

MUNI | RECETOX

# Hydrosféra – typy vod

Doc. Ing. Branislav Vrana, PhD.  
branislav.vrana@recetox.muni.cz

RECETOX  
Přírodovědecká fakulta  
Masarykova univerzita  
Brno, Česká republika



# Typy vod

↻ antropogenní - odpadní

↻ přírodní - atmosférické, podzemní, povrchové



**Vody podle užití – pitná, užitková, provozní, odpadní**

# Voda na Zemi

- Existence **hydrosféry a vodního koloběhu** je jednou z největších zvláštností naší planety. Na žádném jiném tělese sluneční soustavy nic podobného neexistuje.



Za svou „Modrou planetu“ vděčíme souhře příznivých okolností, k nimž patří zejména **velikost Země a její poloha ve sluneční soustavě**, které zabránily úniku těkavé vody do kosmu.

[http://switchboard.nrdc.org/blogs/lpagano/media/blue\\_planet.jpg](http://switchboard.nrdc.org/blogs/lpagano/media/blue_planet.jpg)

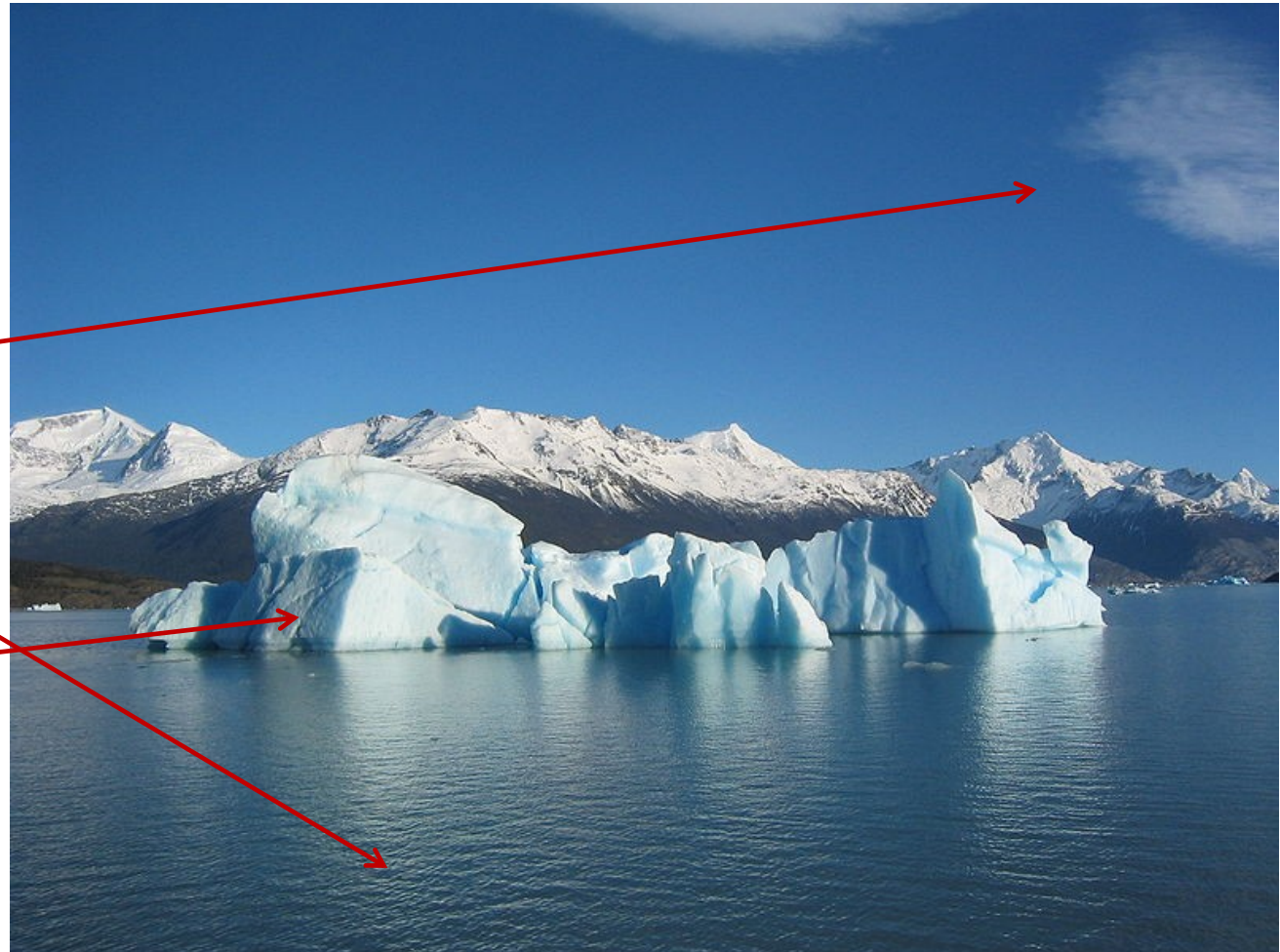
# Skupenství vody

---

**vodní pára**

**kapalina**

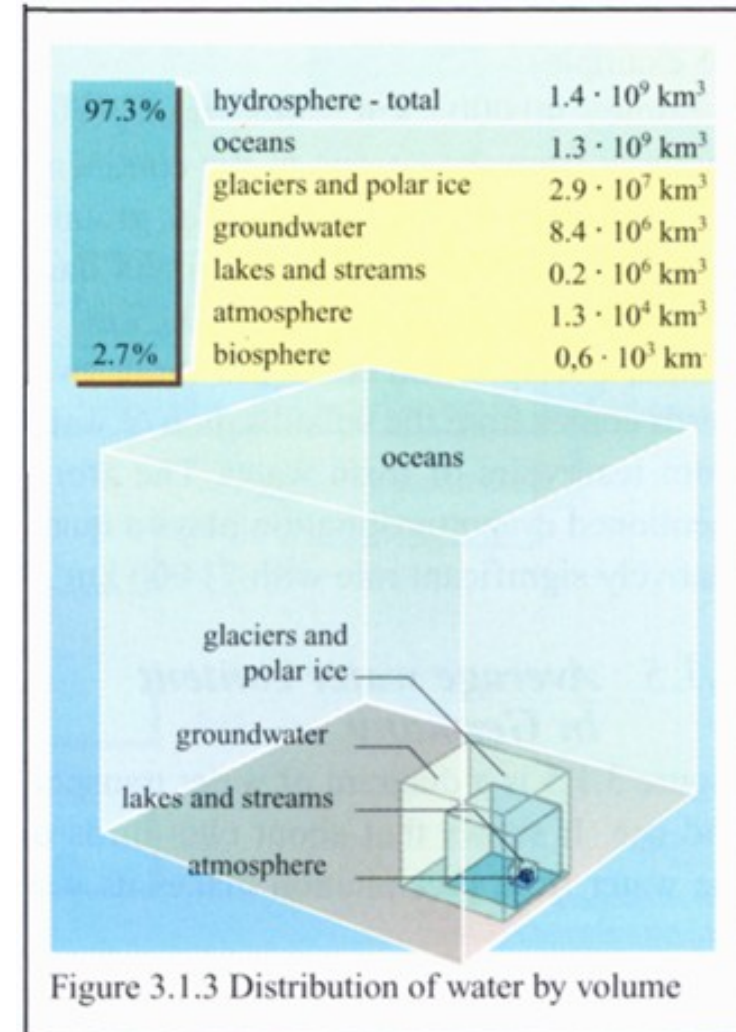
**led**



# Světové vodní zdroje

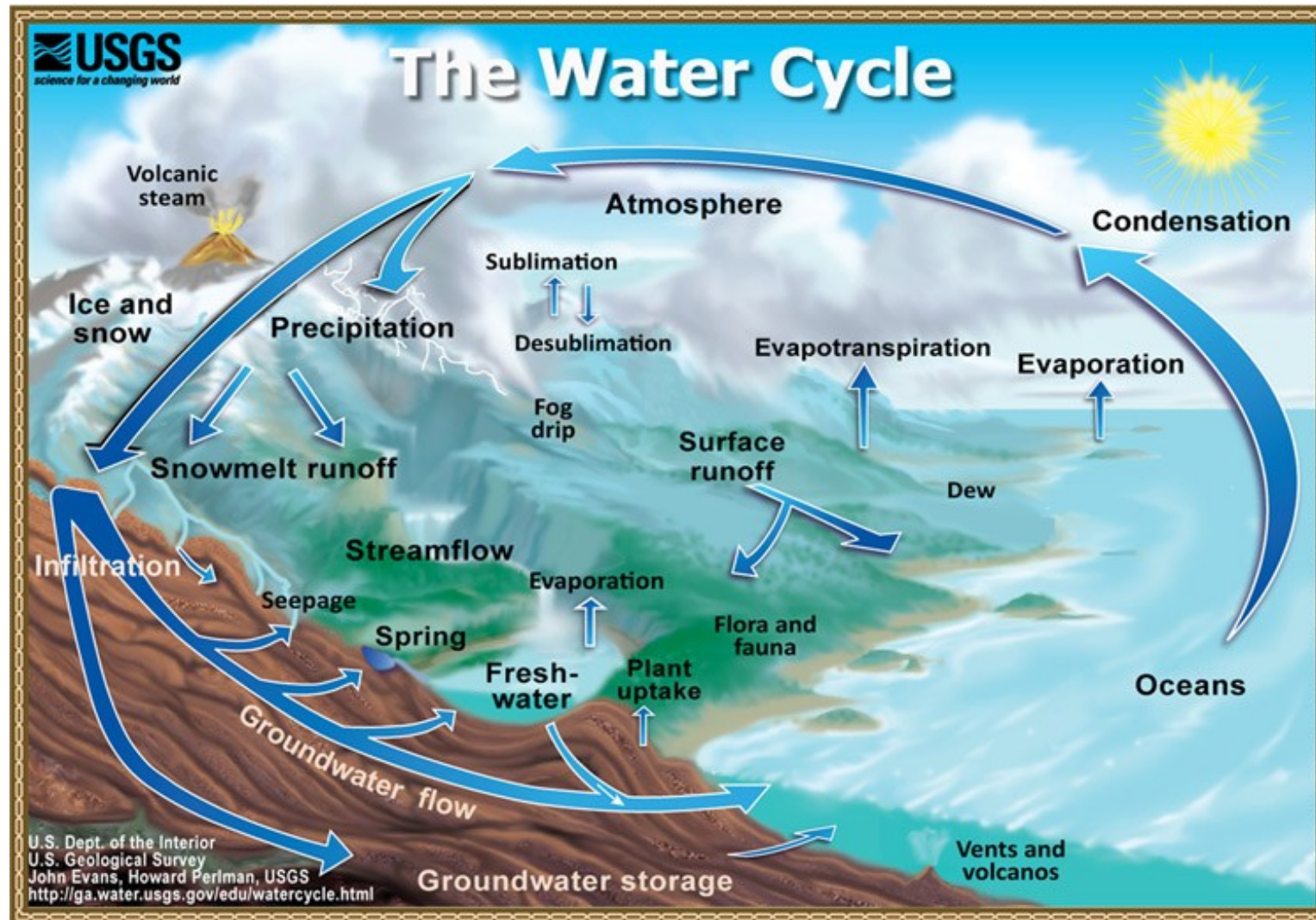
## Global Water Reservoirs and Turnover Times

|                                  | $10^3 \text{ km}^3$ | %       | Turnover time |
|----------------------------------|---------------------|---------|---------------|
| Oceans                           | 1,370,000           | 97.61   | 37,000 y      |
| Polar Ice, Glaciers              | 29,000              | 2.08    | 16,000 y      |
| Groundwater (actively exchanged) | 4000                | 0.29    | 300 y         |
| Freshwater lakes                 | 125                 | 0.009   | 10-100 y      |
| Saline Lakes                     | 104                 | 0.008   | 10-10,000 y   |
| Soil moisture                    | 67                  | 0.005   | 280 d         |
| Atmosphere (water vapor)         | 14                  | 0.0009  | 9 d           |
| Rivers                           | 1.32                | 0.00009 | 12-20 d       |

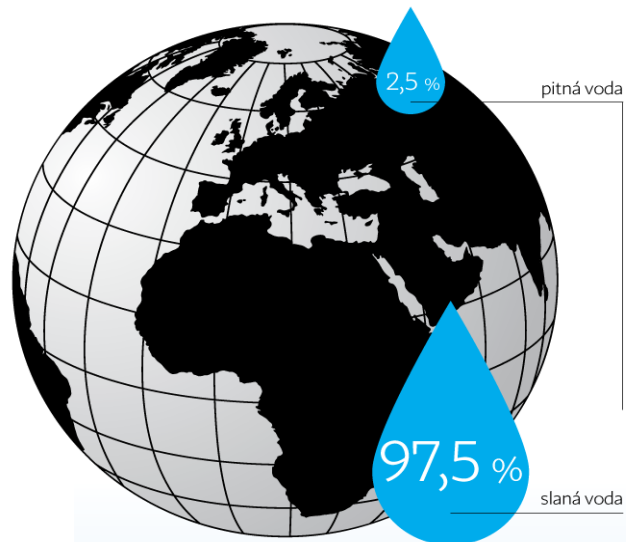


# Zdroje

Globální hydrologický oběh je nejmohutnější ze všech přirozených látkových cyklů planety.



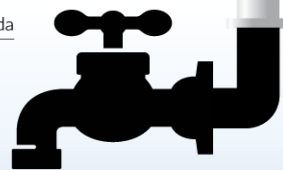
## ZÁSoby VODY NA SVĚTĚ



70 %  
pitné vody je v řekách, pro člověka je nedostupná.

29 %  
pitné vody je pod zemí (většinou je ale příliš nákladné ji vyčerpávat a přefiltrovat).

Zhruba jedno procento pitné vody je k dispozici pro lidskou spotřebu.



### NEJVĚTŠÍ SPOTŘEBA VODY NA OSOBU

Jde o celkovou spotřebu země – pro osobní užití i hospodářské účely (průmysl, zemědělství), přepočteno na osobu.

|             | litrů na osobu a den |
|-------------|----------------------|
| USA         | 7800                 |
| Portugalsko | 6900                 |
| Kanada      | 6800                 |
| Španělsko   | 6700                 |
| Německo     | 6400                 |
| ...         |                      |
| Česko       | 4500                 |

1,1 mld. lidí nemá přístup k čisté vodě.

### ZEMĚ NEJVÍCE ZÁVISLÉ NA DOVOZU VODY

(kolik procent roční spotřeby dováží)

|            |    |
|------------|----|
| Kuvajt     | 87 |
| Malta      | 87 |
| Nizozemsko | 82 |
| Bahrajn    | 80 |
| Belgie     | 80 |

70 %  
spotřebované vody je používáno v zemědělství.

20 %  
vody je využito v průmyslu.

10 %  
vody se používá pro osobní spotřebu.

50 %  
vody používané při zavlažování je vyplýváno kvůli jejím únikům.

## KOLIK VODY JE ZAPOTŘEBÍ K VÝROBĚ:

(údaje v litrech)

1 osobní automobil  
39 090



1 kg čokolády  
24 000



1 kg hovězího masa  
15 500



1 pár kožených bot  
7950



1 kg oliv  
4400



1 kg cukru  
1500



1 šálek kávy  
140

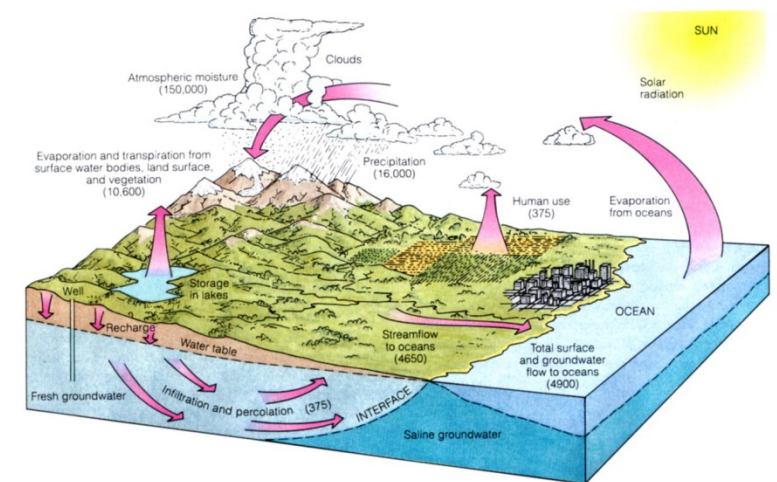
# Světové vodní zdroje

# Hydrologický cyklus

**Cesty**

**Odpaření (evaporace)**

**Srážky** ⇒ přímé odpaření  
⇒ zachycení rostlinami ⇒ odpaření  
(„vypocení= evapotranspirace“)  
⇒ povrchový odtok  
⇒ vsakování (infiltrace) ⇒ mělký oběh  
⇒ rezervoár podzemní vody





# Zdroje

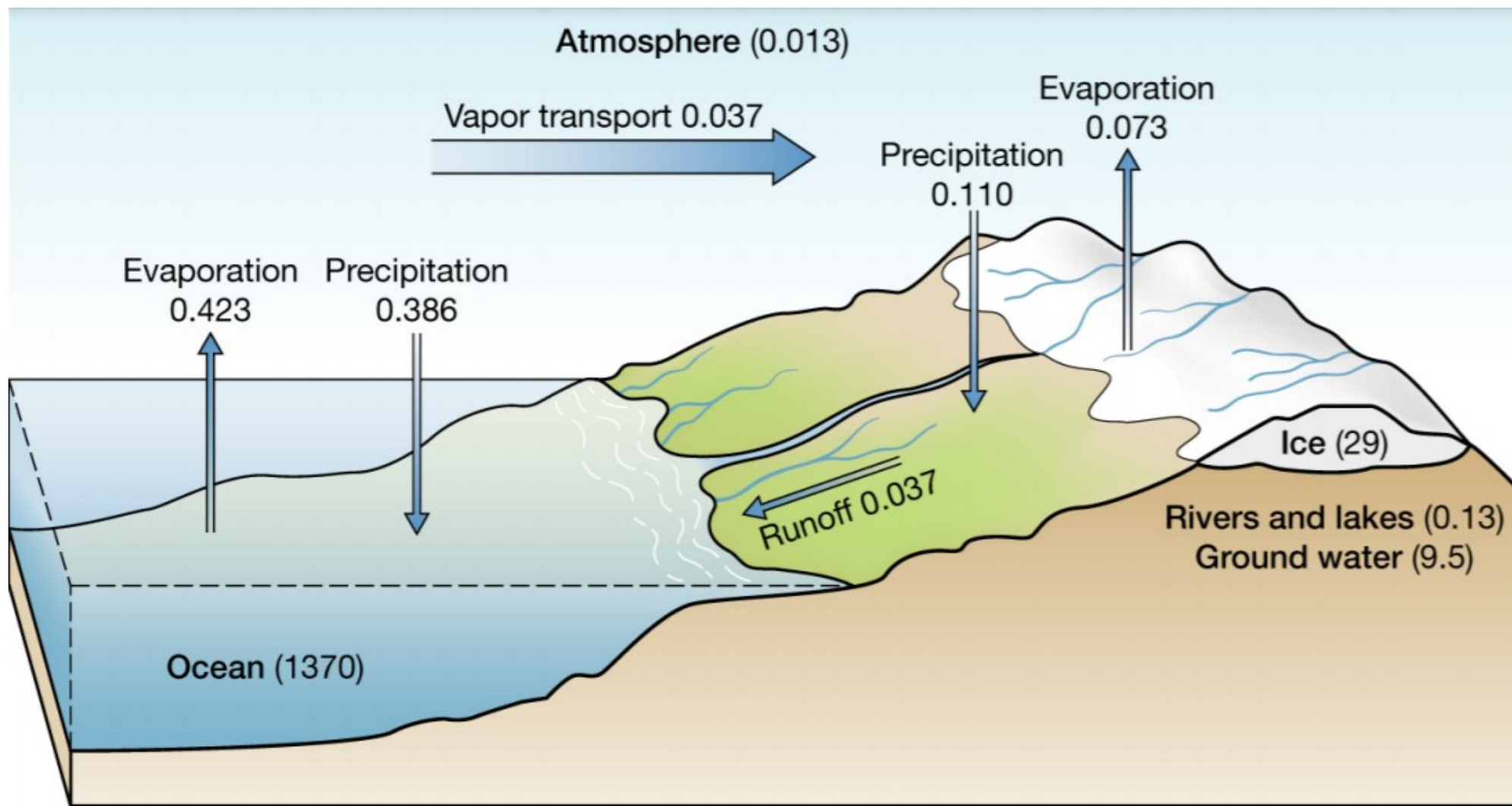
## Dva hlavní faktory:

- ↪ **Kvalita**
- ↪ **Množství**

## Podzemní voda

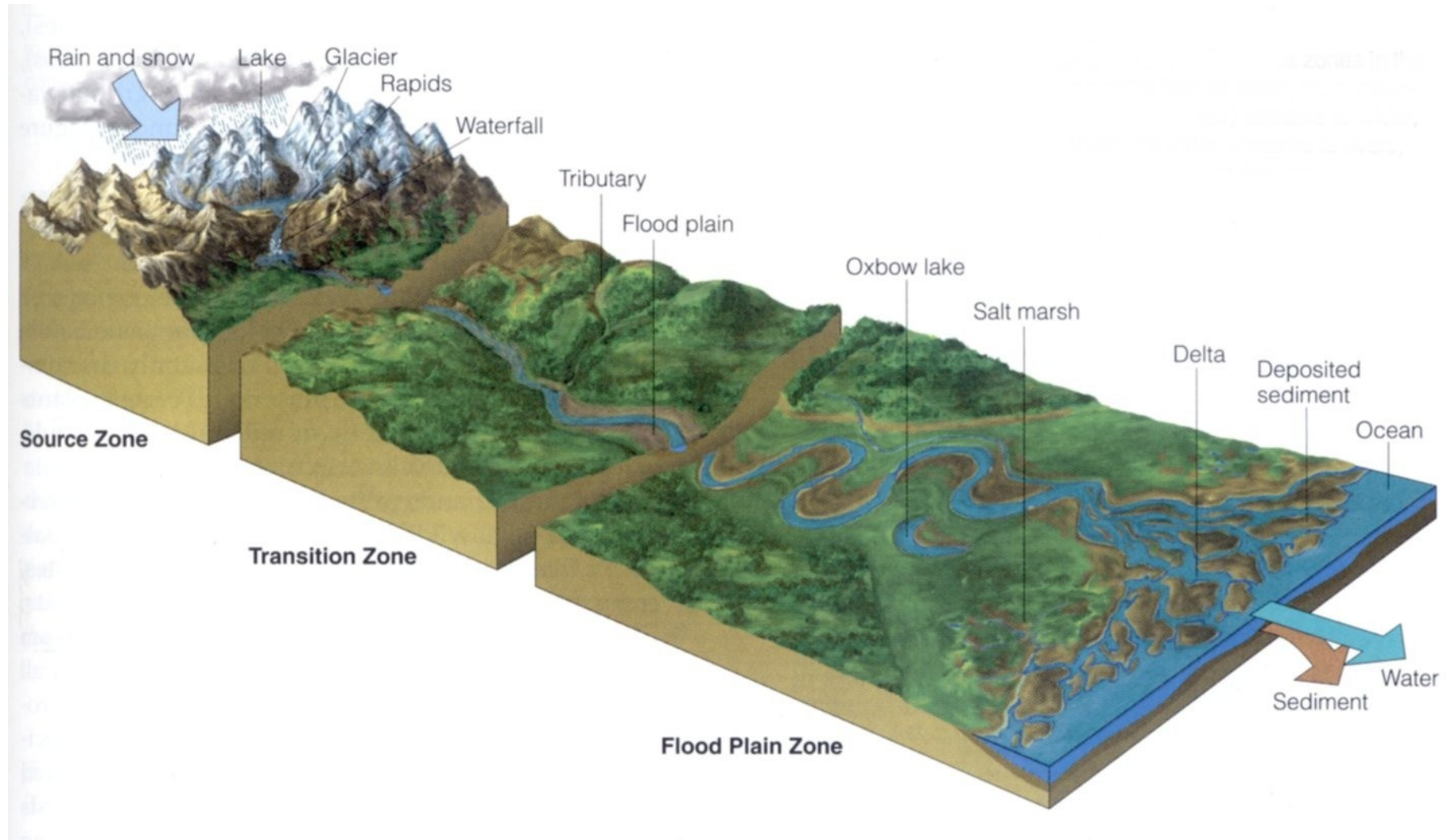
- ↪ méně než 1 % z celkového množství vody
- ↪ 40× více než ve sladkovodních jezerech
- ↪ více než 98 % nezmrzlé vody v hydrologickém cyklu jako podzemní voda
- ↪ většinou v oblasti do 750 m
- ↪ objem ekvivalentní vrstvě 55 m vody na kontinentech

# Hydrologický cyklus - kvantifikace

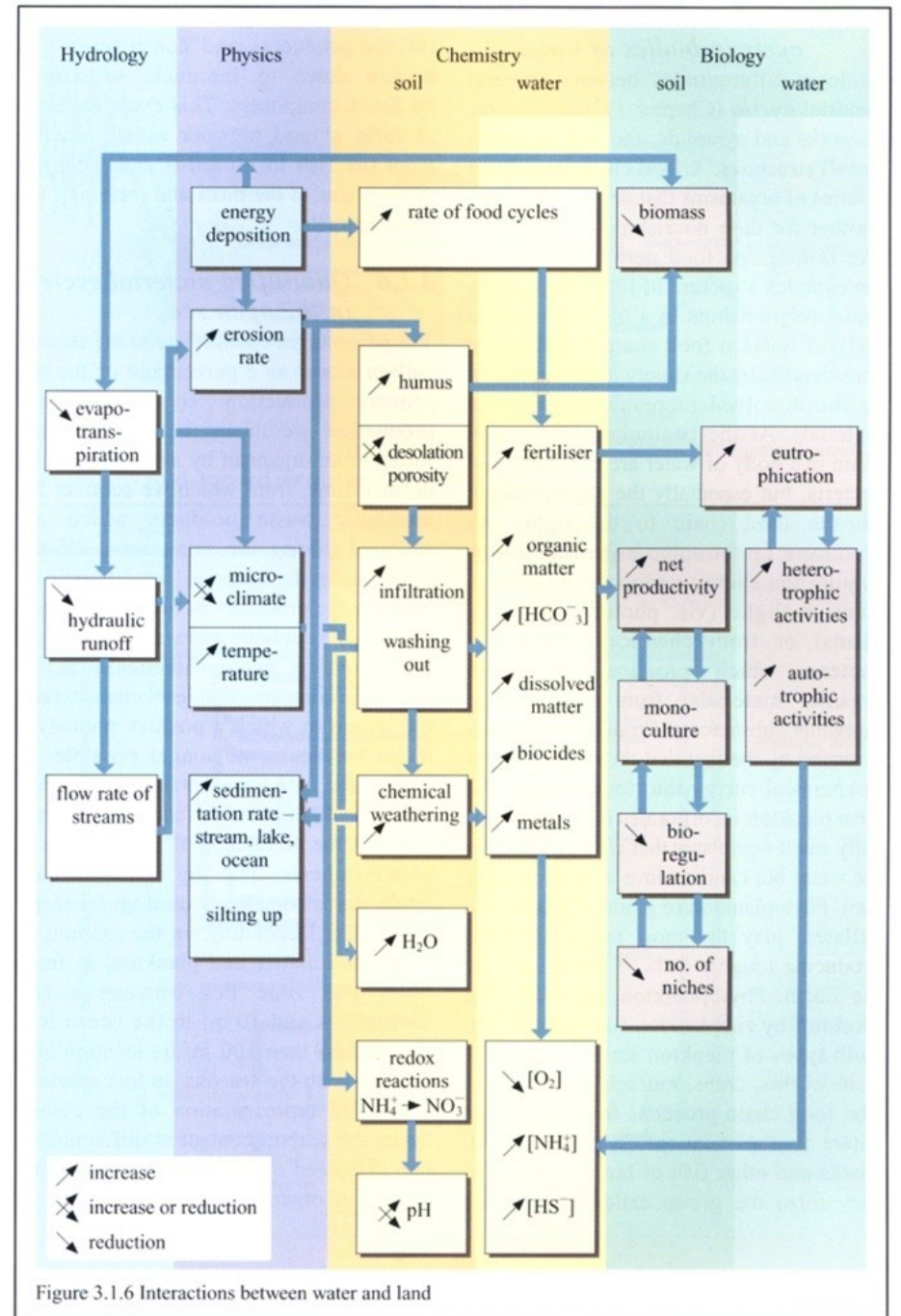
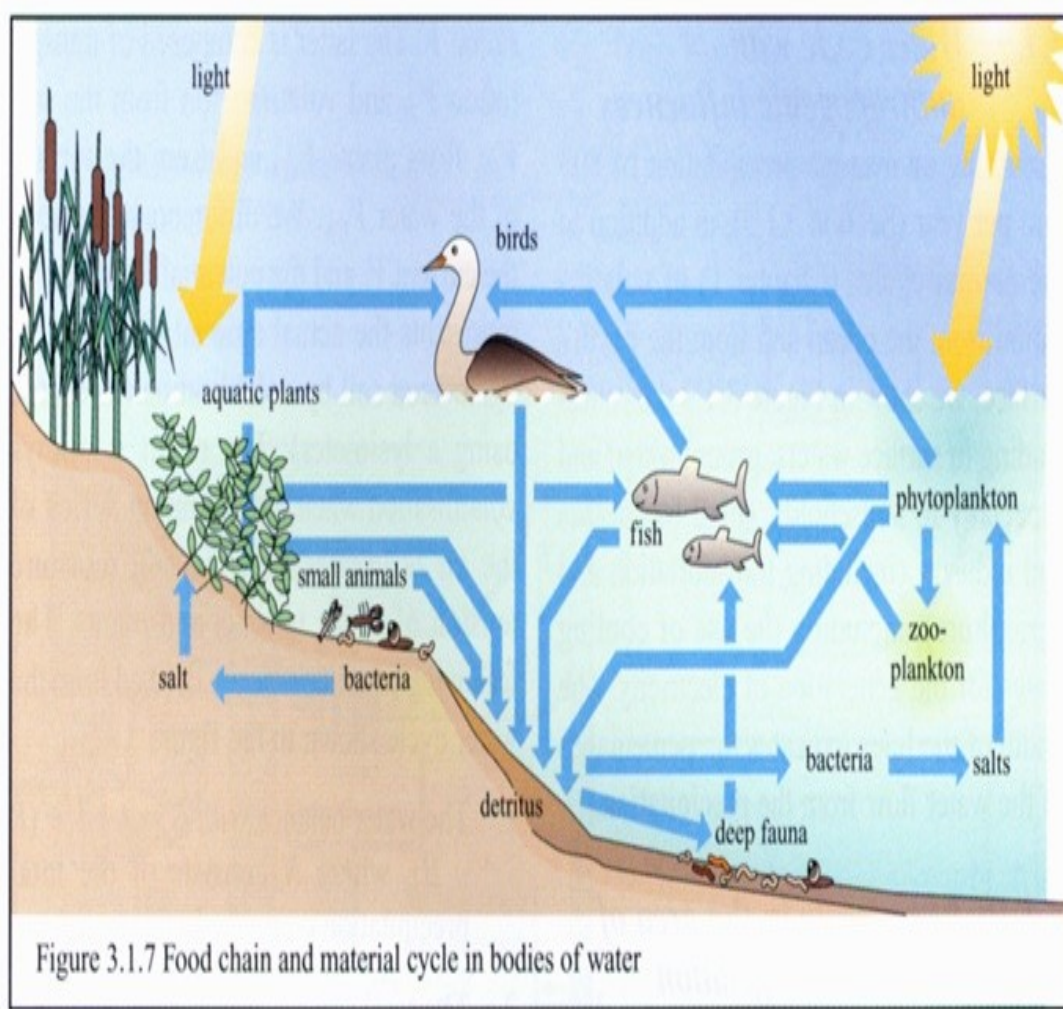


Objem vody v jednotlivých zásobnících (v miliónech km<sup>3</sup>)  
a toky vody (v miliónech km<sup>3</sup> za rok). Townsend et al. (2010)

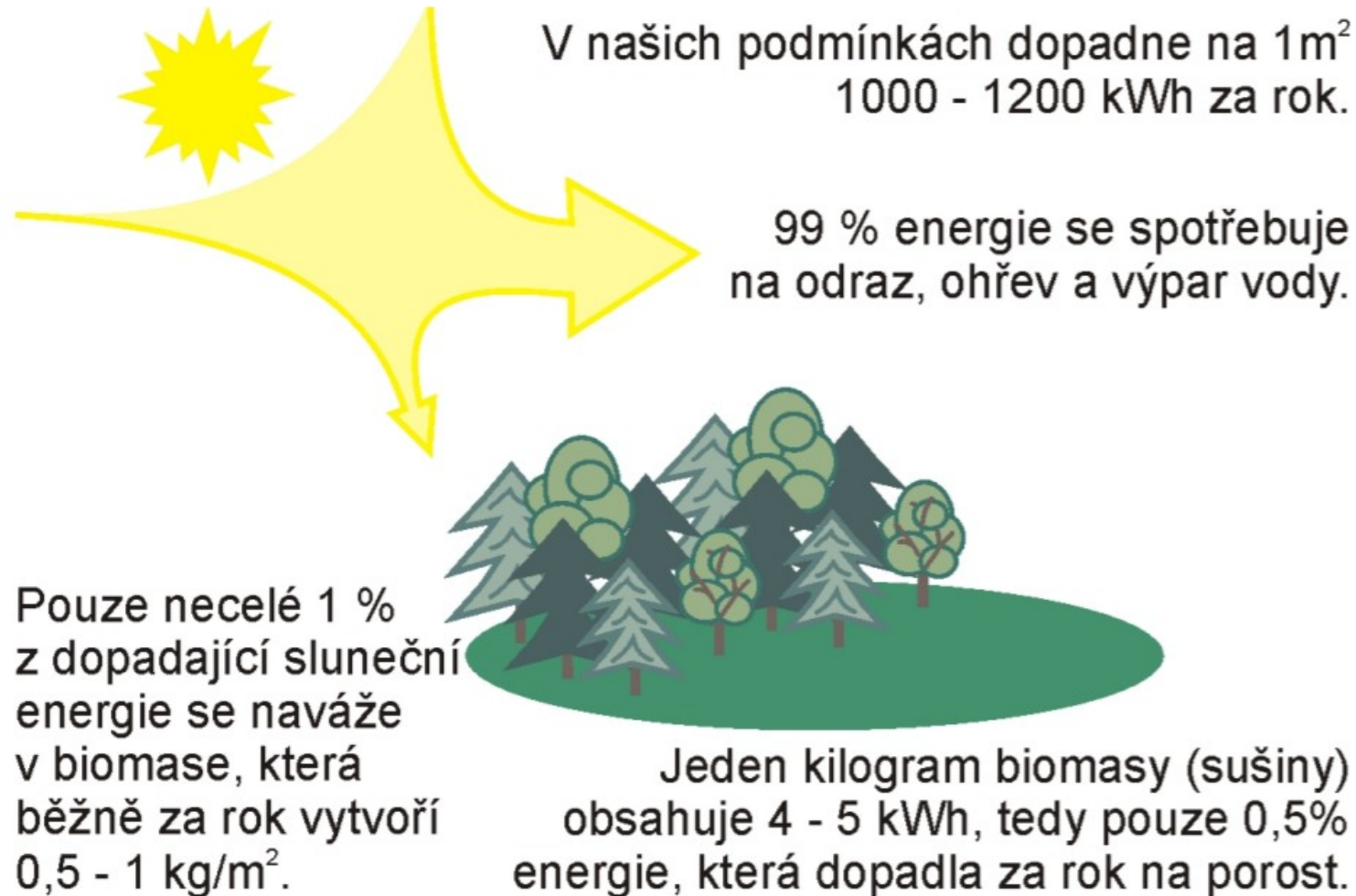
# Hydrologický cyklus



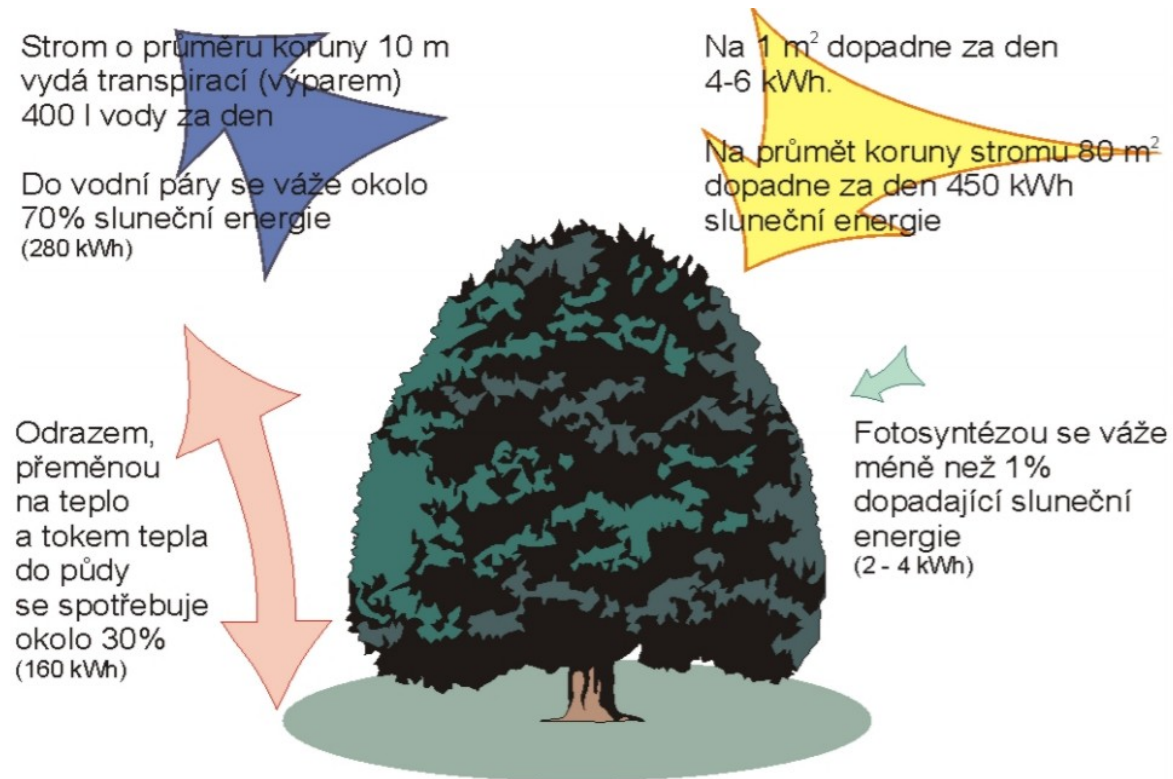
# Vztahy mezi vodou a krajinou



# Vztah bilance vody a energie



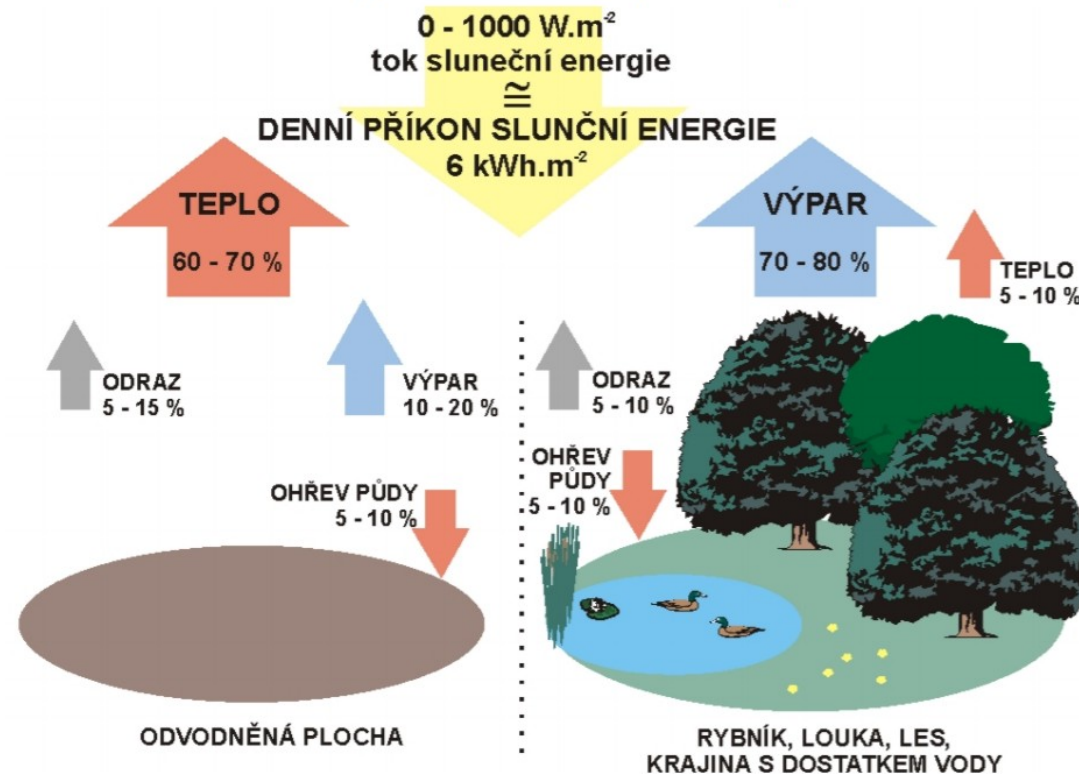
# Dokonalé klimatizační zařízení: strom



Jediný velký strom dostatečně zásobený vodou v létě chladí výkonem 20-30 kW.

# Energetická bilance krajiny

Srovnání toků sluneční energie na odvodněné ploše a v porostu zásobeném vodou.



# Antropogenní ovlivnění hydrologického cyklu

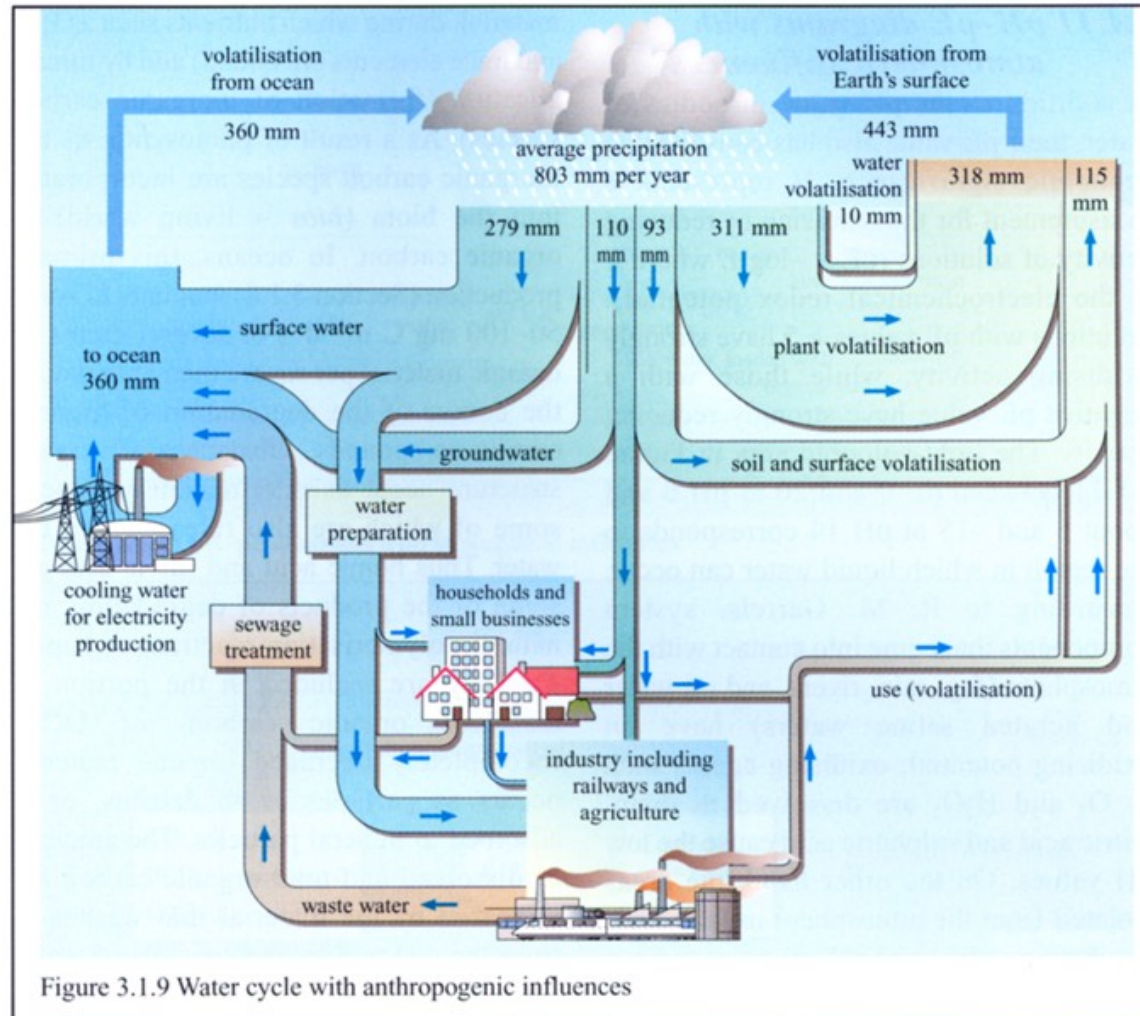
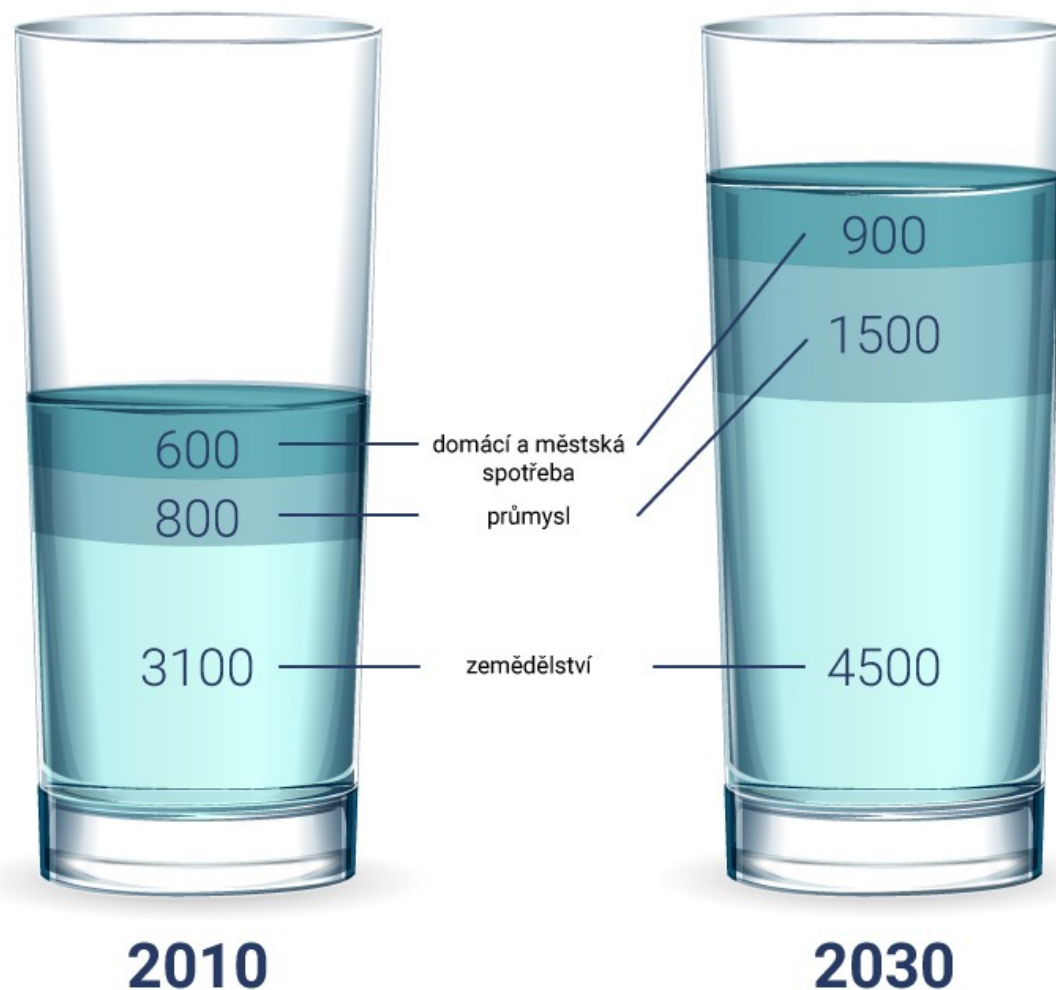


Figure 3.1.9 Water cycle with anthropogenic influences



# Odhadovaná spotřeba vody

Voda je kritickým zdrojem pro udržení života



# Led, sníh - kryosféra



# Různé formy výskytu ledu v Arktice



# Morfologie ledu



**krystalický hexagonální led**

**atmosférický tlak, teplota 0 až 273 K**



**polykrystalický led**



**amorfní led**

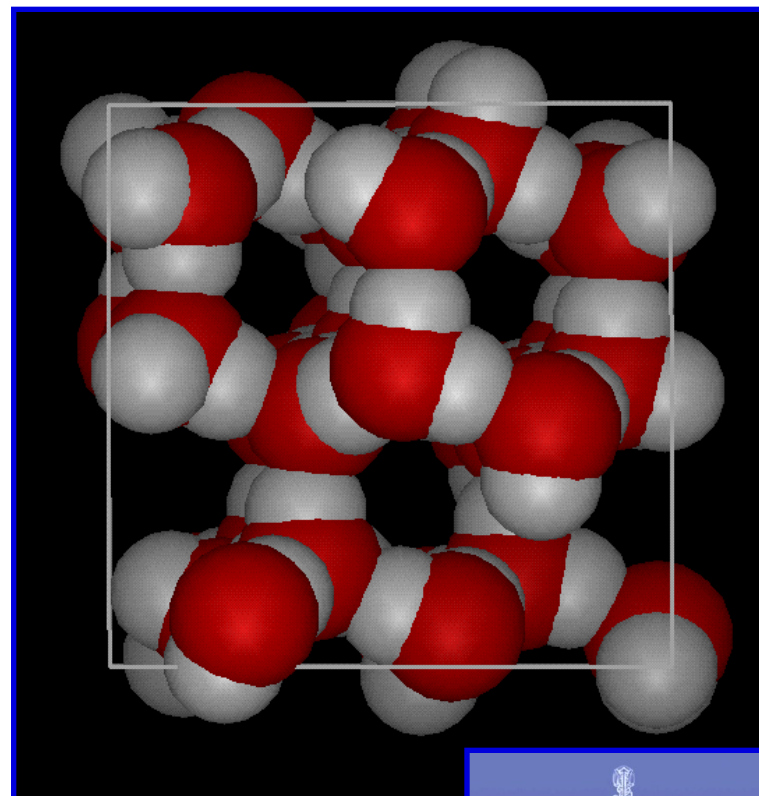
**velmi pomalá depozice vodní páry na  
povrch při  $< 130$  K**



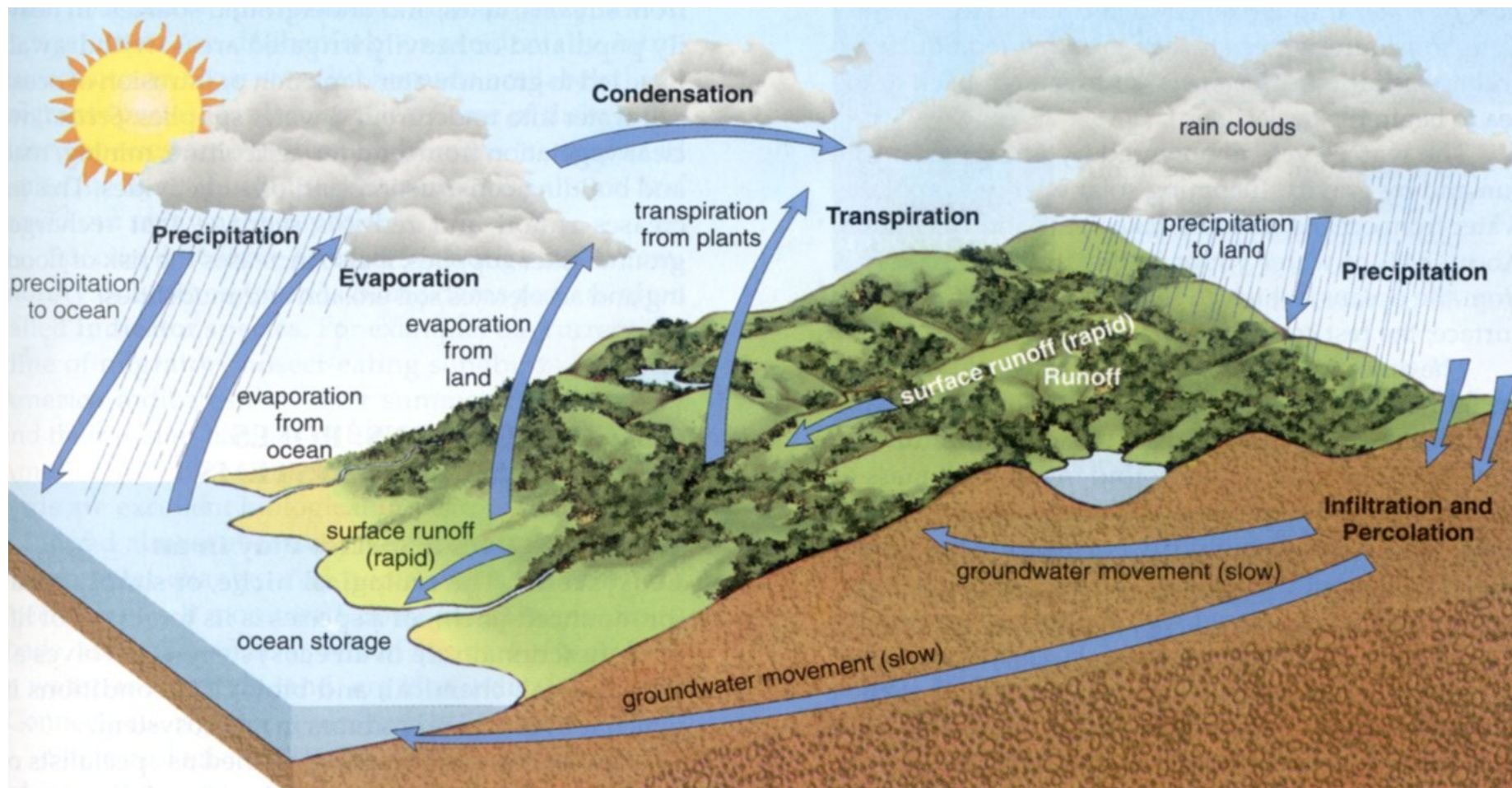
# LED – nejčtetnější, fascinující krystalická pevná látka

- Led na jezerech a řekách
- Mořský led
- Led v atmosféře
- Sníh
- Ledovcový a polární led
- Zmrzlý povrch
- 10 % povrchu planety
- 5 % povrchu oceánu
  
- Planetární led
- Mezihvězdný led

- ↺ Led *I<sub>h</sub>* (hexagonální) + 13 krystalických fází
- ↺ Vodíkové vazby ~20 kJ mol<sup>-1</sup>
- ↺ Tetrahedrální vazebná geometrie: 109.5°
- ↺ defekty / kanály



# Hydrologický cyklus



# Atmosférické vody

**Atmosférická voda** – veškerá voda v ovzduší bez ohledu na skupenství.

Atmosféra - 200 - 60 000 ppm (0,02 - 6 % H<sub>2</sub>O (g) )

**Vznik** - klesne-li T příslušné vrstvy vzduchu pod rosný bod za přítomnosti kondenzačních jader (kondenzace na tuhých površích) (H<sub>2</sub>O (g) → H<sub>2</sub>O (l) ).

**Nejčistší druh přírodní vody** (v okamžiku vzniku, pH=5,56)  
- průchod atmosférou - záchyt (g), (l), (s), velmi měkká voda, nízký osmotický tlak, není vhodná k pití, pH= 4-5.

# Atmosférické vody

**Srážky se měří v mm**  $\Rightarrow$  1 mm kapalných srážek = 1 l vody na 1 m<sup>2</sup>.

**Úhrn srážek (srážkový úhrn)** – celková výška srážek spadlých na danou plochu za uvažované období.

**Trvání srážek.**

**Intenzita deště** (průměrná nebo okamžitá) – podíl úhrnu srážek a trvání.

**Celosvětový průměr srážek** - 900 mm.r<sup>-1</sup> –

minimum - pouště (20 - 200 mm; 0 mm - poušť Atacama Chile)

maximum 2 000 - 5 000 mm (22 461 mm - Čerapudž, Indie, 1860-1).

**ČR** – kolem 700 mm ročně

**Obsah znečištění** - 10 - 100 mg.l<sup>-1</sup> - průmyslové oblasti, přímořské - podstatně vyšší.

**Srážky** - kapalné, tuhé, horizontální, vertikální.



# Suchá a mokrá atmosférická depozice

Chemické látky jsou transportovány z atmosféry na povrch vody a půdy **atmosférickou depozicí**.

**Atmosférická depozice:**

- ↪ mokrá,
- ↪ suchá.

**Mokrá atmosférická depozice** – suma vymývání deštěm (vnitrooblačné vymývání) a vymývacího, podoblačného procesu.

**Suchá atmosférická depozice** – suma depozice aerosolu a absorpce plynů.

# Schéma rozdělení celkové atmosférické depozice



# Suchá a mokrá atmosférická depozice

**Vnitrooblačné vymývání, podoblačné vymývání a depozice aerosolu** jsou jednosměrným advekčním transportním procesem – chemické látky jsou odstraňovány z atmosféry do vod a půd – tento mechanismus se realizuje pokud látka má vyšší fugacitu než ve vodě nebo půdě.

**Absorpce plynů** má difusní mechanismus. Dochází pouze k absorpci látky z plynné fáze vodou či půdou, pokud je fugacita ve vzduchu vyšší než fugacita ve vodě či půdě.

Pokud je fugacita ve vodě či půdě vyšší, výsledek je opačný, dochází k vytěkání.

# Mokrá atmosférická depozice

**Mokrá depozice** zahrnuje následující procesy:

- ↪ **vymývání nebo pod-oblačné vynášení** – proces, který probíhá pod oblaky, během kterého plyny a částice jsou absorbovány padajícími kapkami,
- ↪ **dešťové vymývání nebo vnitro-oblačné vymývání**, proces, který probíhá v oblacích, plyny nebo částice jsou vynášeny kapkami oblaků a chemické látky jsou vynášeny během dalšího deště.

# Mokrá atmosférická depozice

**Účinnost procesu mokré depozice** závisí na meteorologických faktorech jako je trvání, intenzita a typ srážek (sníh, déšť, kroupy), ale také na velikosti hustotě kapek. Důležitým parametrem je také rozpustnost v dešti nebo sněhu.

**Podoblačný proces** je účinným odstraňovacím procesem pro rozpustné plyny (nízká Henryho konstanta) a pro aerosoly o velikosti  $> 1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Pro méně rozpustné plyny (vyšší hodnoty Henryho konstanty) padající kapky budou absorbovat pouze malá množství látek pod oblaky.

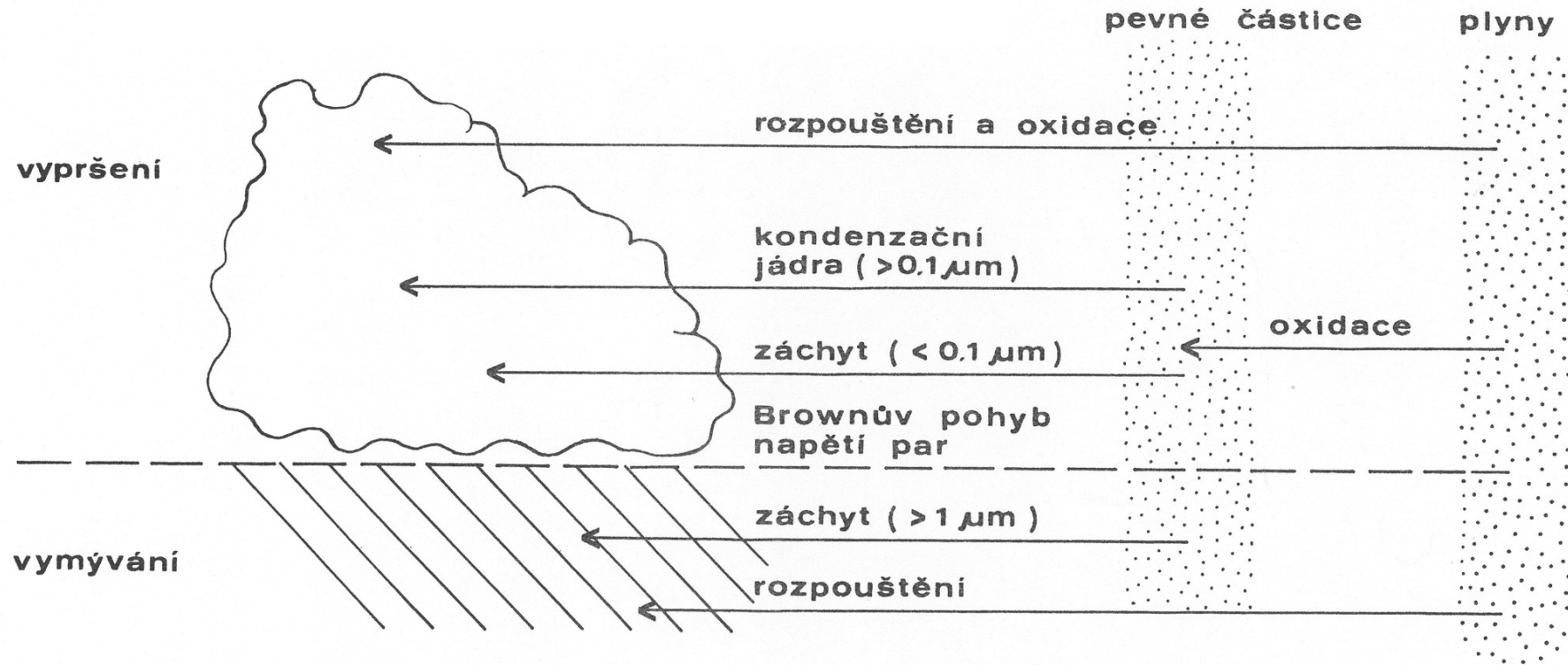
# **Mokrá atmosférická depozice**

**Pro plynné organické látky vnitro-oblačné bude nejdůležitějším atmosférickým vymývacím procesem.**

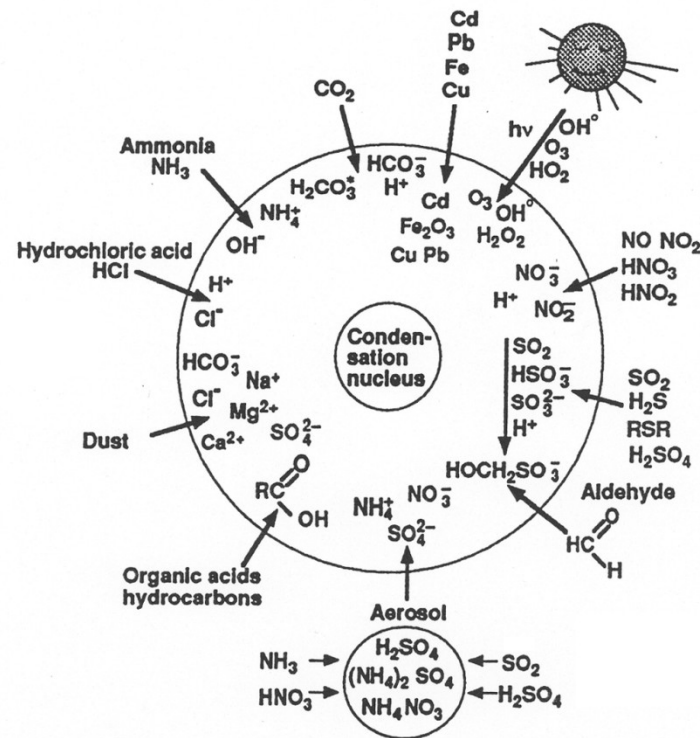
**Pod-oblačné vymývání je důležité v případě, kdy koncentrace pod oblaky jsou vyšší než koncentrace uvnitř oblaků, například v blízkosti emisních zdrojů.**

**V oblacích je vysoce účinným procesem příjem aerosolů kapkami oblaků.**

# Mechanismy znečištění mokré atmosférické depozice



# Interakce, které určují složení vodní kapky v atmosféře



**Figure 5.2.** Various interactions that determine the composition of a water droplet in the atmosphere (e.g., cloud, fog). Aerosol particles, which to a large extent consist of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  and  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , can form the nuclei for the condensation of liquid water. Various gases can become absorbed into the aqueous phase. The atmosphere is an oxidative environment; the water phase, often assisted by light, promotes oxidation reactions, for example, the oxidation of  $\text{SO}_2$  to  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and of organic matter to  $\text{CO}_2$ .  $\text{NH}_3$  neutralizes mineral acids and buffers the solution phase.

**Chemické složení –**  
závisí na složení a znečištění ovzduší ve spodní a střední vrstvě atmosféry.

**Místně velmi kolísá –**  
závisí kromě proměnlivé složení znečištění ovzduší na úhrnu srážek, jejich trvání a jejich intenzitě.



# Chemické složení a vlastnosti atmosférických vod

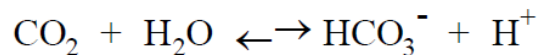
**Nejvíce jsou znečištěny srážkové vody v okolí velkých průmyslových center a sídlišť a nejméně v horských oblastech, pokud není jejich složení ovlivněno dálkovým transportem.**

**Celková mineralizace v oblastech bez antropogenního znečištění se pohybuje v jednotkách  $\text{mg l}^{-1}$ , výjimkou jsou mořské srážky.**

**V antropogenně zatížených oblastech bývá mineralizace vyšší než  $10 \text{ mg l}^{-1}$ .**

# Chemické složení a vlastnosti atmosférických vod

Dominan



The concentrations of  $\text{H}^+$  and  $\text{HCO}_3^-$  are calculated from  $K_{a1}$ :

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{1.146 \times 10^{-5}} = 4.45 \times 10^{-7}$$

pH – C  
ky  
vo

$$[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] = (1.146 \times 10^{-5} \times 4.45 \times 10^{-7})^{1/2} = 2.25 \times 10^{-6}$$

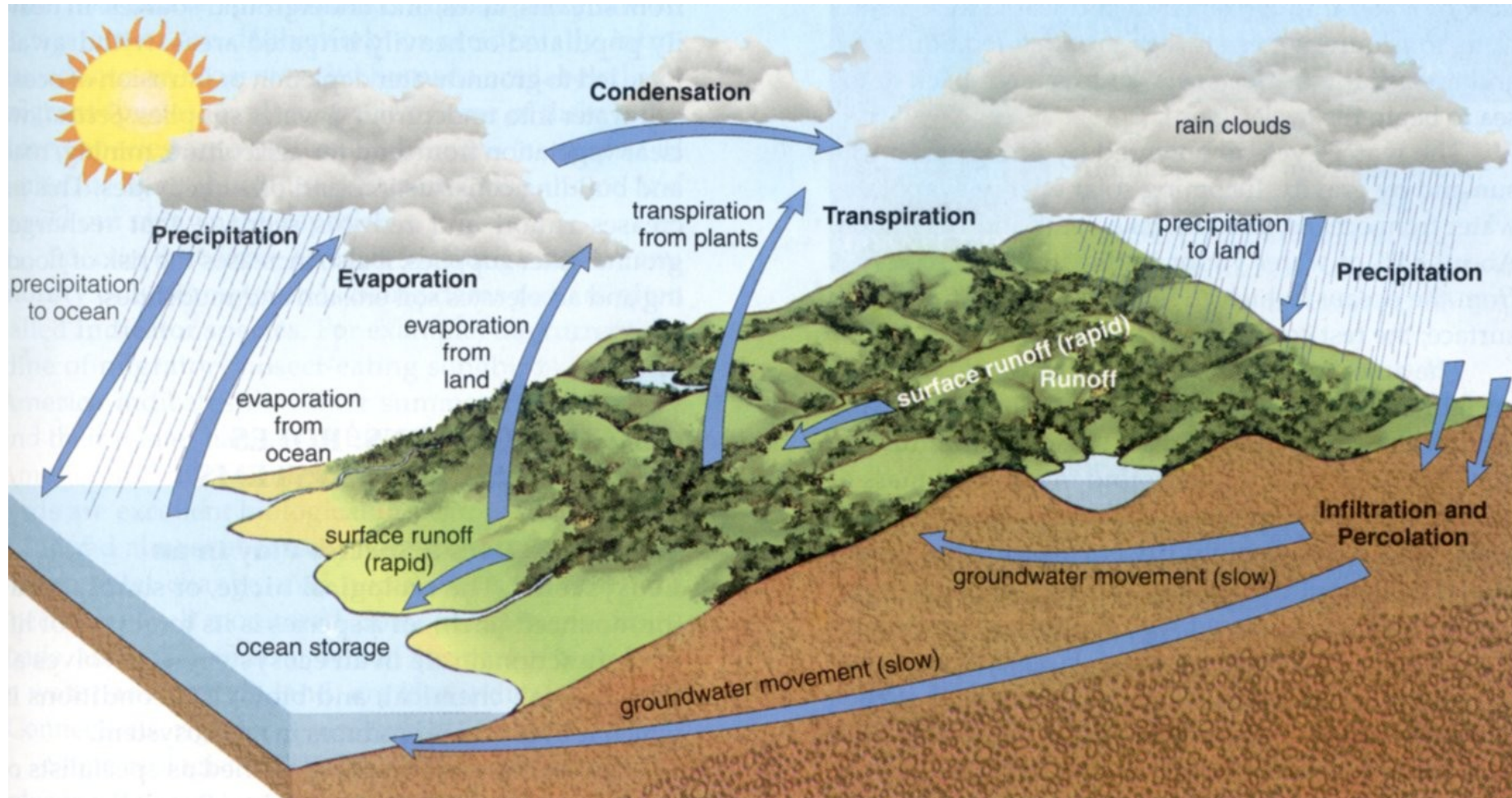
$$\text{pH} = 5.65$$

ytující

žek – 5,6 -  
ovat jako  
a

uhličitanového systému a na kyselosti se začínají podílet silné minerální kyseliny.

# Hydrologický cyklus

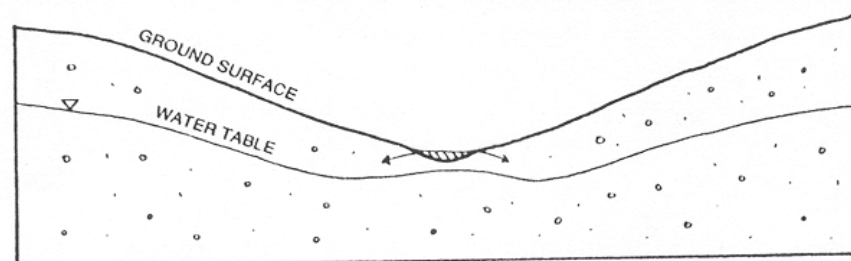


# Podzemní vody

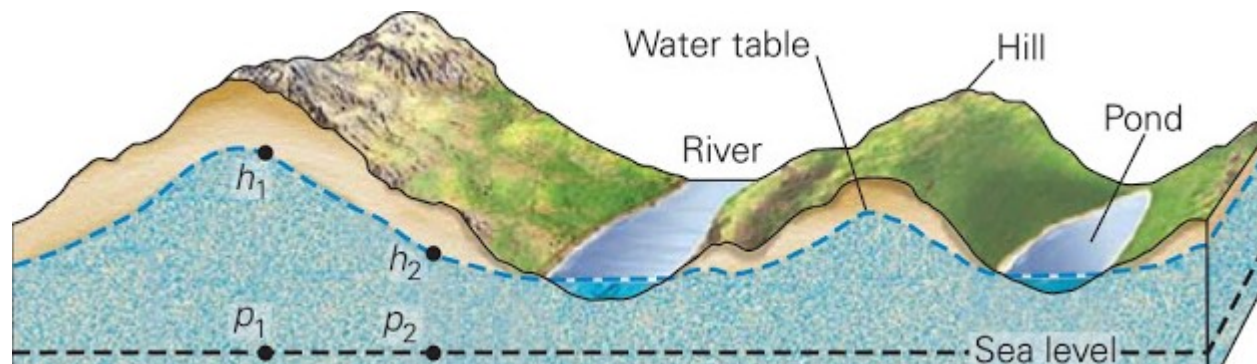
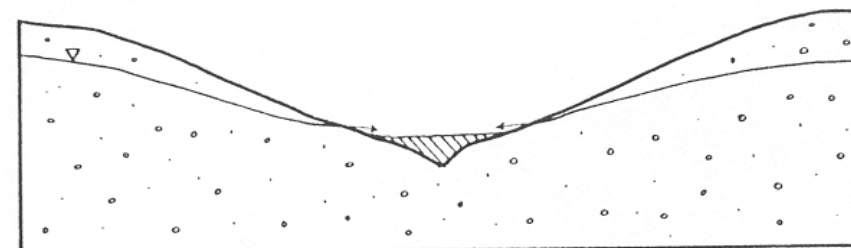
V hydrosystému patří značná úloha vodním tokům, které splňují především tři hydrologické funkce:

- odvádí povrchovou a srážkovou vodu
- v místech, kde je hladina podzemní vody nízká, zavlažují okolí
- v místech, kde je hladina podzemní vody vysoká, odvádějí přebytečnou vodu

Dva poslední uvedené body zobrazuje obrázek:



(a)



# Podzemní vody

Pod zemským povrchem, všechny formy a skupenství.

**Podle původu:**

- ↪ **Vadózní** - průsakem (infiltrací) srážkových a povrchových vod, kondenzací vodní páry atmosférického původu pod povrchem,
- ↪ **Juvenilní** - kondenzace par unikajících z chladnoucí magmy (termické prameny, zřídla, gejzíry).
- ↪ **Fosilní** - podzemní voda uchovaná v dutinách hornin z minulých geologických období a neúčastnící se v průběhu delšího časového období koloběhu vody v přírodě.

# Podzemní vody

**Podpovrchová voda** – voda v zemské kůře ve všech skupenstvích:

↪ **vázaná chemicky** (krystalická) - hydrologicky nevyužitelná,

↪ **vázaná mechanicky:**

- v pásmu nasycení - podzemní,
- v pásmu aerace – půdní

# Podzemní vody

**Půdní** – veškerá voda v půdě, která obvykle nevytváří souvislou hladinu:

- ↪ **gravitační** - pohyb a účinek dán působením gravitačních sil,
- ↪ **kapilární** - kapilární síly v malých pórech - závěsná, podepřená

**Podzemní** – voda přirozeně se vyskytující v horninovém prostředí, pokud není vázána kapilárními silami:

- ↪ **obyčejné (prosté),**
- ↪ **minerální** – speciální kritéria
- ↪ **důlní** – všechny vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů a to až do jejich spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami.

# Podzemní vody





# Podzemní vody

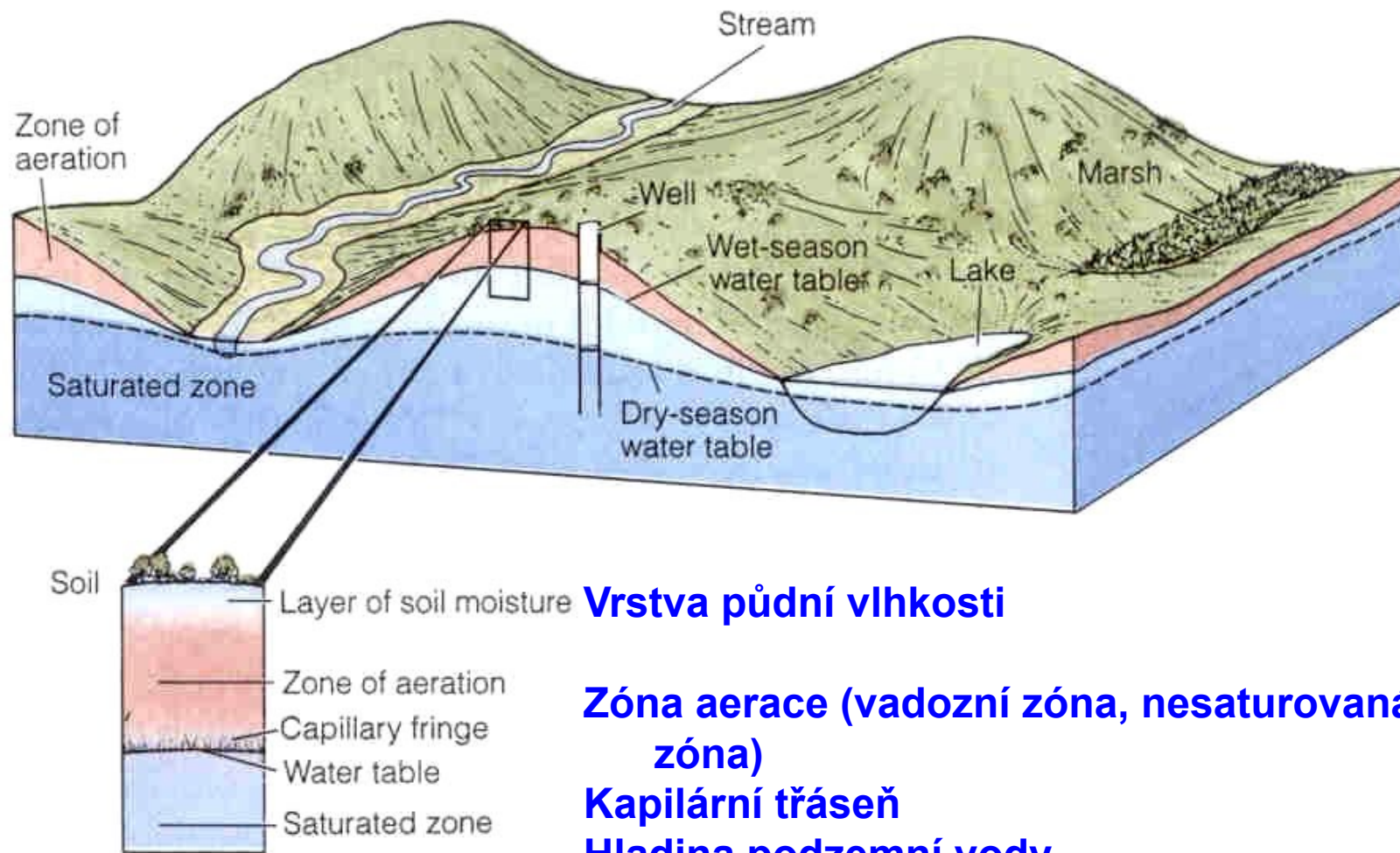
**Podmínky pro vznik podzemní vody** jsou přibližně do hloubky 10 km pod zemským povrchem.

**Zásoby podzemní vody se doplňují trojím způsobem:**

- **Infiltrací srážkových a povrchových vod (nejvýznamnější)**
- **Kondenzací vodních par v půdě**
- **Vznikem a kondenzací vodních par z magmatu**

**Část podzemních vod vzniká břehovou infiltrací – pronikáním povrchových vod z nádrží nebo toků do kolektorů vlivem hydraulického gradientu.**

# Podzemní vody



**Vrstva půdní vlhkosti**

**Zóna aerace (vadozní zóna, nesaturovaná zóna)**

**Kapilární tržaseň**

**Hladina podzemní vody**

**Saturovaná zóna**

# Podzemní vody

**Většina podzemní vody je v pohybu.**

**Pohyb závisí na:**

- ↪ **porozitě** (procentické zastoupení pórů)
- ↪ **permeabilitě** (měřítko snadnosti pohybu vody)



In very small spaces water is held by molecular attraction.

**Molekulární  
přitažlivost**



Water can move through larger spaces, although some is held.

**Při stejné porozitě různá  
permeabilita**

# Podzemní vody

K pochopení hydrogeologických podmínek je nutné znát fyzikálně-chemické vlastnosti horniny v zájmové oblasti.

Nejdůležitější vlastností pro tok podzemní vody je **porozita horniny**.

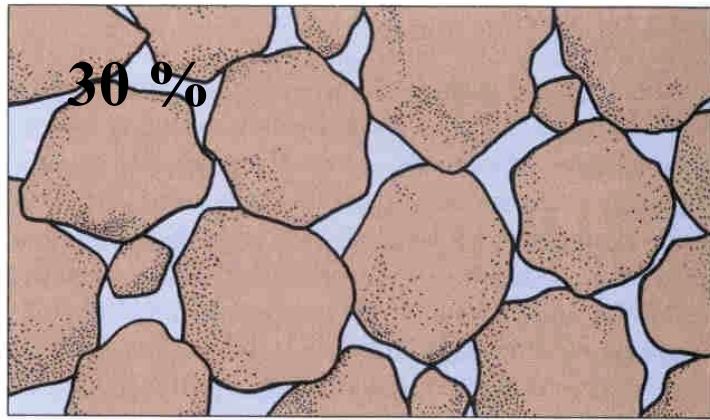
Pokud je celkový objem krychle horniny  $V_t$ , objem pevných částic  $V_s$  a objem volného prostoru  $V_v$ , potom je **porozita  $N$**  definována následujícími vztahy:

$$V_t = V_s + V_v$$
$$N = V_v/V_t = 1 - ( V_s/V_t )$$

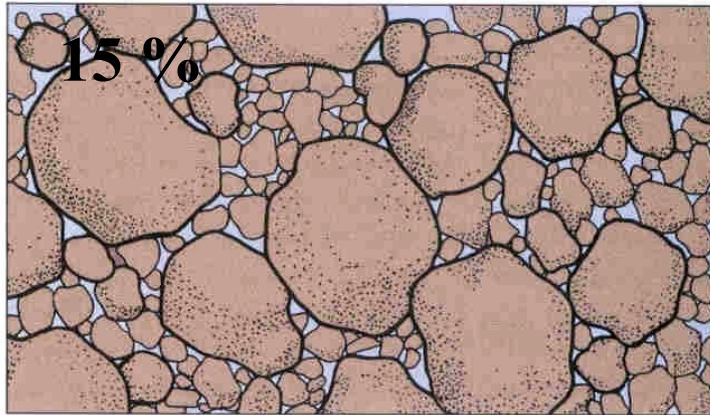
# Podzemní vody

**Porozita je velmi důležitý  
parametr pro odhad rychlosti  
šíření kontaminace  
v podzemí.**

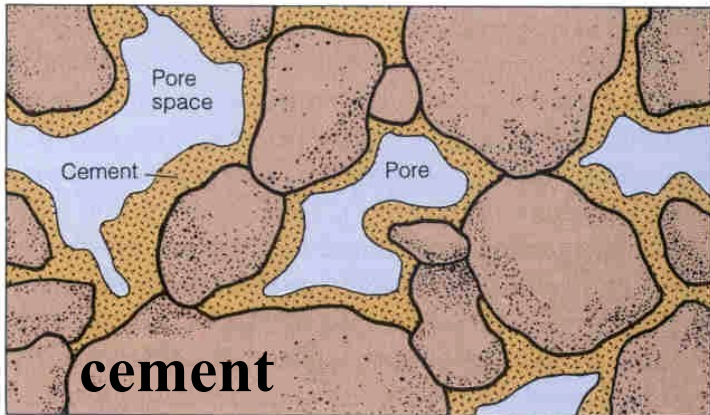
**Závislost prolínání vody  
horninou v závislosti na její  
struktuře**



A.

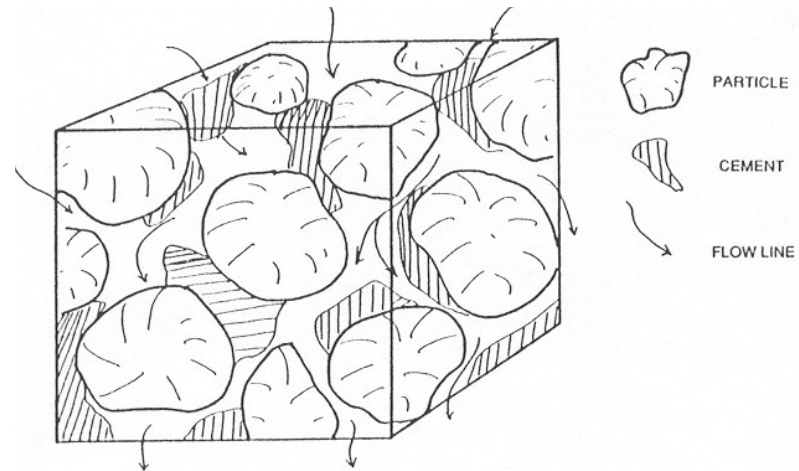


B.



C.

0 0.5mm



# Podzemní vody

**Porozita** závisí na struktuře horniny.

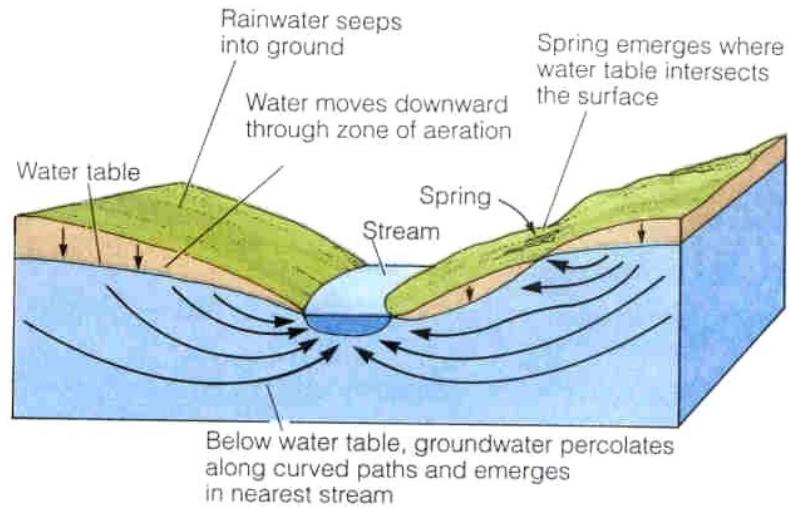
Kubická struktura má průměrně 32 % volného prostoru, hexagonální struktura kolem 26 %.

Porozita kolísá v širokém rozmezí, hodnotu menší než 1 % má beztvará krystalická břidlice, porozitu 50 % tvořící se jí.

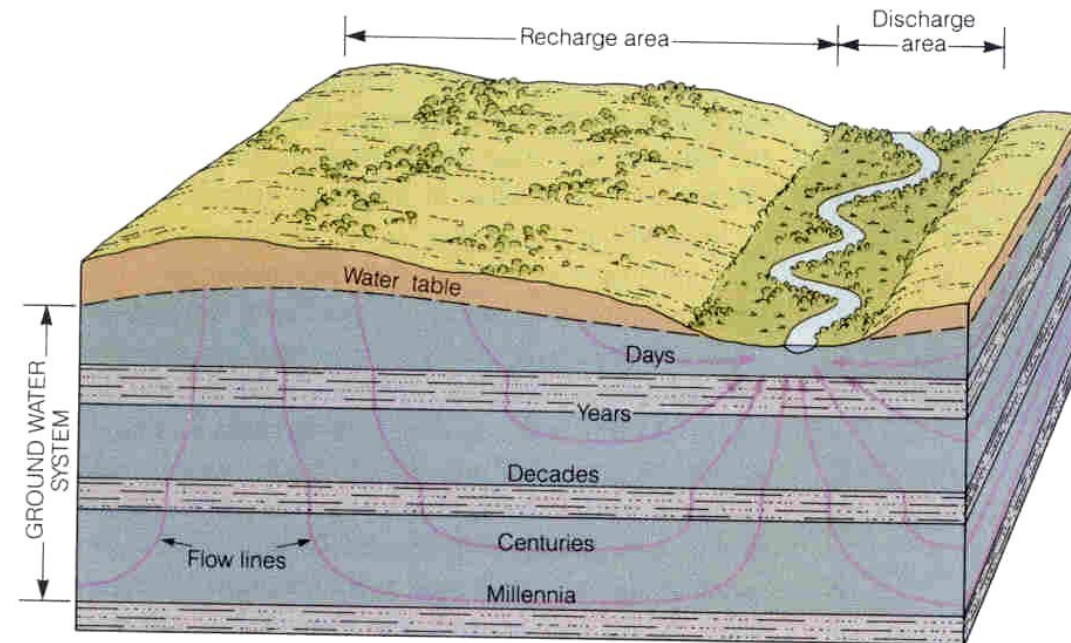
Typické hodnoty porozity pro různé typy hornin:

| <b>Materiál</b>     | <b>Porozita ( % )</b> |
|---------------------|-----------------------|
| štěrk               | 25-40                 |
| písek               | 25-50                 |
| bahno, naplavenina  | 35-50                 |
| jíl                 | 40-70                 |
| pískovec            | 5-30                  |
| vápenec             | 5-30                  |
| břidlice            | 1-10                  |
| krystalická hornina | 1-10                  |

# Pohyb podzemní vody



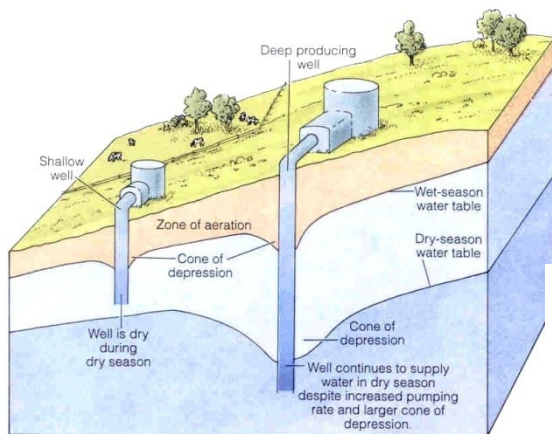
**Pohyb v zóně aerace (půdní vlhkost)**  
**Pohyb v saturované zóně (perkolace)**



**Oblast doplňování a  
odvodňování – časový režim**

# Pohyb podzemní vody

## Sezónní vlivy



## Darcyho zákon:

$$Q = kA \frac{h_a - h_b}{L},$$

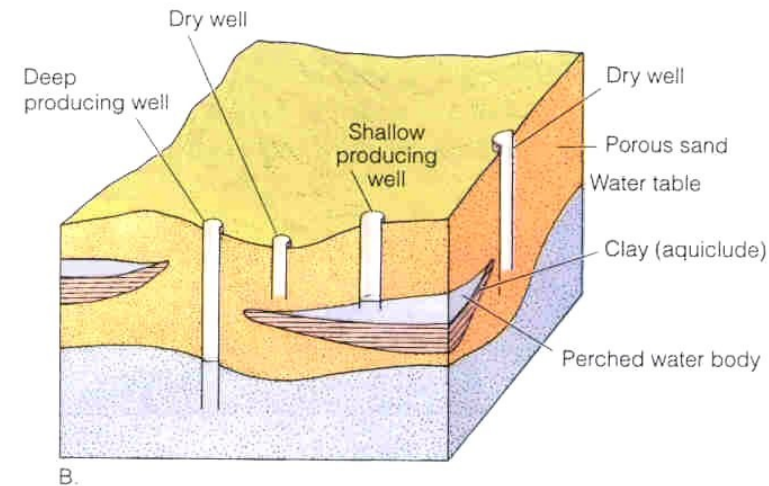
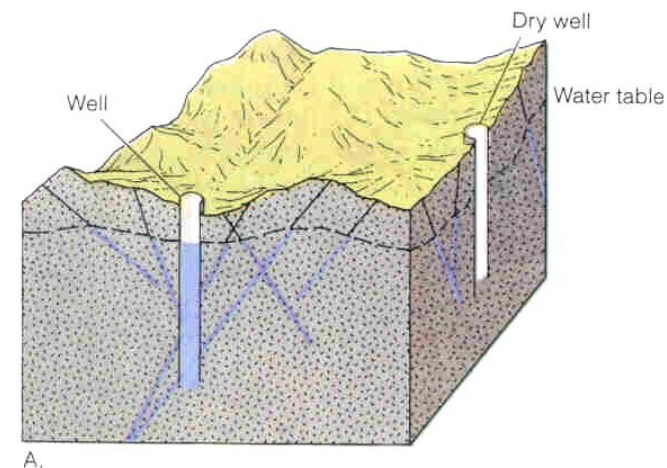
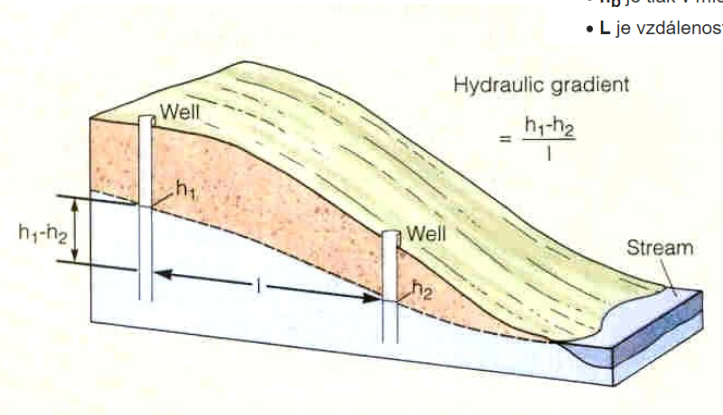
resp.:

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot (h_a - h_b)}$$

kde:

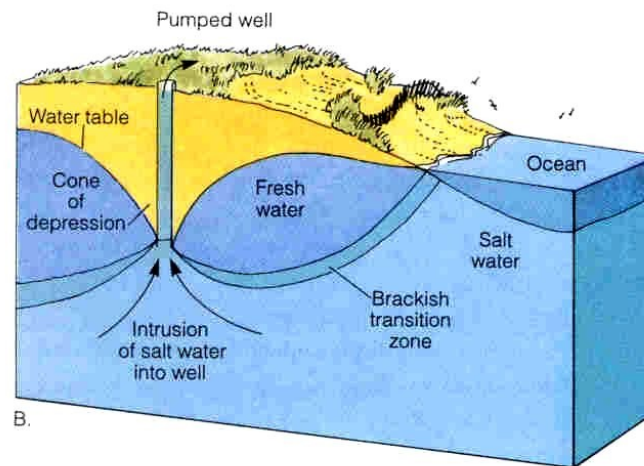
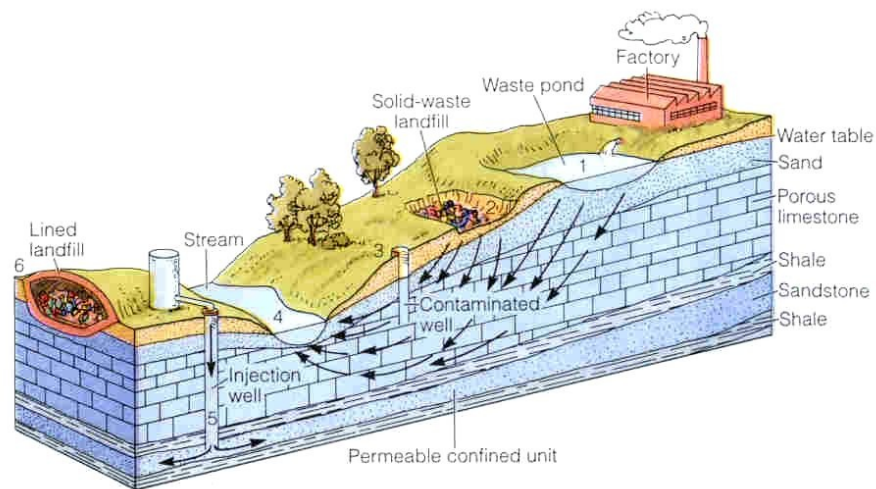
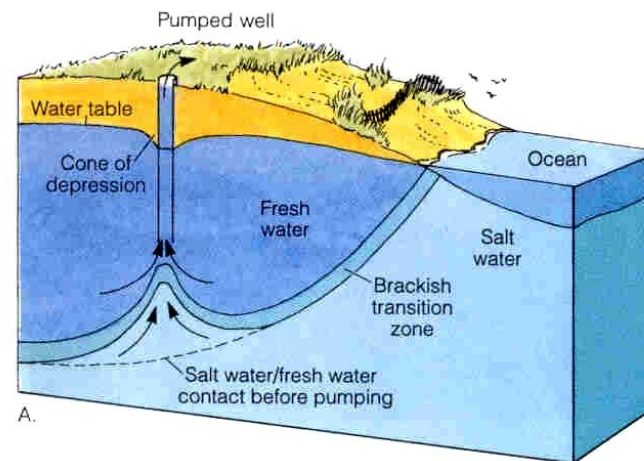
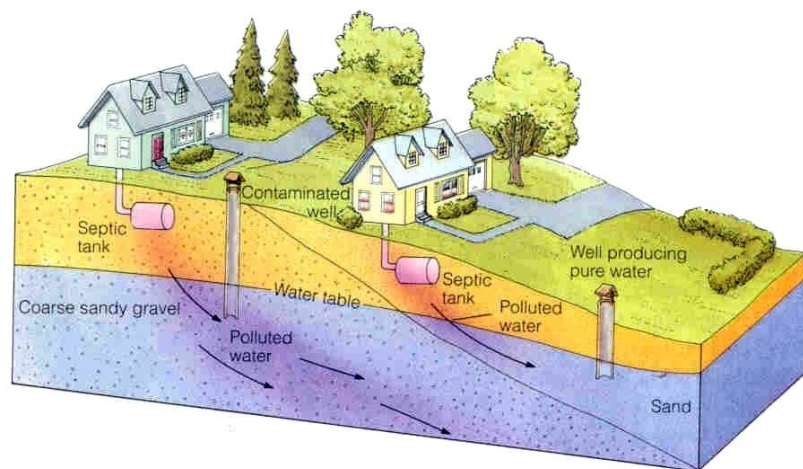
- $Q$  je průtok pronikající kapaliny v  $m^3/s$
- $k$  je koeficient filtrace nebo Darcyho koeficient. Udává se v  $m/s$ .
- $A$  je plocha v  $m^2$ , kterou proudící médium protéká
- $h_a$  je tlak v místě vtoku média do materiálu
- $h_b$  je tlak v místě výtoku média z materiálu
- $L$  je vzdálenost mezi místy  $a$  a  $b$  v  $m$ .

## Rychlost proudění

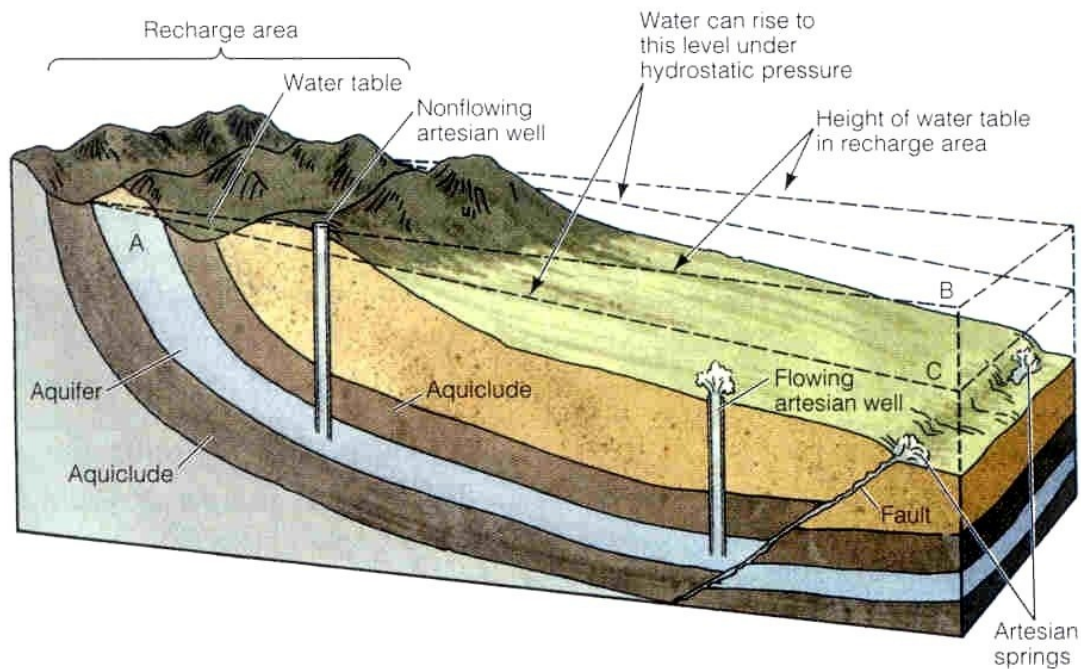




# Pohyb podzemní vody



# Artézské systémy



Vlivy nadměrného čerpání  
Snížení hladiny podzemní vody  
Kompakce a poklesy

Soupeření o povrchovou vodu  
Přenos mezi povodími

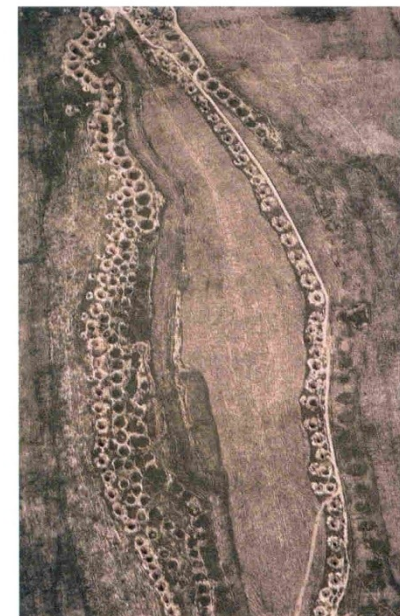
# Dopady

- Amu Darja, Syr Darja (hranice mezi Kazachstánem a Uzbekistánem)
- Před třiceti lety bylo Aralské jezero čtvrtým největším jezerem světa (68 000 km<sup>2</sup>, 16 m hloubka, 45 000 tun ryb ročně)
- Zavlažování: rybářské vesnice jsou 50 km od břehů, 40 000 km<sup>2</sup>, 9 m hloubka

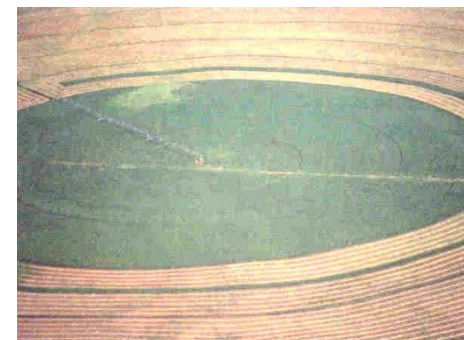


**Aralské  
jezero**

**Zavlažování v  
Kanadě**

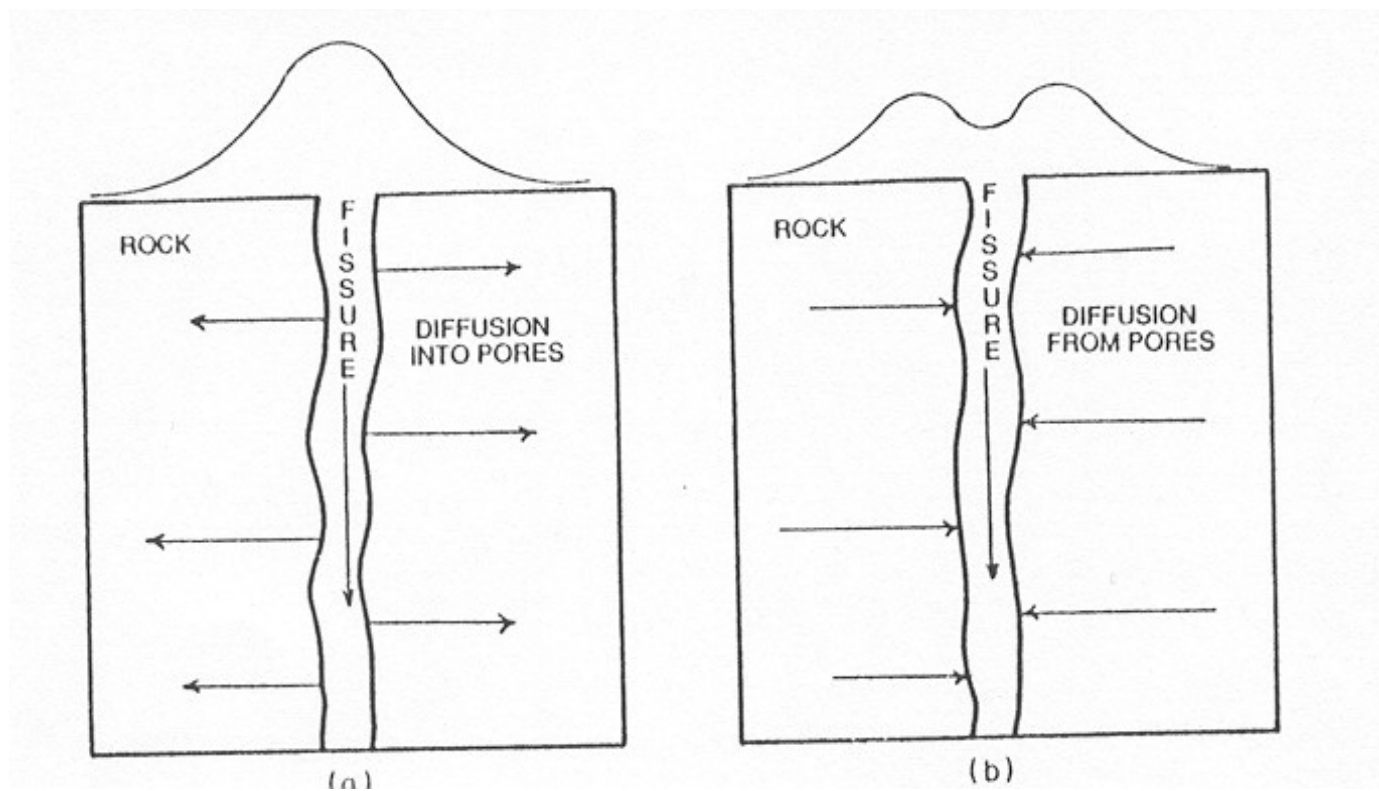


**Zavlažovací systém  
v Iráku**



# Podzemní vody

Hydrogeologické podmínky mohou ovlivňovat kontaminaci do nenasurované či saturevané zóny v závislosti tlakovém gradientu podzemní vody:



# Chemické složení podzemní vody

**Chemické složení podzemních vod** je výsledkem vzájemného působení srážkových a povrchových vod, podzemní atmosféry a horninového prostředí – složení půd a hornin.

**Složení PV je ovlivňováno:**

- **Přímým rozpouštěním** – nepříliš významné s výjimkou kontaktu se snadno rozpustnými minerály na bázi síranů a chloridů – sádrovec, anhydrit, kamenná sůl. Dochází také k přímému rozpouštění huminových látek z půdy.
- **Chemickým působením** – působení  $\text{CO}_2$  nebo minerálních kyselin (důlní vody) – převod málo rozpustných uhličitánů na hydrogenuhličitany, obecně hydrolytické reakce.
- **Vliv srážkových a povrchových vod** – dle jejich složení
- **Modifikující přeměny** – primárně vzniklé komponenty podléhají druhotným modifikujícím přeměnám výměnou iontů, chemickou a biochemickou oxidací a redukcí – tzv. **metamorfóza chemismu**.

# Znečištění podzemní vody

## Přirozené znečištění:

- ↪ během infiltrace půdními a horninovými vrstvami - rozpouštění, vyluhování -  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , méně  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , stopové prvky
- ↪ za přítomnosti  $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_2$ :
  - $\text{CO}_2$ :  $\text{CaCO}_3$  (Mg, Fe, Mn) - málo rozpustné;  $\text{HCO}_3^-$  - lépe,
  - redox děje:  $\text{S}^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ ,
  - biochemické děje - redox - aerobní biologický rozklad OL v provzdušněných vrstvách půdy, nitrifikace; anaerobní – redukce  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

# Znečištění podzemní vody

- **Potenciálně nebezpečné**
- **Rozpustné ve vodě**
- **Resistentní vůči biodegradaci**
- **Užívané ve velkých množstvích**
- **Toxické nebo škodlivé člověku**

# Znečištění podzemní vody

## Antropogenní:

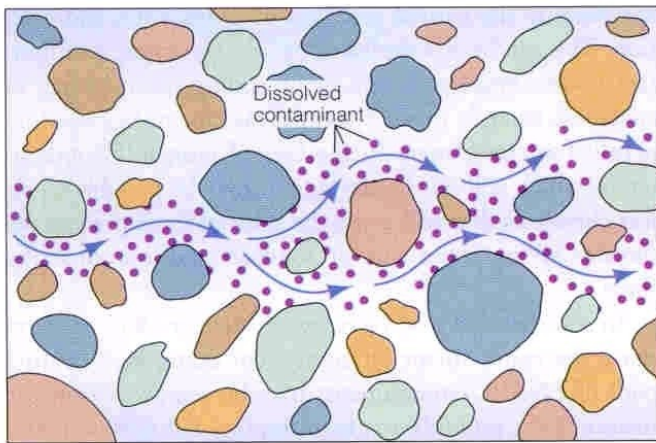
- Průsaky pesticidů a hnojiv ze zemědělsky obdělávaných půd
- Odpady (močůvka, silážní šťávy, skládky..), domácí a komunální odpad - v pískách se rychle vyčistí – mechanická filtrace bakterií, oxidace bakteriemi, kontakt s organismy, které se živí bakteriemi
- Ropné produkty
- Detergenty
- Rozpouštědla
- Dioxiny (málo rozpustné ve vodě = problém s kontaminací sedimentů, malý problém pro podzemní vody)



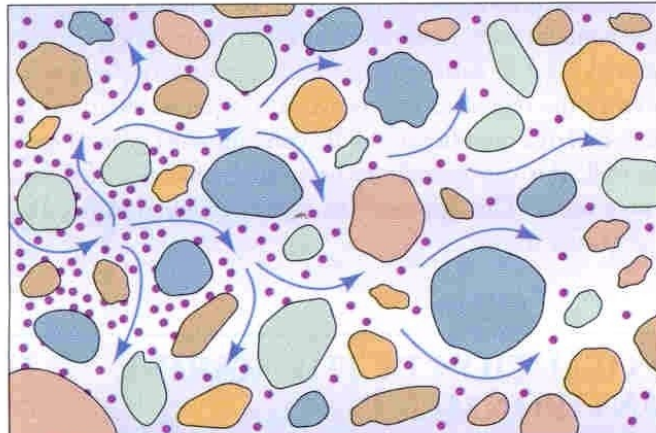
# Znečištění podzemní vody

- Běžná kontaminace **dusičnany** (hnojiva, odpady, skládky) a další zemědělské chemikálie
- 20 z 25 nejzastoupenějších kontaminantů = **těkavé organické látky**
- Benzen, toluen, ethylbenzen, xylen (BTEX – benzin)
- DCE, TCE, PCE
- Prosakující podzemní nádrže („LUST“ – leaking underground storage tanks)
- Kontaminace slanou vodou

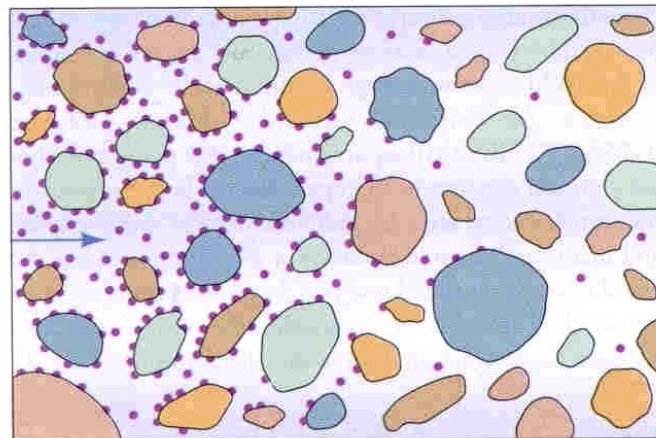
# Chování kontaminantů pod povrchem



A. Advective flow

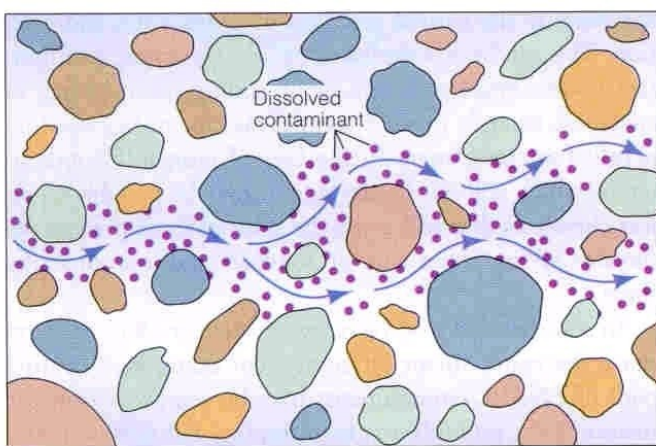


B. Dispersion

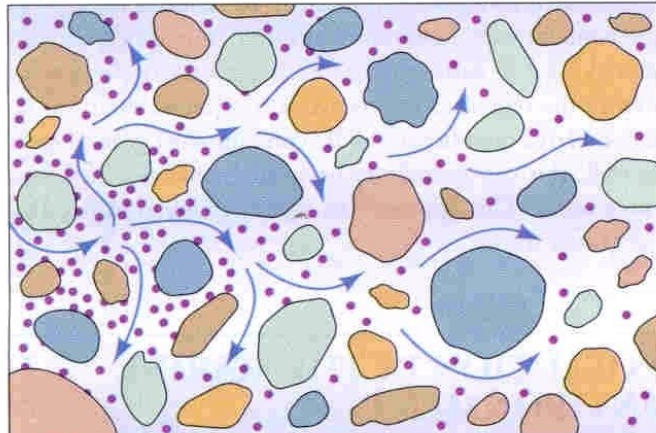


- Chování kontaminantů pod povrchem
- Porosita, permeabilita
- Hladina podzemní vody, saturevaná a nesaturevaná zóna
- Transport kontaminantů
- Kontaminační mrak
- Normální tok vody propustným prostředím – advekce

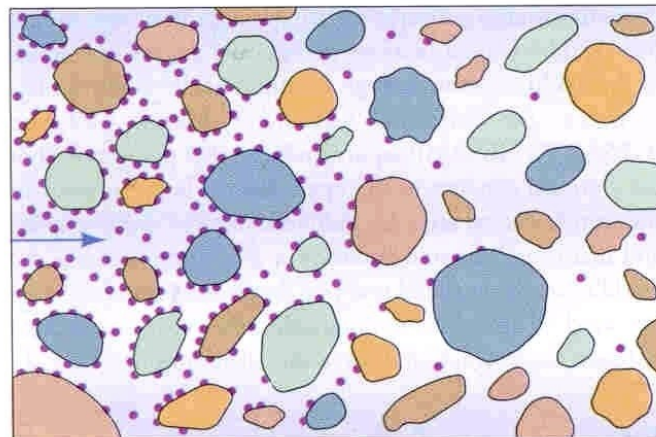
# Chování kontaminantů pod povrchem



A. Advective flow



B. Dispersion



- Kontaminant
- Stejnou rychlostí – nezpomalený, neretardovaný
- Pomaleji – zpomalení, retardace
- **Retardační faktor  $R = V_v / V_k$**
  
- Retardace
- Sorpce
- Disperze
- Biodegradace
- Retardační faktor je možné zjišťovat sledováním pohybu nezpomalované složky (např.  $Cl^-$ ), která je obsažena v kontaminačním mraku.

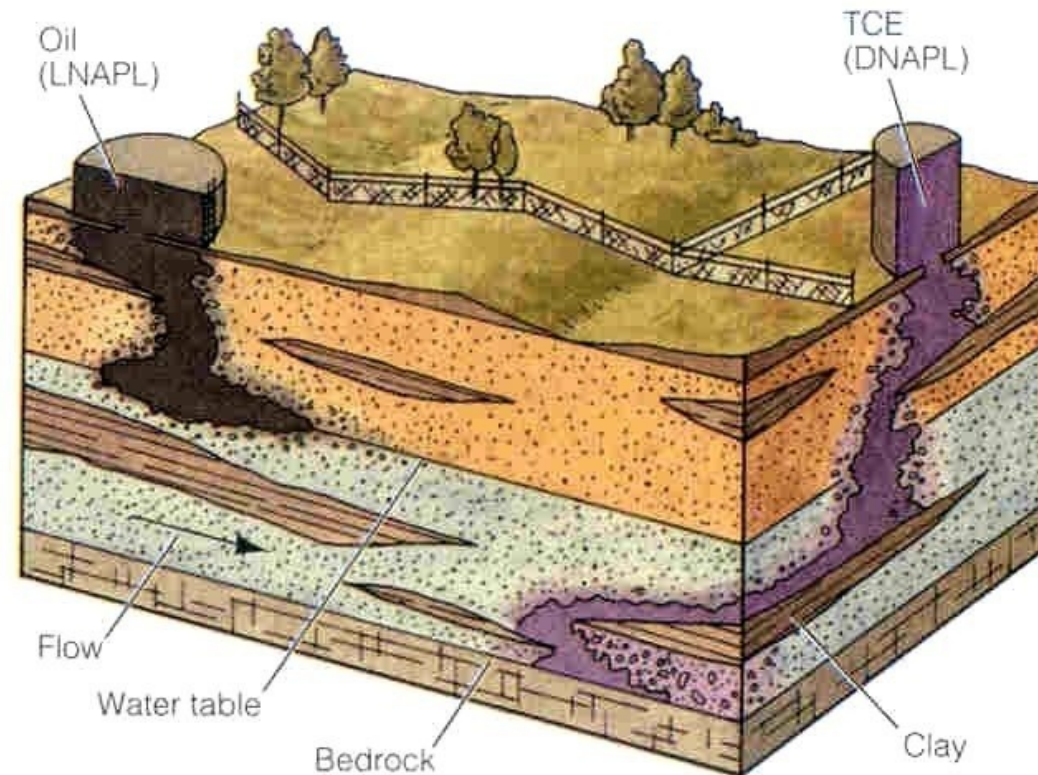
# Chování kontaminantů pod povrchem

## Důležité charakteristiky:

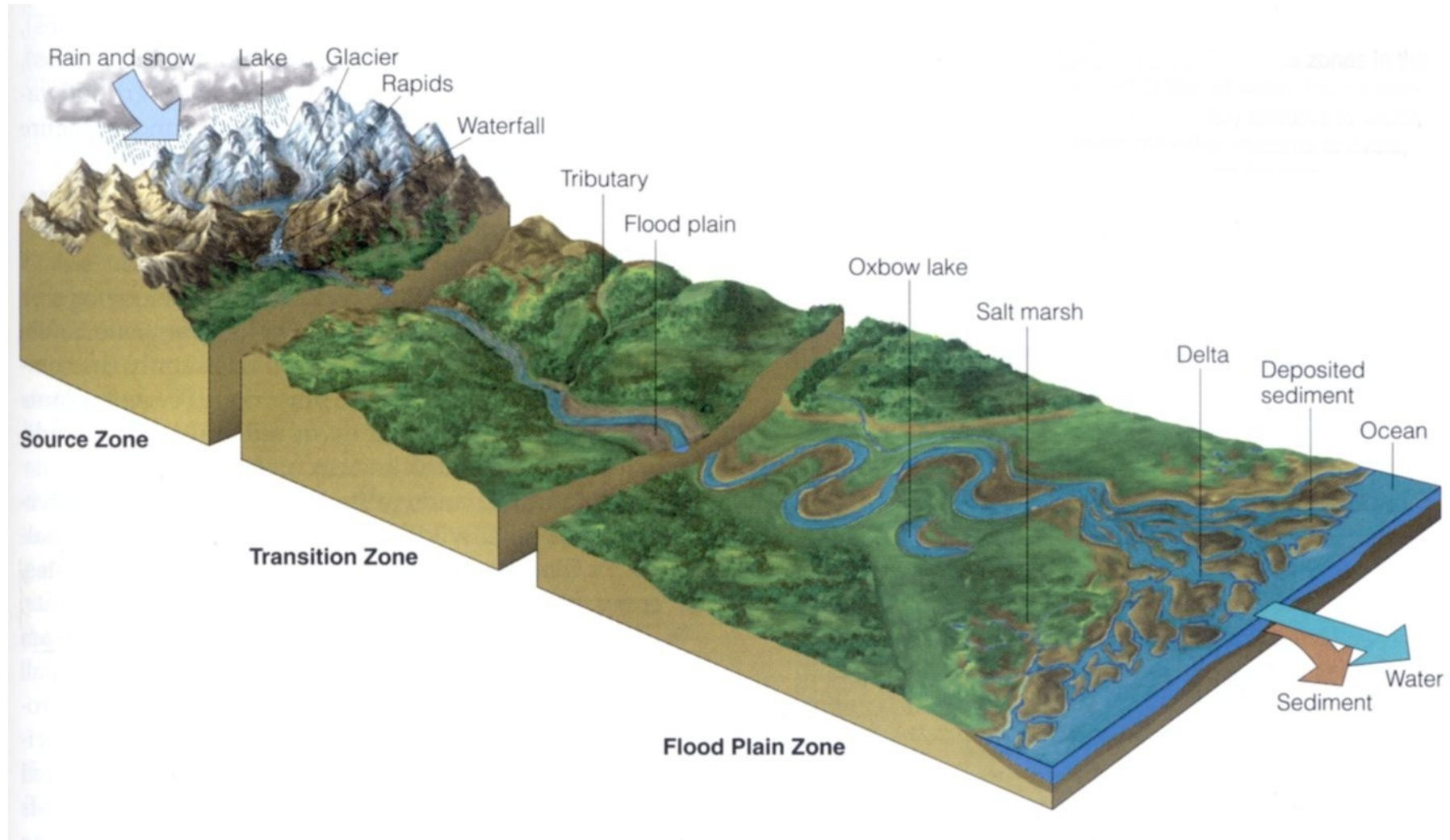
- ↪ Hustota kontaminantu ve vztahu k podzemní vodě
- ↪ Lehčí (LNAPL – light nonaqueous phase liquid) – benzin
- ↪ Těžší (DNAPL – dense ...) – TCE

## Dekontaminace:

- ↪ Aktivní
- ↪ Pasivní („nulová“ varianta)
- ↪ Přirozená atenuace (zeslabení, útlum)
- ↪ Biostimulace



# Hydrologický cyklus



# Povrchové vody

**Vody odtékající nebo zadržované v přirozených a umělých nádržích na zemském povrchu.**

**Vzniká ze srážek, z výronů podzemní vody, táním ledovců.**

**Vodní recipient - vodní útvar přijímající vodu z určitého povodí:**

- ↪ **přirozený**
- ↪ **umělý**

**Dle pohybu vody:**

↪ **vody stojaté:**

- **přirozené (oceány, moře, jezera, močály)**
- **umělé (rybníky, přehrady)**

↪ **vody tekoucí:**

- **přirozené - potoky, bystřiny, řeky**
- **umělé - kanály, průplavy.**

# Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – stojaté vody - základní charakteristiky

**Chemické složení stojatých vod se mění zejména ve vertikálním směru a do určité míry ve směru horizontálním – u nádrží v závislosti na průtoku vody nádrží.**

**Má své denní i sezónní variace – v závislosti na změnách teploty, koncentrace rozpuštěného kyslíku a oxidu uhličitého, chemických a biochemických procesech – nitrifikace, denitrifikace, oxidace, redukce, srážecích a rozpouštěcích procesech, adsorpci a desorpci - dominují změny redox potenciálu a pH.**

# Hydrologický cyklus – typy povrchových vod

## – stojaté vody - základní charakteristiky

**Z těchto příčin dochází k vertikální stratifikaci:**

- teploty,
- rozpuštěného kyslíku,
- volného  $\text{CO}_2$
- sloučenin N a P
- Fe, Mn, a kovů vyskytujících se ve více oxidačních stupních (Cr, As)
- Hodnot pH a  $\text{KNK}_{4,5}$
- Ca (pokud dochází ke srážení kalcitu)

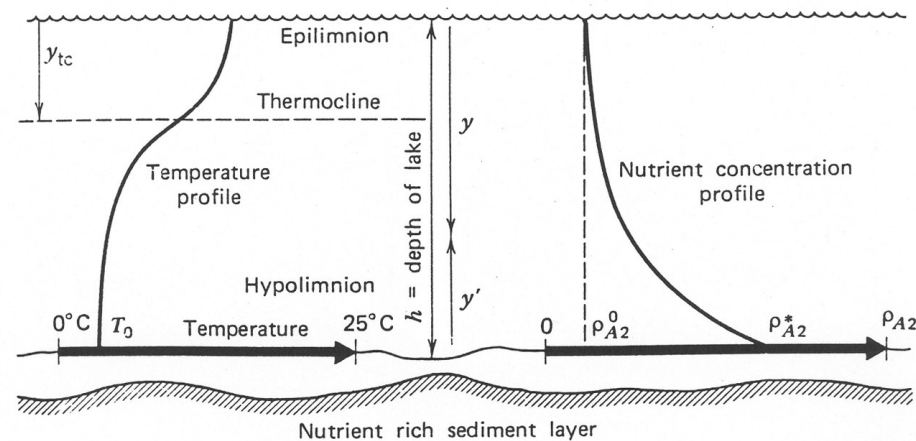


Figure 5.2-1. Typical lake-water column conditions.



# Stojaté vody – teplotní stratifikace

**Charakteristickou je stratifikace teploty (termální, teplotní stratifikace) - souvisí se změnou hustoty vody v důsledku teplotních změn.**

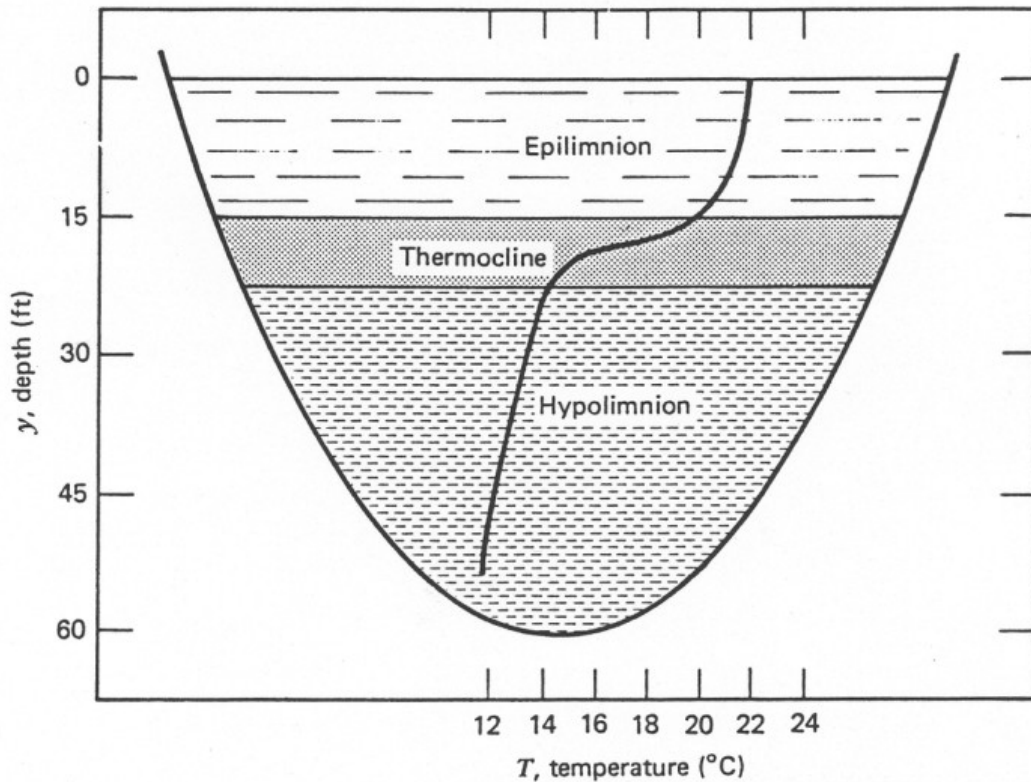


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

**Letní teplotní stratifikace – V – VII**

**Epilimnion** – vrchní vrstva, teplejší s menší hustotou a s intenzivnější cirkulací a proto s přibližně konstantní teplotou. Poklesem teploty se zvyšuje hustota vody.

**Metolimnion** (skočná vrstva, termoklima) – s hloubkou se výrazně mění teplota (může mít i několik metrů a několik dílčích gradientů).

**Hypolimnion** – T se s hloubkou mění jen málo – u hlubokých nádrží bývá T u dna kolem 4 °C a voda má největší hustotu.

# Stojaté vody – teplotní stratifikace

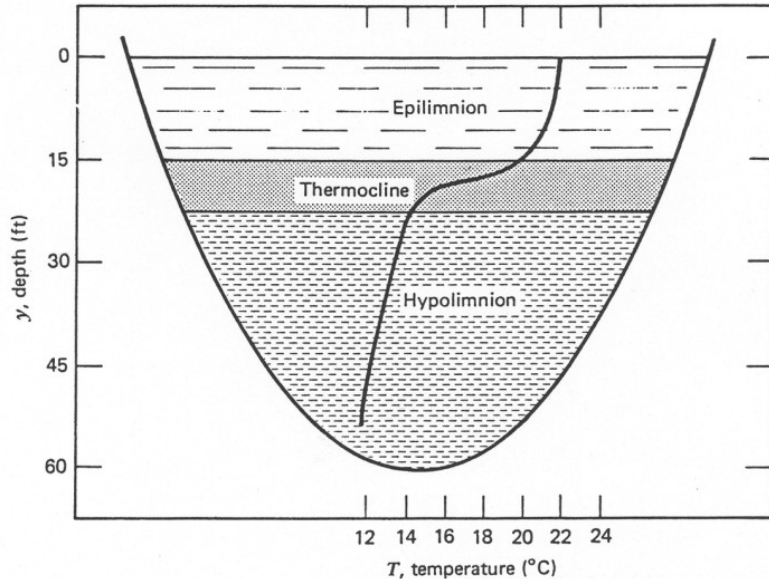


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

**Průtočné nádrže – doba průtoku  
menší než 10 dnů.**

**Za vhodných podmínek dochází  
ke stratifikaci při době zdržení  
nad 300 dnů.**

**Optimální stratifikace – hloubka  
25 m, doba zdržení 50 – 100 dnů**

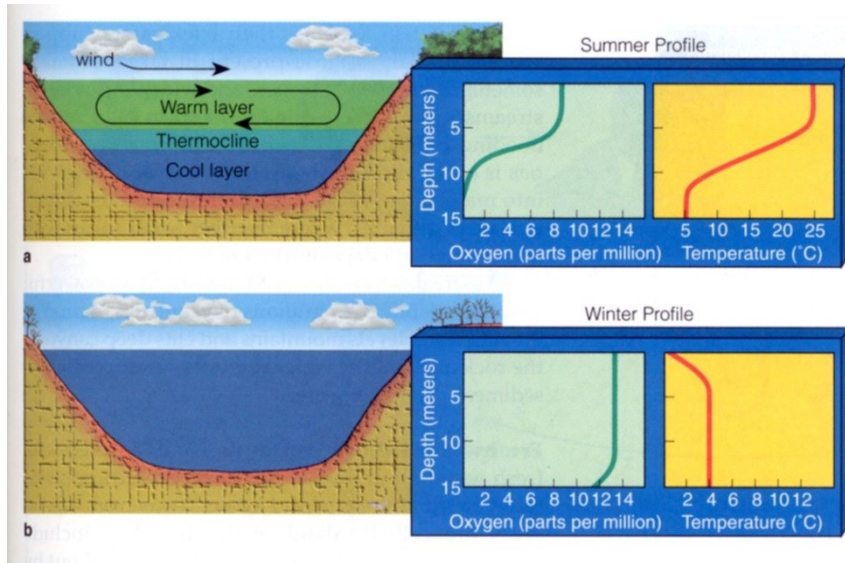
Teplotní stratifikace je charakterizována dobře promíchávanou teplejší svrchní vrstvou a chladnější vrstvou nad dnem, obě vrstvy jsou odděleny skočnou vrstvou.

Mělké nádrže – v důsledku větrného a konvektivního míchání nejsou stratifikovány .

Vytvoření stratifikace závisí na:

- ↪ Době zdržení vody v nádrži
- ↪ Hloubce nádrže
- ↪ Velikosti nádrže
- ↪ Hydraulických poměrech
- ↪ Působení větru (zde je či není chráněna okolními svahy)
- ↪ Ročním obdobím

# Stojaté vody – teplotní stratifikace



**Podzimní cirkulace** - na podzim dochází k ochlazení svrchní vrstvy a metalimnion se posunuje do spodních vrstev nádrže, až poklesne na dno. K promíchávání vrstev dochází i působením větru.

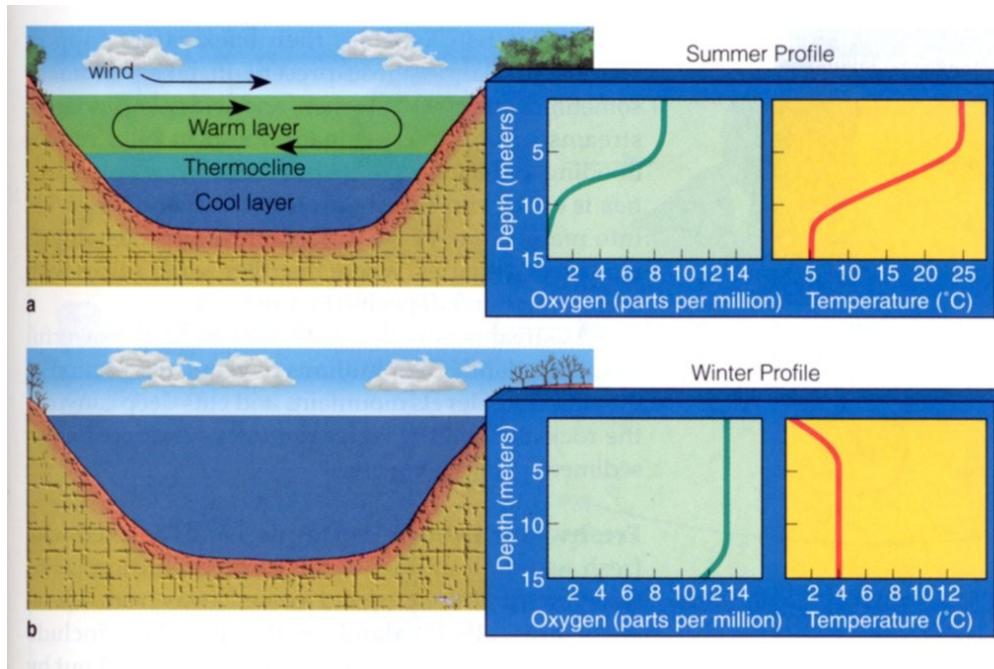
**Teplota se v celé nádrži vyrovná a nádrž získá homotermii.**

**V zimě**, po podzimní cirkulaci, dochází ochlazením povrchu vody v nádrži k **inverznímu vrstvení T**, protože voda chladnější než 4 °C má menší hustotu a hromadí se u hladiny – **zimní stagnace**.

Na jaře se opět působením větru celý obsah nádrže promíchává – **jarní cirkulace**.

Postupným oteplováním vody v jarních měsících se opět za vhodných podmínek vytváří **teplotní stratifikace** a nastupuje znovu období **letní stagnace**.

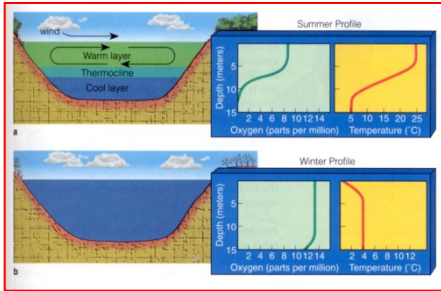
# Stojaté vody – kyslíková stratifikace



**Teplotní stratifikace** podmiňuje i stratifikaci dalších ukazatelů jakosti vody, především **kyslíkovou stratifikaci**.

Ta je významná z hlediska chemických a biochemických pochodů probíhajících ve vodách – ovlivňuje oxidačně-redukční potenciál a biologické osídlení.

# Stojaté vody – kyslíková stratifikace



## Zdroj kyslíku v nádržích:

- Atmosférická reaerace
- Fotosyntetická asimilace fytoplanktonu

**Spodní vrstvy hlubších nádrží** mívají deficit kyslíku a v období letní a zimní stagnace může dojít až k úplnému vyčerpání rozpuštěného kyslíku nade dnem, kde se vytvoří **anoxické** ev. až **anaerobní podmínky**.

**Deficit kyslíku v hypolimniu** je způsoben pomalou difuzí kyslíku do hypolimnia a biochemickou spotřebou kyslíku při rozkladu organických látek.

Naopak **voda v epilimniu** může být v létě při intenzivním slunečním svitu v důsledku fotosyntetické asimilace až **přesycena kyslíkem** – denní variace s maximem přes den.

# Chemické, fyzikálně-chemické a biochemické procesy ovlivňující jakost vody v nádržích a jezerech a podmiňující vertikální stratifikaci

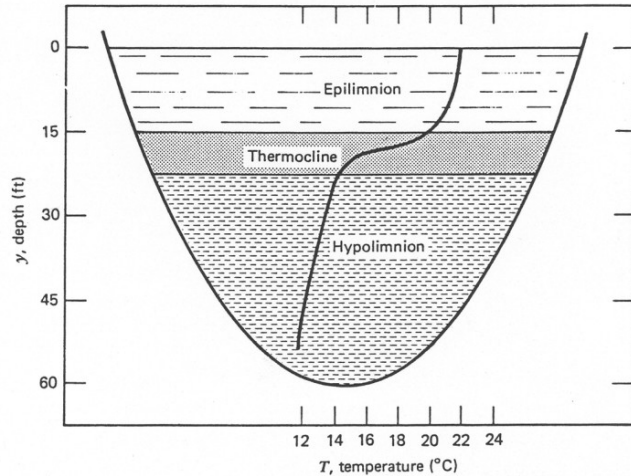


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

## Epilimnion:

- Oxidace ( $> O_2$ ,  $> E$ )
- Alkalizace a srážení kovů ( $> pH$ ,  $< CO_2$ )
- Fotosyntetická asimilace (tvorba biomasy)
- Inkorporace kovů, sloučenin Na P do biomasy
- Adsorpce na nerozpuštěných látkách (kovy, sloučeniny P)
- Nitrifikace

## Hypolimnion:

- Redukce ( $< O_2$ ,  $< E$ )
- Acidifikace a rozpouštění sloučenin kovů ( $< pH$ ,  $> CO_2$ )
- Disimilace (rozklad biomasy)
- Uvolňování sloučenin kovů, N a P ze sedimentů a z rozkládající se biomasy)
- Desorpce kovů a sloučenin P
- Denitrifikace
- Biologický rozklad organických látek
- Za anaerobních podmínek redukce síranů a srážení sulfidů (ve vrstvě na sedimenty nebo až v sedimentech)

# Hydrologický cyklus – typy povrchových vod

## – tekoucí vody - základní charakteristiky

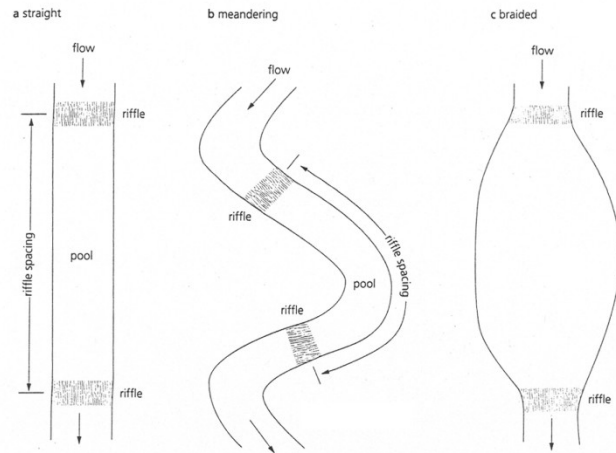
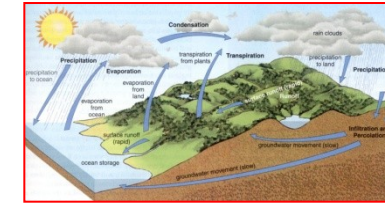


Figure 11.12. Main types of channel patterns. There are three main types of channel patterns – straight (a), meandering (b) and braided (c). Meandering is the most common. After Figure 15 in Thornes, J. (1990) River channels. Macmillan Education, London

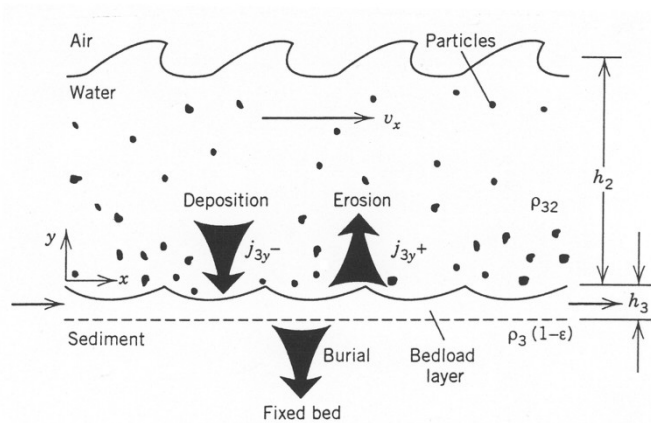


Figure 5.1-6. Major particle transport processes in stream.

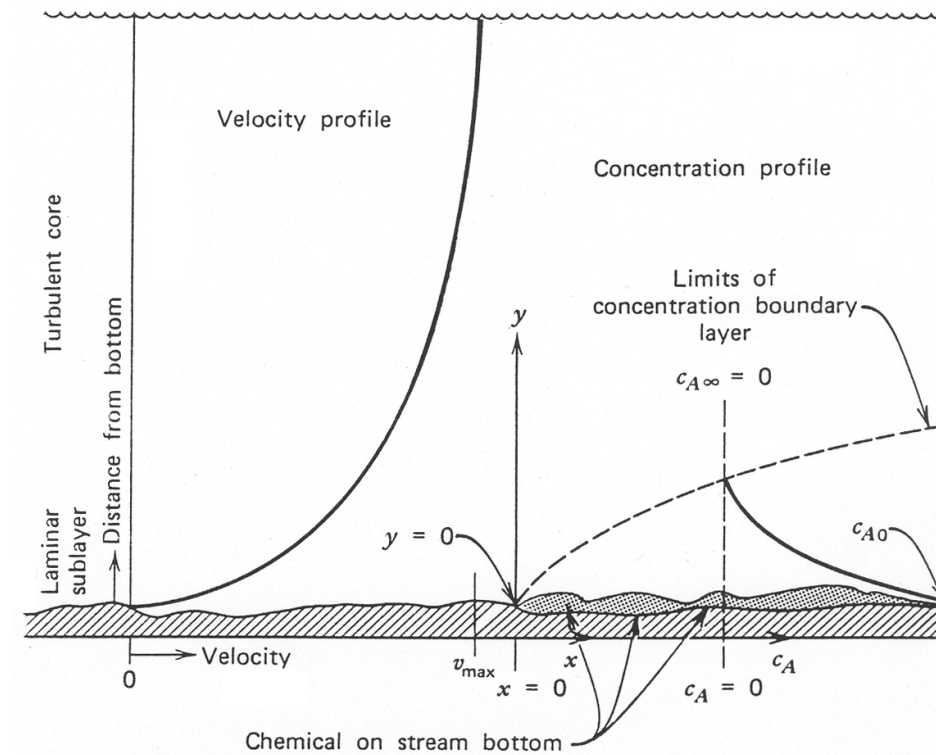
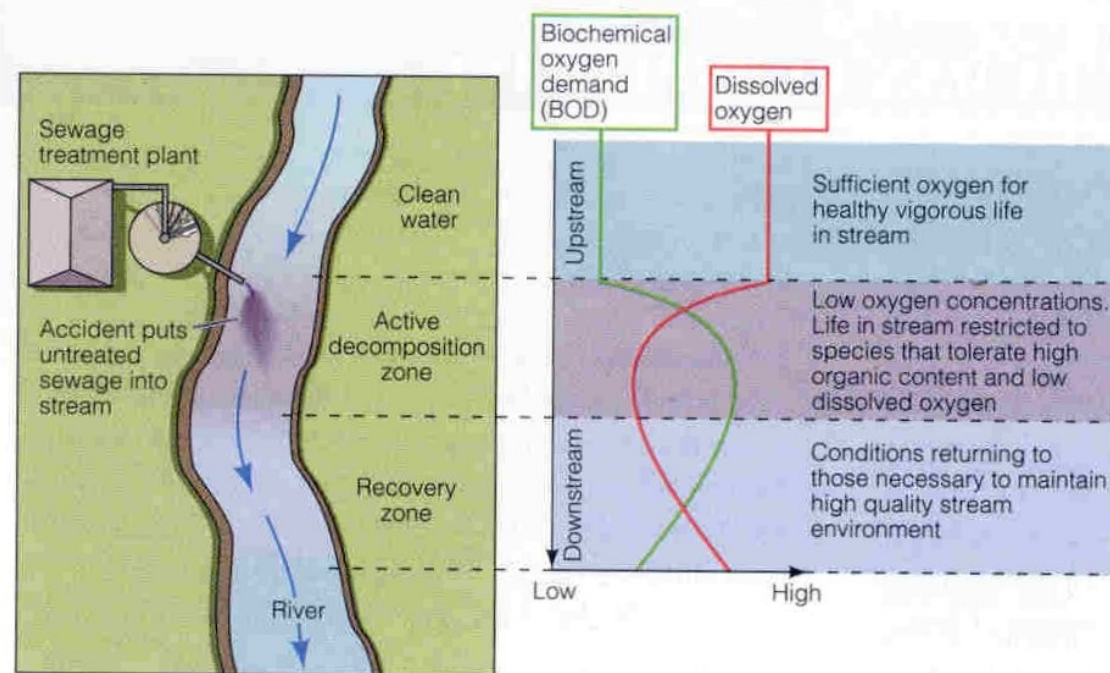


Figure 5.1-2. Chemical dissolution in flowing stream.

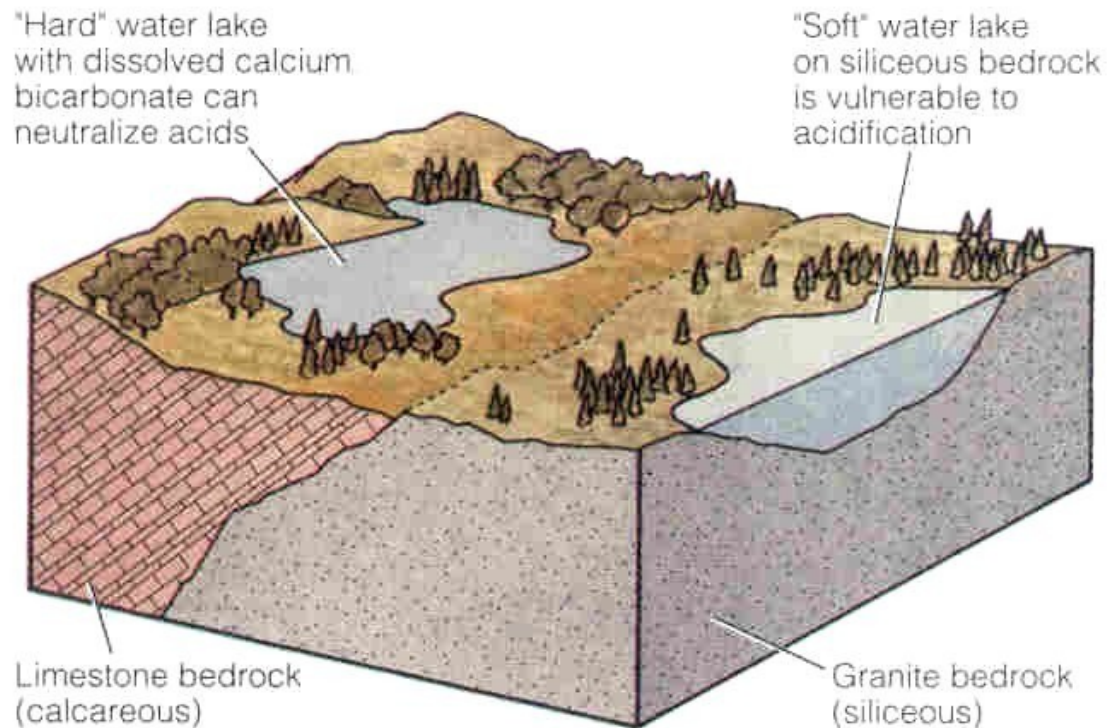
# Znečištění povrchových vod



- Organické látky
- BSK - biochemická spotřeba kyslíku (BOD)
- Eutrofizace – živiny (fosfor, dusíkaté látky) – plankton, řasy
- Infekční látky
- Mikroorganismy – Escherichia coli



# Znečištění povrchových vod



- Kyselá a alkalická odpady
- Kyselá důlní vody (AMD)
- Kyselá dešť (ARD)
- Čpavek, louh
- Termické znečištění
- Suspendované látky
- Jíly
- Papírenské odpady
- Potravinářské odpady (cukrovary, jatka..)

# Znečištění povrchových vod

## Primární:

- Inertní materiály (půda, kaolín..)
- Organické látky:
  - - přirozené - huminové látky, splašky...
  - - antropogenní - ropné látky, fenoly, pesticidy, detergenty..
- Anorganické látky:
  - - zvyšující solnost a korozivnost ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ )
  - - způsobující sekundární znečištění ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ )
  - - měnící pH vody ( $\text{NH}_3$ , kyseliny)
  - - toxické (toxické kovy..)
- Bakteriální - patogenní organismy
- Tepelné - zvýšení T - pokles koncentrace kyslíku - urychlení rozkladu organických látek
- Radioaktivní

# Znečištění povrchových vod

## **Sekundární:**

- ↪ eutrofizace vod - nadměrný rozvoj některých organismů vyvolaný přísunem živin



# Povrchové vody - znečištění

- ↪ **Celková mineralizace** - 100 - 500 mg.l<sup>-1</sup>, tající sníh, ledovce < 100 mg.l<sup>-1</sup>
- ↪ **Nerozpuštěné látky** - jednotky mg.l<sup>-1</sup> (záplavy desítky až stovky mg.l<sup>-1</sup>)
- ↪ **Rozpuštěný kyslík** (= f (T, koncentrace biologicky rozložitelných látek, intenzity fotosyntézy)); neznečištěné toky - 85-95 % nasycení - pokles - organické znečištění
- ↪ **Přesycení** - peřeje (tekoucí), fotosyntetická asimilace vodních rostlin (stojaté)
- ↪ **Volný CO<sub>2</sub>** - nízké koncentrace
- ↪ **pH** - 6,0 - 8,5 (rašeliniště < 4,0)
- ↪ **Koncentrace slabých a silných kyselin** - koreluje s pH
- ↪ **Tlumivý systém** - uhličitanový (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), maximum = 6,3, minimum = 8,3
- ↪ **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** - rozpouštěním CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pohlcováním CO<sub>2</sub>

# Povrchové vody - znečištění

- ↪ **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** - z poloviny dáno atmosférickou depozicí, z poloviny zvětráváním a rozpouštěním minerálů, minerální hnojiva
- ↪ **Cl<sup>-</sup>** - z geologického podloží, méně z atmosféry
- ↪ **Ca<sup>2+</sup>** - z uhličitánů, méně hlinitokřemičitany
- ↪ **Mg<sup>2+</sup>** - opačně
- ↪ **K<sup>+</sup>** - zvětrávání (hlinitokřemičitany)
- ↪ **Na<sup>+</sup>** - zvětrávání (hlinitokřemičitany), Cl<sup>-</sup>, spad z atmosféry
- ↪ **N** - z atmosféry, zemědělství
- ↪ **P** - nízká koncentrace (málo rozpustné soli), antropogenní
- ↪ **Fe, Mn** - nízká koncentrace, oxidy oxidace
- ↪ **Iontové asociáty**
- ↪ **Organické látky**

# Povrchové vody - znečištění

Podle ovlivnění kvality povrchových vod lze znečišťující látky rozdělit na:

- ↪ **látky působící přímo toxicky nebo způsobující organoleptické závady**
- ↪ **látky ovlivňující kyslíkovou bilanci toku**
- ↪ **„inertní látky“ (anorganické nerozpuštěné a rozpuštěné netoxické látky)**

# Povrchové vody - znečištění

**Odpadní vody (OV), které mohou nepříznivě ovlivnit vlastnosti vod povrchových:**

- ↪ **vody silně kyselé nebo silně alkalické, k jejichž zneškodnění nestačí přirozená neutralizační kapacita vody**
- ↪ **vody s velkou koncentrací solí**
- ↪ **vody s velkou koncentrací nerozpuštěných látek**
- ↪ **vody obsahující látky, které ovlivňují přestup kyslíku do vody (tenzidy, ropné látky)**
- ↪ **vody s velkým obsahem biologicky snadno rozložitelných látek nebo látek spotřebovávajících kyslík chemickými pochody**

# Povrchové vody - znečištění

**Odpadní vody (OV), které mohou nepříznivě ovlivnit vlastnosti vod povrchových/II:**

- ↪ **vody obsahující látky ovlivňující nepříznivě organoleptické vlastnosti vody (chlorfenoly, chlorované uhlovodíky, barviva, ropné látky)**
- ↪ **vody, které obsahují látky toxické pro vodní organismy (kovy, kyanidy, chlorované uhlovodíky, pesticidy, radioaktivní látky)**
- ↪ **vody bakteriálně znečištěné patogenními zárodky (OV z léčebných ústavů, koželužen..)**
- ↪ **vody s větším množstvím látek, v nichž jsou zastoupeny sloučeniny P, N, které mají eutrofizační účinek**
- ↪ **oteplené vody**



# Povrchové vody - znečištění

## Základní ukazatele pro vypouštění OV do vod povrchových:

- ↪ **biologický stav vody - index saprobity - < 2,2 - vodní toky; < 3,2 - ostatní)**
- ↪ **obvyklý život pstruhovitých ryb ve vodárenských tocích a kaprovitých ryb v ostatních povrchových vodách**
- ↪ **stav bez pachu u vodárenských toků a nádrží a slabě cizorodý u ostatních vod**
- ↪ **stav, při němž nejsou patrné barevné změny u vod vodárenských ve vrstvě do 20 cm, u ostatních do 10 cm**
- ↪ **teplota do 20 °C u pstruhových vod a u vodárenských toků a do 26 °C u ostatních**

# Povrchové vody - znečištění

## Základní ukazatele pro vypouštění OV do vod povrchových/II:

- neporušená schopnost samočištění povrchových vod
- stav povrchových vod, při němž nedochází k nadměrnému vývoji nežádoucích organismů (vodní květ) ani ke vzniku kalových lavic nebo k pokrytí vodní hladiny pěnou, tuky, oleji nebo jinými látkami
- stav povrchových vod, při němž nedochází k porušování hygienických požadavků na ochranu zdraví před ionizujícím zářením
- stav povrchových vod, při němž nedochází k toxickému působení radioaktivních a jiných látek na vodní organismy

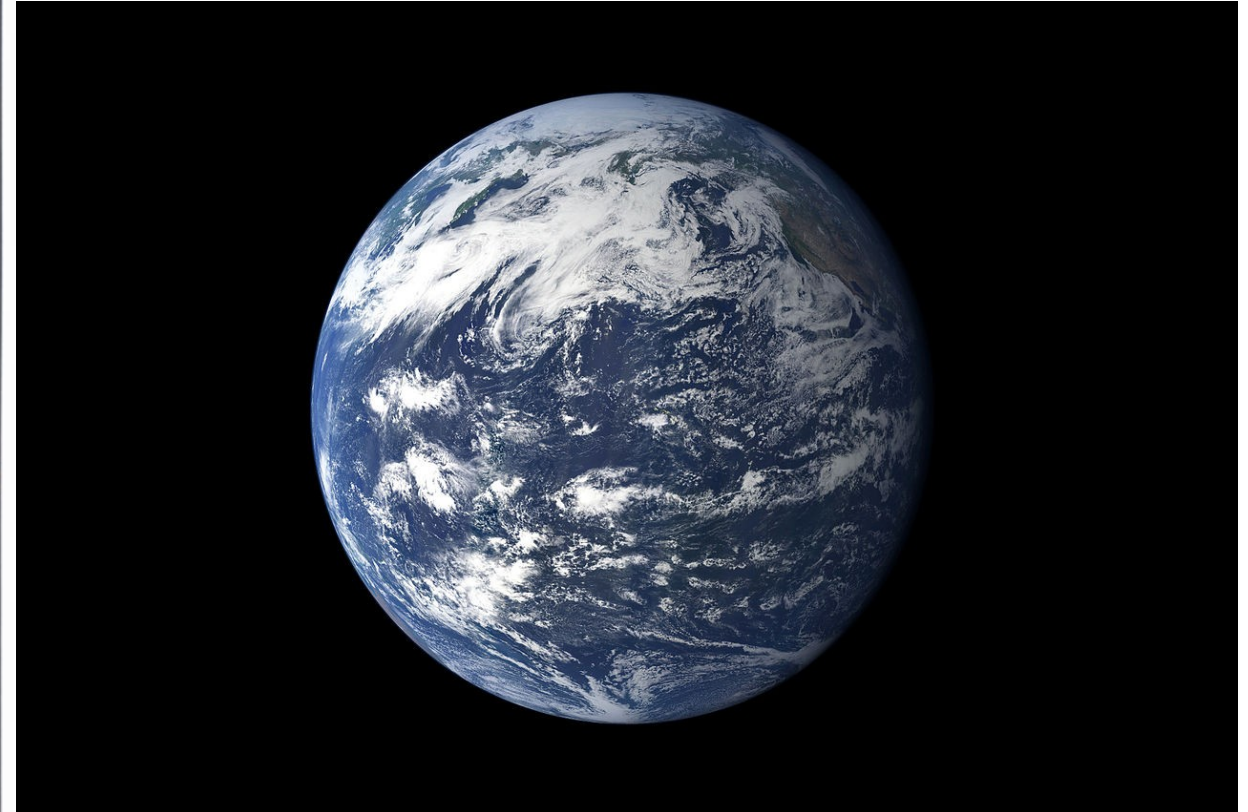
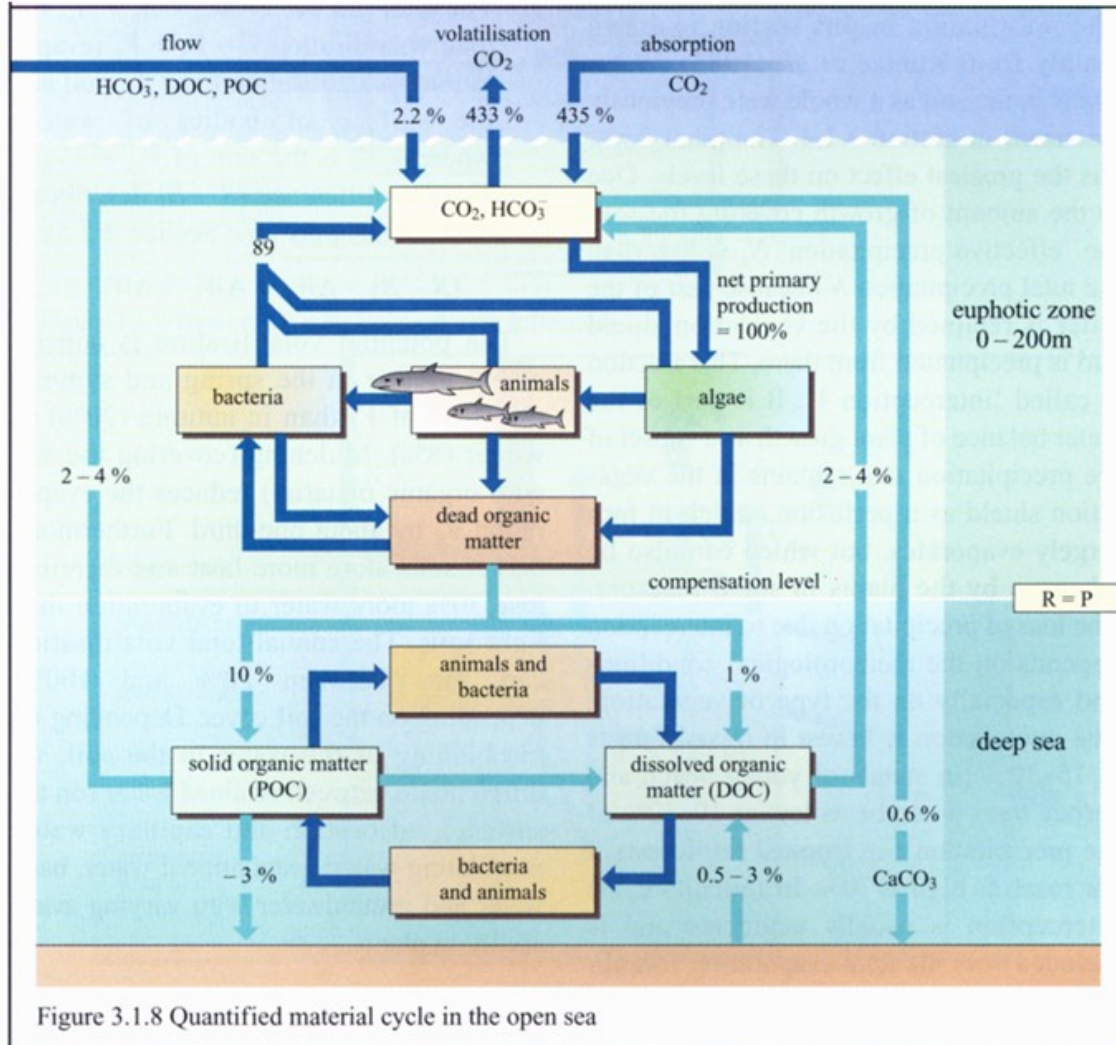
# Povrchové vody - znečištění

## Klasifikace tekoucích vod z obecného (ekologického) hlediska

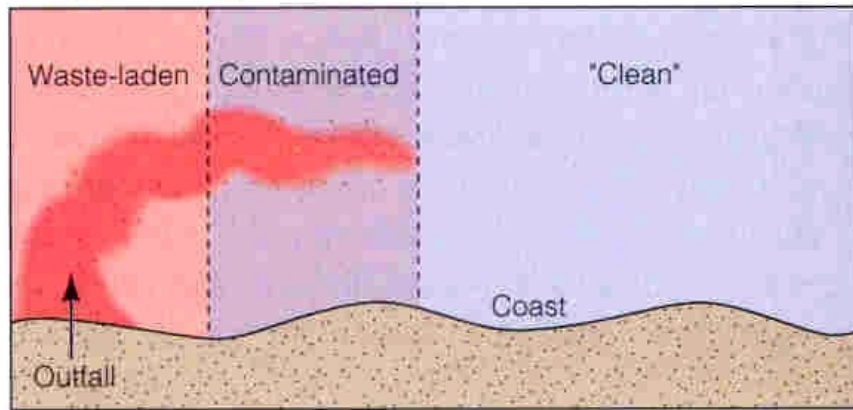
### Ukazatelé:

- fyzikálního znečištění
- anorganického znečištění
- organického znečištění
- anorganického a organického průmyslového znečištění
- biologické

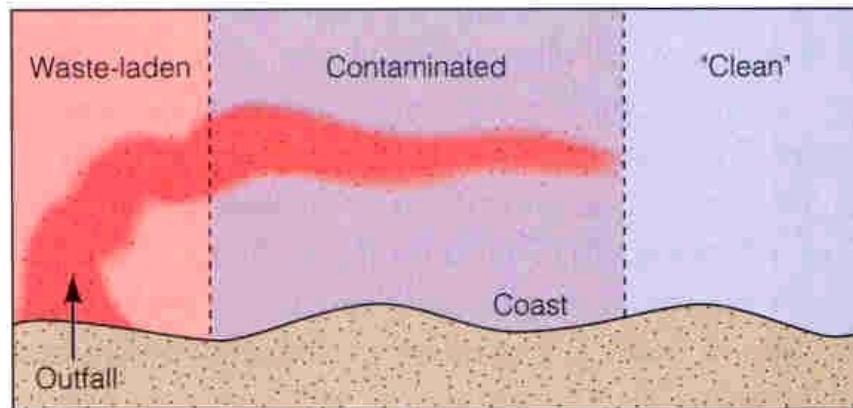
# Otevřené moře



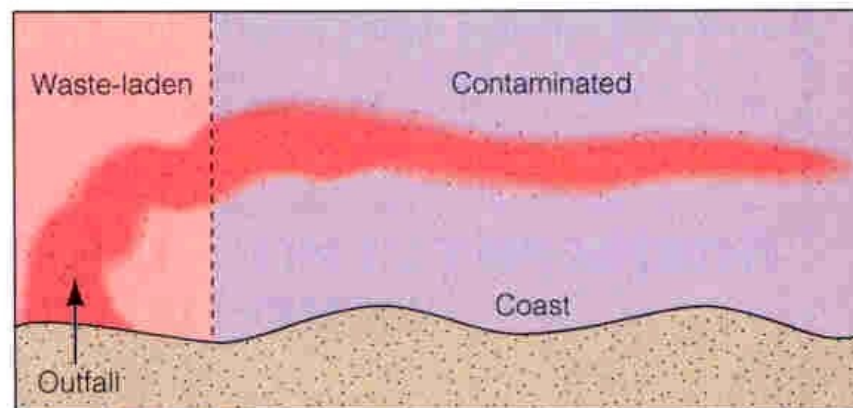
Longshore transport →



A.



B.



# Znečištění mořského prostředí

„Všechno z kontinentů nakonec skončí v moři“

**Komunální odpad**

(patogenní viry mohou přežít v oceánské vodě až 17 měsíců)

**Pobřeží**

# Otevřený oceán

- Vypouštění z lodí (balastní voda) a jejich havárie
- Exxon Valdez – březen 1989 Aljaška, 10 milionů galonů (4,54 l), 5 000 km pobřeží
- Malé úniky: ročně 17 EV do Středozevního moře
- **Ročně 6 milionů tun ropy do oceánů – 1 tuna ropných znečistí 6 km<sup>2</sup> vodní plochy**

Galveston Bay, Texas,  
1990

