčastňují zvětrávacího procesu svým **mechanickým i chemickým působením** na mateční horninu a půdotvorný substrát.

Tloustnutí kořenů stromů v puklinách a **jejich pohyb** přenášený na ně při větru, způsobuje **zvětšování puklin a obrušování horniny**.

Organické kyseliny, vylučované organizmy do substrátu jako buněčné exudáty nebo kořenové exkrekty, **rozkládají hydrolyticky** minerály hornin.

Další příklady biologického zvětrávání:

Silikátové bakterie uvolňují K^+ z draselných živců

Houby vylučují velmi silné organické kyseliny, jež způsobují rozklad alumosilikátů.

Exudáty z kořínků rostlin rozpouštějí kalcit.

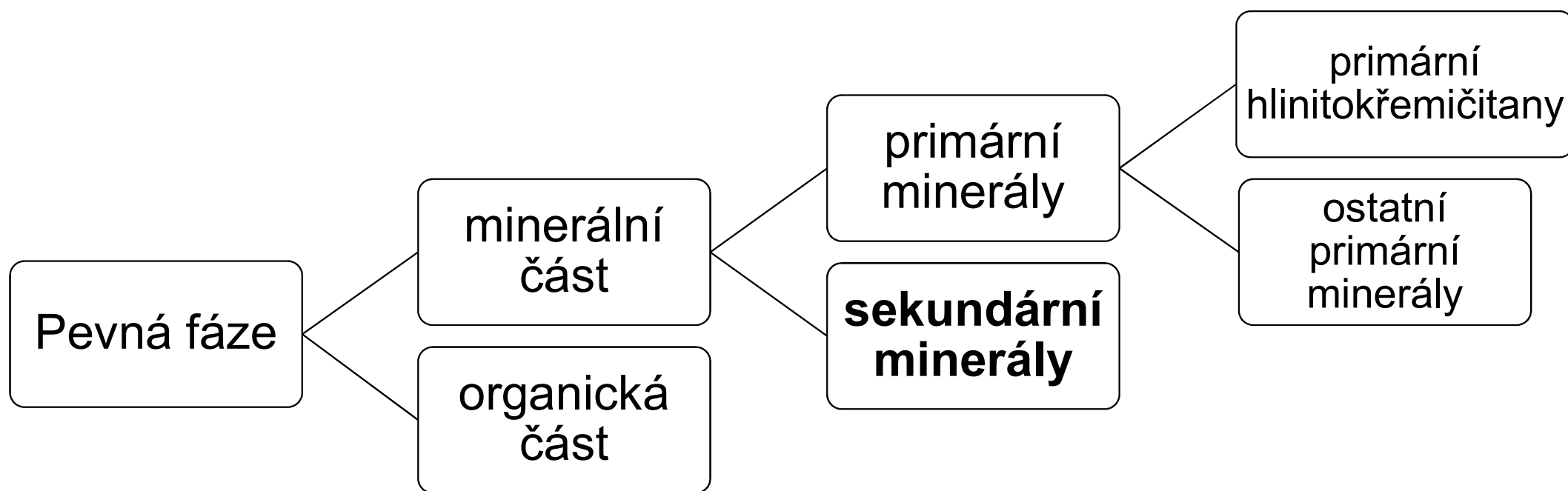
Odumírající mikroorganismy a odumřelé kořínky rostlin jsou rozkládány a transformovány rozvíjející se mikroflórou, vzniká a hromadí se **půdní humus**.

Nitrogenní bakterie fixují atmosférický dusík a obohacují jím vznikající půdu.

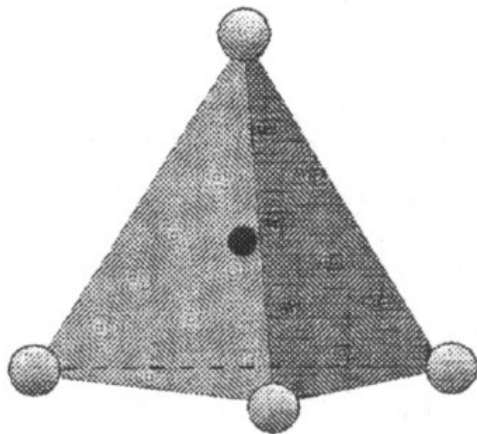
Rozvíjí se půdotvorný proces, rozvíjí se plně biologická formace odpovídající podmínkám stanoviště.

Probíhá vývoj půdy a rozvoj její charakteristické vlastnosti – úrodnosti.

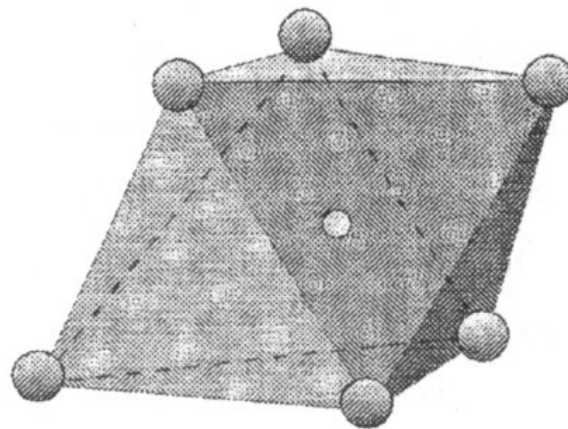
Sekundární hlinitokřemičitany (tzv. fylosilikáty)



Si-O tetraedr



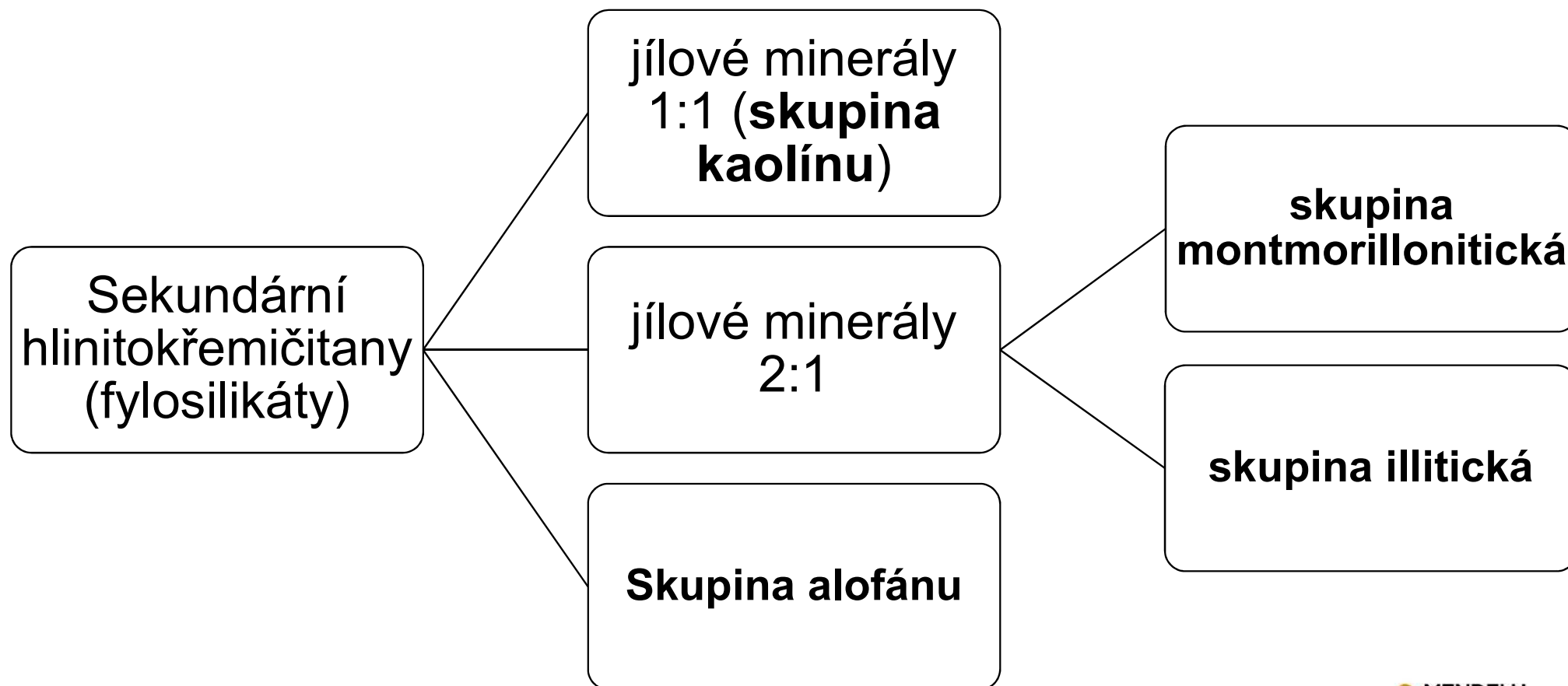
Al-OH oktaedr





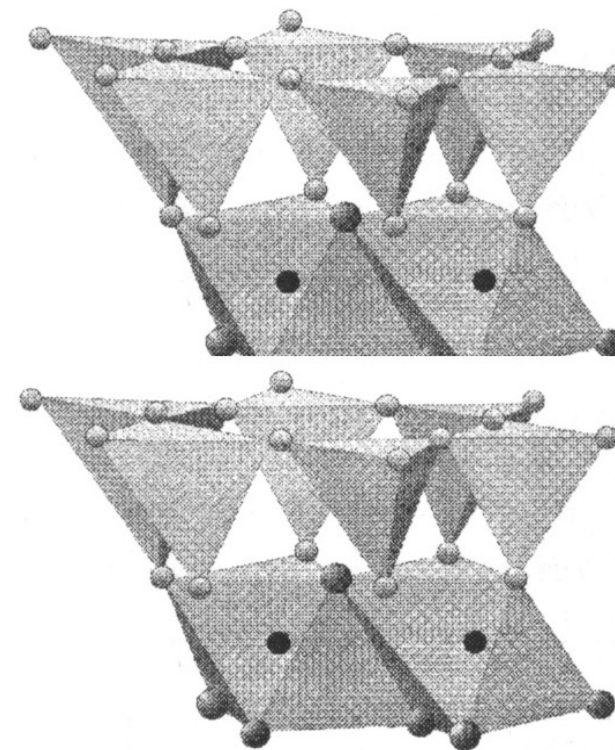
Max von Laue

Sekundární hlinitokřemičitany dělení dle struktury



Skupina kaolínová (1:1)

KVK: 3–15 mmol / 0,1 kg
voda a kationty nevnikají do
mezivrstevného prostoru=neobtínají
měrný povrch méně 15 m² / g



Tetrahedral

Octahedral

● Hydroxyl

● Oxygen

○ Hidden oxygen

● Aluminum

Skupina montmorillonitická (2:1)

izomorfní substituce: ionty Si^{4+} v tetraedrické vrstvě bývají nahrazeny Al^{3+}

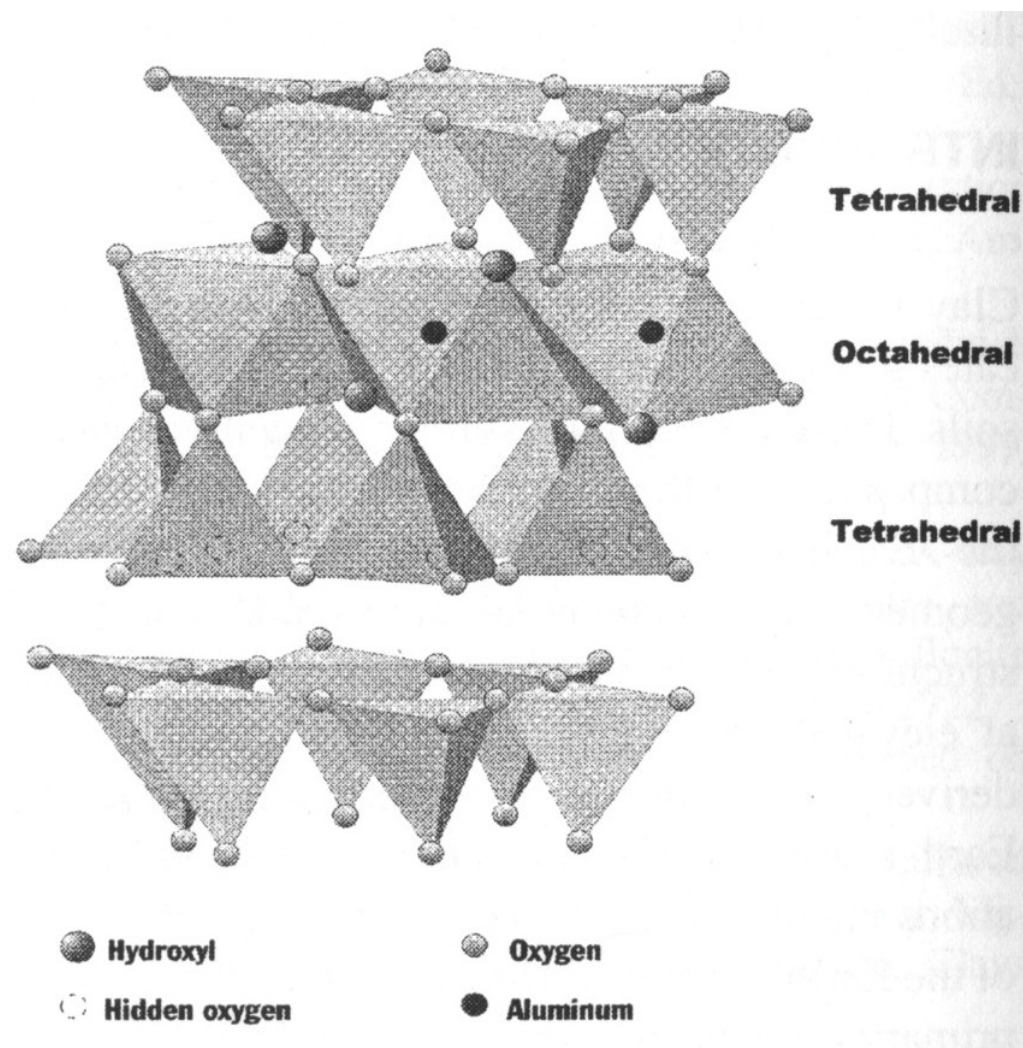
ionty Al^{3+} v oktaedrické vrstvě bývají nahrazeny Mg^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+}

na povrchu krystalu (trojvrství) vznikají nenasycené valence – záporný náboj

KVK 80–150 mmol / 0,1 kg

voda a kationty vnikají do mezi-vrstevného prostoru, tj. značné objemové změny

měrný povrch až 800 m² / g



Skupina illitická (2:1)

KVK 10–40 mmol / 0,1 kg

voda a kationty jsou schopny vnikat pouze velmi omezeně do mezivrstevného prostoru = menší objemové změny

měrný povrch 50–90 m² / g

Skupina allofánová

Nekrystalický jílový minerál **allofán**, zvětráváním sopečných popelů a tufů

KVK až 135 mmol / 0,1 kg

AVK až 30 mmol / 0,1 kg

váže půdní organickou hmotu zvláště huminové kyseliny, fixuje fosforečnanové anionty

Fyzikální charakteristiky půdy

**Zrnitostní složení půdy,
půdní druh,
zrnitostní třída**

Význam zrnitosti

jedna z hlavních charakteristik půdy

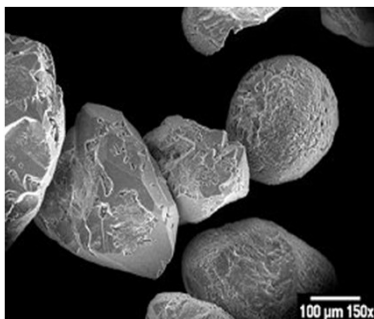
ovlivňuje půdotvorné procesy

ovlivňuje tvorbu sorpčního komplexu

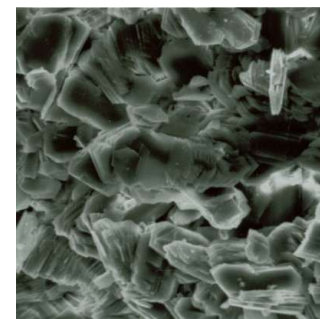
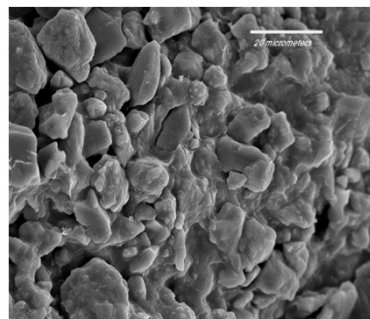
ovlivňuje pohyb vody v půdě

ovlivňuje další fyzikální, chemické a biologické vlastnosti

ovlivňuje rostlinná společenstva na ní rostoucí: viz psamofyty, xerofyty atd.



Images from Wikipedia
Commons

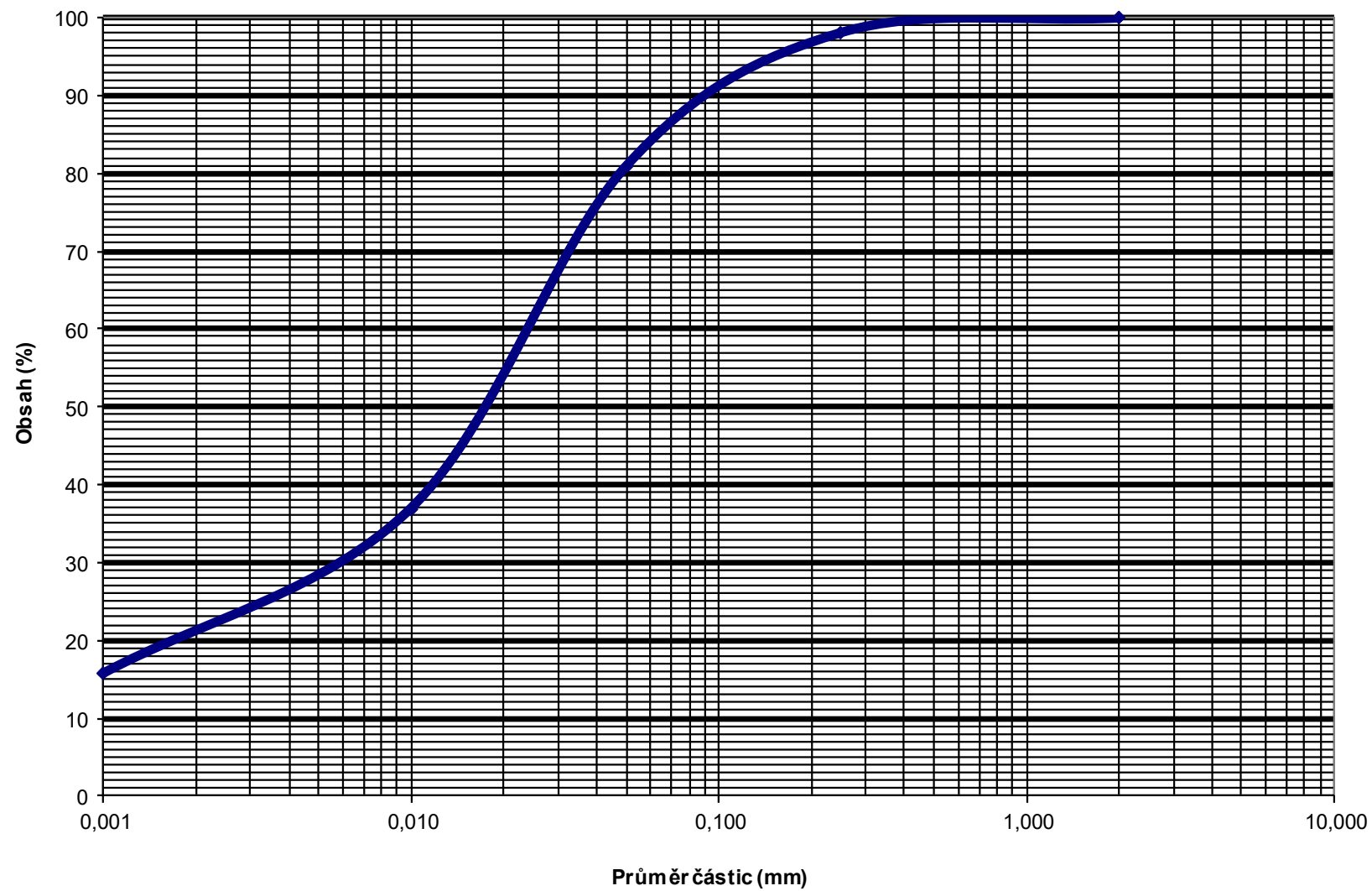


U.S. Geological Survey

Zrnitostní frakce podle KPZP

Velikost zrn (mm)	Označení frakcí	Půdní druh určují
< 0,001	jíl	jílnaté částice
0,001 – 0,005	jemný prach	
0,005 – 0,01	střední prach	
0,01 – 0,05	hrubý prach	
0,05 – 0,25	jemný písek	
0,25 – 2,00	střední písek	
2,00 – 4,00	hrubý písek	skelet
4,00 – 30,00	štěrk	
> 30,00	kámen	

Zrnitostní křivka



Půdní druh podle Nováka

Obsah částic < 0,01 mm	Označení půdního druhu	Základní půdní druhy
0 0,1–10 10–20	písek písčítá hlinitopísčítá	lehká půda
20–30 30–45	písčitohlinitá hlinitá	
45–60 60–75 > 75	jílovitohlinitá jílovitá jíl	těžká půda

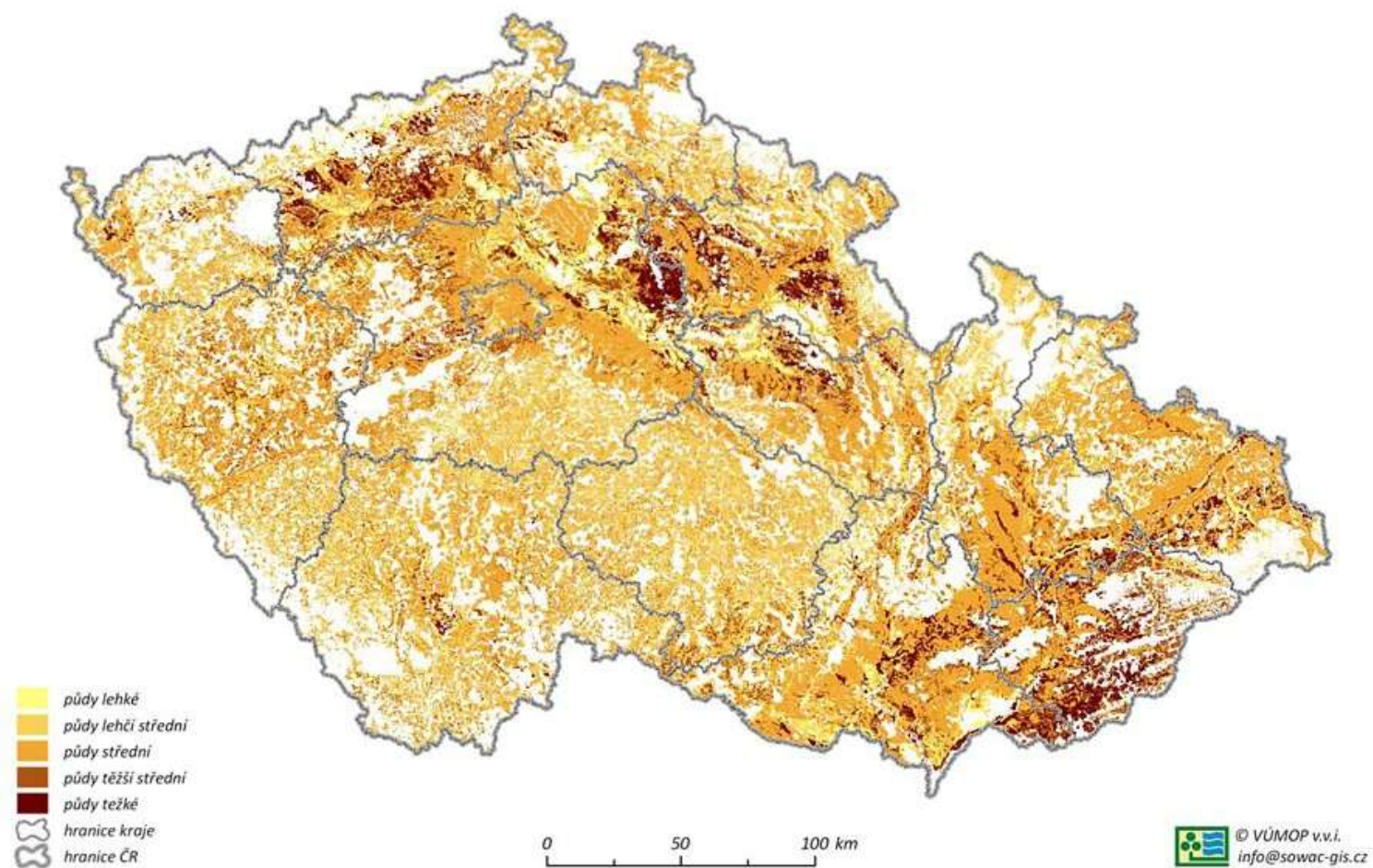
Lehké půdy

Vlastnost půdy	Hlavní znaky jednotlivých vlastností
Struktura	Sypká, netvoří agregáty
Soudržnost	Malá, půda je za sucha prašná, snadná zpracovatelnost
Smrštitelnost	Nepatrná, nepuká, netvoří škraloup
Pórovitost	V rozmezí 40-45 %, ve zhutnělé zóně 33 – 35 % nekapilárních pórů
Propustnost pro vodu	Velká, jedná se o půdy promyvné
Vodní jímavost	Malá, snadná vysýchavost
Vzlínavost	Nízká,, nepřímo závislá na průměru zrn
Provzdušněnost	Velká, nadbytek půdního vzduchu
Teplotní režim	Velká záhřevnost, avšak rychlé ochlazování
Chemická reakce	Podle povahy substrátu kyselá nebo zásaditá
Obsah humusu	Malý, pod 1 %, výjimečně 1,5%
Sorpční schopnost	Nízká, půdy chudé živinami
Mikrobiální činnost	Intenzivní, rychlý rozklad organické hmoty

Těžké půdy

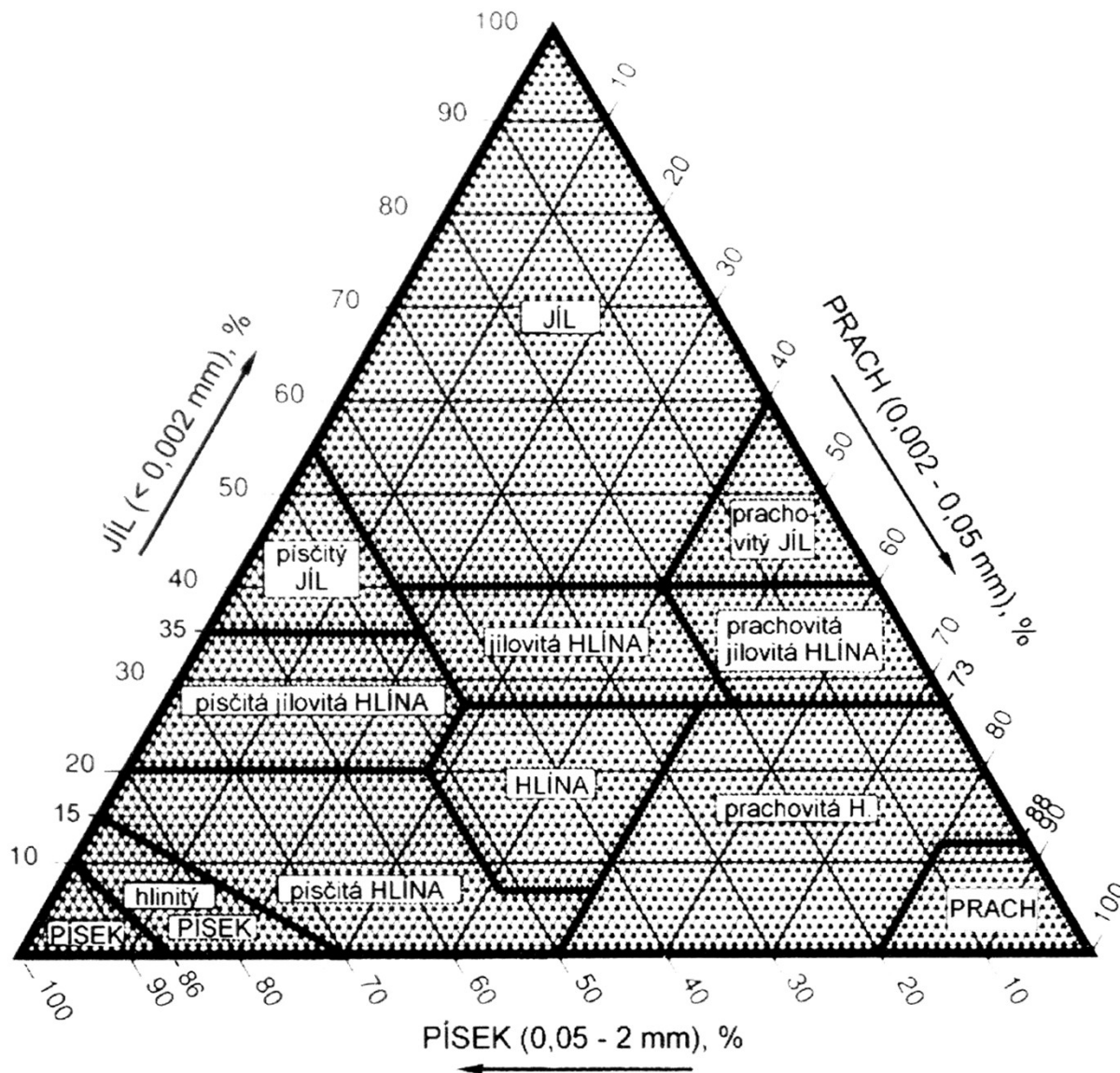
Vlastnost půdy	Hlavní znaky jednotlivých vlastností
Struktura	Celistvá, za sucha hrudovitá, po rozpadu agregátová, po deštích slitá
Soudržnost	Velmi značná, půda za sucha ulehlá, tvrdá, v mokrému stavu rozbředavá, mazlavá
Smrštitelnost	Velká, za sucha pukavá, po dešti tvoří škraloup
Pórovitost	Podle stavu vlhkosti 35 – 55 %, vždy s převahou kapilárních pórů
Propustnost pro vodu	Velmi malá
Vodní jímavost	Velká, snadná zamokřenost
Vzlínavost	Pomalá, výše výstupu velká
Provzdušněnost	Malá, nedostatek půdního vzduchu
Teplotní režim	Nezáhřevná, studená
Chemická reakce	Mírně kyselá, převážně neutrální
Obsah humusu	Poměrně vysoký 2,5 – 3,5 %
Sorpční schopnost	Vysoká, avšak pohyblivost živin a jejich přístupnost je nízká
Mikrobiální činnost	Slabá a pomalá

Skupiny zrnitosti



Zrnitost ZPF ČR

Půdní druhy	% ZPF
písčité až hlinitopísčité (půdy lehké)	19
písčitohlinité až hlinité (půdy středně těžké)	59
jílovitohlinité až jíly (půdy těžké)	17
silně štěrkovité až kamenité	5

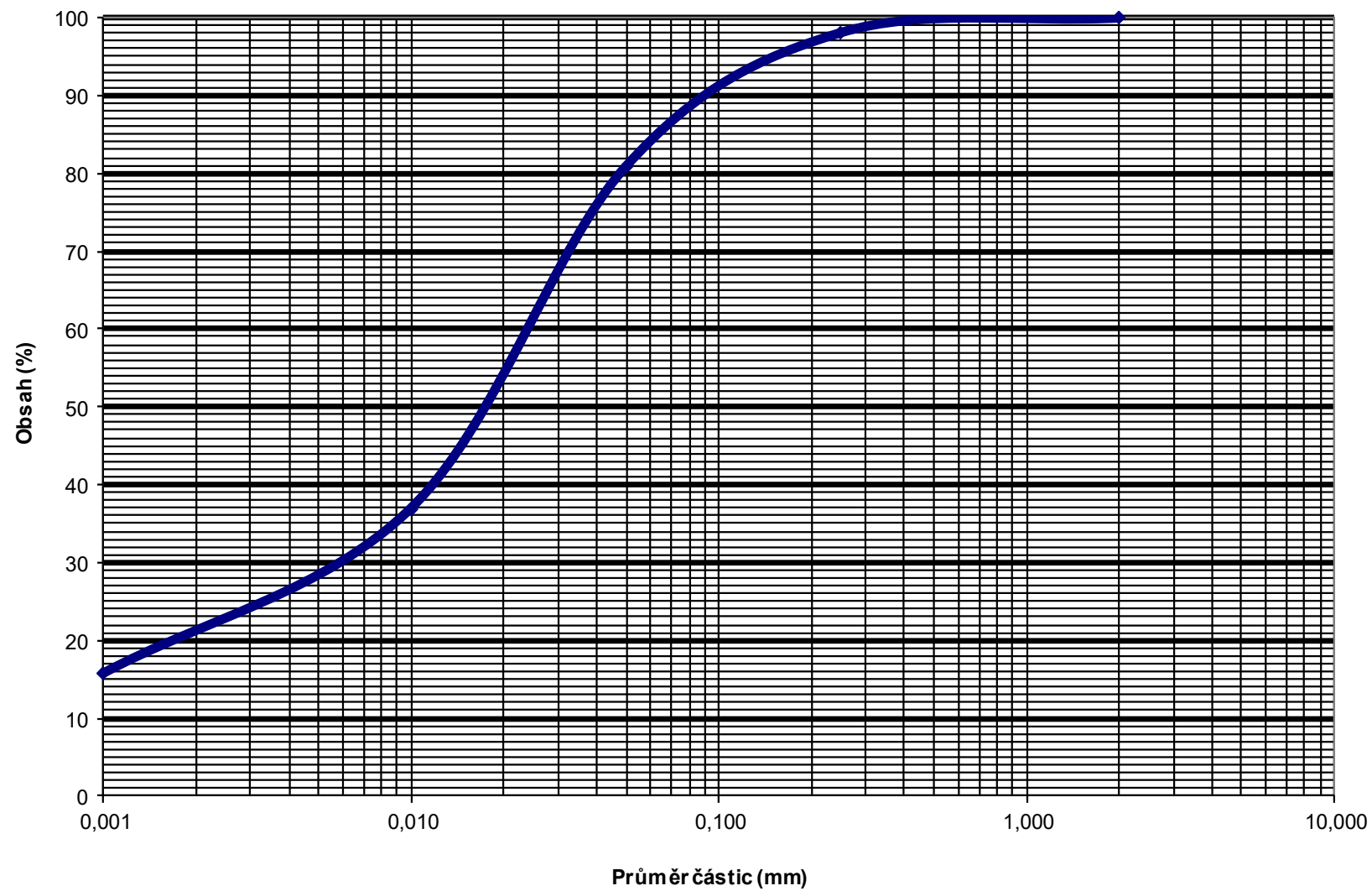


V průzkumech při detailním hodnocení podle **12 zrnitostních tříd** uvedených v diagramu při zobecnění výsledků užíváme

5 seskupených tříd:

- písek, hlinitý písek- **lehká zemina** 1
- písčité hlína - **lehčí střední zemina** 2
- hlína, prachovitá hlína, prach - **střední zemina** 3
- písčité jílovité hlína, jílovité hlína, prachovitá jílovité hlína - **těžká zemina** 4
- písčité jíl, prachovité jíl, jíl - **velmi těžká zemina** 5

Zrnitostní křivka





Co skelet?



Do obsahu 30 % obj. zpravidla není problém, závisí však na velikosti a minerální síle

Problém už 20-25% frakce nad 4mm, ale i řídký výskyt skeletu na 150 mm.

V ČR ornice středně až silně kamenité (tzn. nad 25 % skeletu): 198 000 ha, pokud vezmeme i půdy slabě skeletovité (10-25% skeletu) tak 30 % ZPF

Největší skelet mají krystalické horniny s všesměrnou texturou v oblastech s členitým terénem

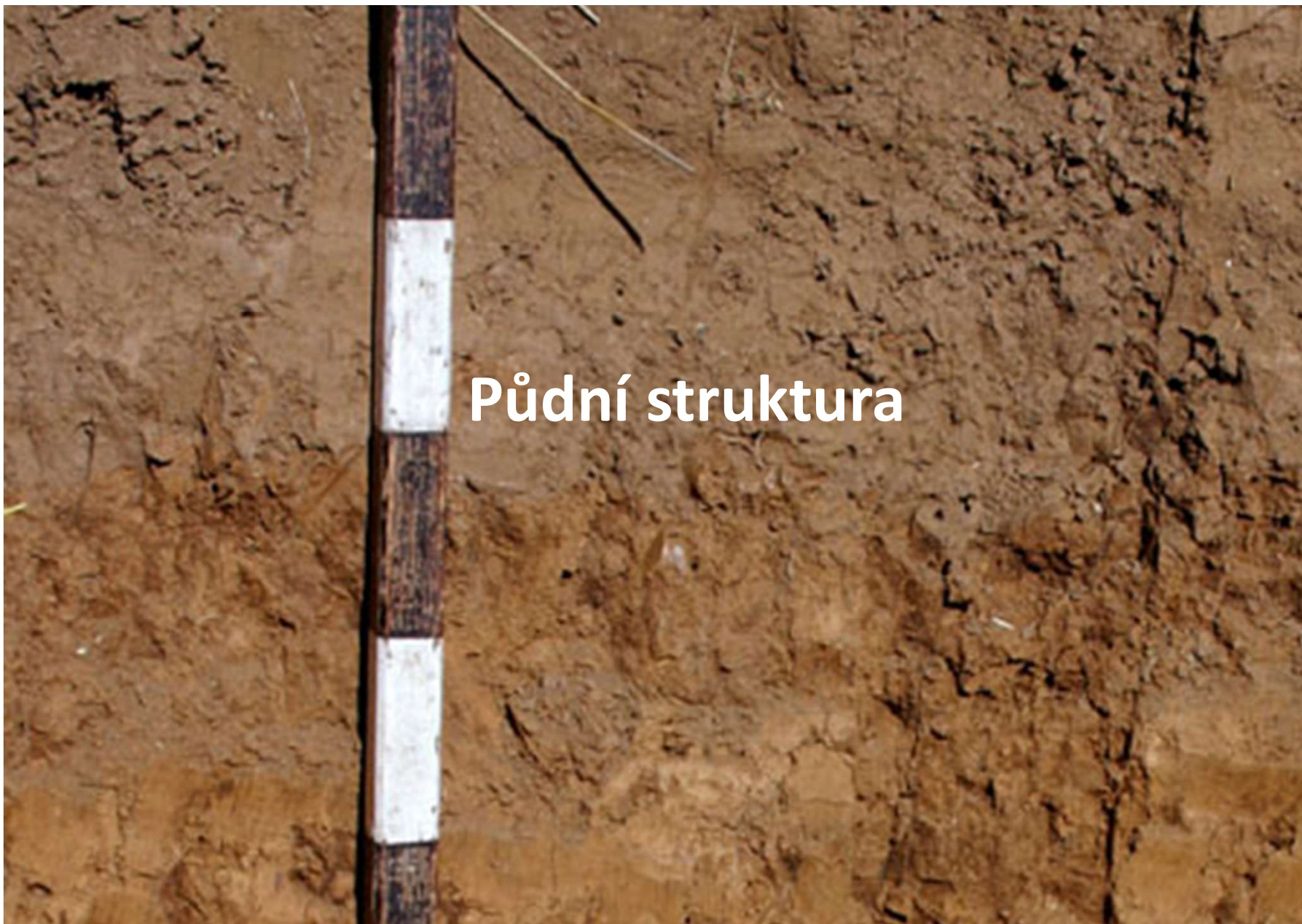
Častá akumulace problémů (pH, úrodnost, ...)



ale není skelet jako skelet...



Půdní struktura



Půdní struktura je prostorové uspořádání agregátů v půdě.

Zemina daného horizontu se rozpadá do agregátů majících určité zákonité tvary.

Půdní struktura

Mikrostruktura (mikroagregáty) $< 0,25 \text{ mm}$

Makrostruktura (makroagregáty) $> 0,25 \text{ mm}$

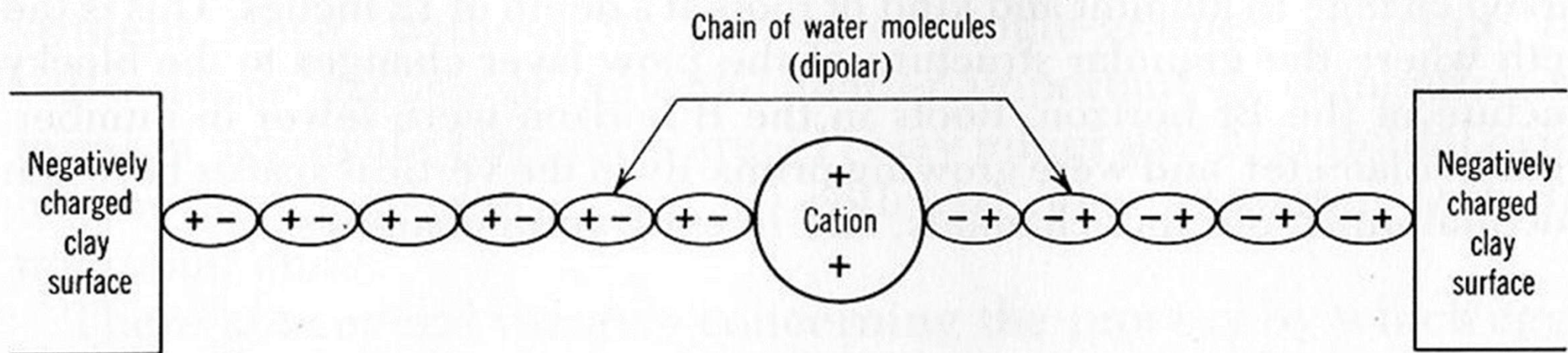
(Megastruktura $> 50 \text{ mm}$)

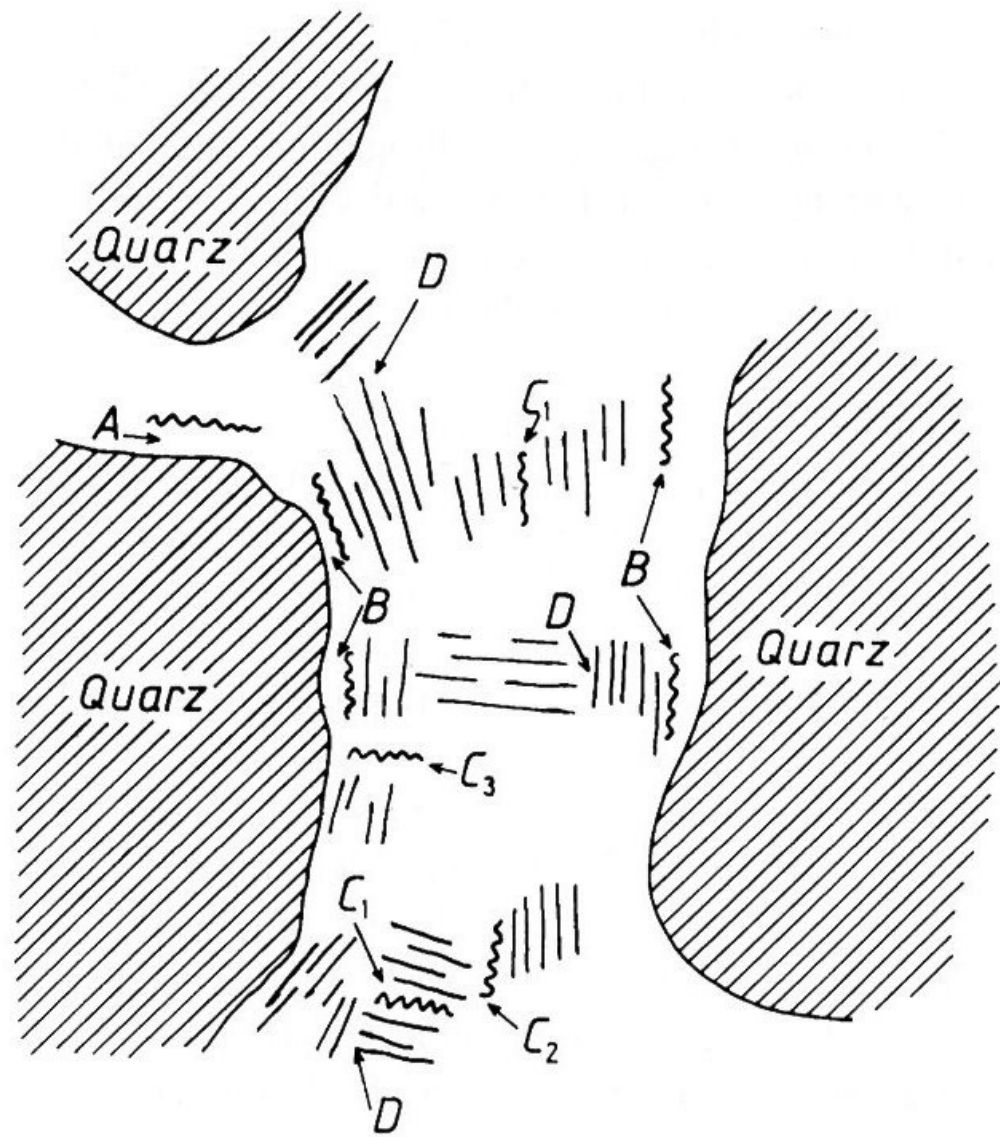
Vznik půdní struktury

je vázán na existenci mikroagregátů v půdě.

U většiny nezpevněných sedimentárních hornin jsou již mikroagregáty přítomny, vznikly při sedimentaci. V případě ostatních matečných hornin vznikají mikroagregáty v určitém rozsahu během procesu zvětrávání.

Růstem velikosti mikroagregátů, případně **shlukováním** mikroagregátů **vznikají postupně makroagregáty.**





Faktory ovlivňující vznik makroagregátů:

Vliv rostlin.

Kořenový systém rostlin rozdrobuje kompaktní půdní hmotu a vzniklé útvary působením tlaku mírně zhutňuje. Tlak je vyvoláván především **rostoucími kořínky**, částečně bobtnáním organické hmoty odumřelých kořínků.

Agregační účinek kořenových systémů **trvalých i dočasných travních porostů** je výrazně vyšší než v případě kořenových systémů jednoletých polních plodin.

Vliv živočichů.

Na agregaci mají největší vliv **bezobratlí**, především **dešťovky**. Jejich exkrementy jsou obohaceny o organickou hmotu a výměnné bazické kationty, především Ca^{2+} . Vyznačují se vyšší stabilitou a vyšší pórovitostí.

	vápník	hořčík	draslík	fosfor	dusík	uhlík	pH/KCl	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%		%
exkrement	2790	492	358	67	0,35	5,17	7,0	93
zemina	1990	162	32	9	0,25	3,35	6,4	74

Vliv mikroorganismů

Z mikroorganismů vykazují největší vliv na agregaci a stabilitu struktury **houby**. Jejich hyfy působí jako síť držící mikroagregáty pohromadě.

Houby a bakterie také produkují mikrobiální slizy usnadňující agregaci.

Vliv půdní organické hmoty

Meziprodukty rozkladu a syntézy půdní organické hmoty jsou tvořeny převážně **polysacharidy**. Ty se podílí na tvorbě mikroagregátů, ale jejich působení je krátkodobé, zpravidla kratší než 2 měsíce.

Huminové kyseliny

(hlavní součást organických koloidů půdy)

se významně podílí na tvorbě mikro a makroagregátů tím, že tvoří stálé vazby s minerálními koloidy (sekundárními alumosilikáty a polymerními oxidy Fe, Mn a Al).

Objemové změny při vysychání půdy

orientují paralelně jílové minerály (sekundární alumosilikáty) a usměrňují mikrobiální aktivitu.

Mrázové efekty

Několikanásobné opakování cyklu mrznutí-tání zvyšuje stabilitu struktury stimulováním koagulace půdních koloidů.

Klasifikace půdní struktury

- podle stupně vývoje struktury
- podle tvaru, vývinu hran a velikosti agregátů

Hodnocení podle stupně vývoje struktury

Bez zřetelné struktury: Nejsou patrné žádné pravidelné strukturní tvary, a to ani při násilném oddělení půdní hmoty





Slitý stav půdní hmoty: jednotlivé půdní částice jsou stmeleny v souvislou masu

Elementární stav půdní hmoty: jednotlivé půdní částice nejsou spojeny v agregáty



Hodnocení podle stupně vývoje struktury

Bez zřetelné struktury: Nejsou patrné žádné pravidelné strukturní tvary, ani ve svislém pruhu zvýrazňujícím strukturu.

Slabě vyvinutá: Patrná jen při umělém, násilném oddělení agregátů; ve svislém pruhu zvýrazňujícím strukturu méně než 50 % agregátů.

Středně vyvinutá: Agregáty se oddělují při úderu o lopatku; ve svislém pruhu převažují pravidelné tvary agregátů.



Výrazně vyvinutá: Velmi výrazná i bez umělého oddělování, patrná již po zarovnání rýčem.



Třídění struktury podle tvaru, vývinu hran a velikosti

Strukturní elementy vyvinuty stejně ve 3 směrech		Strukturní elementy vertikálně protažené		Strukturní elementy horizontálně protažené
I. KULOVITÁ	II. POLYEDRICKÁ	III. HRANOLOVITÁ		IV. DESKOVITÁ
Plochy a hrany vy- vinuty nezřetelně	Plochy a hrany vyvinuty zřetelně (výrazně)	Bez zaoblení ve svrchní části PRIZMATICKÁ	Se zaoblenou svrchní částí SLOUPKOVITÁ	
Hrudovitá nad 50 mm Hrudkovitá 50-10 mm Drobtová 10 - 5 mm Jemně drobtová 5 – 1 mm	Hrubě polyedrická nad 20 mm Polyedrická (středně) 20 – 10 mm Drobně polyedrická pod 10 mm	Hrubě prizmatická nad 50 mm Prizmatická (středně) 50 – 20 mm Drobně prizmatická pod 20 mm	Hrubě sloupkovitá nad 50 mm Sloupkovitá (středně) 50 – 20 mm Drobně sloupkovitá pod 20 mm	Hrubě deskovitá nad 10 mm Deskovitá 10 – 5 mm Destičkovitá 5 – 2 mm Lístkovitá pod 2 mm tloušťky
Plochy a hrany patrné ale ne výrazně				
Zrnitá 10 – 5 mm Jemně zrnitá 5 – 1 mm		v příčném řezu	v příčném řezu	

Rozrušování půdní struktury

- mechanické
- chemické

Mechanické

dešťové kapky dopadají na agregáty povrchu půdy a mechanicky je rozrušují

náhlé zvlhčení vyprahlých agregátů povrchu půdy způsobuje jejich rozpad

pojízdním strojů a každým kultivačním zásahem se rozrušují agregáty povrchové vrstvy

mechanizmy s vysokými hodnotami měrného tlaku na půdu způsobují za vyšších vlhkostí rozrušování půdní struktury a tím **zhutnění půd až do hloubky 60 cm**

Chemické

hnojením minerálními hnojivy s vysokým obsahem jednomocných kationtů Na^+ a K^+ se snižuje koagulace půdních koloidů a tím i stabilita půdní struktury.

Zlepšení (stabilizace) půdní struktury

osevní postupy

osevní postupy s pěstováním víceletých píceň (jetel, vojtěška)

osevní postupy s pravidelným hnojením organickými hnojivy, nejlépe chlévským hnojem



Základní charakteristiky prostorového uspořádání půdních částic

S – půda jako celek:

V_s, m_s

Z – tuhá fáze (pevné částice):

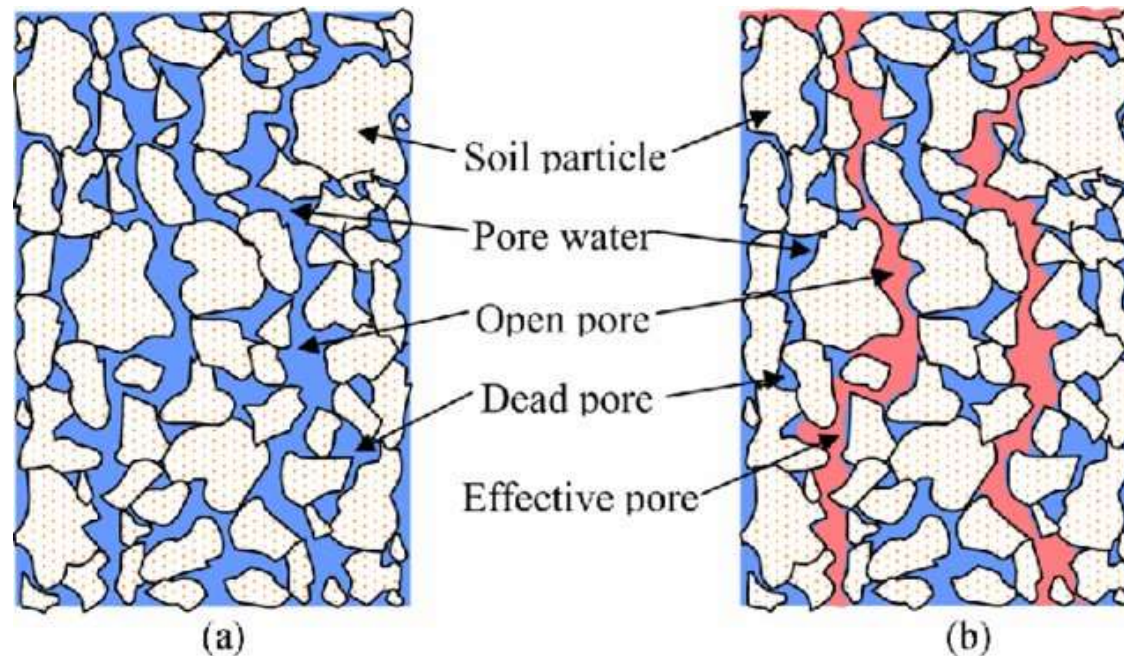
V_z, m_z

W – kapalná fáze (půdní roztok):

V_w, m_w

A – plynná fáze (půdní vzduch):

V_A, m_A



Měrná hmotnost (zdánlivá hustota tuhé fáze půdy) ρ_s je hmotnost jednotkového objemu (hustota) tuhé fáze půdy.

$$\rho_s = m_z / V_z \text{ (kg.m}^{-3}\text{; g.cm}^{-3}\text{)}$$

Měrná hmotnost závisí na obsahu různých minerálů a organických látek (humusu).

Nejvíce zastoupenými nerosty v minerálním podílu většiny půd je křemen a křemičitany.

Průměrná měrná hmotnost půdy je proto blízká jejich měrné hmotnosti **2650 kg.m⁻³** , tj. **2,65 g. cm⁻³**. Tuto hodnotu snižuje větší obsah humusu, naopak zvyšuje obsah těžkých minerálů, především oxidů železa.

Objemová hmotnost redukována (objemová hmotnost zeminy po vysušení)

je hmotnost objemové jednotky (hustota) půdy v neporušeném stavu, po vysušení do konstantní hmotnosti.

Její hodnota je závislá na měrné hmotnosti a na podílu pórů v půdě.

$$\rho_d = m_z / V_s \text{ (kg.m}^{-3}\text{; g.cm}^{-3}\text{)}$$

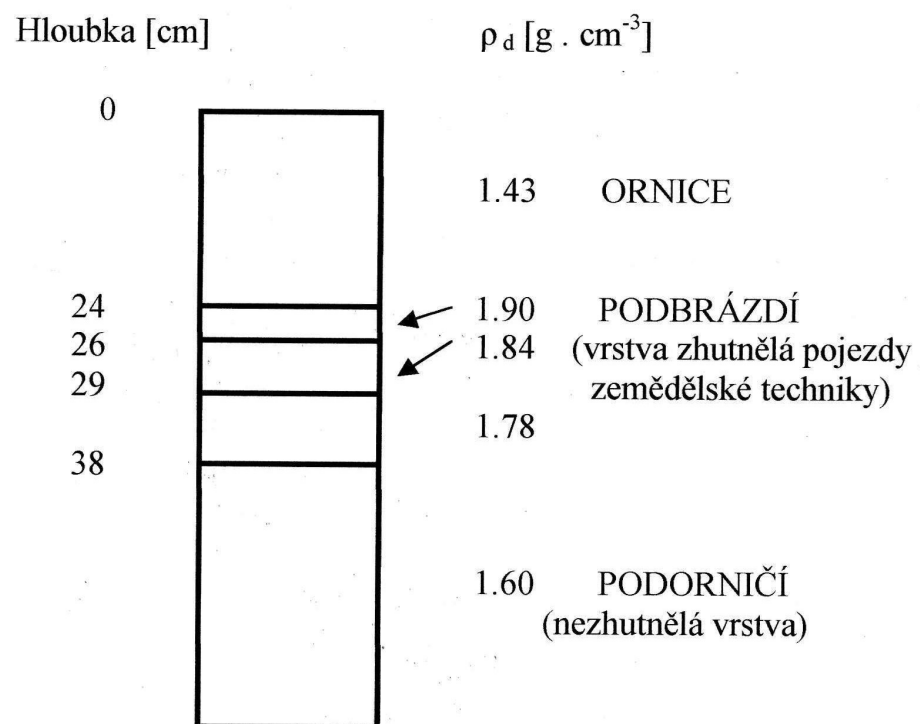
V humózním horizontu se nejčastěji pohybuje v rozmezí 1200 – 1600 kg.m⁻³, v podpovrchových horizontech tato hodnota zpravidla vzrůstá na 1600 – 1800 kg.m⁻³.

Objemová hmotnost redukovaná indikuje kyprost či ulehlost půdy.

**Kritické hodnoty objemové hmotnosti redukované
podle Lhotského (1984) v kg/m³**

půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
ρ_d kritické	>1350	>1400	>1450	>1550	>1600	>1700

Příklad změn objemové hmotnosti redukované v profilu orné půdy.





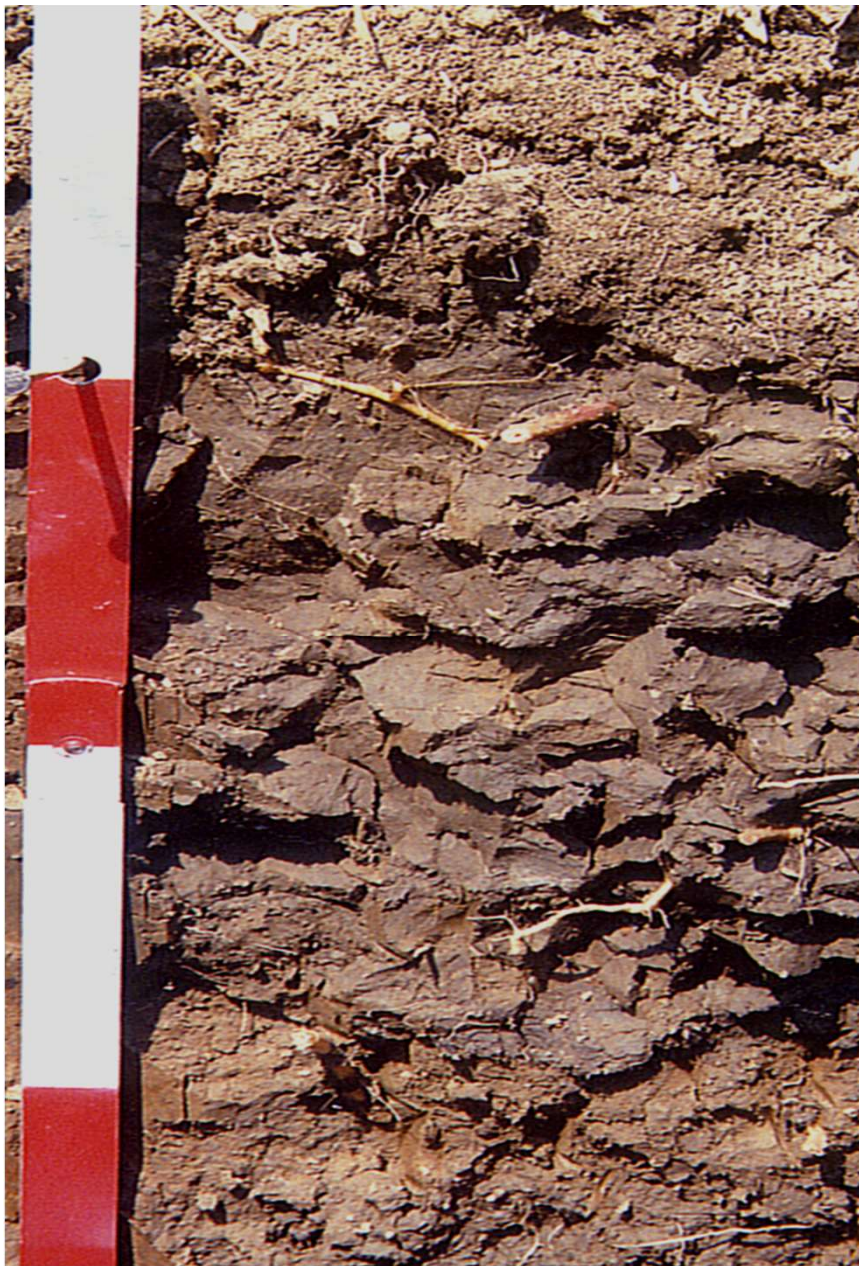


Foto E. Pokorný

Používá se také při přepočtu obsahu živin (prvků, organické hmoty) v mg.kg^{-3} sušiny vzorku na kg.ha^{-1} (případně t.ha^{-1}).

$$y = \frac{m \cdot x \text{ [mg.kg}^{-1}\text{]}}{1\,000\,000} \text{ [kg.ha}^{-1}\text{]}$$

Hmotnost ornice na ploše 1 ha:

$$m = A \cdot h \cdot \rho_d \text{ [kg]}$$

A – plocha [m^2]

h – hloubka ornice [m]

ρ_d – objemová hmotnost suché zeminy (redukovaná) [kg.m^{-3}]

$$y = \frac{A \cdot h \cdot \rho_d \cdot x \text{ [mg.kg}^{-1}\text{]}}{1\,000\,000} \text{ [kg.ha}^{-1}\text{]}$$

Objemová hmotnost neredukovaná (objemová hmotnost vlhké zeminy) je hmotnost objemové jednotky (hustota) půdy v neporušeném stavu za okamžité vlhkosti, tj. s póry vyplněnými momentním obsahem vody a vzduchu. Její hodnota je závislá na měrné hmotnosti, na podílu pórů v půdě a míře jejich zaplnění vodou.

$$\rho_w = m_s / V_s \text{ (kg.m}^{-3}\text{; g.cm}^{-3}\text{)}$$

Je to hodnota nestálá, která se mění během roku v závislosti na vlhkostních poměrech v půdě.

Půdní pórovitost.

Prostory půdy nezaplňené tuhou fází nazýváme půdní póry. Poměr objemu pórů V_p k celkovému objemu půdy V_s v přirozeném uložení se nazývá **pórovitost půdy**:

$$P = V_p / V_s \cdot 100 (\%)$$

Můžeme ji vypočítat z měrné hmotnosti a objemové hmotnosti redukované:

$$P = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s \cdot 100 (\%)$$

Celková pórovitost zemědělských půd se ve svrchních vrstvách pohybuje většinou v rozmezí 40–60 %.

U půd silně humózních a rašelinných může dosahovat více jak 70–80 %.

Ve spodních vrstvách klesá na 30–40 %, u půd zamokřených (glejových) i pod 30 %.

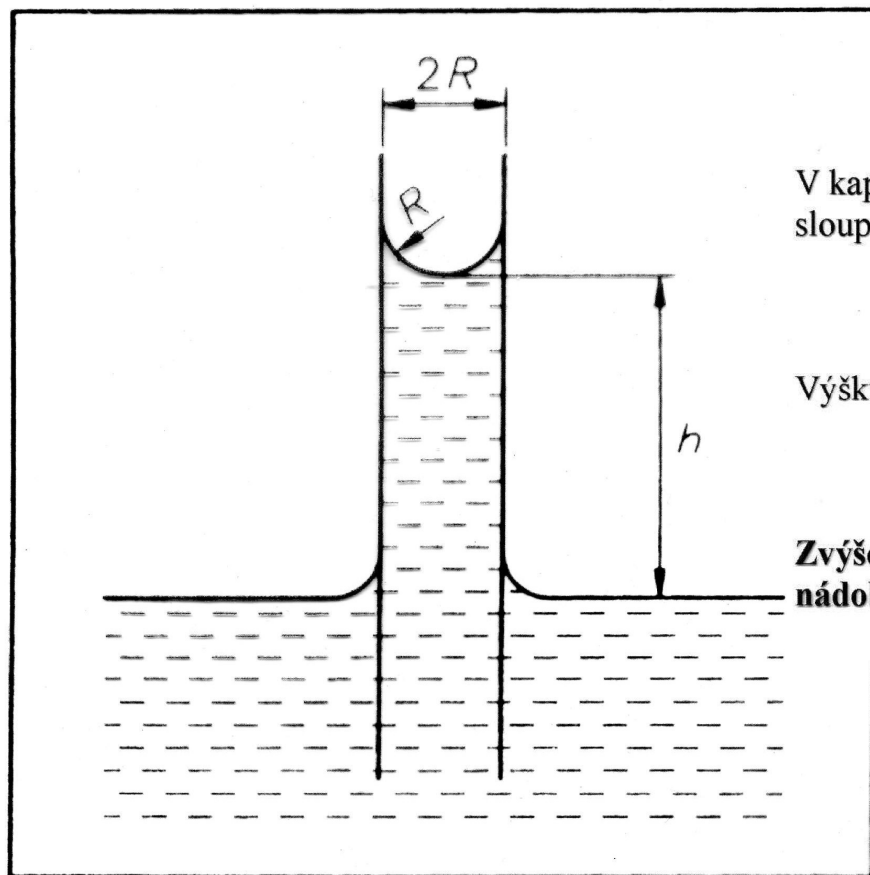
Celková pórovitost, podobně jako objemová hmotnost redukováná, vyjadřuje míru kyprosti či ulehlosti půdy.

Kritické hodnoty pórovitosti (%) podle Lhotského (1984)

půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
P kritické	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

Pro funkci pórů je významná jejich velikost. Póry se třídí zpravidla podle druhu a velikosti sil, které působí na vodu v nich obsaženou.

Kapilární póry jsou ty, v nichž je voda ovládána kapilárními silami. Ty vodu zadržují v dané hloubce a umožňují její pohyb z hladiny podzemní vody proti působení gravitace. V těchto pórech probíhají chemické, fyzikálně-chemické a biologické pochody. Ve strukturních půdách se nachází téměř výhradně **uvnitř agregátů**.



V kapiláře vystoupí kapalina do takové výšky **h** , při které hydrostatický tlak odpovídající sloupci kapaliny výšky **h** je stejný jako kapilární tlak. Má-li kapalina hustotu **ρ** , pak platí:

$$h\rho g = 2\sigma / R. \quad (\sigma - \text{povrchové napětí})$$

Výšku **h** při kapilární elevaci vypočítáme podle vztahu:

$$h = 2\sigma / \rho g R.$$

Zvýšení volné hladiny v kapiláře vzhledem k volnému povrchu kapaliny ve vnější nádobě je nepřímo úměrné poloměru kapiláry.

Nekapilární póry charakterizuje neomezené působení gravitace na vodu, která se v nich volně pohybuje směrem do nižších vrstev a na její místo se dostává vzduch. Významně se podílejí na výměně plynné fáze mezi půdou a ovzduším.

Ve strukturních půdách se nachází především **mezi agregáty**.

Klasifikace, charakteristiky a funkce jednotlivých pórů. (podle Brewera, 1964)

Třídy pórů	Typy pórů	Průměr (mm)	Charakteristika a funkce
Makropóry	Makropóry	> 0,08	Nachází se mezi pedy, vody nimi prosakuje, prostředí pro kořeny a edafon
Mikropóry	Mezopóry	0,03-0,08	Pohyb vody kapilárními silami, prostředí pro houby a kořenové vlášení
	Mikropóry	0,005-0,03	Nachází se uvnitř pedů, obsahují vodu využitelnou rostlinami, prostředí pro bakterie
	Ultramikropóry	0,0001-0,005	Spojené s jíly, obsahují vodu nevyužitelnou rostlinami, není již prostředí pro většinu mikroorganismů
	Kryptopóry	< 0,0001	Není prostředím ani pro mikroorganismy, velmi malé pro větší molekuly