



Lekce 4: Obecná pedogeneze

1. Základní problémy pedogeneze

Studium pedogeneze – zobecnění terénních a laboratorních výzkumů, využití faktografických, srovnávacích i modelových postupů. Využití výsledků kvartérní geologie, geomorfologie, geochemie a fytoecologie v návaznosti na půdu.

Obecné půdní mikroprocesy

Speciální půdotvorné procesy

Půdotvorné makroprocesy

Klasifikace obecných půdních mikroprocesů

- a) procesy přeměn látek
- b) procesy změn prostorového uspořádání
- c) procesy transportní (jak uvnitř půdního těla, tak ve vztahu k okolí)

Většina obecných půdních mikroprocesů - důsledek elementárních chemických, biochemických a fyzikálních procesů spojených s mikrobiální činností a se zásahy z okolí půdního systému.

**Oxidace
+
redukce**



difúze $O_2 + CO_2$



**biochemie
systému**

anaerobní prostředí



aerobní prostředí

2. Půda jako pórovité prostředí

Vznik půdy – podmíněn zvýšenou pórovitostí substrátu, primární pedogeneze je provázena podstatným zvýšením pórovitosti proti pevné hornině.

Doprovodné
jevy

biologické oživení - závisí na objemu obyvatelných prostorů pro organismy, tj. na pórovitosti a na stupni disperzity prostředí

tvorba koloidních látek (+ produkty chemického zvětrávání – především oxidy Fe) – agregace přetvářejí charakteristiky pórovitosti

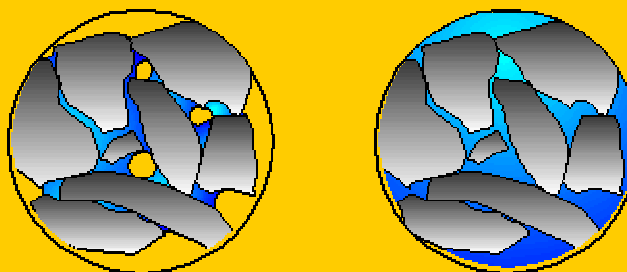
Pórovitost ovlivňuje

vlhkost, provzdušnění

rozpouštění, srážení

translok., vyluhov.,
obohacení

$$P = \frac{V_P \cdot 100}{V_T}$$



V_T – určitý objem půdy

V_P – objem uvnitř V_T nezaplňený pevnou půdní fází

2. Půda jako pórovité prostředí

Dělení póru - podle charakteristického chování kapaliny v pórech určité velikosti:

submikroskopické

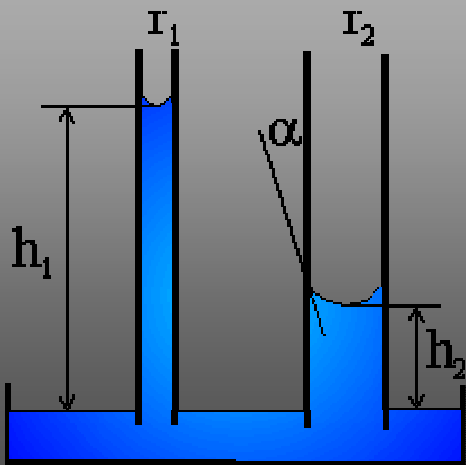
chybí tekutiny - význam pro procesy vázané na fázové rozhraní (např. rozpouštění, výměna iontů, hydrolytické a hydratační procesy u silikátů)

kapilární póry

voda a vzduch odděleny rozhraním jehož tvar je určen tvarem póru a silami, které působí na rozhraní. Význam při transportu látek, tyto póry nejvýznamnější pro mikrobiální složku i pro rhizosféru

jemné

hrubé



θ_{PK} až spodní meze kapilárních pórů, za níž jsou submikroskopické póry. Patří sem intrapedální póry. Transport: póry s imobilní vodou

θ_{PK} až horní meze, za níž jsou již makropóry. Rychlé odvodnění, Transport: rychlý (např. roztoků). Patří sem většina interpedálních pórů (mezi pedy)

2. Půda jako pórovité prostředí

makropóry

neuplatňují se kapilární síly, bez vlivu na rozhraní mezi dvěma nemísitelnými tekutinami. Proudění kapalin – turbulentní. Cizorodé látky – neuspořádané promísení (turbace). Patří sem část interpedálních pórů, pukliny a póry vzniklé činností makroedafonu.



Definice pórovitosti – kritérium REO

Reprezentativní elementární objem (REO). $V_T \geq \text{REO}$. Jestliže $V_T \rightarrow V_P$, pak P bude proměnlivá dle místa odběru vzorku (= podle místa centrování V_T)

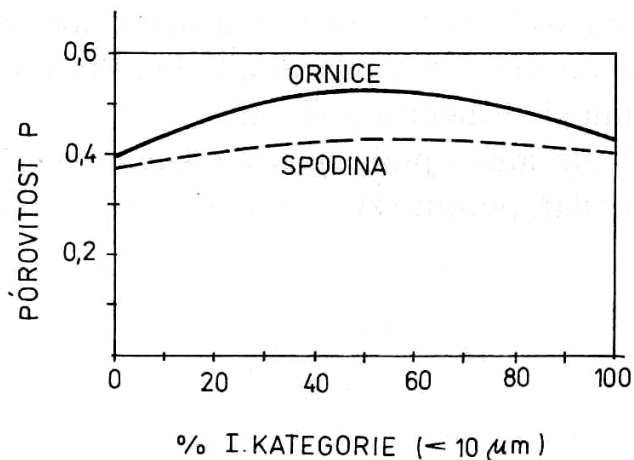
Hodnota objemu V_T	Centrování objemu V_T	
	do středu póru	do pevné fáze
$V_T = V_P$	$P = 1$	$P = 0$
$V_T = V_P + \partial V$	$P = 1 - \partial V / V_T$	$P = \partial V / V_T$
$V_T = V_P + n \partial V$	$P = 1 - n \partial V / V_T$	$P = n \partial V / V_T$

2. Půda jako pórovité prostředí

Změny pórovitosti

primární pedogenetický proces – mechanické, chemické a biologické přeměny původní celistvé horniny: $dP/dt > 0$

sekundární pedogenetický proces – produkt primárního procesu slouží za pedogenetický substrát: $dP/dt \rightarrow 0$. Pórovitost se může pouze mírně zvýšit některými vlivy (agregace) nebo snížit (peptizace koloidů, iluviace)



P_{max}
Hloubka
 P_{min}

P_{max} – humusová vrstva

- nižší stupeň agregace
- tlak nadloží

Faktory ovlivňující P

zrnitostní složení půdy

humóznost půdy

struktura půdy

typ genetic.
půdního
horizontu

2. Půda jako pórovité prostředí

Agregátová P_a a meziagregátová P_m pórovitost

Kvalita pórovitosti

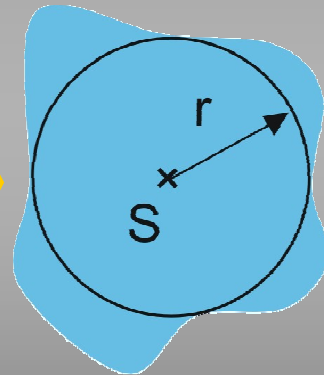
objem frakcí pórů
určité velikosti

retenční čára půdní
vlhkosti

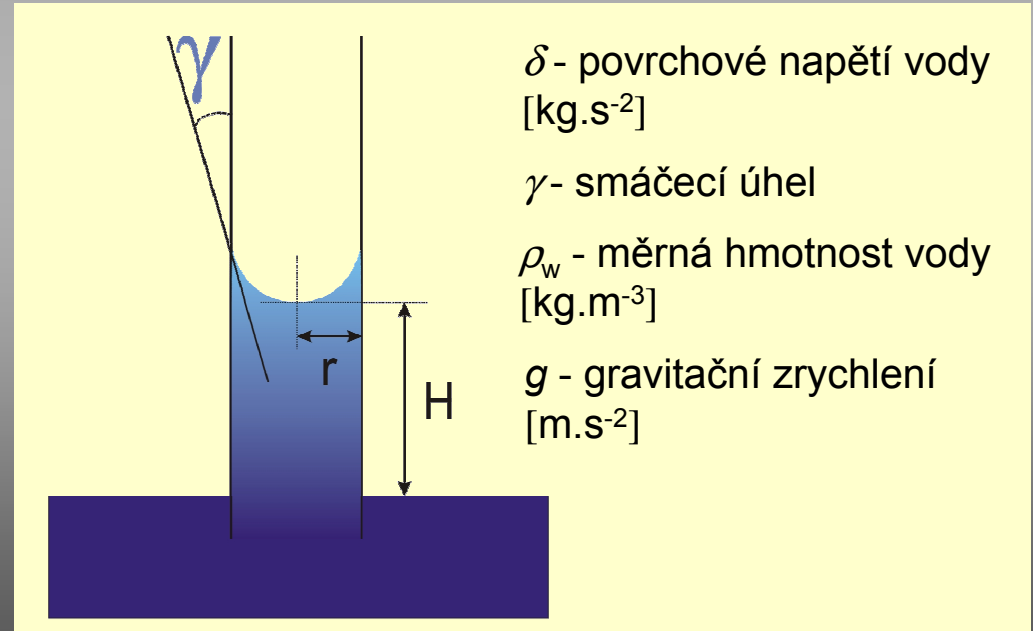
$$P_a = \frac{P_v (100 - P)}{100 - P_v} \quad P_m = P - P_a$$

P_v – vnitřní pórovitost jednotlivých agregátů v %

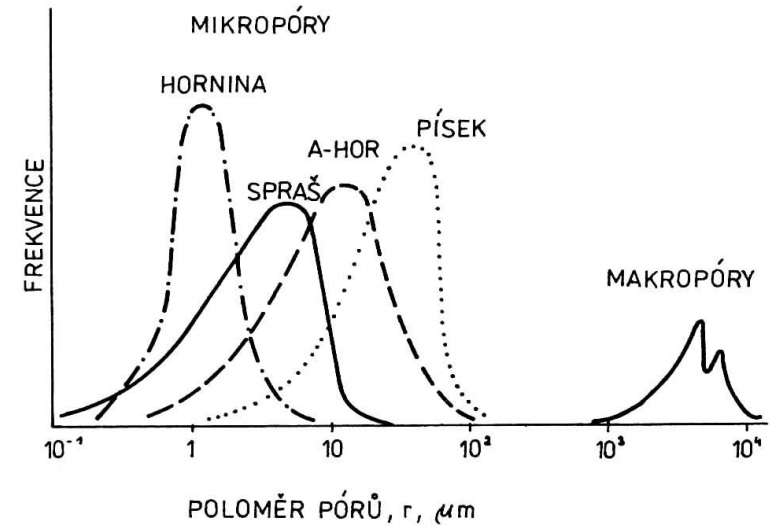
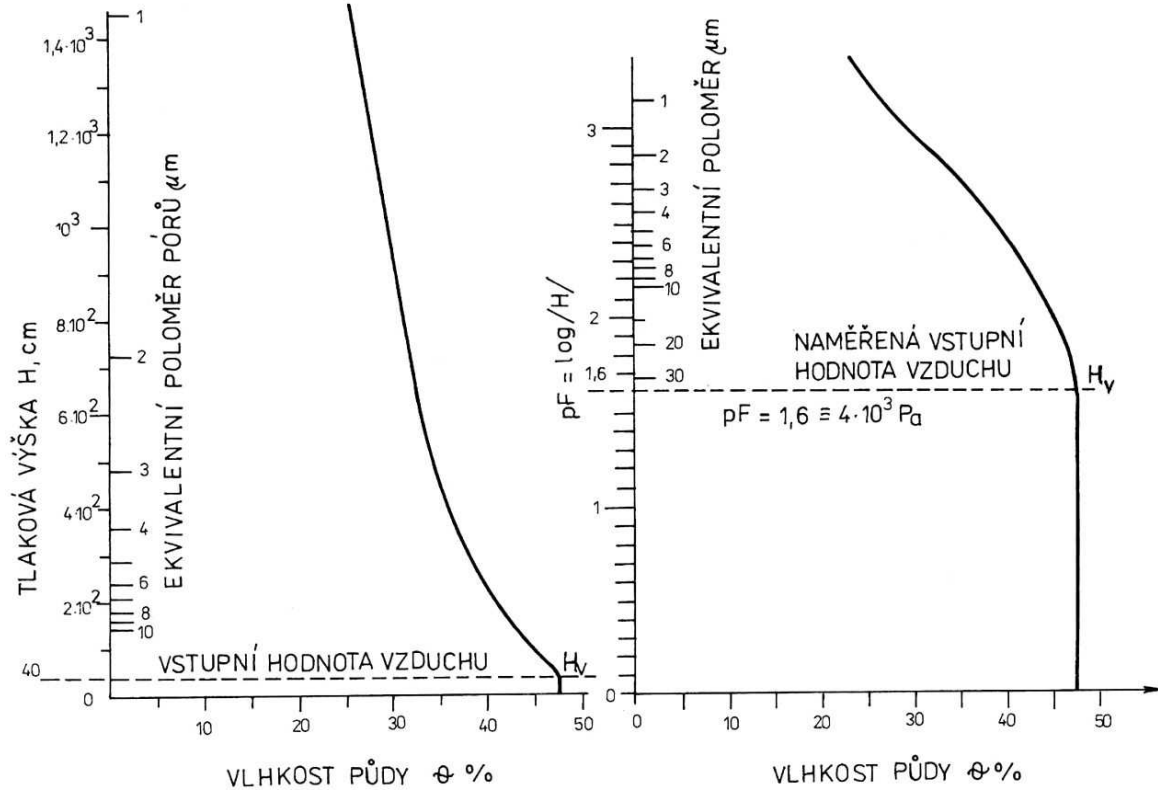
Stanovení velikosti pórů



$$H = \frac{2\delta \cos \gamma}{r\rho_w g}$$



2. Půda jako pórovité prostředí



Pedogeneze – vzrůst objemu hrubých kapilárních pórů a makropórů + změny v prostor. uspoř. pevných částic.

Hnědozem	A horizont 20–25 cm	B horizont 40–45 cm
Pórovitost P	50,2 %	49,8 %
Póry ϕ		
$r \leq 20 \mu\text{m}$	46,6 %	48,1 %
$r \leq 10 \mu\text{m}$	39,7 %	43,7 %
$r \leq 5 \mu\text{m}$	32,5 %	37,9 %
$r \leq 1 \mu\text{m}$	26,2 %	32,4 %

- agregace
- objemové změny při vysoušení a zvlhčování půdy, příp. vliv mrazu
- přítomnost makroedafonu

2. Půda jako pórovité prostředí

agregace – vznik shluků oddělených od sebe doménami slabé soudržnosti. Translokace a difúze. odděluje agregáty a vytváří póry, ty

vysouškové pukliny – vznikají v vrchní části půdy, zejména v vertisolech, způsobují tvorbu puklin u

makro – houbový charakter, hydraulická válcovitost, též vlivem teranu (oxidu železa) v pilních



Mudcracks in the Badlands of South Dakota

3. Procesy přeměn

Přeměny anorganické půdní složky

Expozice hornin
do atmosféry



Snížení chemické
a mechan. stability



zvětrávání

Intenzita a charakter
působících faktorů

čas

fyzikální

- albedo
- měrné teplo
- koeficienty roztažnosti



žulové skalní výchozy

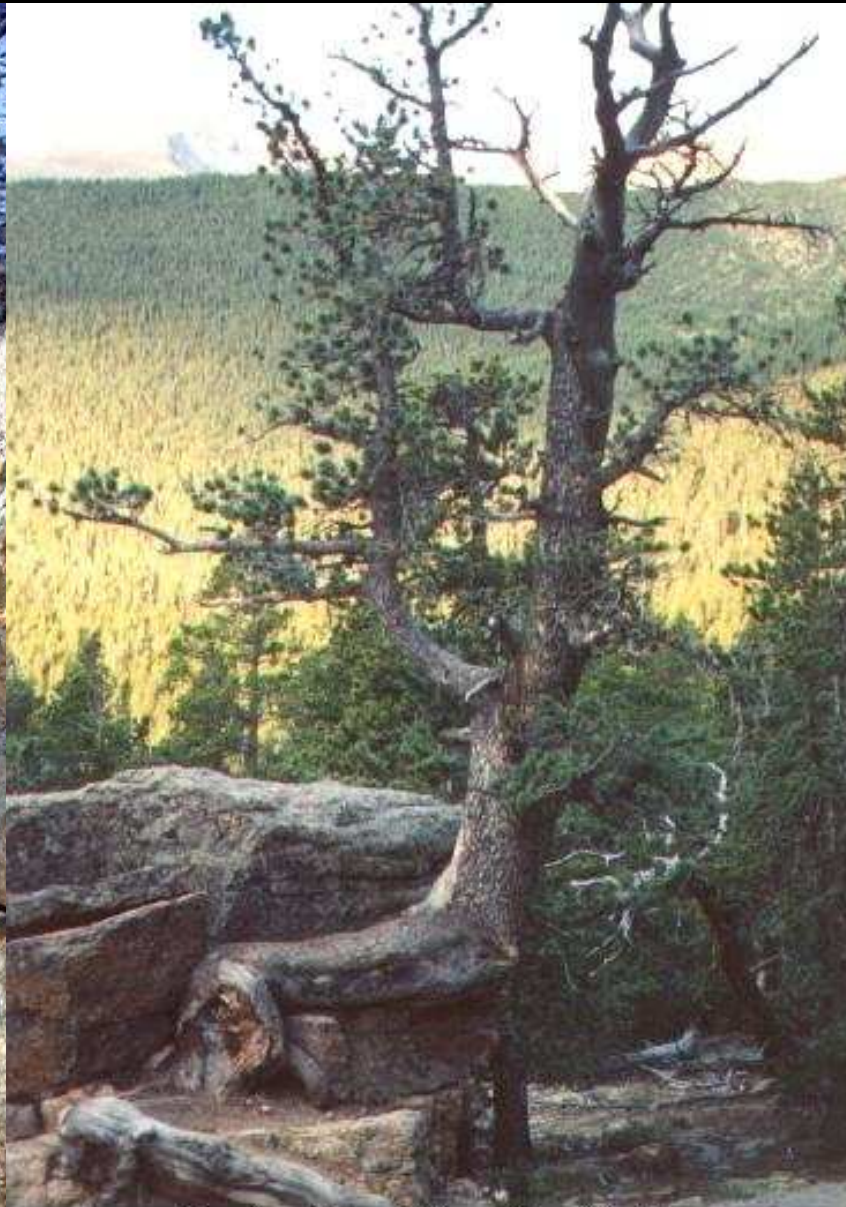
jemnozrnné vyvřeliny



3. Procesy přeměn



Example of root wedging, Poudre Canyon, Colorado



Root wedging, Storm Pass Trail, Rocky Mountain National Park, Colorado

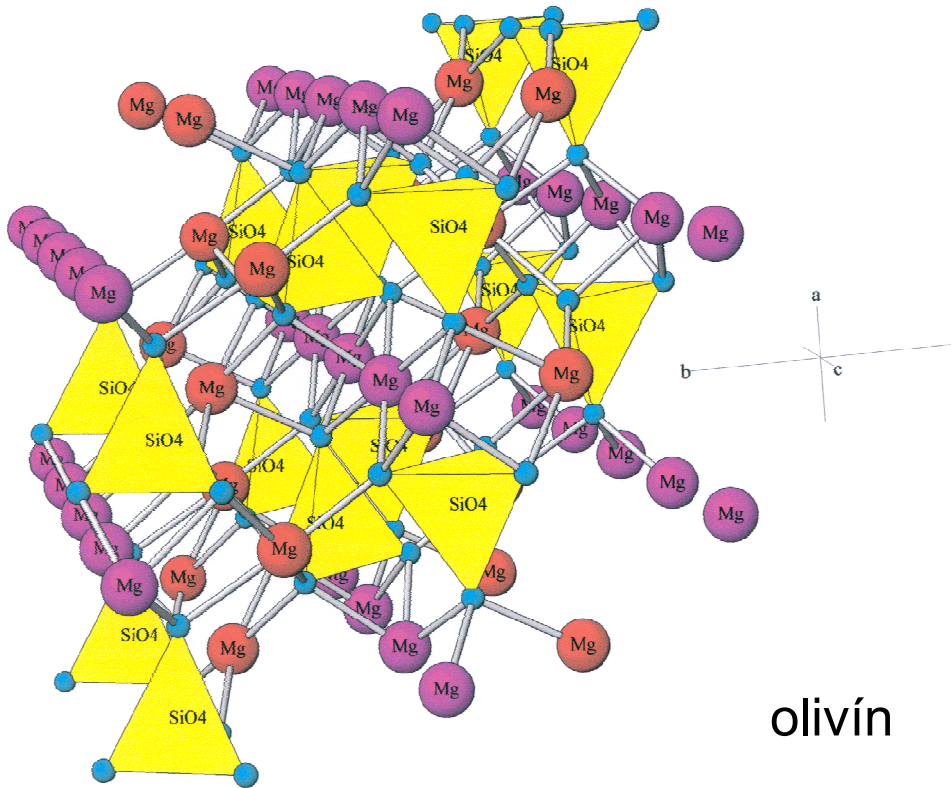
3. Procesy přeměn

chemické

Vliv vody, O_2 , CO_2 , rozpuštěných anorganických a organických látek

Karbonáty + sulfáty – snadná rozpustitelnost

Silikáty – závislost na stavbě krystalové mřížky (O-M-O)



stabilita

olivín: 10 M-můstků

pyroxen: 8 M-můstků

turmalín: 7 M-můstků

amfibol: 6 M-můstků

muskovit: M-můstky mezi vrstvami

Q: absence M-můstků

3. Procesy přeměn

- **Sialitické zvětrávání** – slabé ochuzování bází a kyseliny křemičité. Zvětralina: $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 > 2$
- **Alitické zvětrávání** – silná translokace bází a kys. křemičité, hromadění oxidů a hydroxidů Fe a Al. Zvětralina: $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 < 2$



mírné klima



tropické klima



NOVOTVARY

Přeměny organické půdní složky

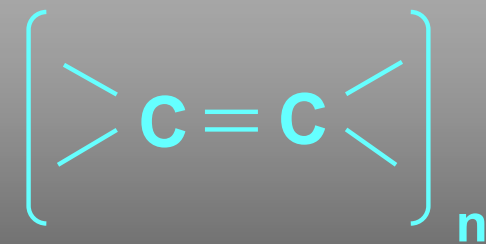
Humifikace – biochemický proces, jehož intenzita a charakter jsou podmíněny aktivitou mikrofauny a mikroflóry a na jehož průběhu se podílejí jak rozkladné, tak i syntetické procesy.

Rozkladné
procesy

prekurzory

mineralizace

počáteční fáze



polymerizace

Ukončení humifikace

3. Procesy přeměn

Zvýšené provzdušnění → zvýšení podílu rozkladných procesů → menší tvorba prekurzorů → zvýšené uvolňování energie

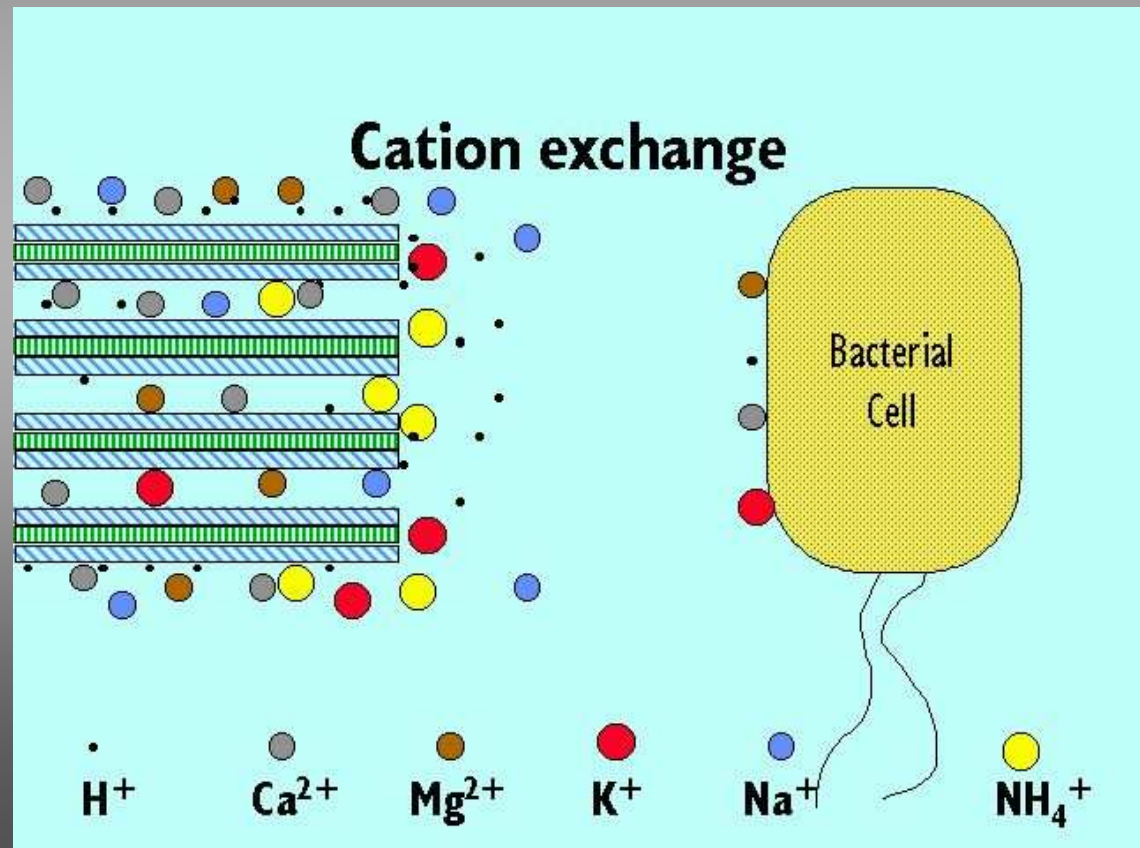
Anaerobní prostředí → vysoká tvorba prekurzorů, ty jsou však omezeně využívány ke tvorbě humusu

50-80%
humusu

Humus-jílové
komplexy

kationtová
výměna

~~$\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{H}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Mg}^{2+}$~~

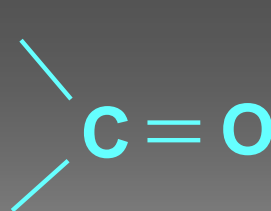


3. Procesy přeměn

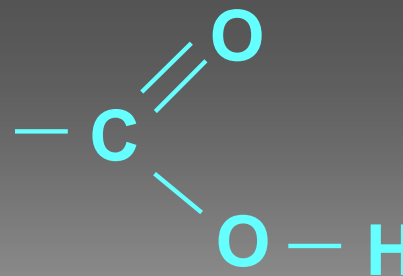
vodíkový můstek



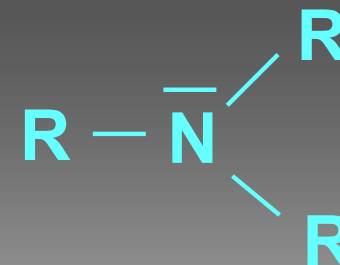
hydroxy-
skupina



karbonyl



karboxyl



amin

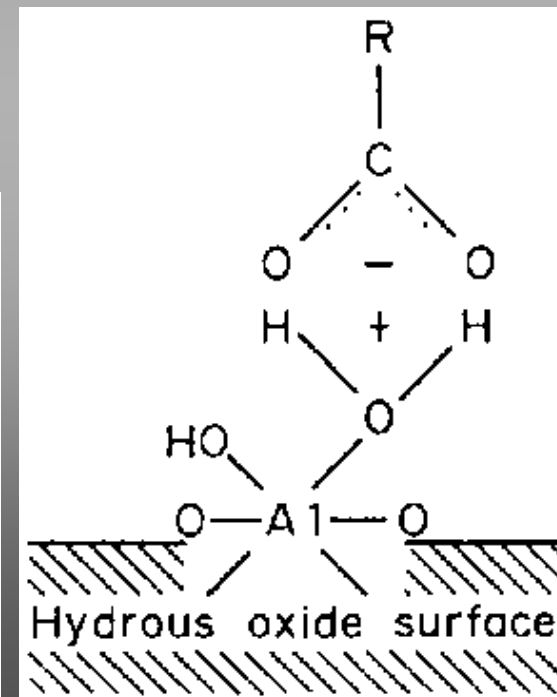
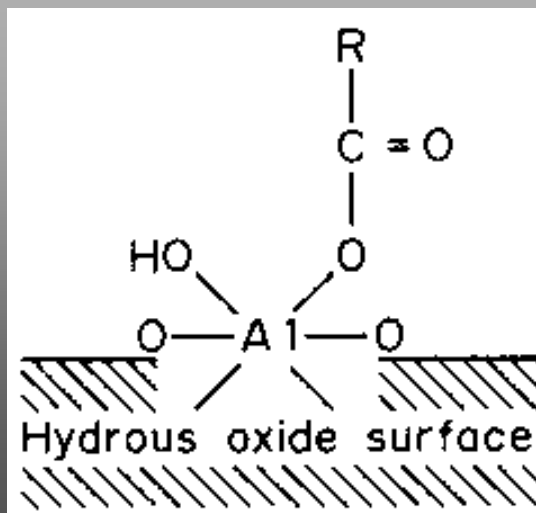
Uplatnění vodíkového
můstku

**přímá vazba na atomy
kyslíku v krystalové
mřížce**

**vazba na hydratační
obálku výměnných
kationtů**

**ligandová
výměna**

kondenzační reakce mezi
karboxylovou skupinou a povrchem
amfoterního oxidu Fe, Al nebo na
povrchových rozích kaolinitu



3. Procesy přeměn

koordinační komplexy

vysoce polarizované kationty - adsorpce polárních molekul → vazby iont-dipól. Takto vytvářejí komplexy ligandy nebo funkční skupiny, které mají volný elektron pro koordinaci, např. amin, karboxyl a heterocyklické aromatické struktury typu pyridinu

van der Waalsovy síly

- interakce dipól-dipól mezi polárními molekulami, které mají trvalý dipól
- přitahování trvale polární molekuly k molekule, v níž byl indukován právě touto polární molekulou dipól
- disperzní síly, způsobené korelací pohybu elektronů v jedné molekule vzhledem k pohybům v sousední molekule

3. Procesy přeměn

Humifikační procesy

- důsledek mikrobiální činnosti, existuje tzv. model dynamiky mikrobiální populace, jeho výsledkem je výraz popisující rychlost mikrobiálního růstu

První Monodova rovnice

$$\frac{dM(t)}{dt} = \mu M(t)$$

M - hmotnost mikrobů
v jednotkovém objemu
μ - koeficient rychlosti růstu
mikrobů
t - čas

$$\frac{M_t}{M_0} = \exp(-kt)$$

M_t – množství látky, které
podlehlo rozkladu v čase ***t***
M₀ – množství výchozí látky
v čase ***t* = 0**
k – konstanta pro jednotlivé
složky

Celková rychlost rozpadu

$$\frac{dM}{dt} = -\sum_{i=1}^n k_i M_i$$

n – počet individuálních
složek
M_i – hodnoty pro jednotlivé
složky
t - čas

3. Procesy přeměn

Změna stupně disperzity

pedogenetický proces \Rightarrow polydisperzní soustava, zastoupeny částice organického i anorganického původu o různé velikosti. Stupeň disperzity se při pedogenezi obvykle zvyšuje - vliv na průběh chemických reakcí a biologických procesů (vlivem specifického povrchu)

Čím větší disperzita, tím větší specifický povrch

Koloidy – velký měrný povrch (1 až 100 m² g⁻¹), značně aktivní. Elektrický náboj povrchu - ovlivňuje schopnost sorbovat ionty

Bio-anorganické interakce – soubory odpuzivých a přitažlivých sil, \rightarrow celková energie interakcí. Ta ovlivňuje možnost vzniku komplexů bakterie-jíl \rightarrow vliv na pevnost a stabilitu agregátů

3. Procesy přenosů

Proudění vody

1. významný vliv na pedogenezi (přítomnost či absence horizontů s vysokou nebo nízkou vlhkostí).
2. vliv na procesy přeměn (oxid.-red. procesy, rozpouštění, srážení, hydratace...).

Směr přenosů

vertikální směr – vznik automorfních (terestrických) půd

omezená migrace látek – vznik hydromorfních (hydrických) půd

hladina podzemní vody v půdním profilu – autohydromorfní (semiterestrické) nebo semihydromorfní

Darcy – Buckinghamova rovnice

$$v = -k \text{ grad } \phi$$

v - makroskopická rychlost proudění (též tok) [m.s⁻¹]

ϕ – celkový potenciál půdní vody [m]

k - nenasycená vodivost [m.s⁻¹]

vodou nenasycené půdy je $H < 0$
nasycené proudění – platí, že $H > 0$ a $\theta = \theta_s$, $k = K = \text{konst}$ (hydraul. vodivost)

3. Procesy přenosů

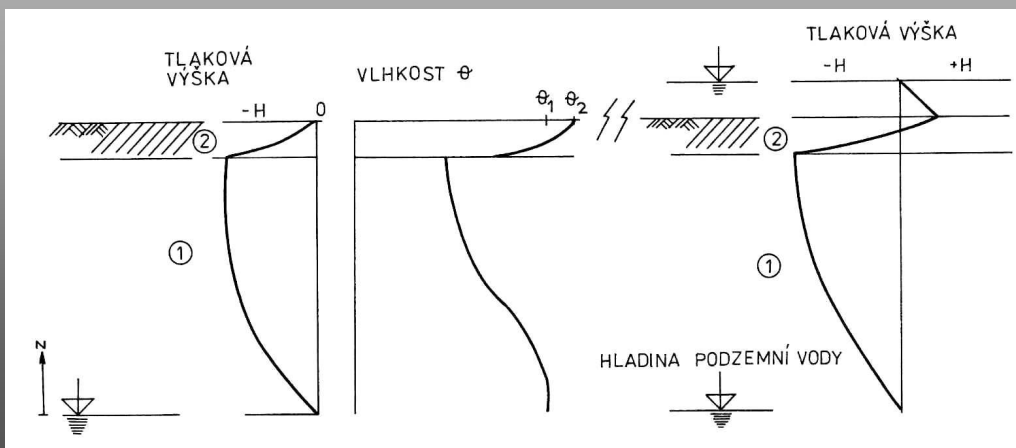
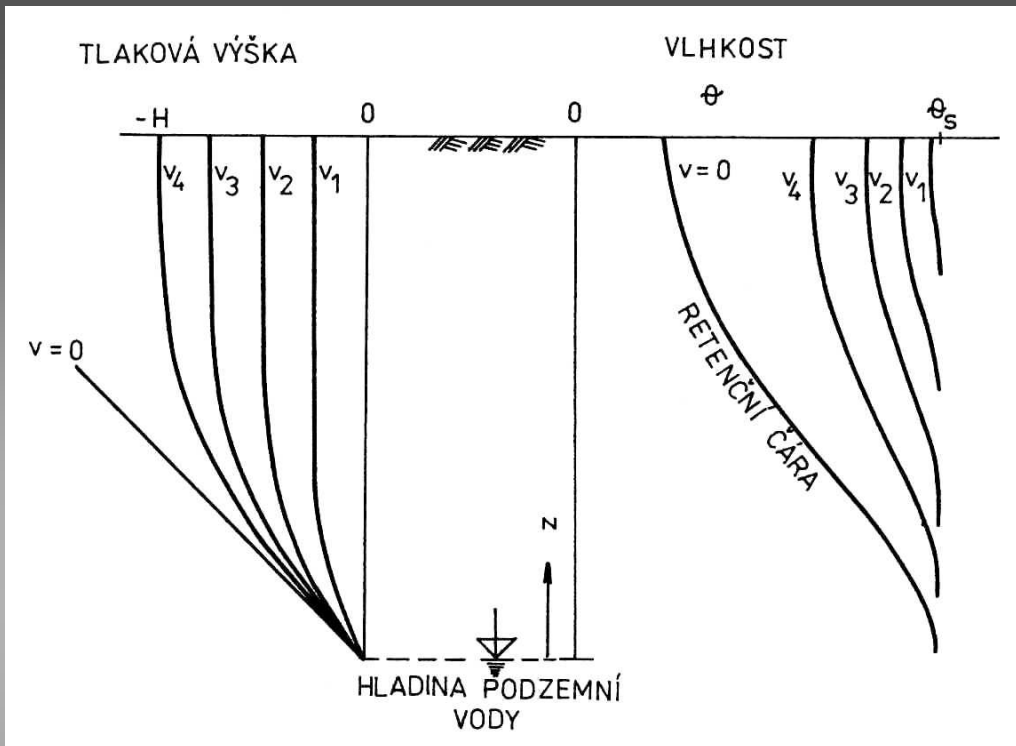
Proudění infiltrační

Vliv zvrstvení na průběh infiltrace

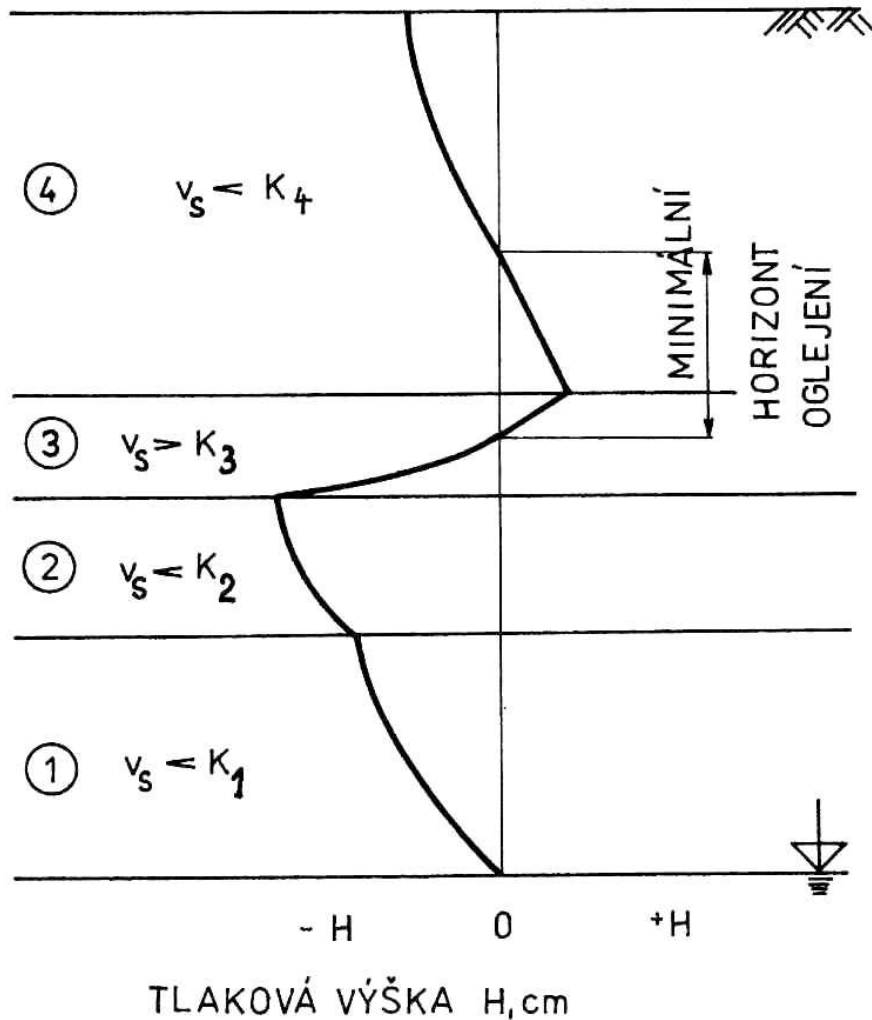
1. **Méně propustný povrch** - vrchní vrstva (index 2) - méně propustná než podložní vrstva (index 1).
Např. půda s krustou nebo půda s nestabilní strukturou na povrchu.

$$k_1 \left(\frac{d\phi}{dz} \right)_1 = k_2 \left(\frac{d\phi}{dz} \right)_2$$

2. **Profil o více vrstvách** – jestliže půda obsahuje n vrstev, značíme pomocí indexů 1, 2, ... n jejich vlastnosti, počínaje vrstvou obsahující hladinu podzemní vody.



3. Procesy přenosů



Nestacionární infiltrace

s časem se mění rychlost proudění, např. infiltrace z většiny srážek. Změna rychlosti ve směru proudění způsobuje změnu zvlhčení v čase.

$$\frac{\partial v}{\partial z} = - \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

$$v = -k \text{ grad } \phi$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(H) \frac{\partial H}{\partial z} - k \right]$$

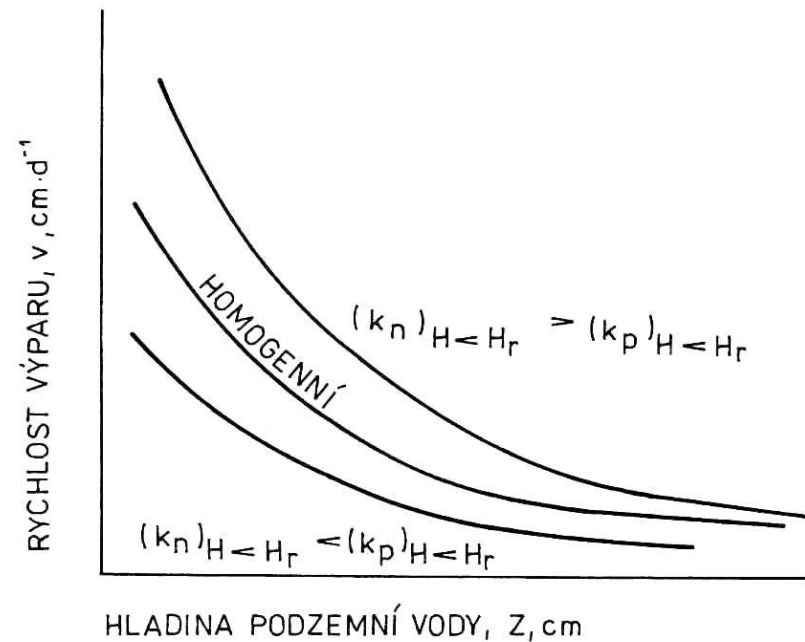
3. Procesy přenosů

Proudění výparné

posun solí k povrchu půdy buď z hladiny mineralizované podzemní vody, nebo vyluhováním profilu směrem vzhůru

Stacionární výpar

$dv/dz = 0$ a $dv/dt = 0$,
kdy $(d\theta/dz) = 0$

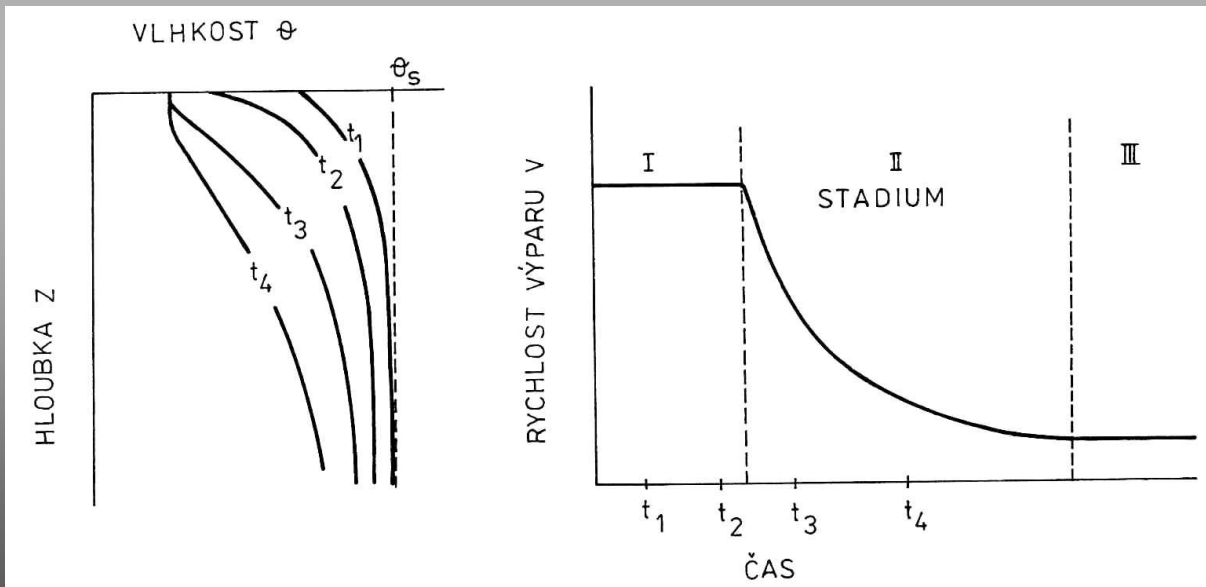


Využití: výpočet rychlosti zasolovacího procesu ze silně mineralizované podzemní vody s hladinou blízkou povrchu. Rozdíly v laterálních změnách koncentrace solí na povrchu se vysvětlují rozdíly v hydraulické vodivosti

3. Procesy přenosů

Nestacionární výpar

při kolísání externích podmínek i při konstantní hladině podzemní vody, ale i v případech, kdy hladina podzemní vody nepřispívá k výparnému toku vody z půdy



I. **Stadium:** $v = \text{konst.}$, kdy $(dv_E/dt)_{z=0} = 0$. $v =$ výpar z volné hladiny. Kontinuální vysušování povrchu půdy \rightarrow vzrůst gradientu potenciálu.

2. **Stadium:** $v (dv_E/dt)_{z=0} < 0$, rychlost výparu závisí i na transportu vody z nižších poloh. Vzrůst mocnosti vyschlé povrchové vrstvy \rightarrow zvýšení hydraulického odporu \rightarrow vlhkost uniká z půdy pouze difúzí.

3. Procesy přenosů

Přenos rozpuštěných a suspendovaných látek

Disperze

molekulární difúze

hydrodynamická disperze –
vliv tvaru a směrové
proměnlivosti původních pórů

Pécletovo číslo Pe

$$Pe = \frac{vd}{PD_m}$$

v – makroskopic. rychl. proudění [$m \cdot s^{-1}$]

P – pórovitost

d – střední vel. zrna u neagreg. látek [m]

D_m – koeficient molekul. difúze [$m^2 \cdot s^{-1}$]

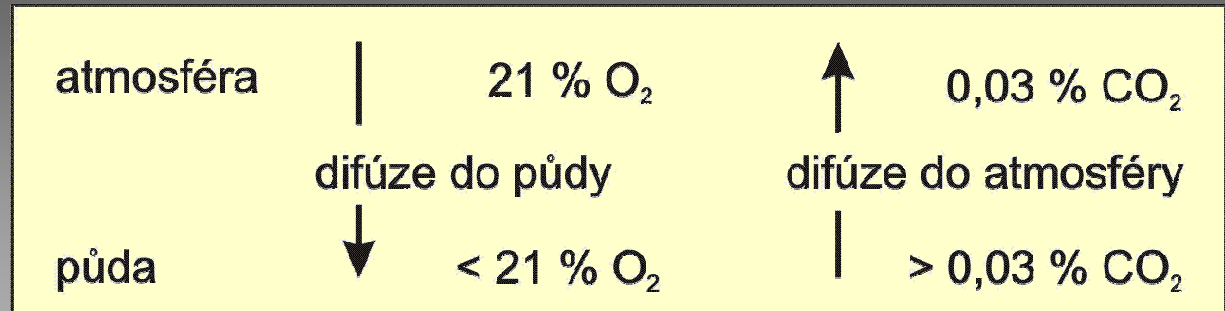
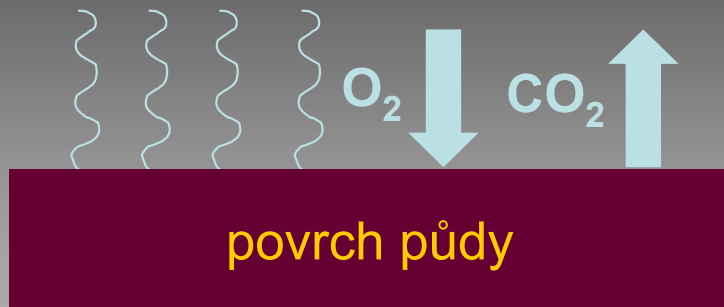
Pe	
0,3	Působí pouze molekulární difúze, $D^* = D_m$
0,3 - 5	Molekulární difúze a hydrodynamická disperze mají stejný význam, $D^* = D_h + D_m$
5-20	Dochází k interferenci molekulární difúze a hydrodynamické disperze, $D_h < D^* < (D_h + D_m)$
>20	Molekulární difúze se zanedbává, $D^* = D_h$

D^* - disperzní koeficient [$m^2 \cdot s^{-1}$]

D_h - koeficient hydrodynamické disperze [$m^2 \cdot s^{-1}$]

3. Procesy přenosů

Plynná difúze



$$q_x = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

q_x – difúzní tok ve směru osy x [kg.m⁻².s⁻¹]
 C – koncentrace difundujícího plynu [kg.m⁻³.]
 D – difúzní koeficient plynu v půdě [m².s⁻¹]

$$D = 0,6(P - \theta)D_a$$

D_a – difúzní koef. plynu ve vzduchu [m².s⁻¹]
 P – pórovitost
 θ - vlhkost

Platí pouze pro $\theta < 0,9P$. Při $\theta \geq 0,9P$ není zachována kontinuita provzdušněných pórů. Porušení vzdušné kontinuity → zástava difúze CO₂ a O₂ (difúzní koeficient CO₂ ve vzduchu je o 4 řády větší než ve vodě).



3. Procesy přenosů

Charakter. pórů	Při infiltraci		Při redistribuci	Při výparu	
	$t < t_p$	$t \geq t_p$		I. stadium	II. stadium
I Makropóry Difúze	g + l D	l 0	g D	g D	g D
II hrubé kapil. póry Difúze	l + g d	l 0	g + l d D	l 0	g + l d D
IIIa jemné kapil. póry Difúze	l 0	l 0	l 0	l 0	l + g 0 d
IIIb jemné kapil. póry na povrchu Difúze				l + g 0 d	g + l D

g - plynná fáze, l - kapalná fáze, l + g - existenci obou fází vedle sebe