

Chemie životního prostředí II – Znečištění složek prostředí

Hydrosféra (05)

Typy vod – přírodní – atmosférické, podzemní,
povrchové

Ivan Holoubek

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

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



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Typy vod

- ↪ antropogenní - odpadní
- ↪ přírodní - atmosférické, podzemní, povrchové



Vody podle užití – pitná, užitková, provozní, odpadní

Světové vodní zdroje

Global Water Reservoirs and Turnover Times

| | 10^3 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 |

| | | |
|-------|------------------------|-------------------------------|
| 97.3% | hydrosphere - total | $1.4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ |
| | oceans | $1.3 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ |
| | glaciers and polar ice | $2.9 \cdot 10^7 \text{ km}^3$ |
| | groundwater | $8.4 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ |
| | lakes and streams | $0.2 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ |
| | atmosphere | $1.3 \cdot 10^4 \text{ km}^3$ |
| 2.7% | biosphere | $0.6 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ |

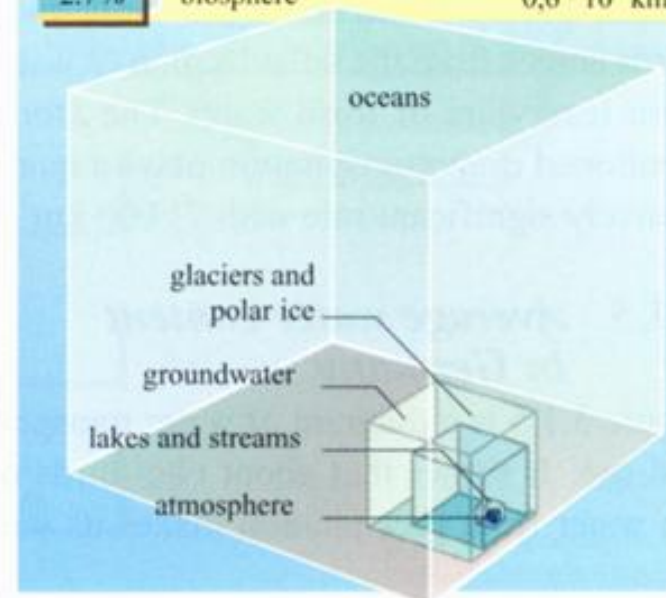


Figure 3.1.3 Distribution of water by volume

Hydrologický cyklus

Cesty

Odpaření (evaporace)

Srážky

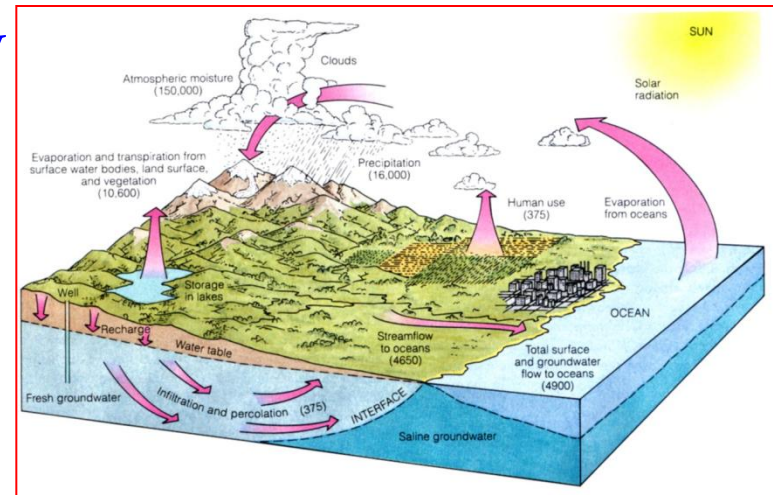
⇒ přímé odpaření

⇒ zachycení rostlinami ⇒ odpaření („vypocení“)

⇒ povrchový odtok

⇒ vsakování (infiltrace) ⇒ mělký oběh

⇒ rezervoár podzemní vody



Zdroje

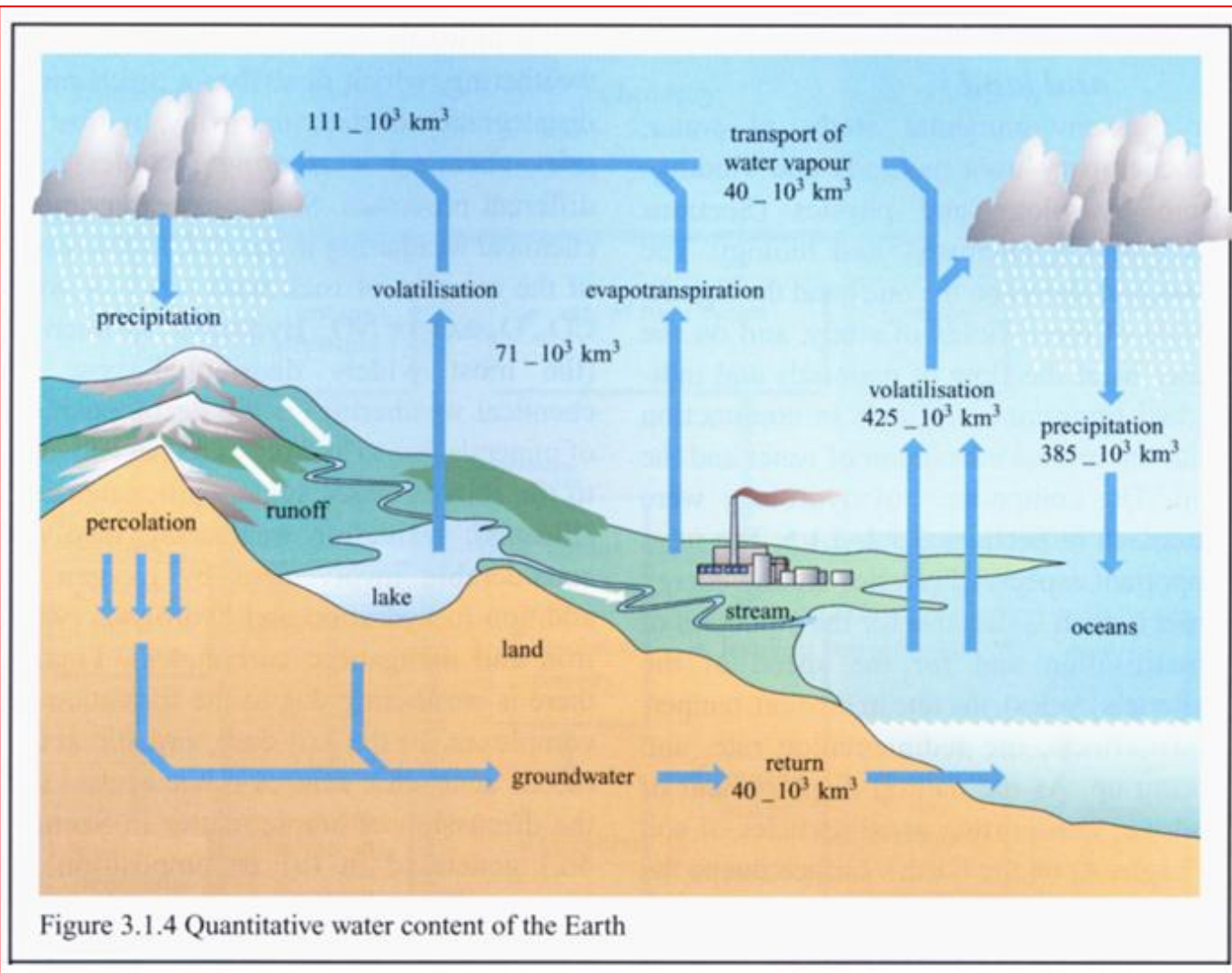
Dva hlavní faktory:

- ↪ Kvalita
- ↪ Množství

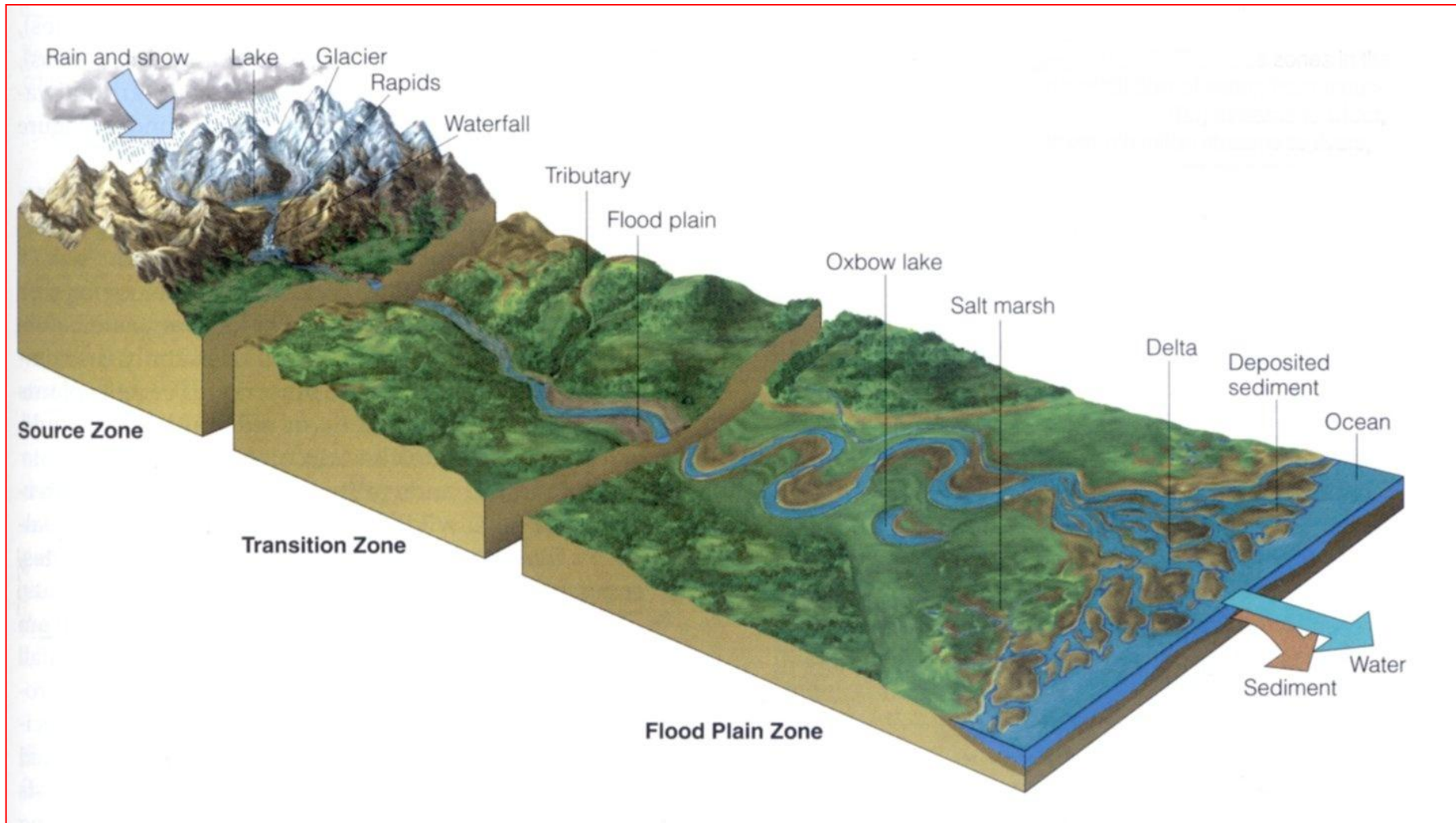
Podzemní voda

- ↪ 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

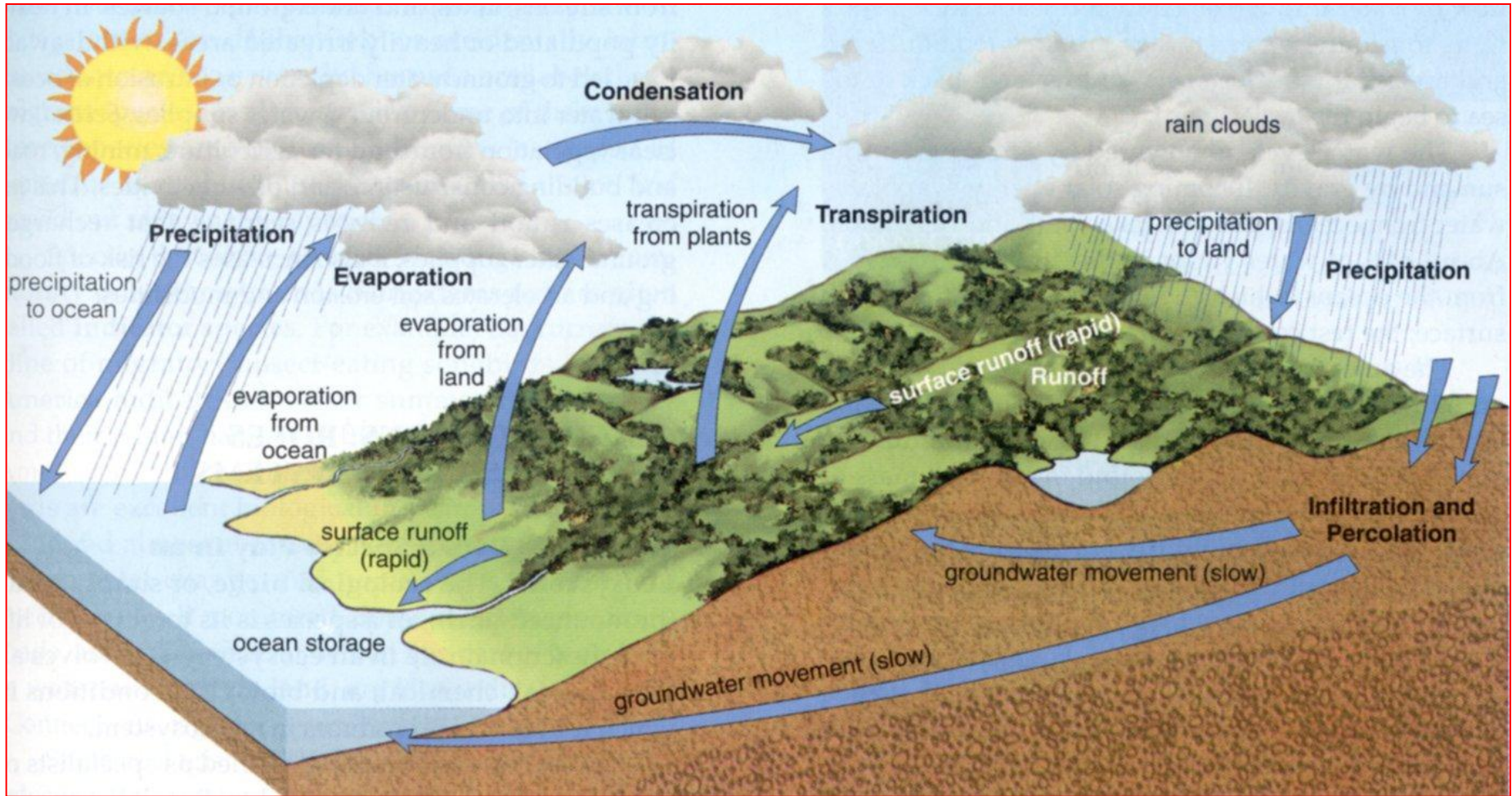
Hydrologický cyklus - kvantifikace



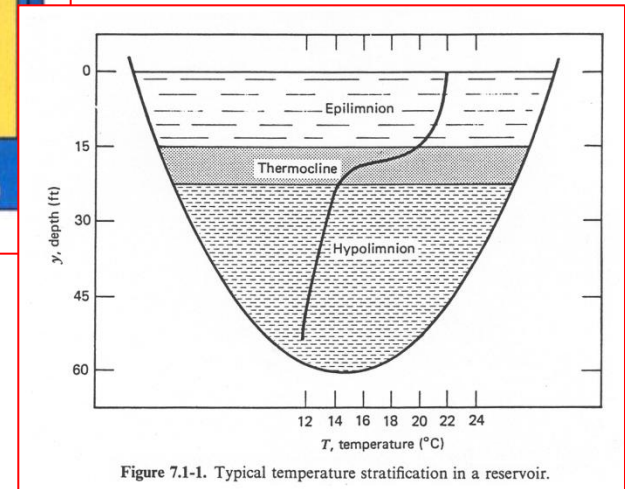
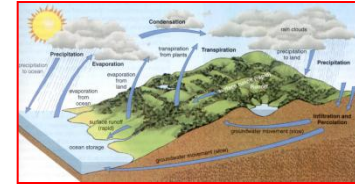
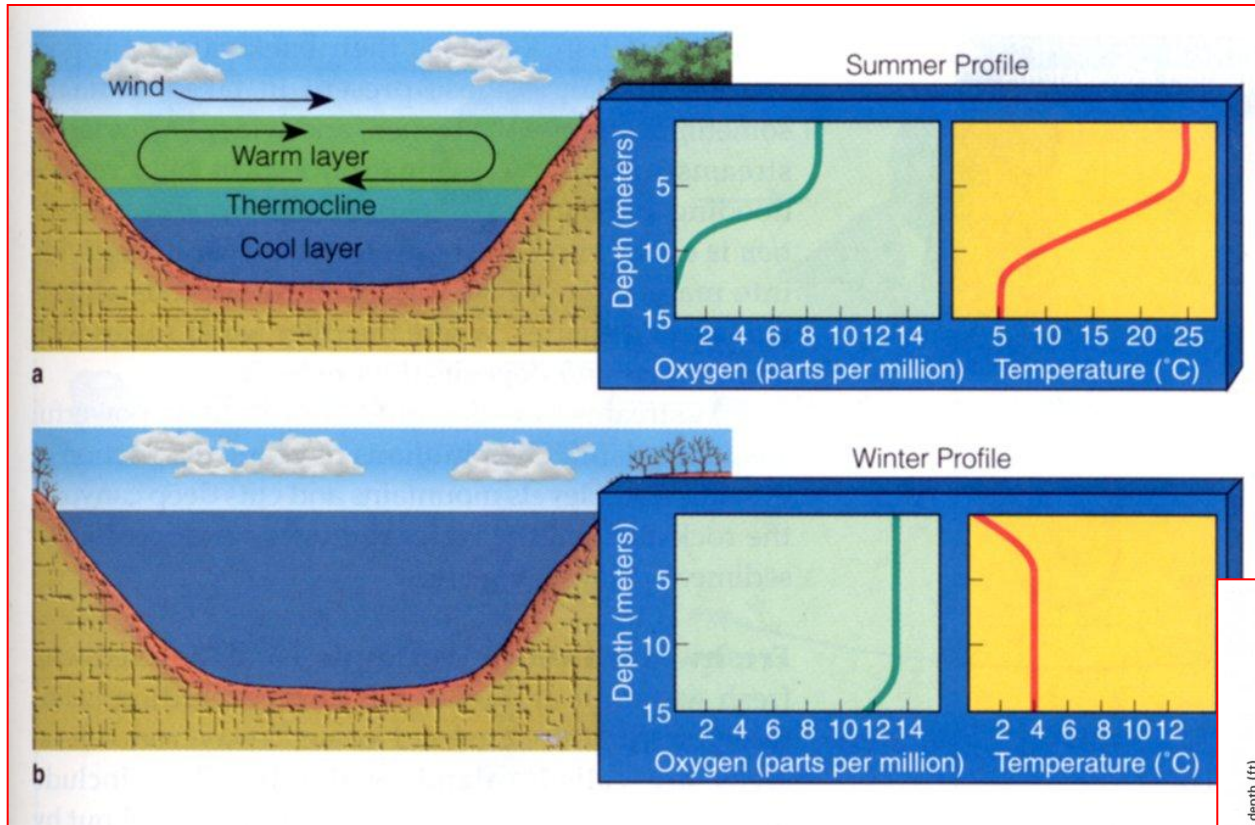
Hydrologický cyklus – typy povrchových vod



Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – základní charakteristiky



Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – základní charakteristiky



Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – základní charakteristiky

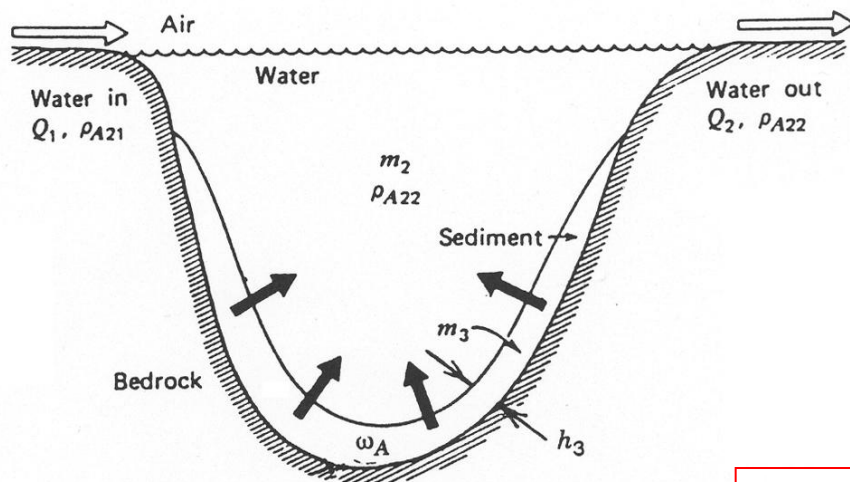


Figure 5.2-8. Lake-water and sediment system.

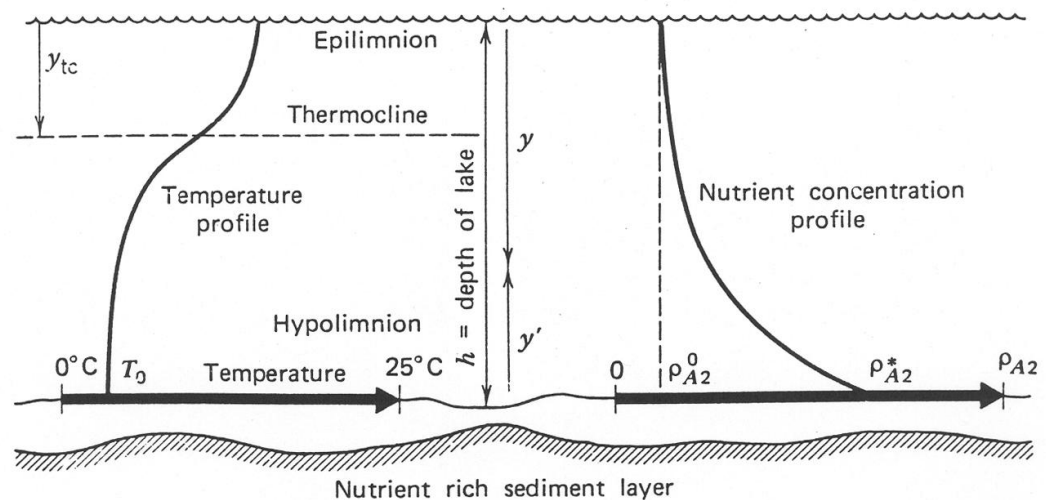
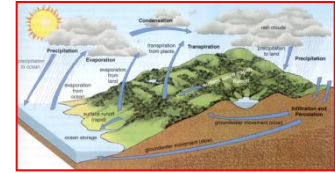


Figure 5.2-1. Typical lake-water column conditions.

Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – základní charakteristiky

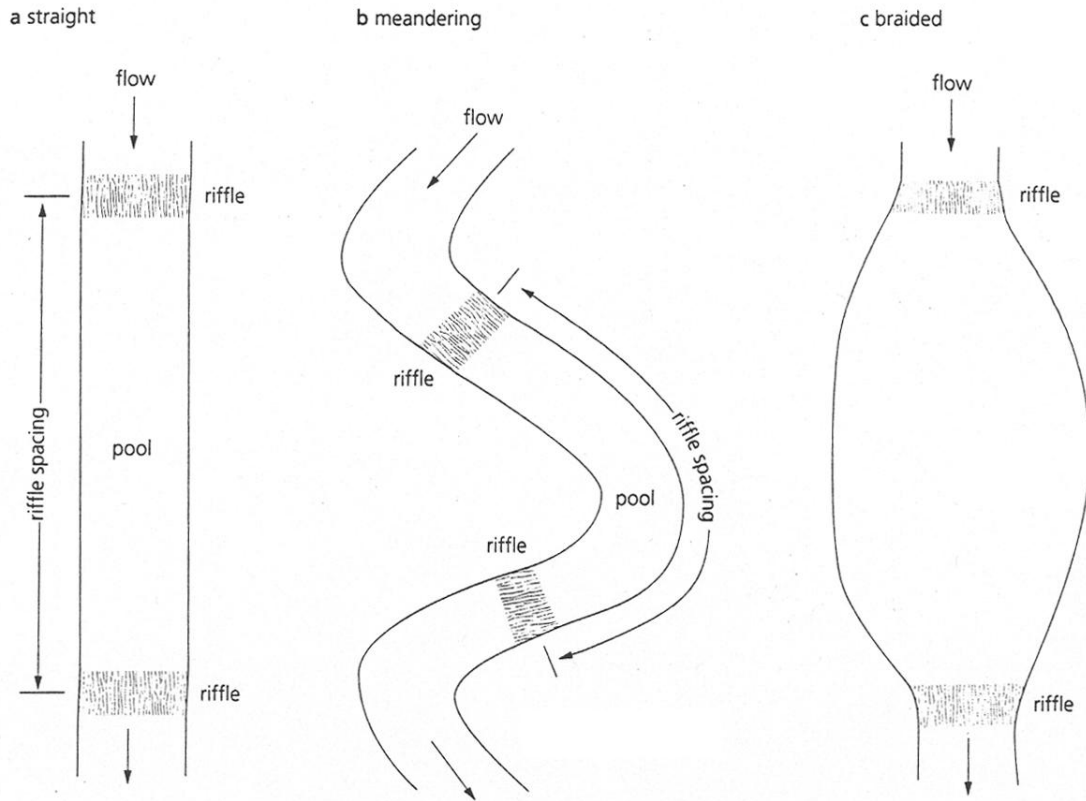
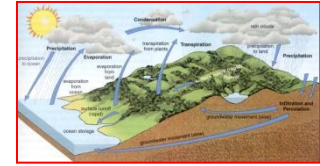
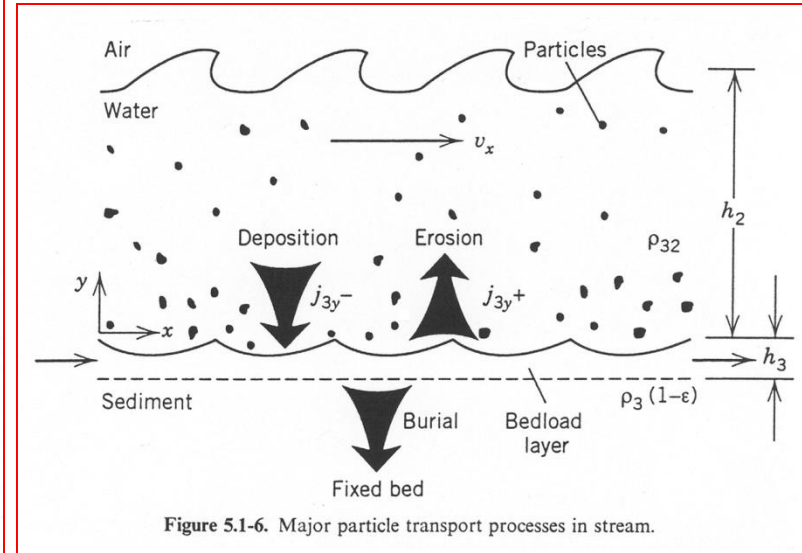
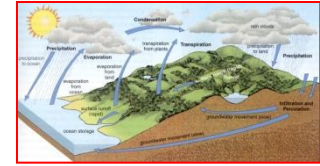
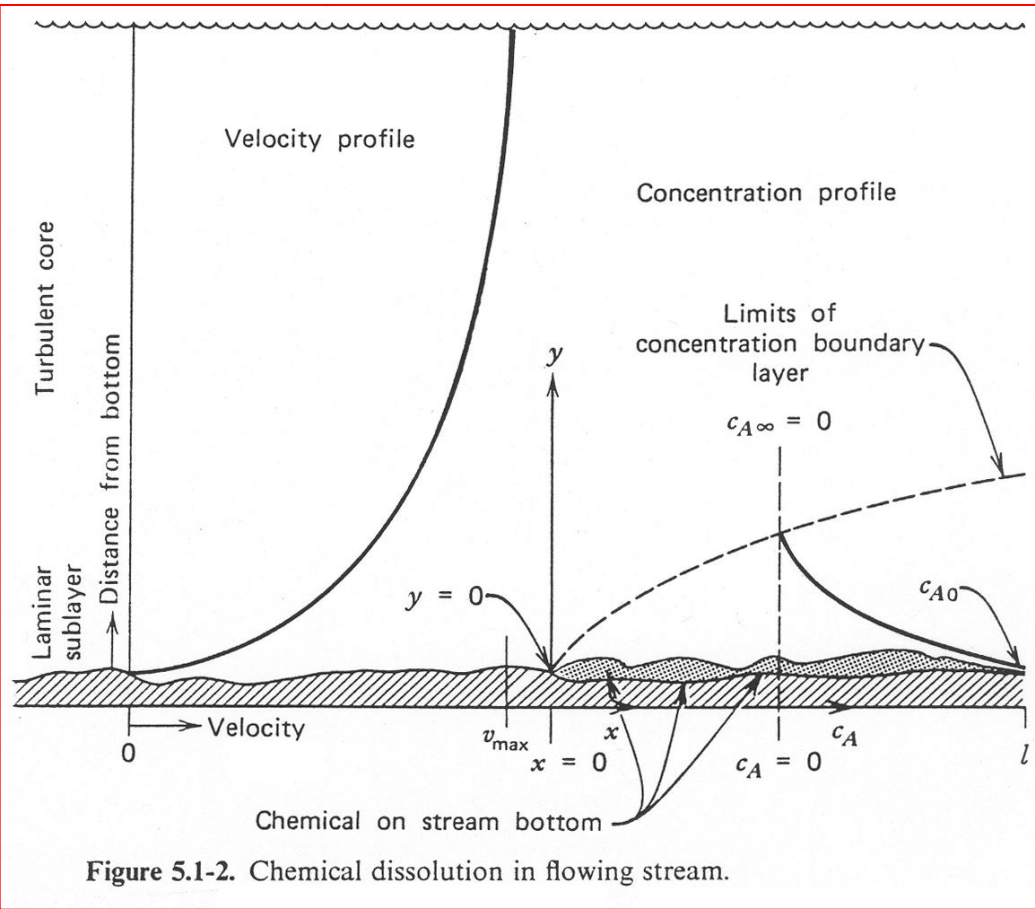


Figure 11.12 Main types of channel patterns. There are three main types of channel patterns – straight (a), meandering (b) and braided (c). Meandering is the most common. After Figure 15 in Thornes, J. (1990) River channels. Macmillan Education, London



Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – základní charakteristiky



Hydrologický cyklus – typy povrchových vod – základní charakteristiky

$$N_A = \frac{D_{A22}^{(t)}}{h_2/2} (c_{A22}^* - \bar{c}_{A22})$$

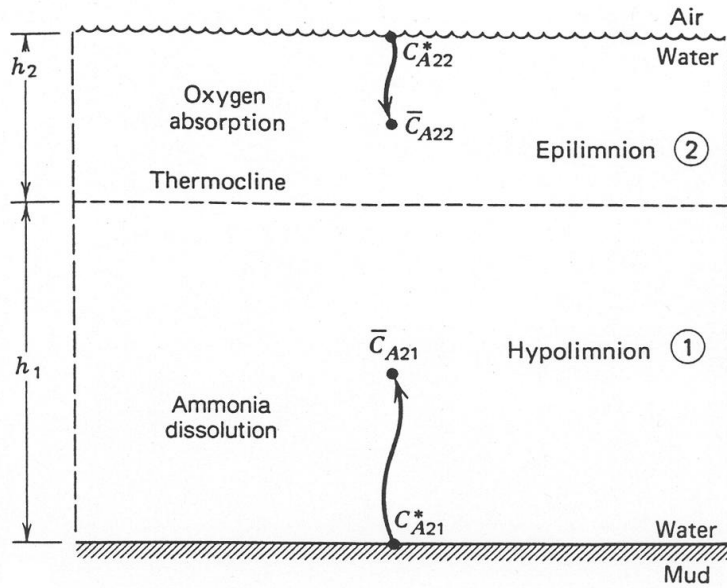


Figure 7.1-11. Turbulent diffusion from phase boundary.

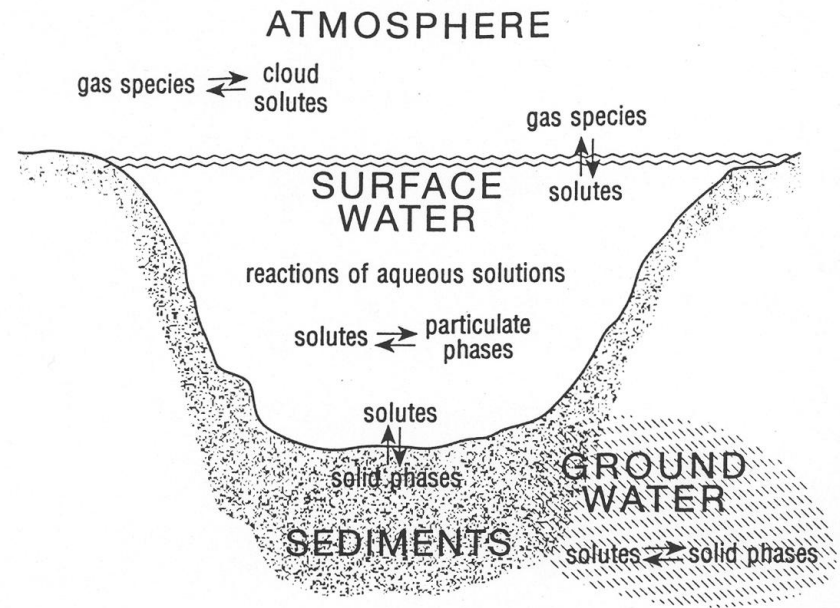


Figure 1.1. Natural water environments of interest in aquatic chemistry. Water links elemental cycles of the atmosphere with those of the sediments. Atmospheric chemistry, water chemistry, sediment geochemistry, soil chemistry, and groundwater chemistry of the elements are needed.

Vztahy mezi vodou a krajinou

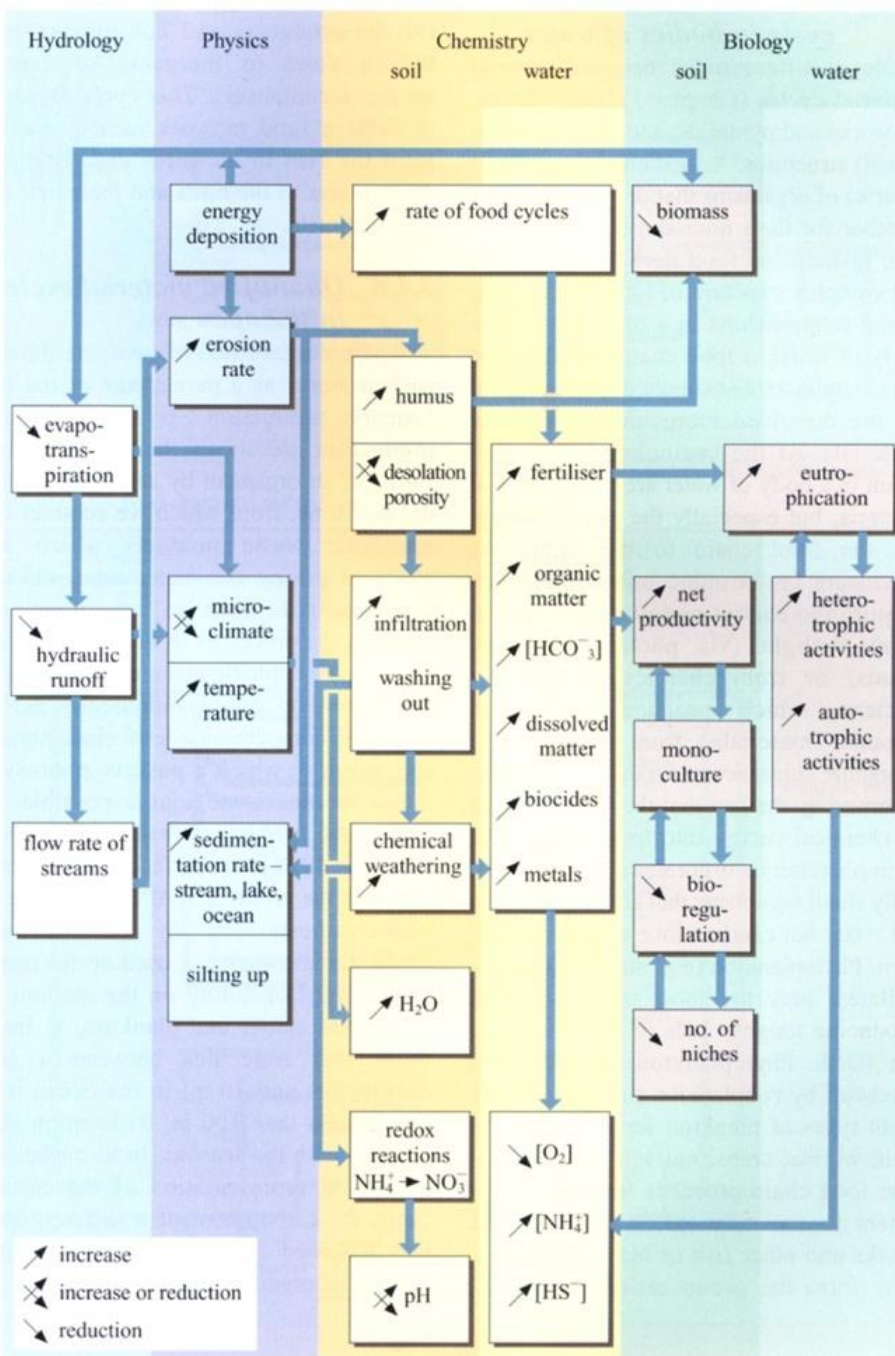
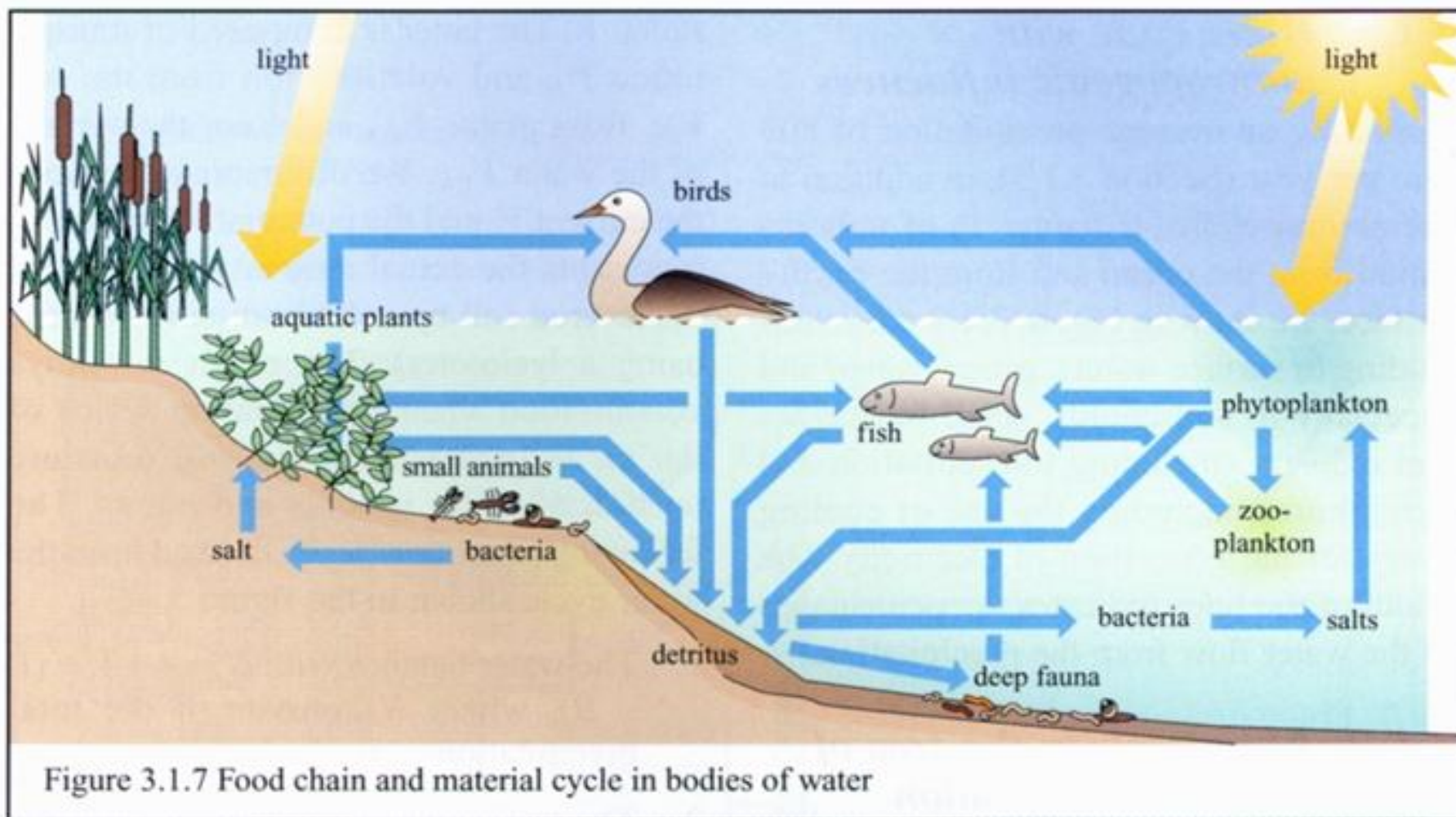
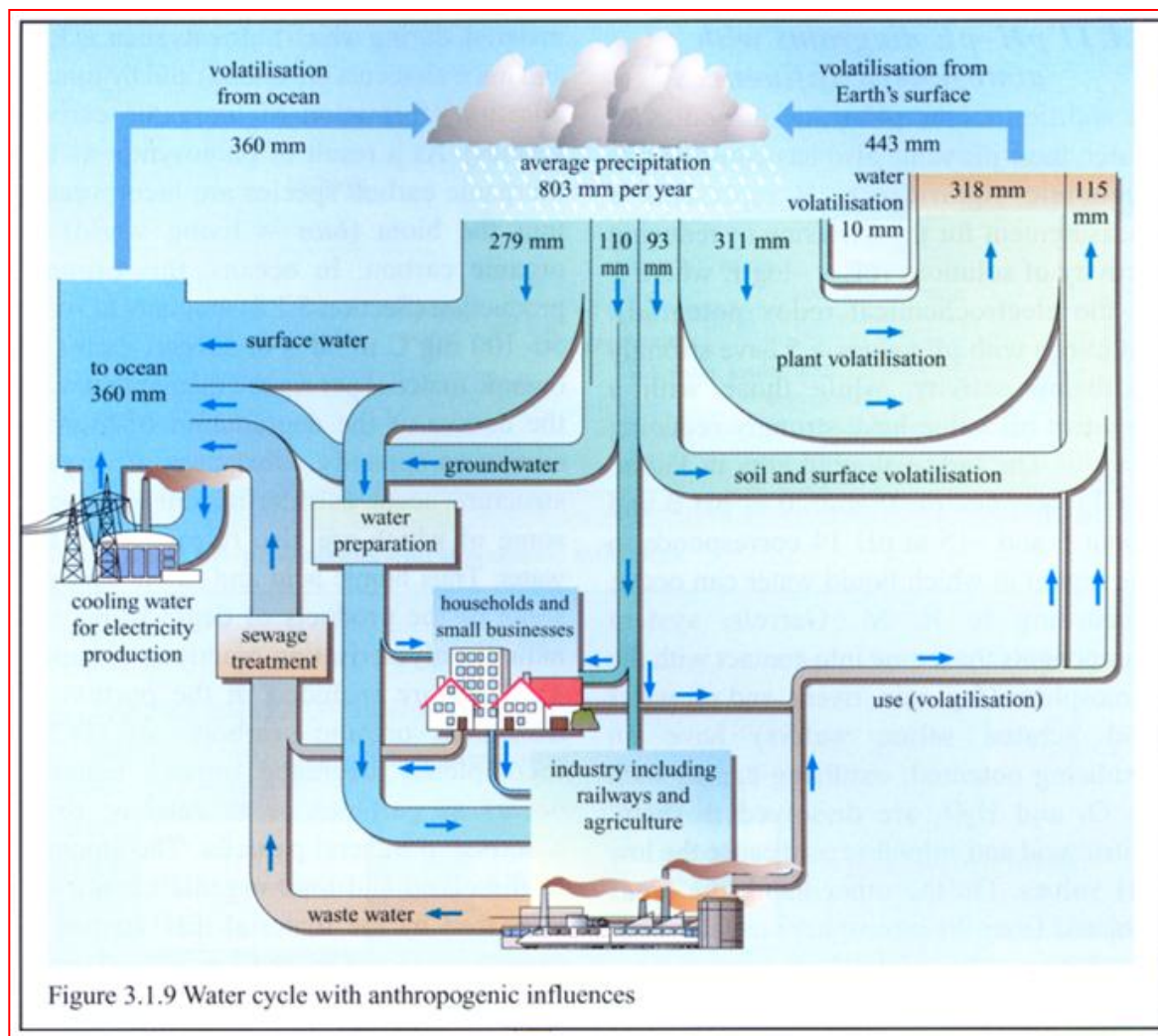


Figure 3.1.6 Interactions between water and land

Potravní řetězec a látkový cyklus ve vodním tělese

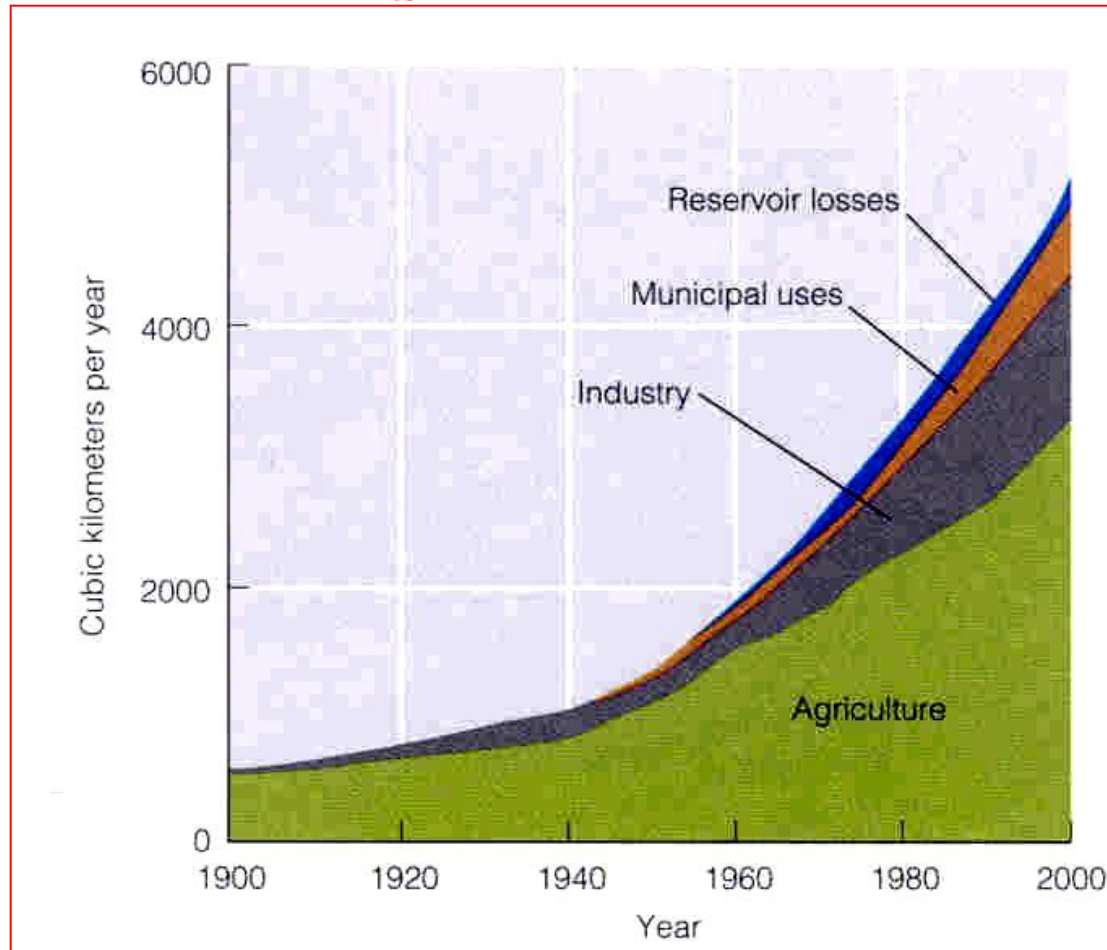


Antropogenní ovlivnění hydrologického cyklu

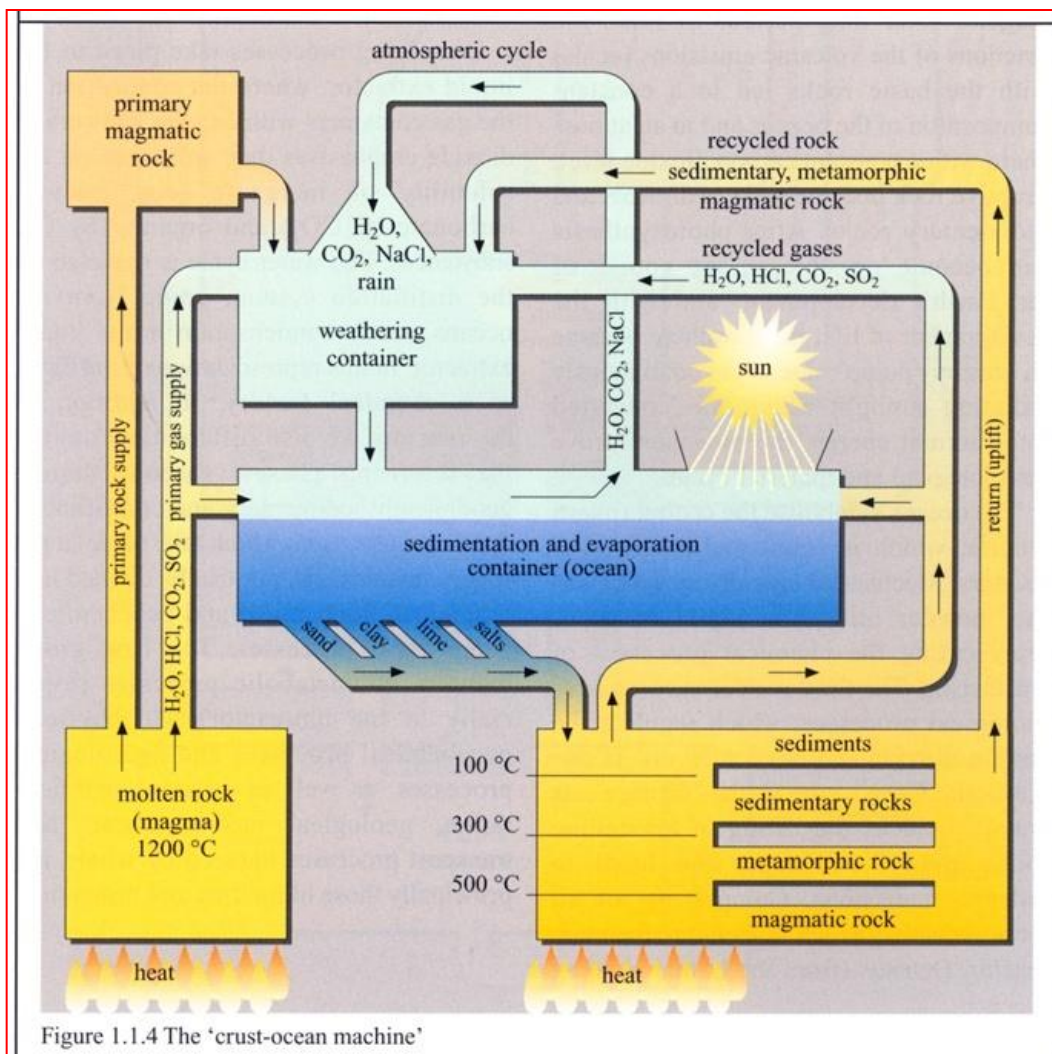


Odhadovaná spotřeba vody v letech 1990–2000

Voda je kritickým zdrojem pro udržení života



Mořská voda



Sníh, led



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**



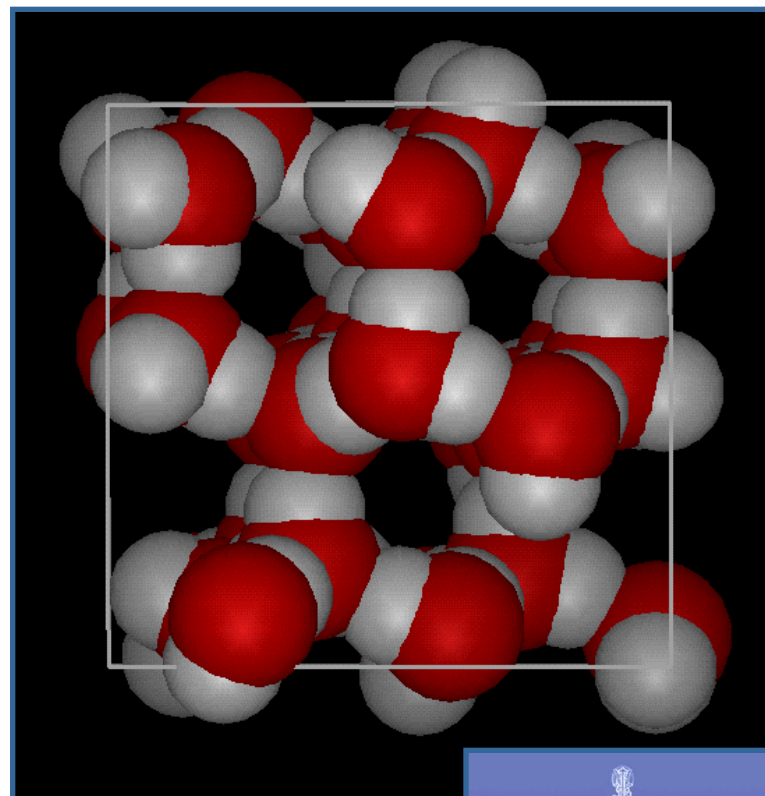
Různé formy výskytu ledu v Arktice



LED – nejčtenější, 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_h* (hexagonální) + 13 krystalických fází
- ↗ Vodíkové vazby $\sim 20 \text{ kJ mol}^{-1}$
- ↗ Tetrahedrální vazebná geometrie: 109.5°
- ↗ defekty / kanály

Defekty v ledu

Bodové defekty:

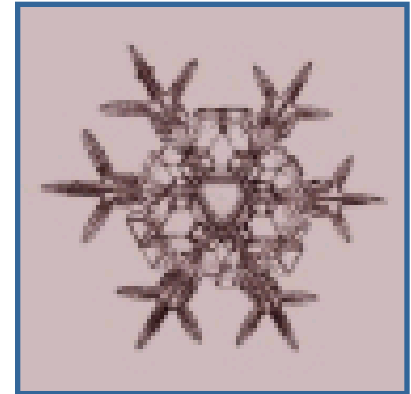
Elektricky vodivé (H_3O^+ a OH^-)

Krystalické dislokace

(liniové defekty)

Hraniční zrna

(povrchové defekty)

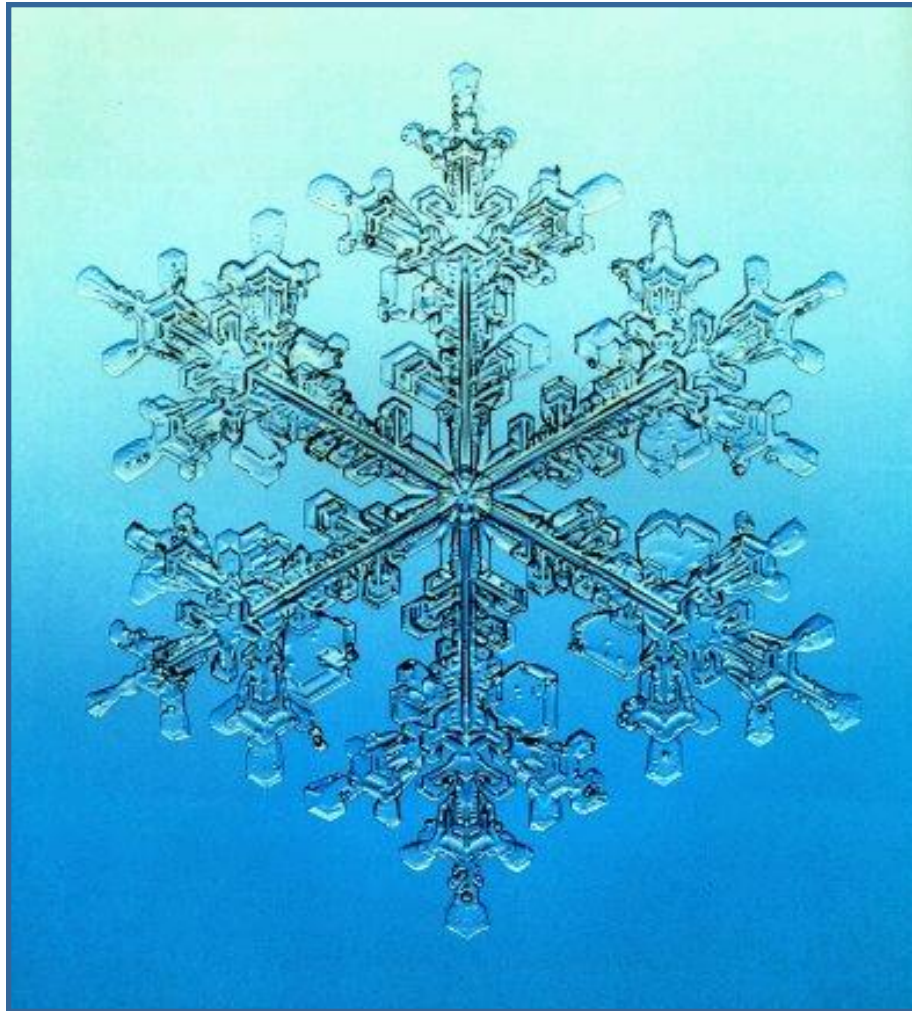


x-ray topograph: slip bands
in two adjacent grains of polycrystalline *Ih*

F. Liu, I. Baker, M. Dudley *Phil. Mag. A*, 1995, 71, 15.



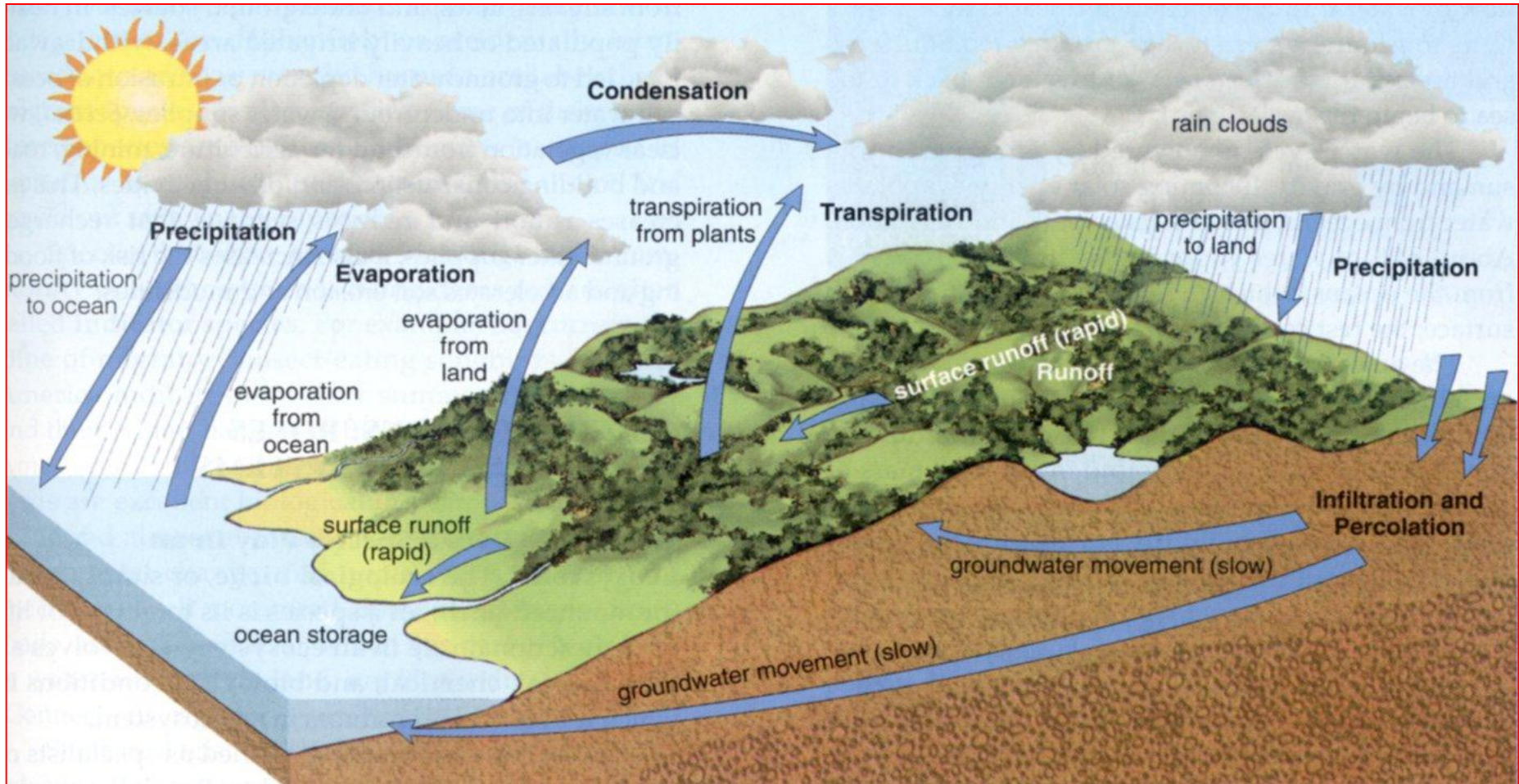
Nečistoty v ledu



Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

<http://recetox.muni.cz>

Hydrologický cyklus



Atmosférické vody

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

Atmosféra - 200 - 60 000 ppm (0,02 - 6 % H₂O (g))

Vznik - klesne-li T příslušné vrstvy vzduchu pod rosný bod za přítomnosti kondenzačních jader (kondenzace na tuhých površích) (H₂O (g) → H₂O (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 m².

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⁻¹ - 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⁻¹ - 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**.

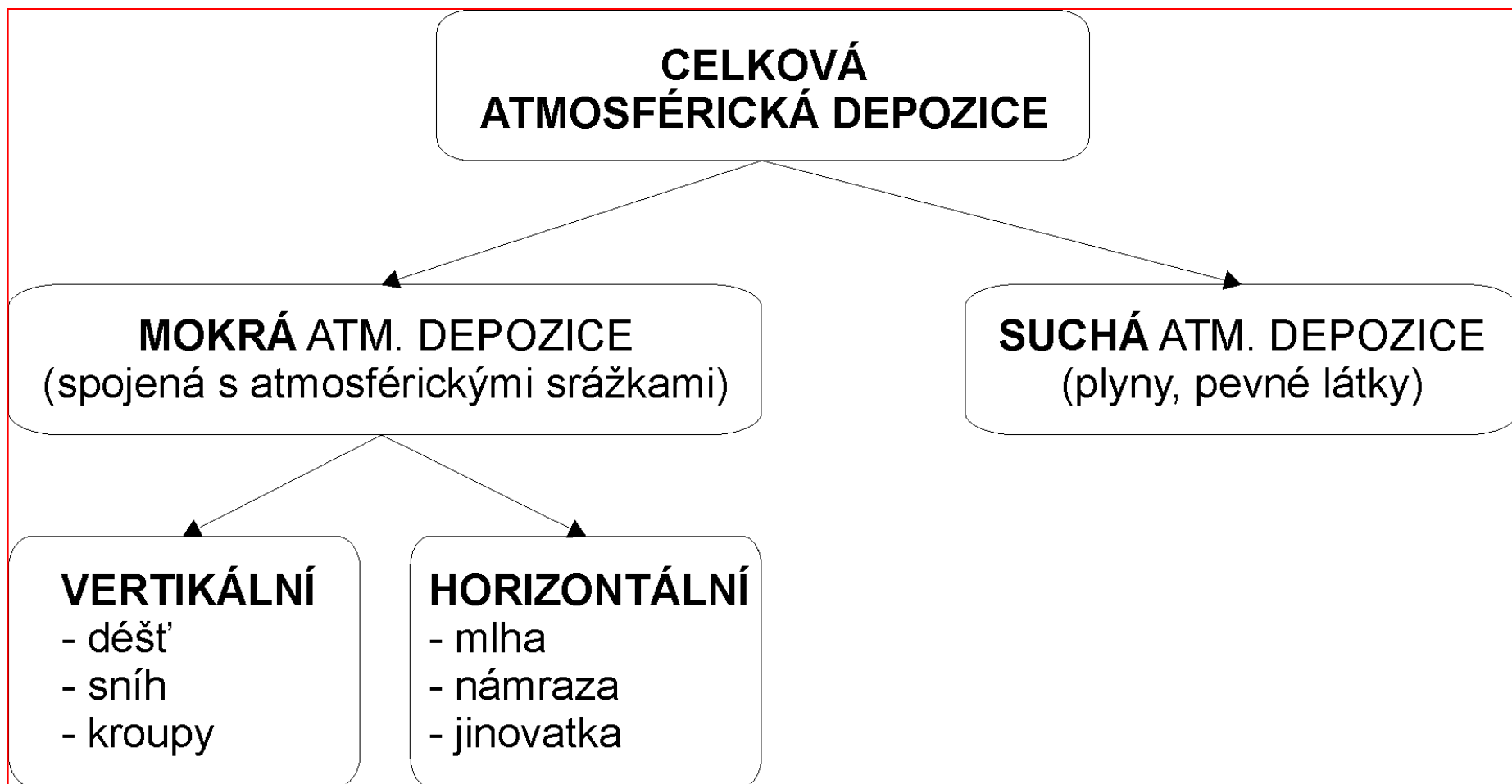
Atmosférická depozice:

- ↪ 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 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.

Mokrý 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 $> 1 \text{ mm}$.

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

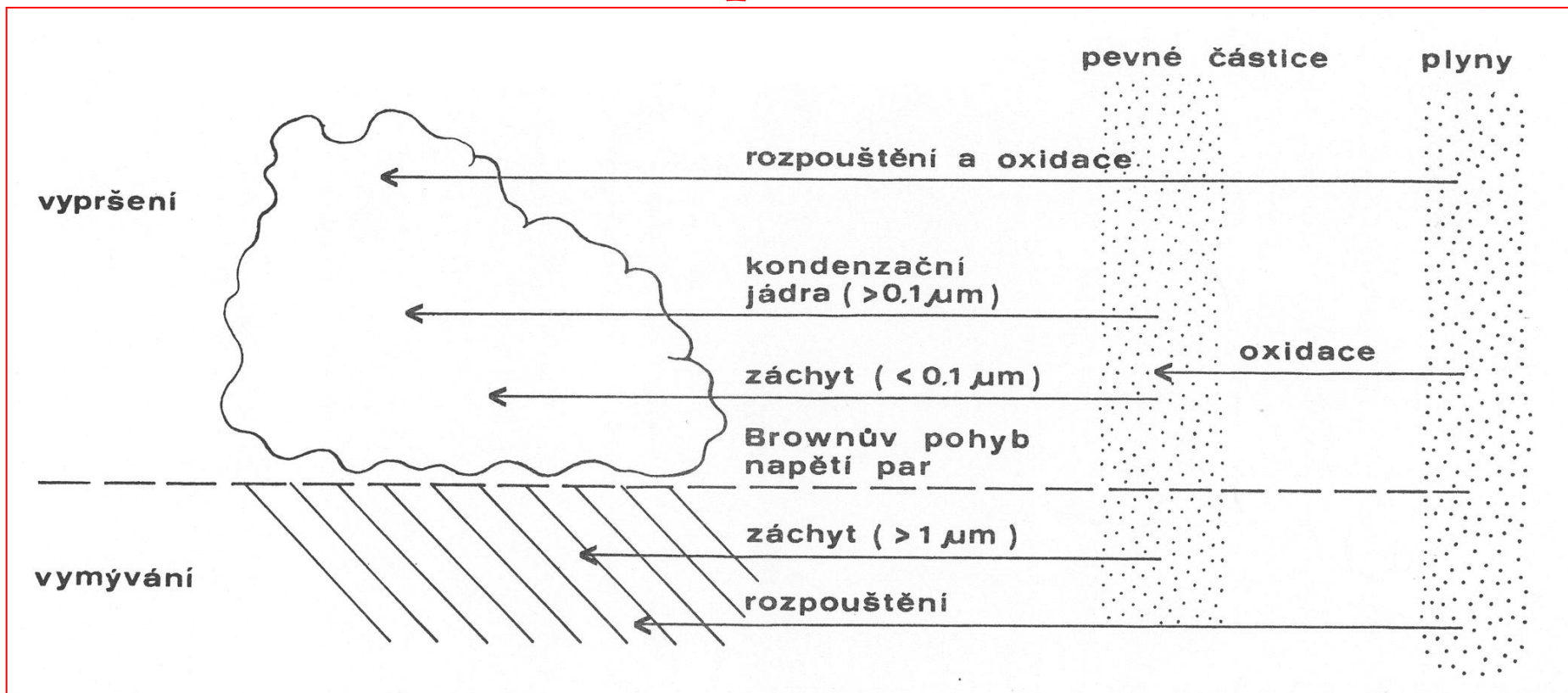
Mokrý atmosférická depozice

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

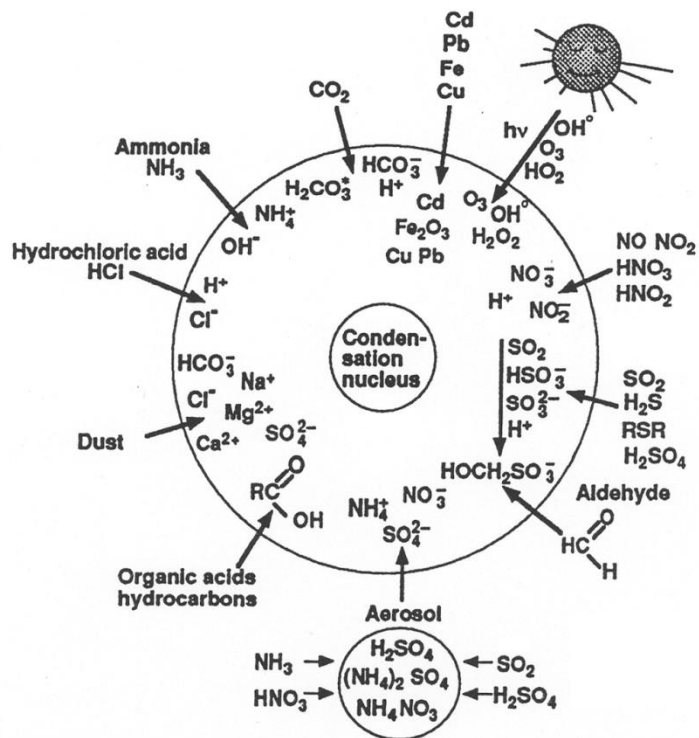


Figure 5.2. Various interactions that determine the composition of a water droplet in the atmosphere (e.g., cloud, fog). Aerosol particles, which to a large extent consist of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and NH_4NO_3 , can form the nuclei for the condensation of liquid water. Various gases can become 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 SO_2 to H_2SO_4 and of organic matter to CO_2 . 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 mg l^{-1} , výjimkou jsou mořské srážky.

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

Chemické složení a vlastnosti atmosférických vod

Dominujícím kationtem je NH_4^+ , nejčastěji se vyskytující anionty – SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- a F^- .

pH – CO_2 a jeho iontové formy – přirozené pH srážek – 5,6 - kyselá srážka lze z chemického hlediska definovat jako vodu, ve které byla vyčerpána tlumivá kapacita uhličitanového systému a na kyselosti se začínají podílet silné minerální kyseliny.

Rozsah vzdáleností procesů mokrého vymývání

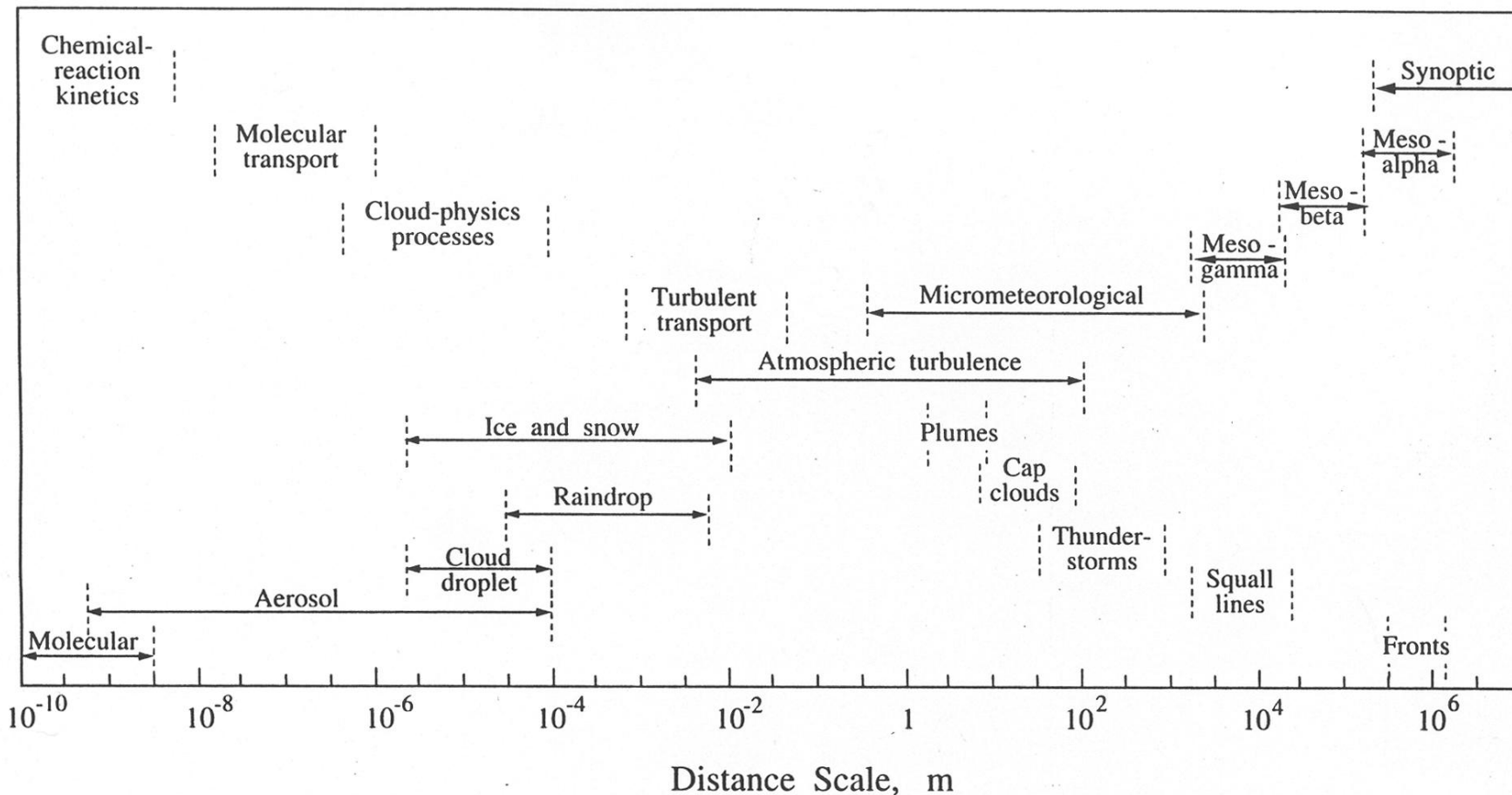
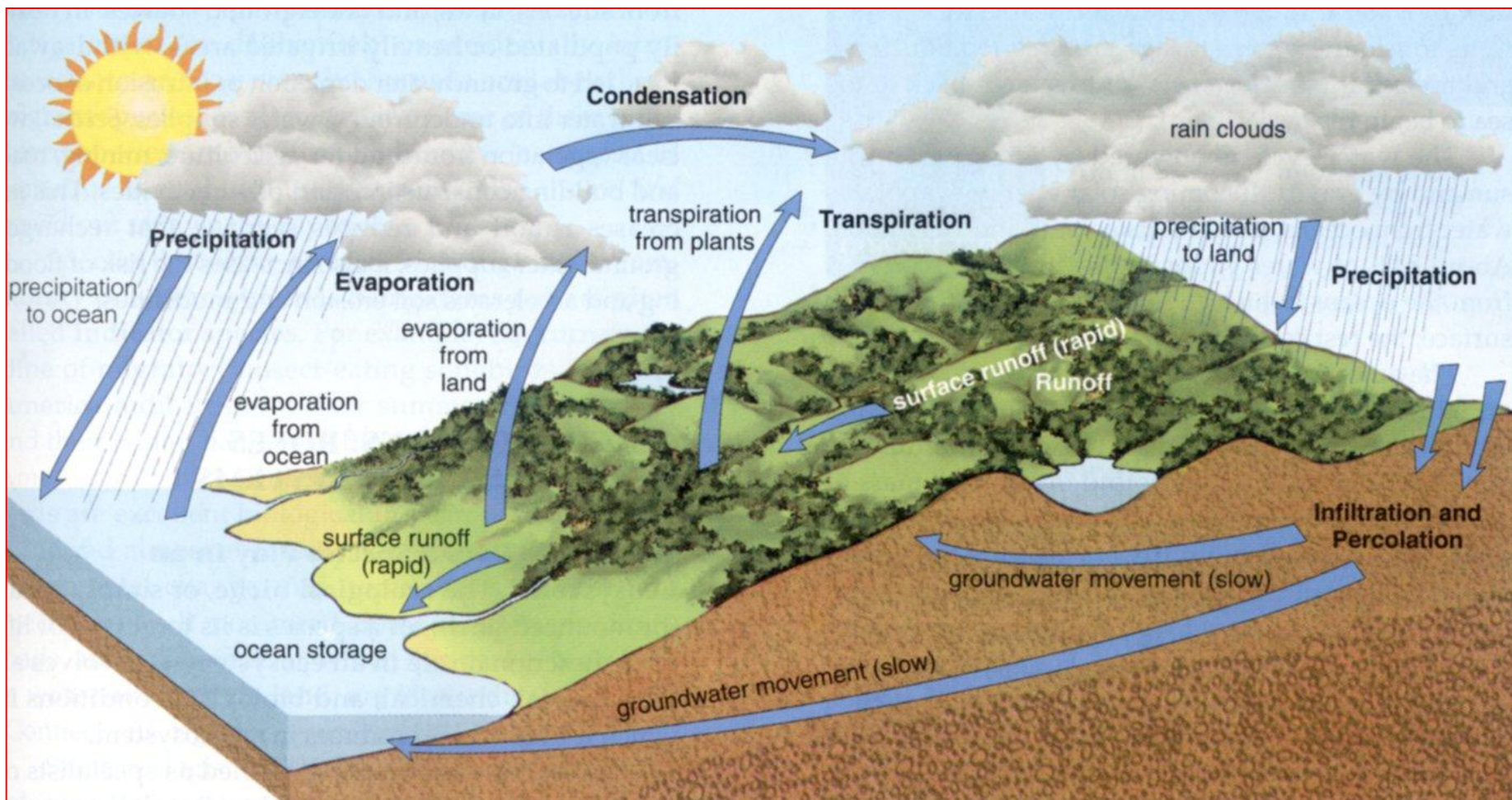


FIGURE 20.2 Lengthscales significant to wet scavenging processes (U.S. NAPAP, 1991)

Hydrologický cyklus

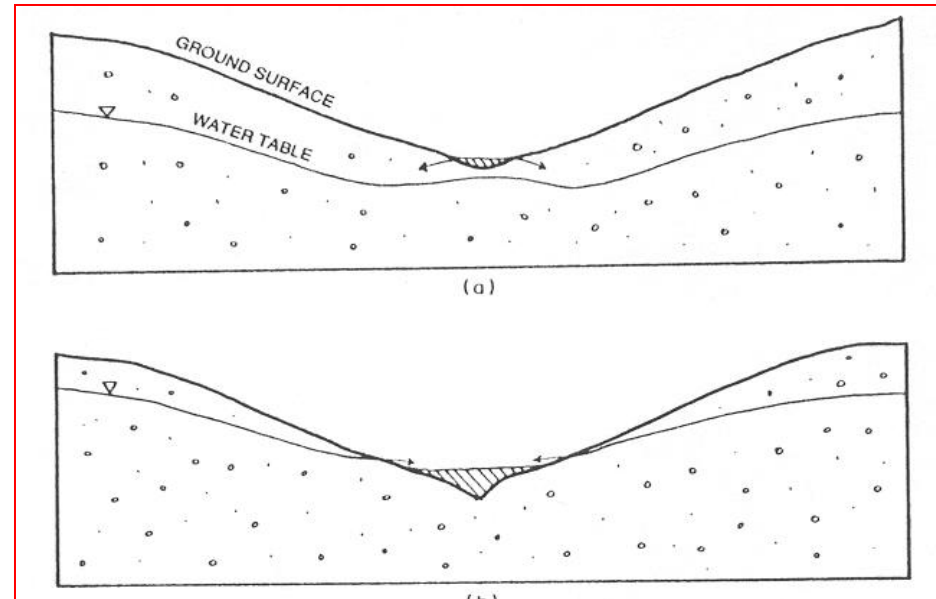


Podzemní vody

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:



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

Rozdělení podpovrchové vody

Povrch země

Pásmo provzdušnění (aerace) - část geologického profilu mezi povrchem terénu a pásmem nasycení, kde část prostoru je vyplněna vzduchem

Hladina podzemní vody

Pásmo nasycení - část geologického profilu, ve které jsou póry zcela zaplněny vodou

Nepropustné skalní podloží

Zvodeň – hydraulicky spojitá akumulace gravitačních podzemních vod v pásmu nasycení vyplňující kolektor

Izolátor – horninové těleso pro vodu málo propustné nebo nepropustné

Kolektor – propustné horninové těleso schopné shromažďovat vodu a dále ji vést

Podzemní vody

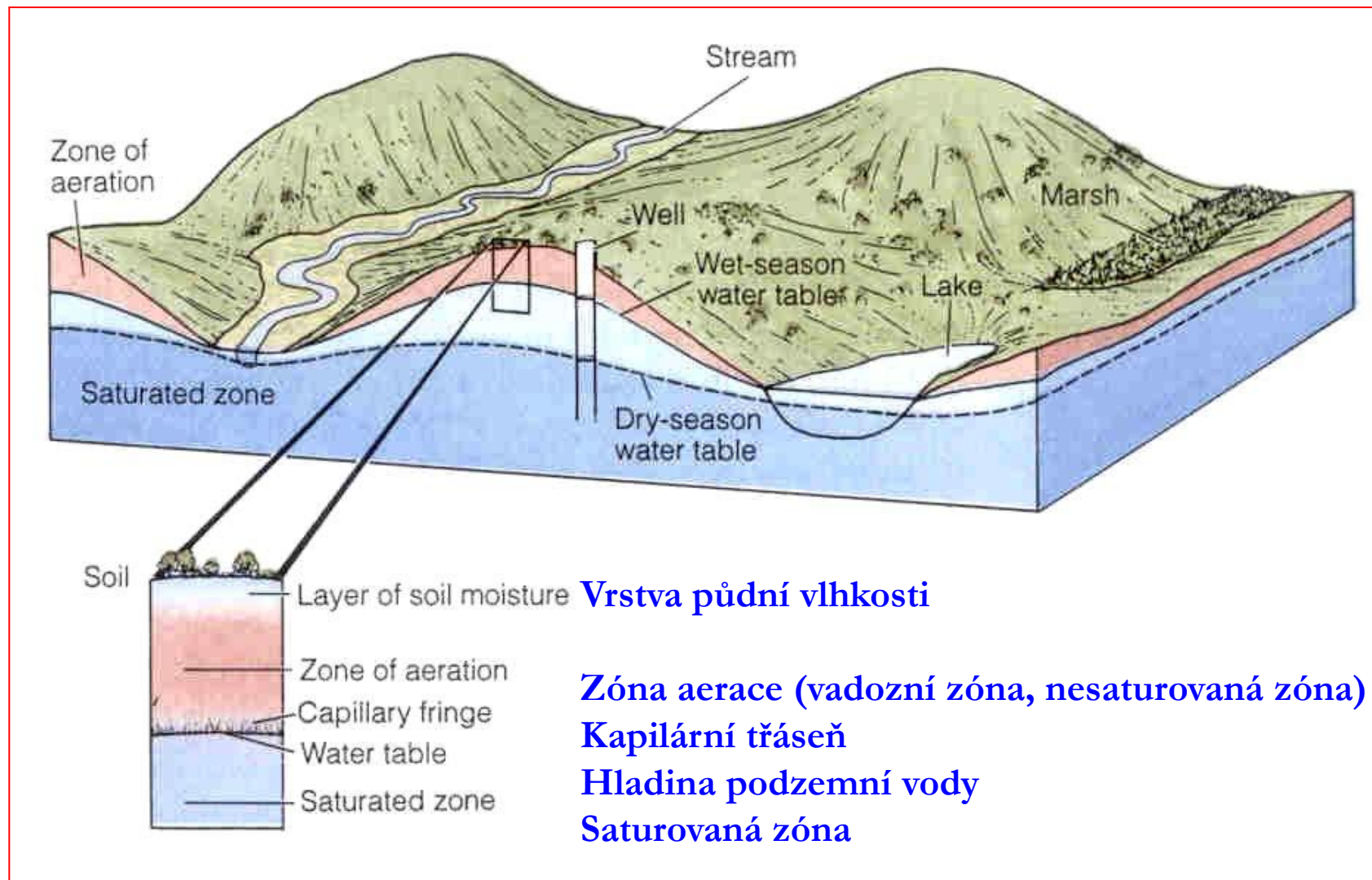
Podmínky pro vznik podzemní vody jsou přibližně do hloubky 10 km pod zemským povrchem.

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



Podzemní vody

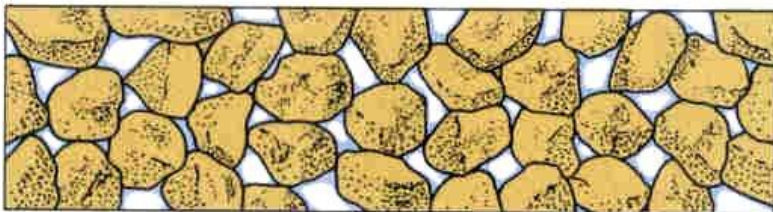
Většina podzemní vody je v pohybu.

Pohyb závisí na:

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



In very small spaces water is held by molecular attraction.



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

Molekulární přitažlivost

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**.

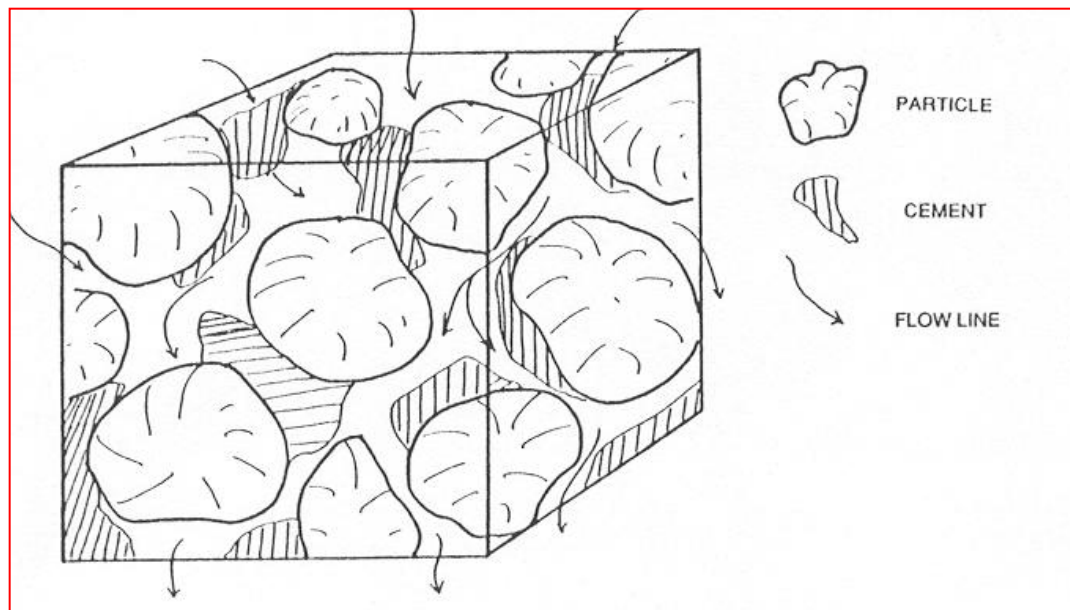
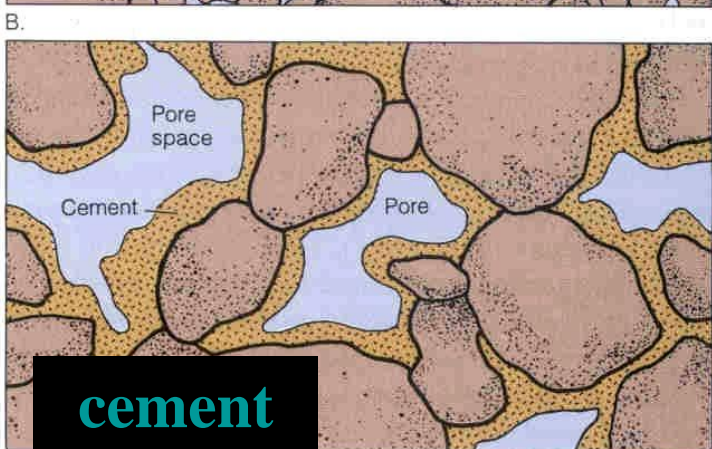
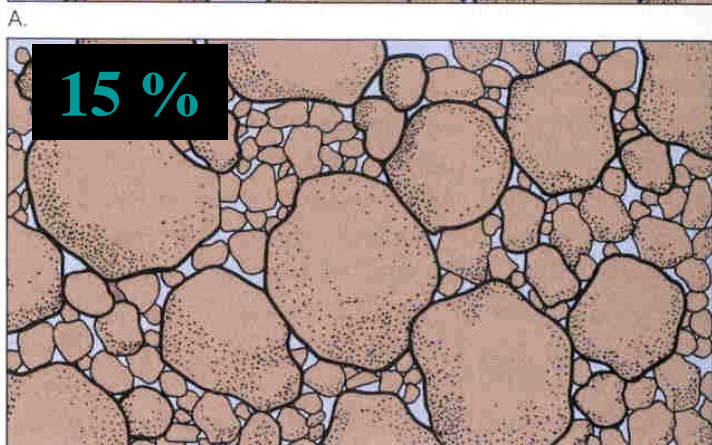
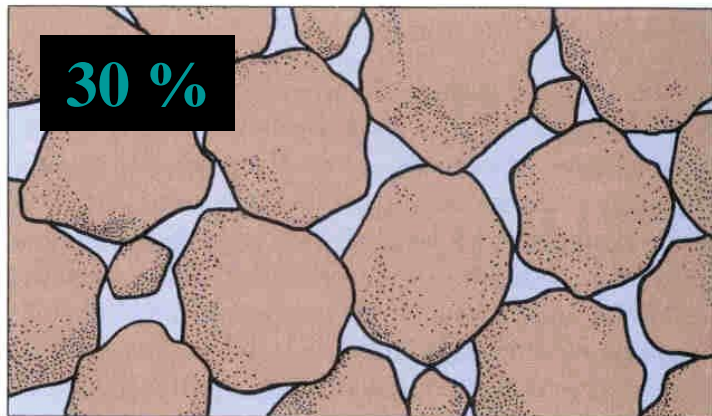
Pokud je celkový objem krychle horniny V_t , objem pevných částic V_s a objem volného prostoru V_v , potom je **porozita N** definována následujícími vztahy:

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

Podzemní vody

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

Závislost prolínání vody horninou v závislosti na její struktuře



Podzemní vody

Porozita závisí na struktuře horniny.

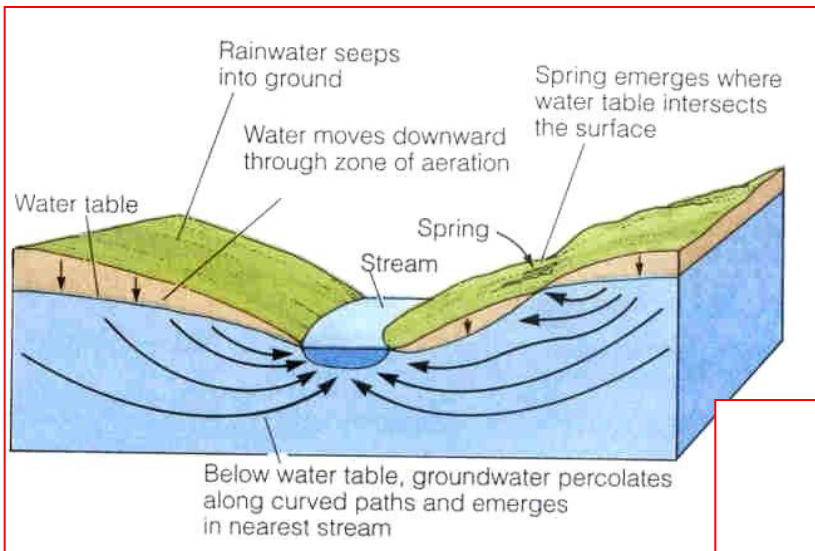
Kubická struktura má průměrně 32 % volného prostoru,
hexagonální struktura kolem 26 %.

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

Typické hodnoty porozity pro různé
typy hornin:

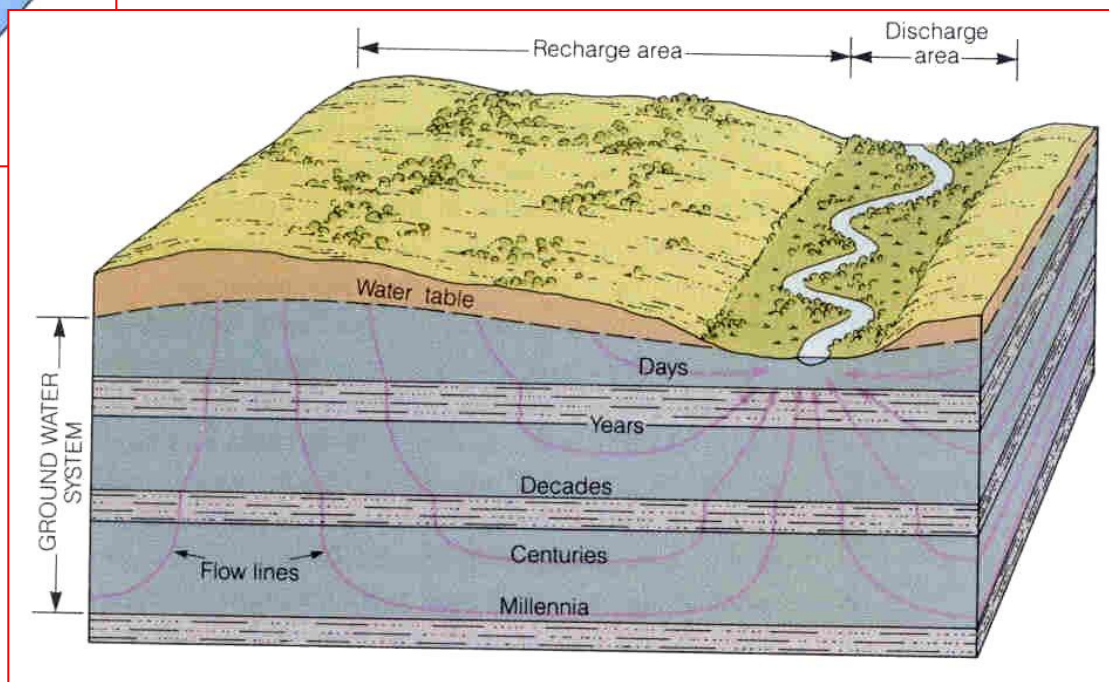
| Materiál | Porozita (%) |
|---------------------|----------------|
| štěrk | 25-40 |
| písek | 25-50 |
| bahno, naplavenina | 35-50 |
| jíl | 40-70 |
| pískovec | 5-30 |
| vápenec | 5-30 |
| břidlice | 1-10 |
| krystalická hornina | 1-10 |

Pohyb podzemní vody



Pohyb v zóně aerace (půdní vlhkost)

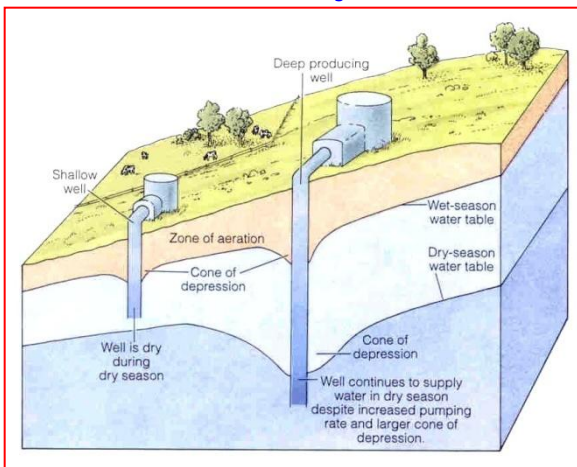
Pohyb v saturované zóně (perkolace)



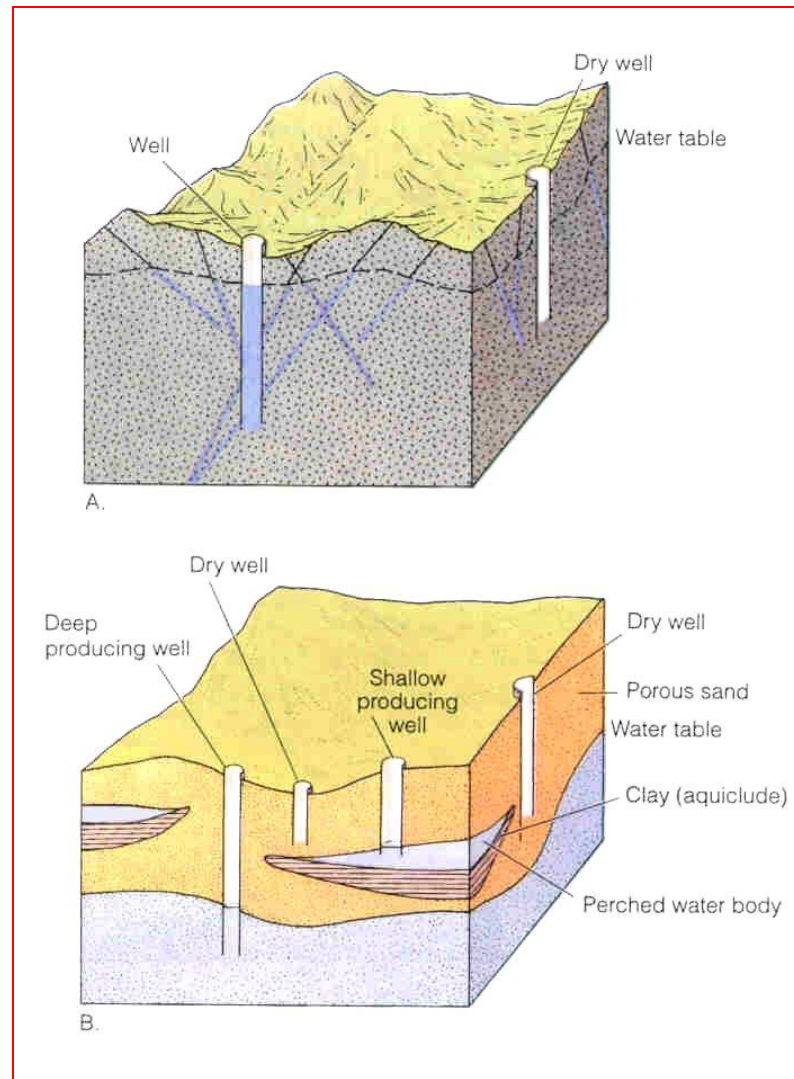
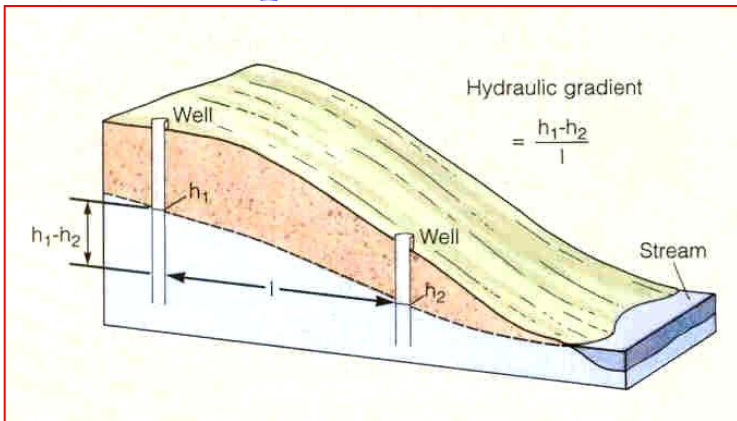
Oblast doplňování a odvodňování – časový režim

Pohyb podzemní vody

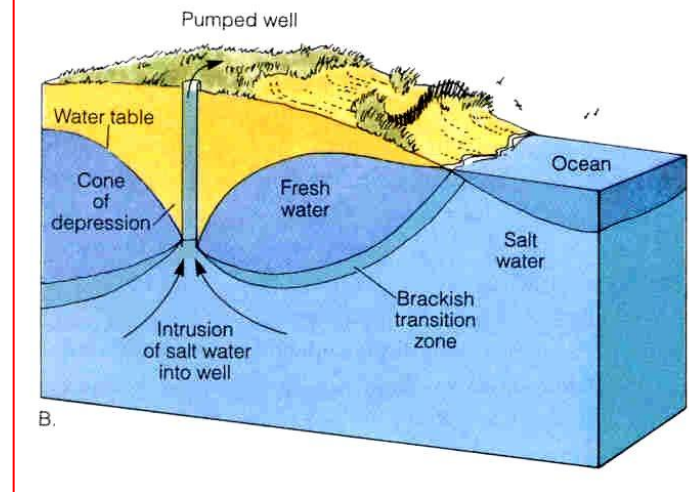
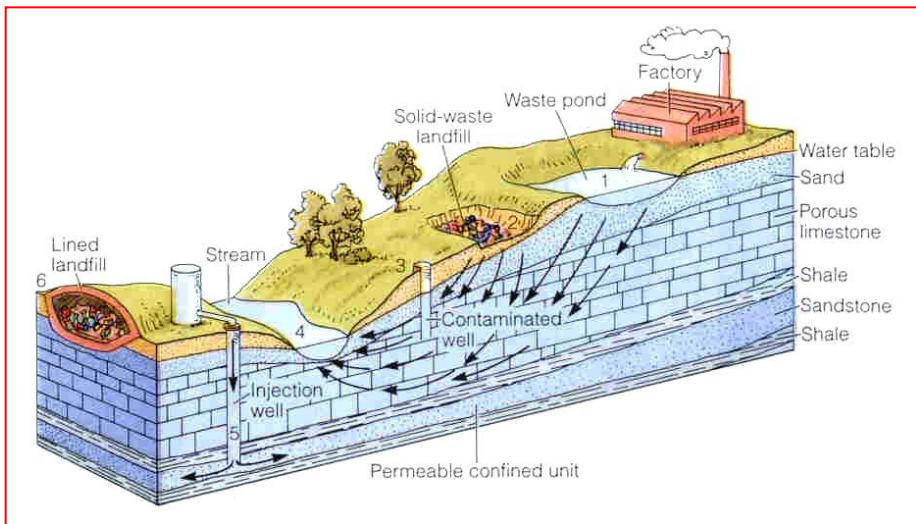
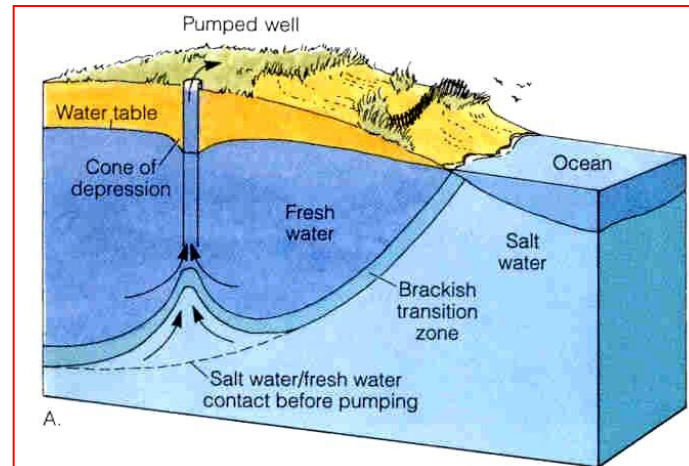
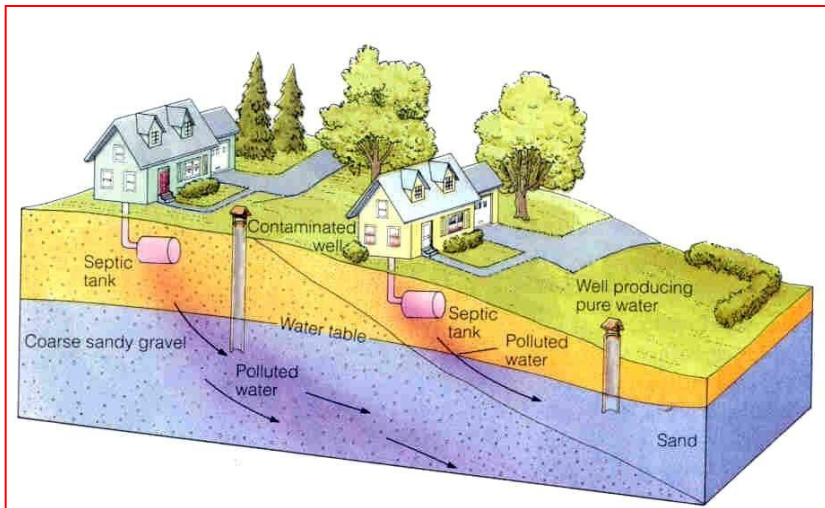
Sezónní vlivy



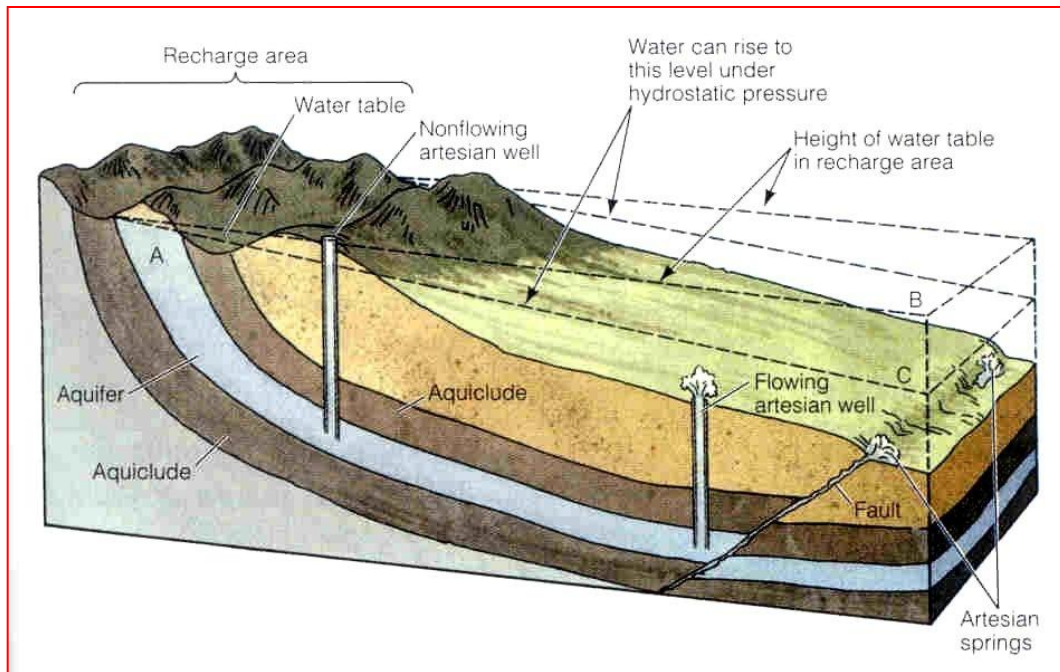
Rychlost proudění



Pohyb podzemní vody



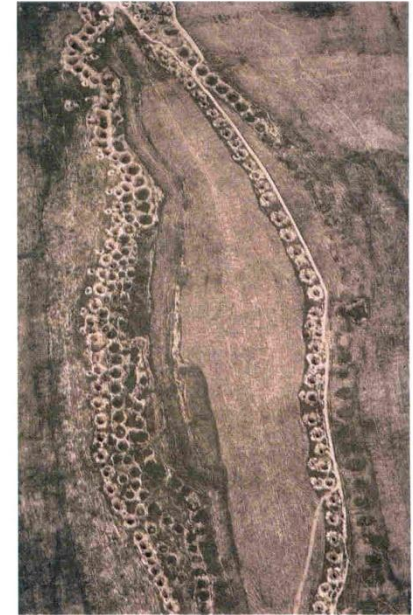
Artézské systémy



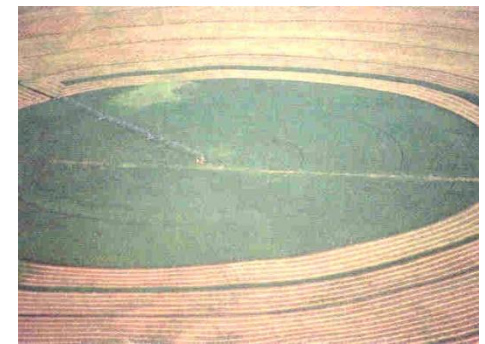
- Vlivy nadměrného čerpání
- Snížení hladiny podzemní vody
- Kompakce a poklesy
- Soupeření o povrchovou vodu
- Přenos mezi bazény

Dopady

- ↪ Amu Darja, Syr Darja (hranice mezi Kazachstánem a Uzbekistánem)
- ↪ Před třiceti lety bylo Aralské jezero čtvrtým největším jezerem světa (68 000 km², 16 m hloubka, 45 000 tun ryb ročně)
- ↪ Zavlažování: rybářské vesnice jsou 50 km od břehů, 40 000 km², 9 m hloubka



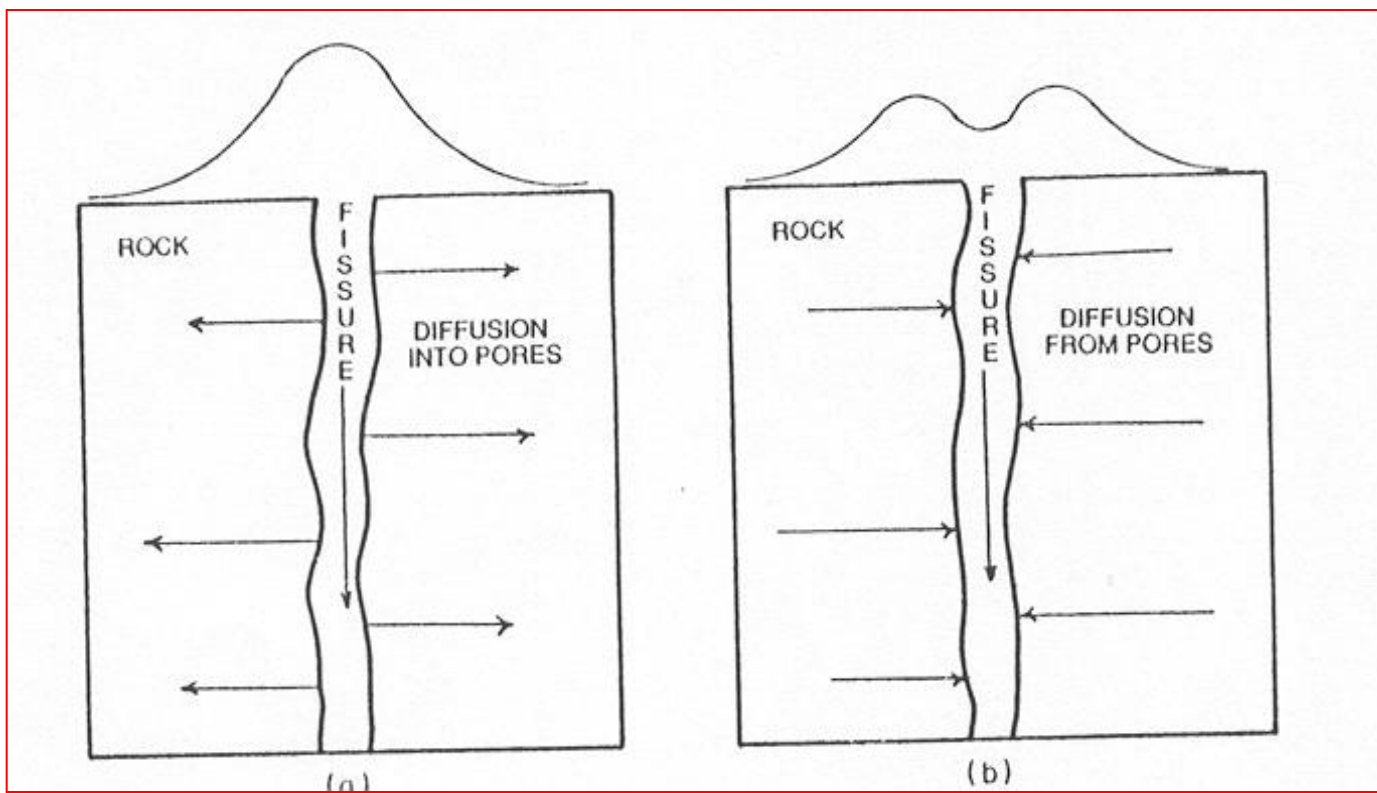
Zavlažovací systém v Iráku



Zavlažování v Kanadě

Podzemní vody

Hydrogeologické podmínky mohou ovlivňovat kontaminaci do nesaturované 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 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 - Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , méně F^- , Br^- , I^- , PO_4^{3-} , stopové prvky
- ↙ za přítomnosti CO_2 a O_2 :
 - CO_2 : CaCO_3 (Mg, Fe, Mn) - málo rozpustné; 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 NO_3^- , 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:

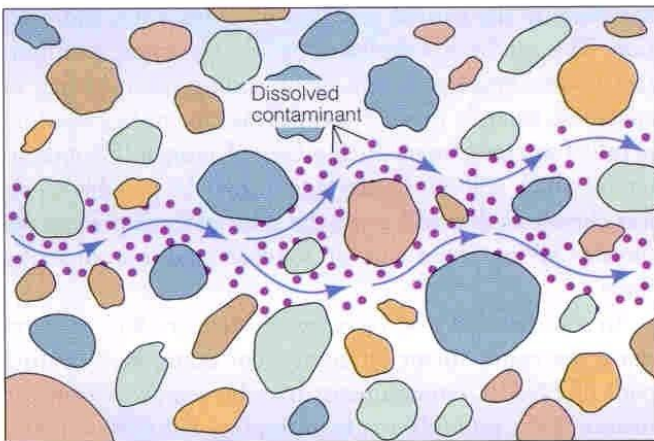
- ↪ Průsaky pesticidů a hnojiv ze zemědělsky obdělávaných půd
- ↪ Odpady (močůvka, silážní št'ávy, skládky..), domácí a komunální odpad - v pískách se rychle vyčistí – mechanická filtrace bakterií, oxidace bakteriemi, kontakt s organismy, které se živí bakteriemi
- ↪ Ropné produkty
- ↪ Detergenty
- ↪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

Znečištění podzemní vody

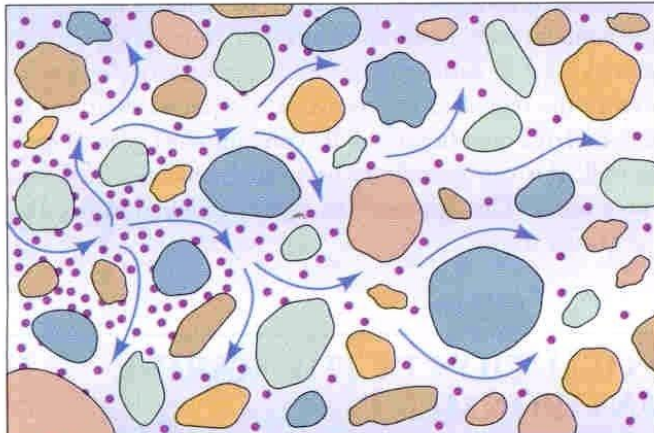
- ↪ Běžná kontaminace **dusičnany** (hnojiva, odpady, skládky) a další zemědělské chemikálie
- ↪ 20 z 25 nejzastoupenějších kontaminantů = **těkavé organické látky**
- ↪ Benzen, toluen, ethylbenzen, xylen (BTEX – benzin)
- ↪ DCE, TCE, PCE
- ↪ Prosakující podzemní nádrže („LUST“ – leaking underground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

Chování kontaminantů pod povrchem

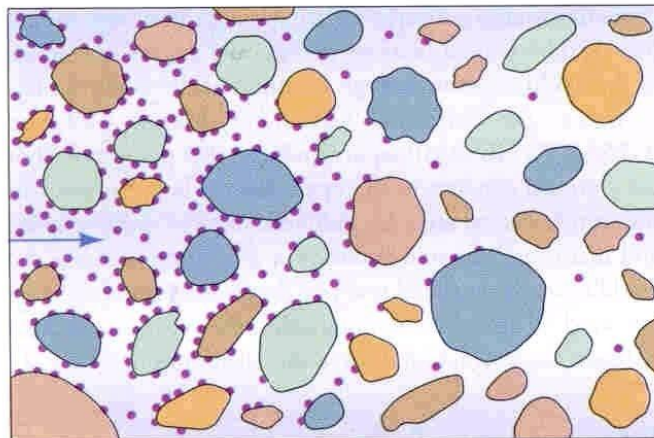
- ⇒ Chování kontaminantů pod povrchem
- ⇒ Porosita, permeabilita
- ⇒ Hladina podzemní vody, saturevaná a nesaturevaná zóna
- ⇒ Transport kontaminantů
- ⇒ Kontaminační mrak
- ⇒ Normální tok vody propustným prostředím – advekce



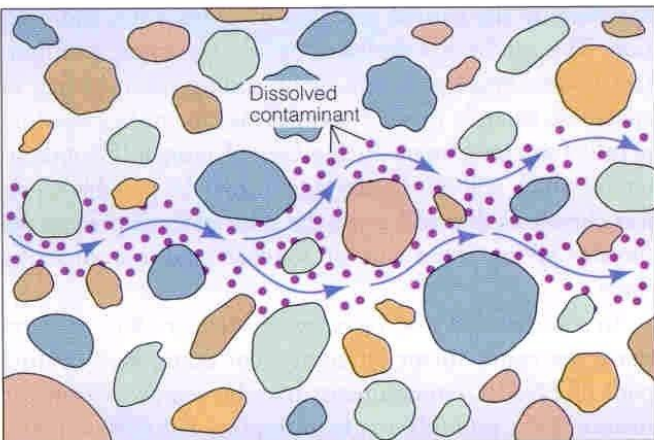
A. Advective flow



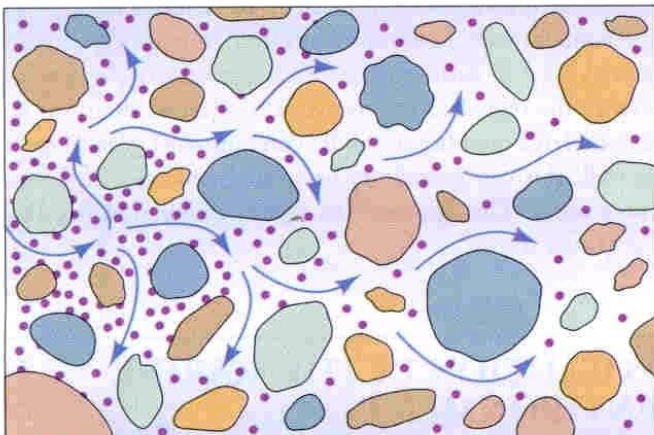
B. Dispersion



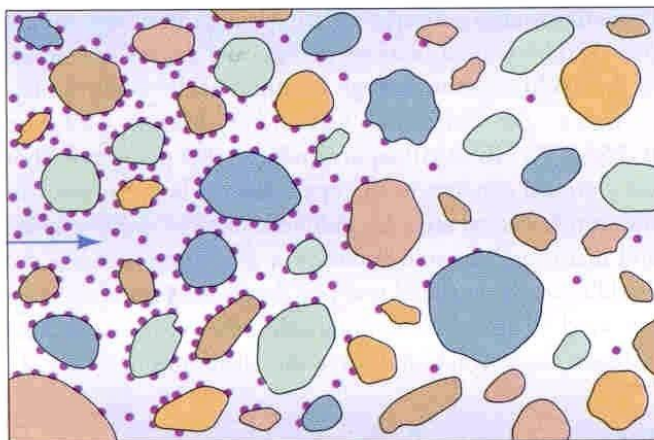
Chování kontaminantů pod povrchem



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.

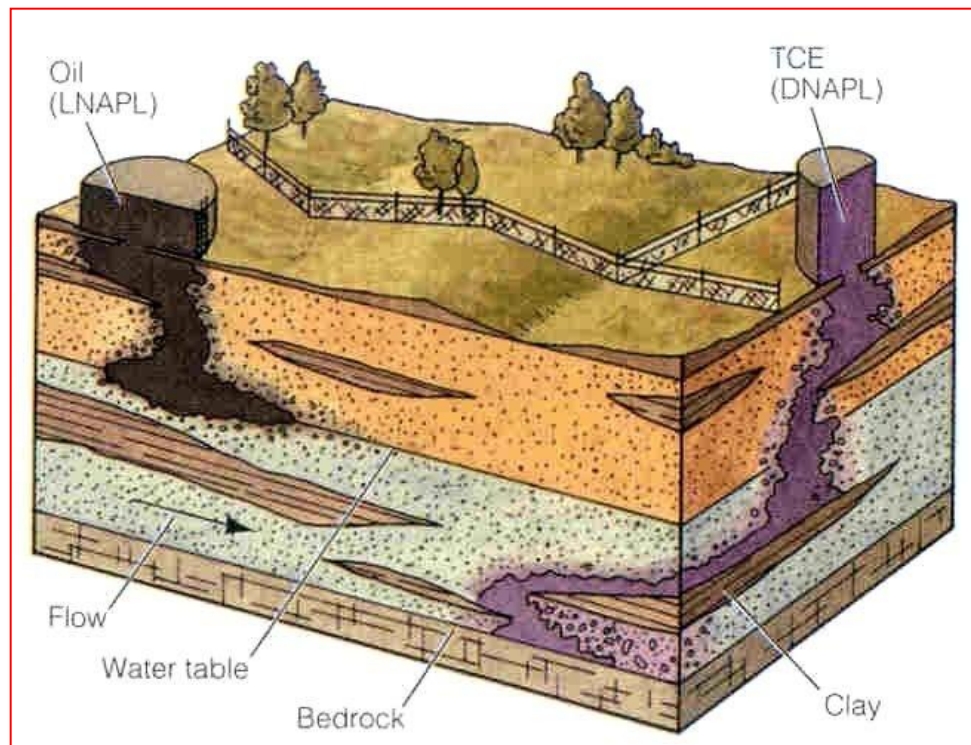
Chování kontaminantů pod povrchem

Důležité charakteristiky:

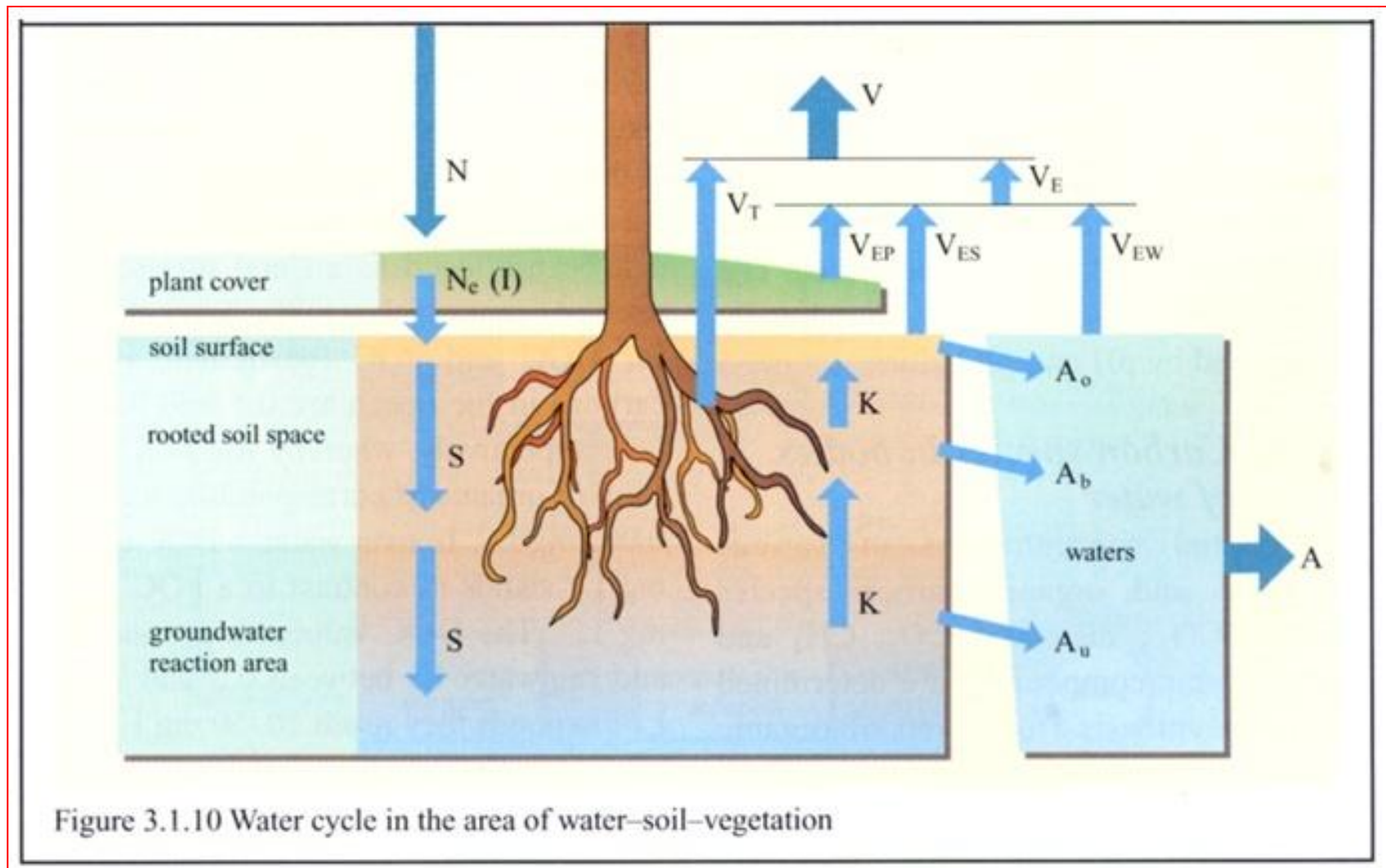
- ↪ Hustota kontaminantu ve vztahu k podzemní vodě
- ↪ Lehčí (LNAPL – light nonaqueous phase liquid) – benzin
- ↪ Těžší (DNAPL – dense ...) – TCE

Dekontaminace:

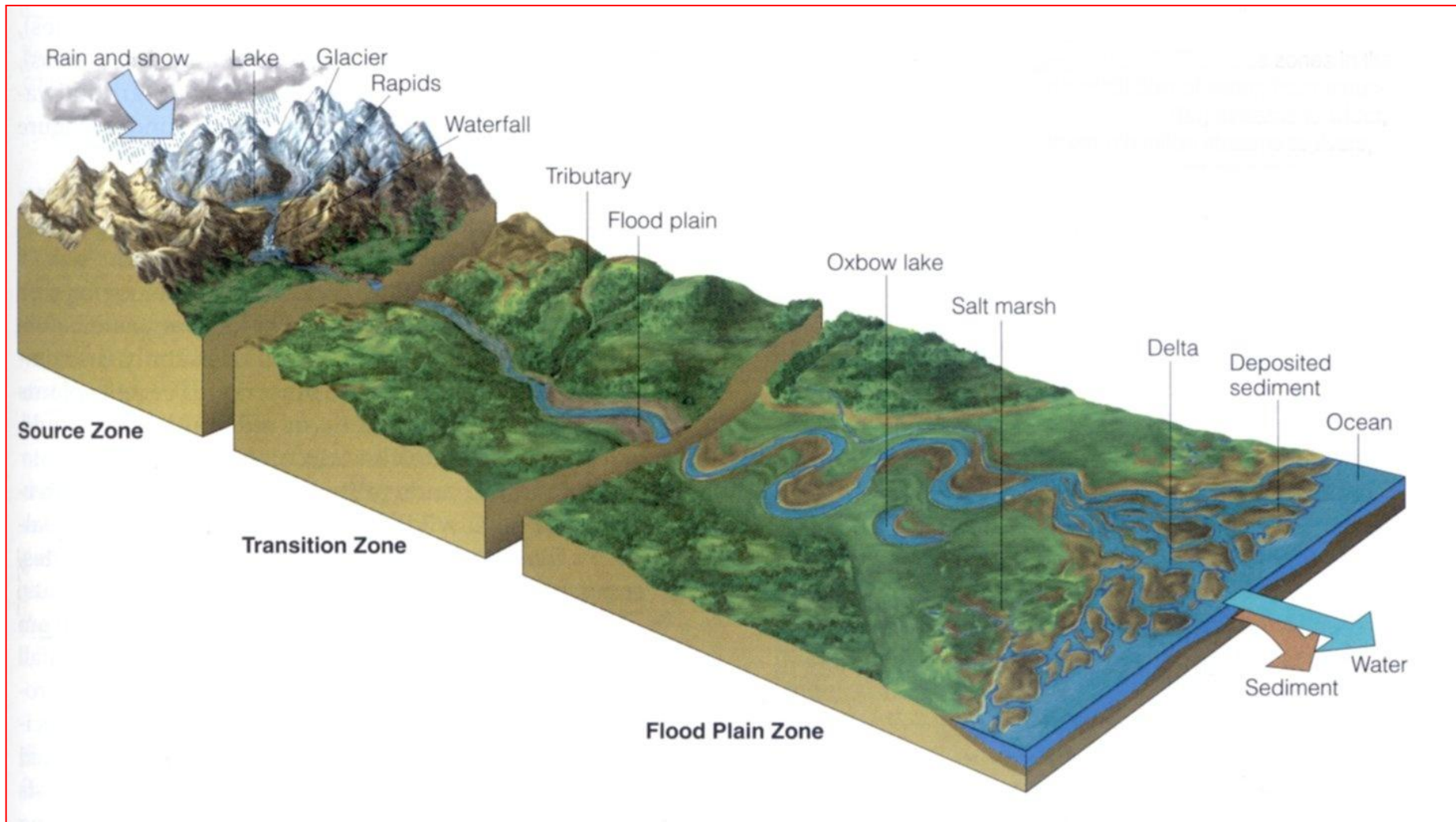
- ↪ Aktivní
- ↪ Pasivní („nulová“ varianta)
- ↪ Přirozená atenuace
(zeslabení, útlum)
- ↪ Biostimulace



Cyklus vody v zóně voda – půda - vegetace



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

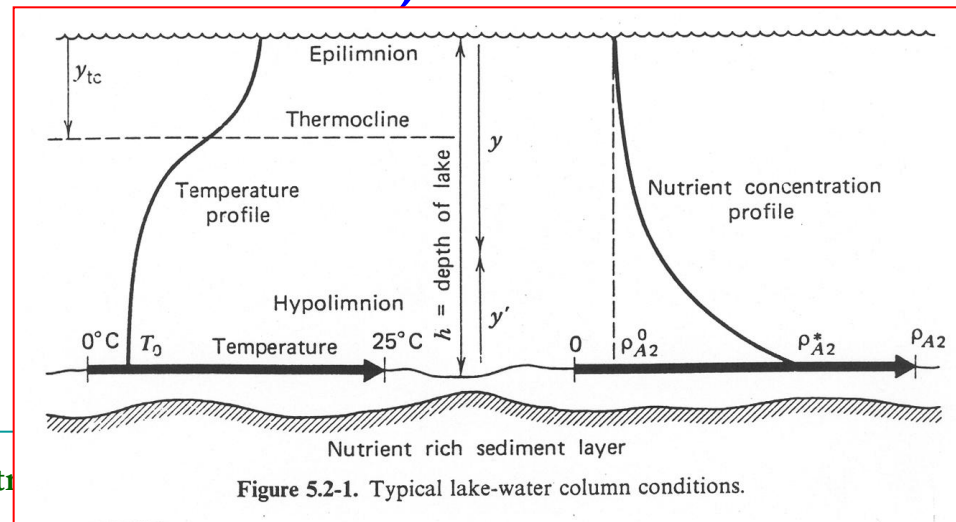
Chemické složení stojatých vod se mění zejména ve vertikálním směru a do určité míry ve směru horizontálním – u nádrží v závislosti na průtoku vody nádrží.

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:

- T,
- Rozpuštěného kyslíku,
- Volného 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)



Stojaté vody – teplotní stratifikace

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

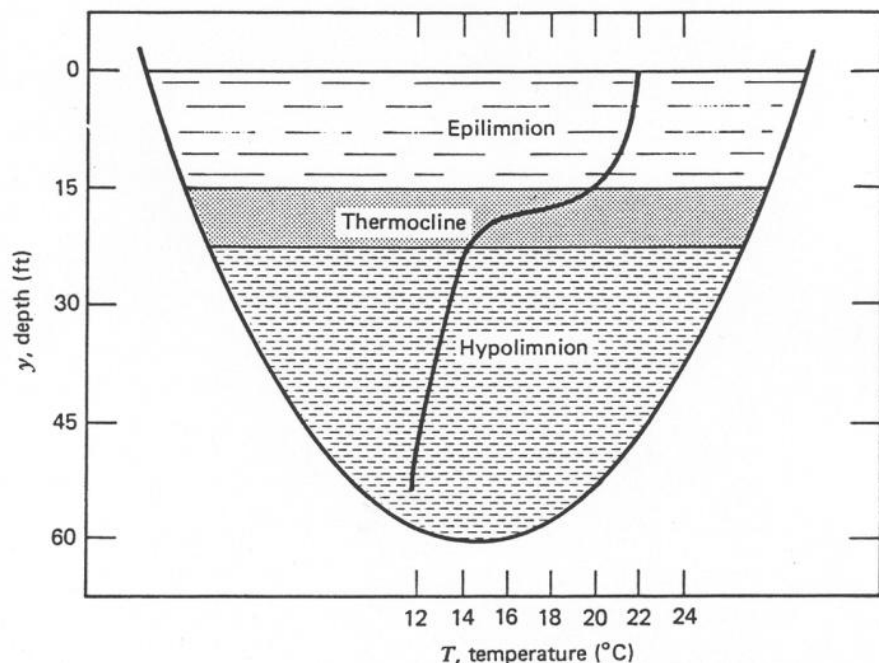


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

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 snižuje hustota vody.

Metalimnion (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

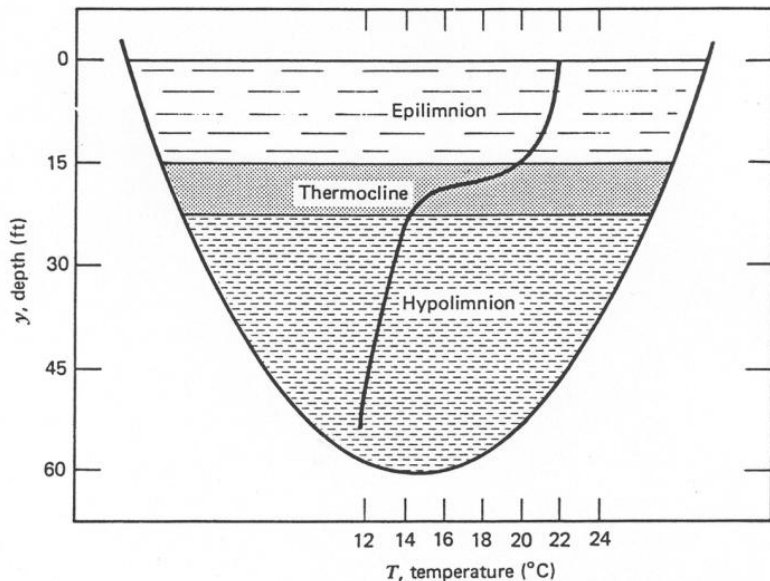


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

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

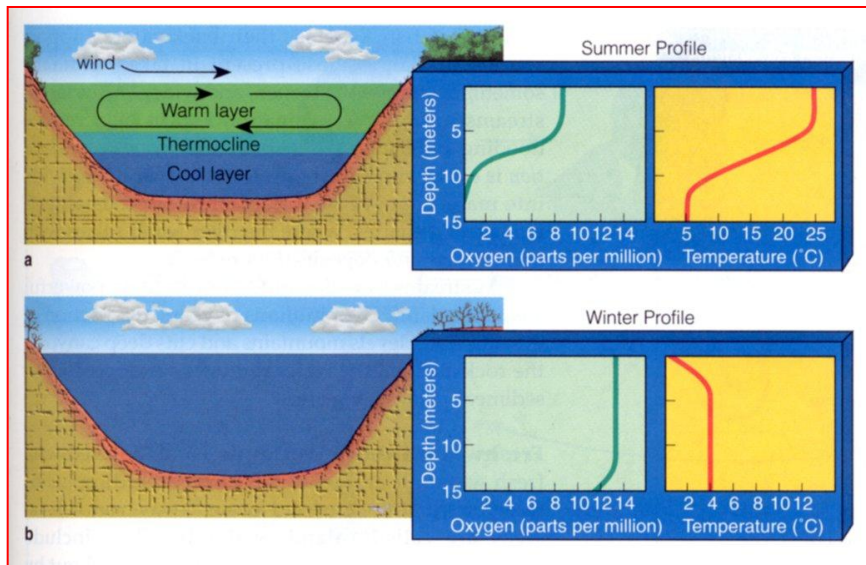
Teplotní stratifikace je charakterizována
dobře promíchávanou teplejší svrchní
vrstvou a chladnější vrstvou nad dnem,
obě vrstvy jsou odděleny skočnou
vrstvou.

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 období**

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.

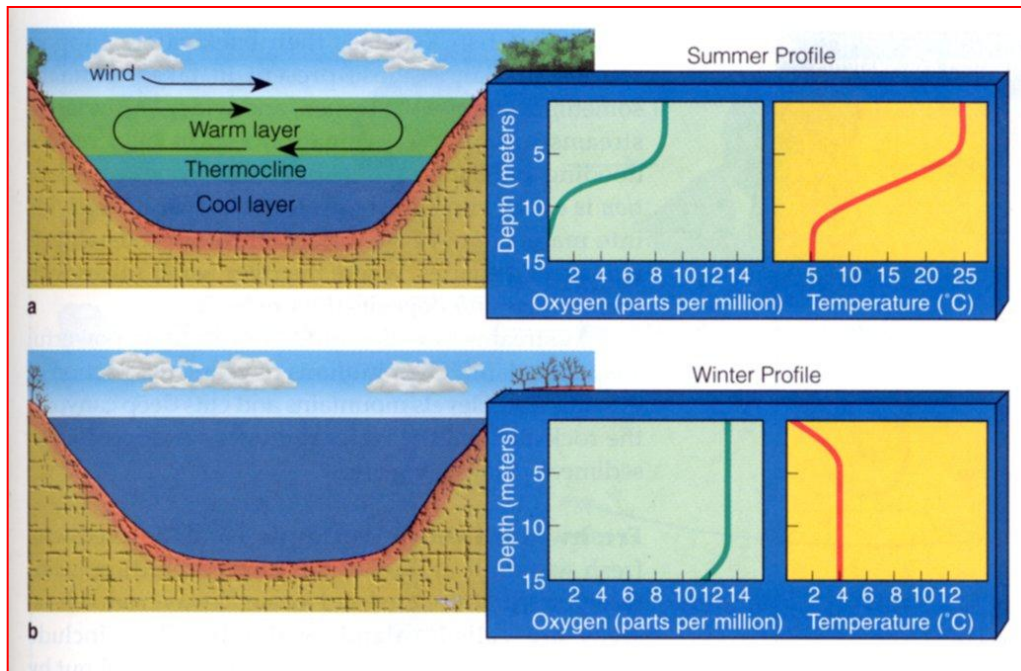
Teplota se v celé nádrži vyrovná a nádrž získá homotermii.

V zimě, po podzimní cirkulaci, dochází ochlazováním 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**.

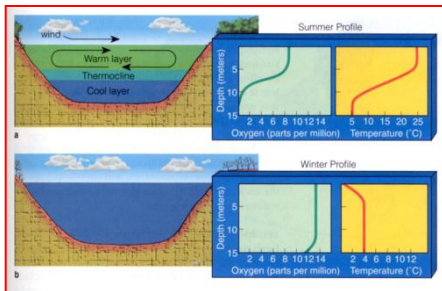
Stojaté vody – kyslíková stratifikace



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:

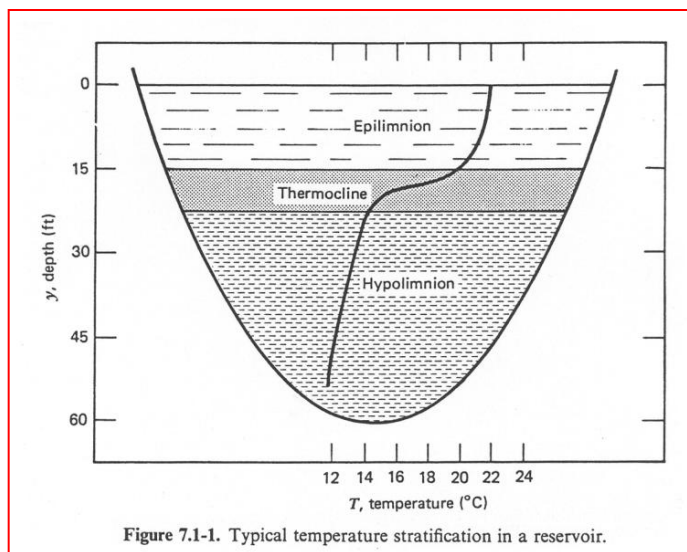
- Atmosférická reaerace
- Fotosyntetická asimilace fytoplanktonu

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



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

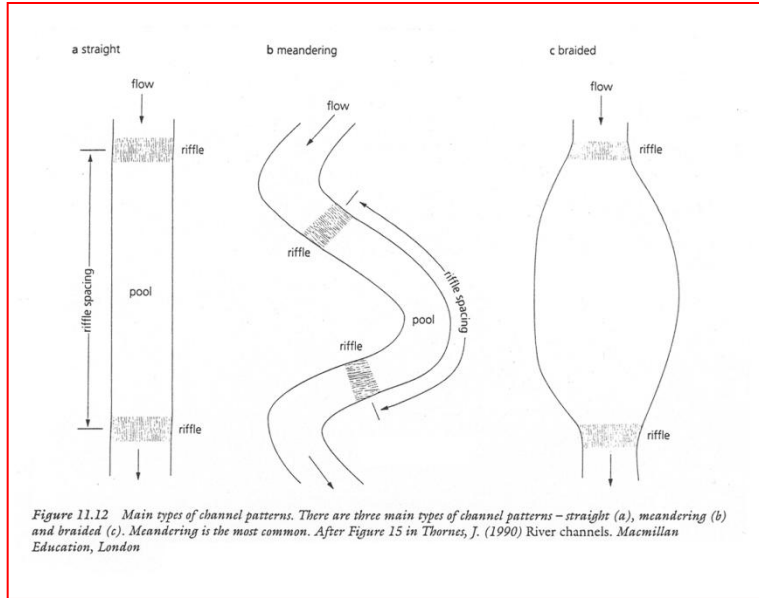


Figure 11.12. Main types of channel patterns. There are three main types of channel patterns – straight (a), meandering (b) and braided (c). Meandering is the most common. After Figure 15 in Thornes, J. (1990) River channels. Macmillan Education, London

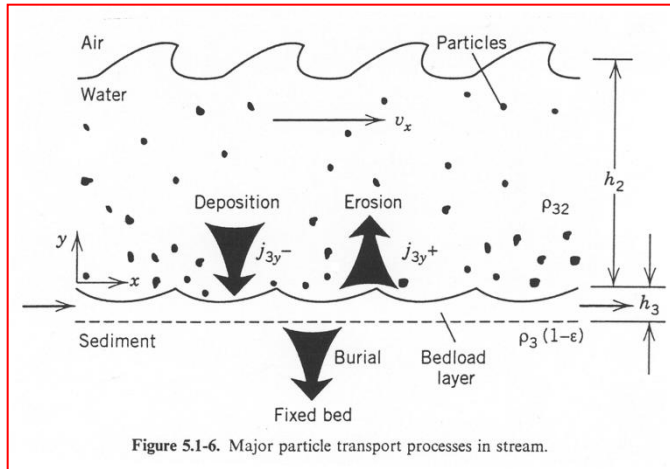
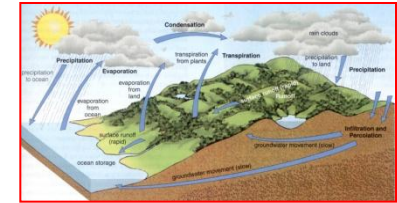


Figure 5.1-6. Major particle transport processes in stream.

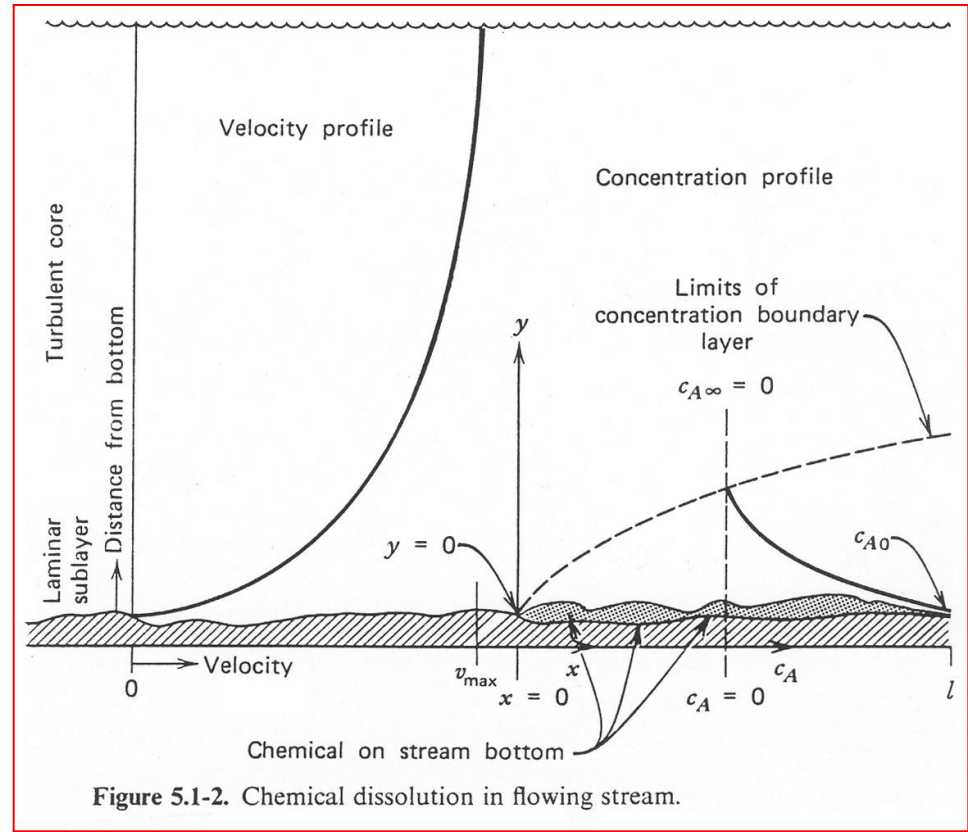
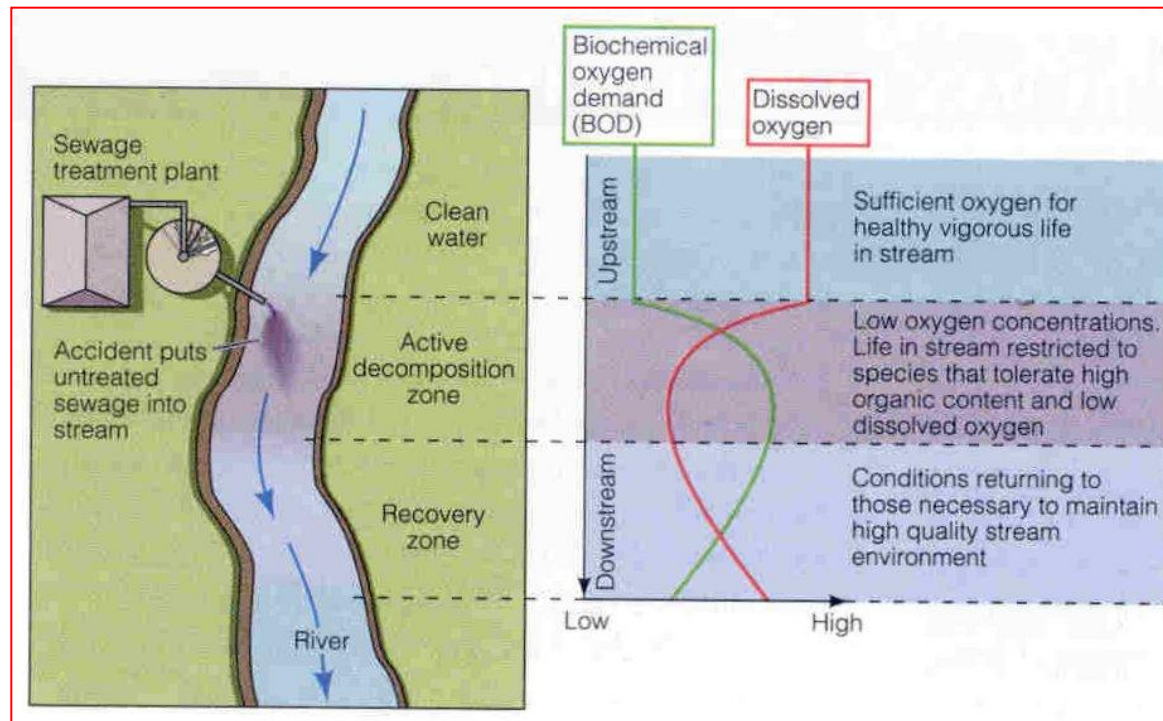


Figure 5.1-2. Chemical dissolution in flowing stream.

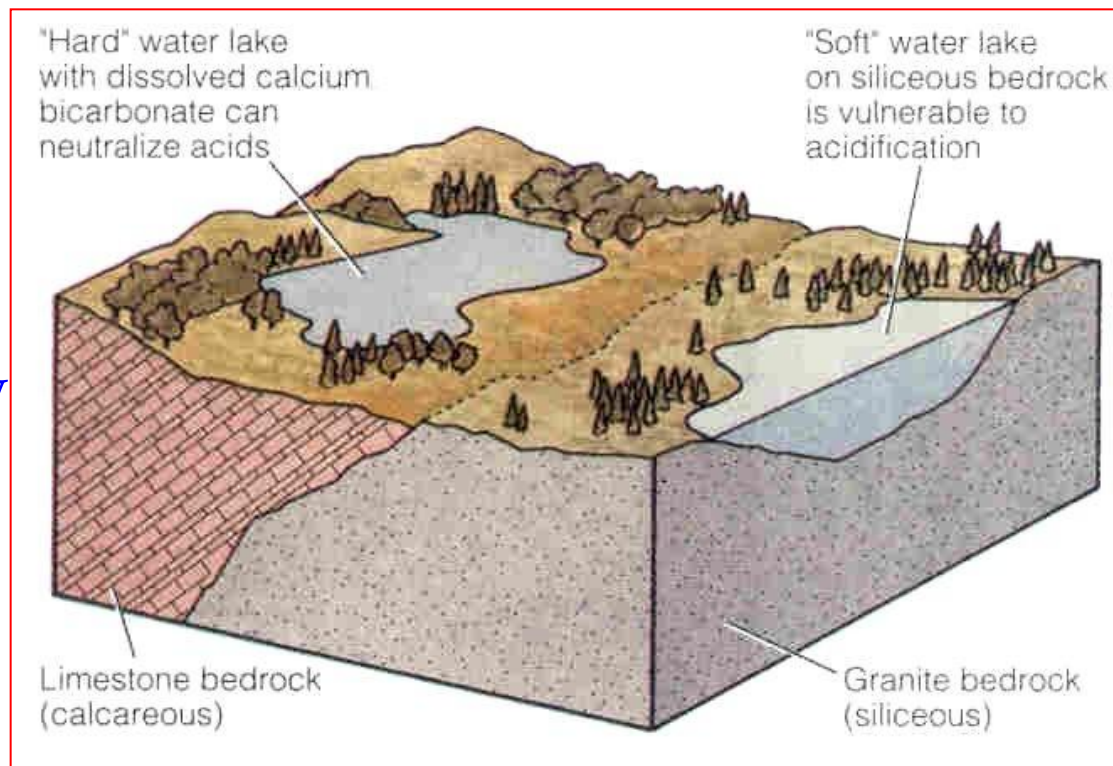
Znečištění povrchových vod

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



Znečištění povrchových vod

- ↪ Kyselé a alkalické odpady
- ↪ Kyselé důlní vody (AMD)
- ↪ Kyselé deště (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 (NaCl , CaCl_2)
 - způsobující sekundární znečištění (PO_4^{3-} , NO_3^-)
 - měnící pH vody (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⁻¹, tající sníh, ledovce < 100 mg.l⁻¹
- ↪ **Nerozpuštěné látky** - jednotky mg.l⁻¹ (záplavy desítky až stovky mg.l⁻¹)
- ↪ **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 CO₂** - nízké koncentrace
- ↪ **pH** - 6,0 - 8,5 (rašeliniště < 4,0)
- ↪ **Koncentrace slabých a silných kyselin** - koreluje s pH
- ↪ **Tlumivý systém** - uhličitanový (H₂CO₃ - HCO₃⁻), maximum = 6,3, minimum = 8,3
- ↪ **HCO₃⁻** - rozpouštěním CO₃²⁻, HCO₃⁻, pohlcováním CO₂

Povrchové vody - znečištění

- ↪ SO_4^{2-} - z poloviny dáno atmosférickou depozicí, z poloviny zvětráváním a rozpouštěním minerálů, minerální hnojiva
- ↪ Cl^- - z geologického podloží, méně z atmosféry
- ↪ Ca^{2+} - z uhličitánů, méně hlinitokřemičitany
- ↪ Mg^{2+} - opačně
- ↪ K^+ - zvětrávání (hlinitokřemičitany)
- ↪ Na^+ - zvětrávání (hlinitokřemičitany), Cl^- , 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

Povrchové vody – prioritní polutanty dle US EPA

| LÁTKY | POČET |
|-------------------------------------|-------|
| <i>Organické:</i> | 114 |
| Pesticidy a produkty jejich rozpadu | 21 |
| PCBs a 2-chlornaftalen | 7 |
| Halogenované alifatické uhlovodíky | 26 |
| Ethery | 7 |
| Monocyklické aromatické | 12 |
| Fenoly a kresoly | 11 |
| Estery kyseliny ftalové | 6 |
| PAHs | 16 |
| Nitrosoaminy a další dusíkaté látky | 4 |
| <i>Anorganické:</i> | 15 |
| Kovy | 13 |
| Azbest | 1 |
| Kyanidy | 1 |

Otevřené moře

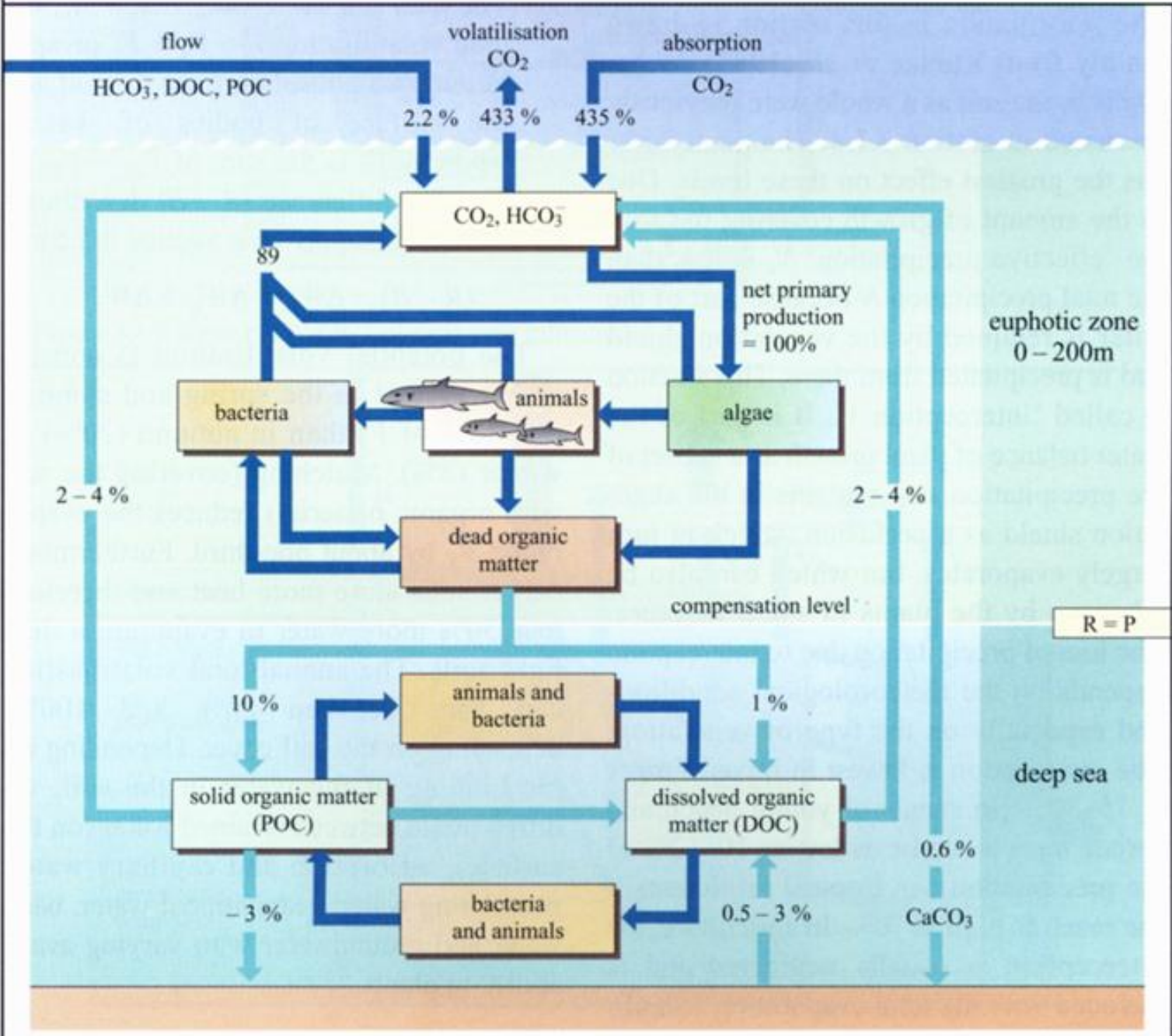
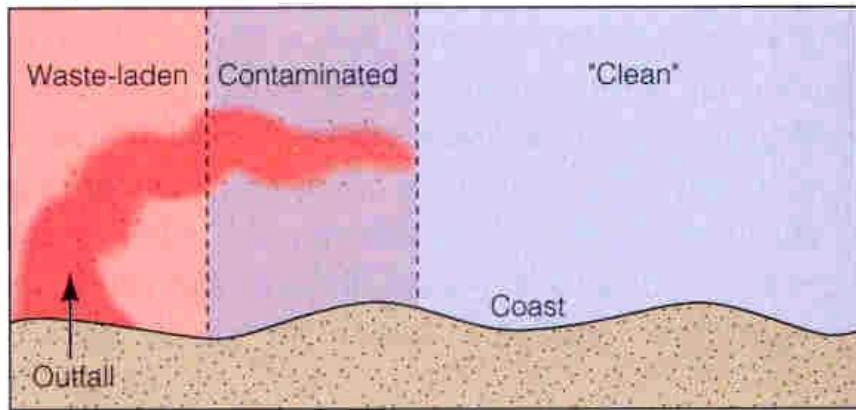
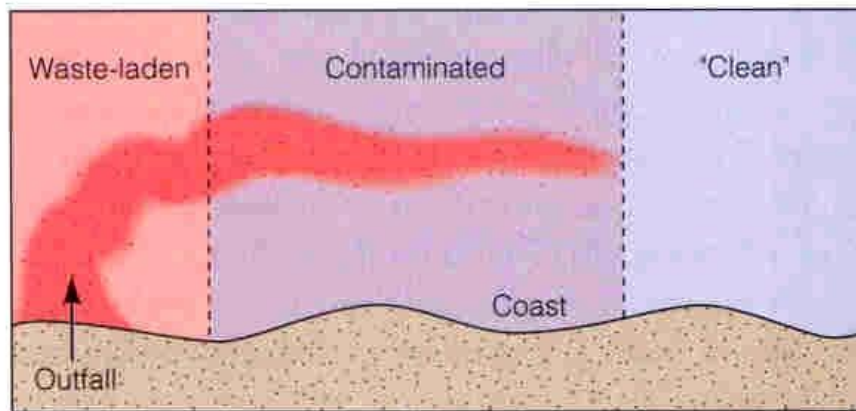


Figure 3.1.8 Quantified material cycle in the open sea

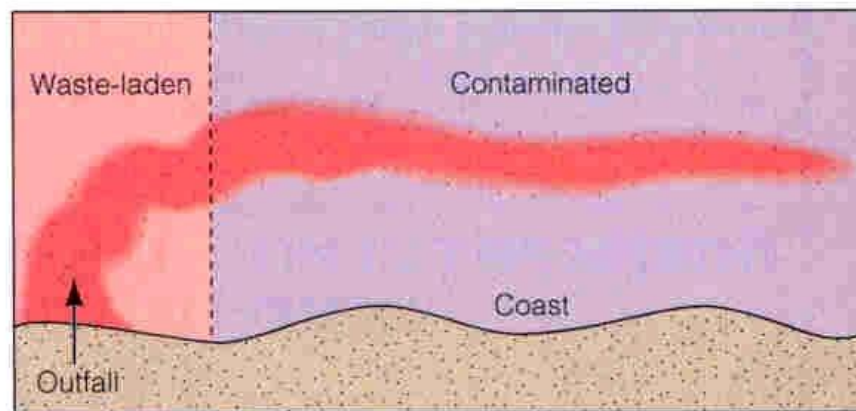
Longshore transport →



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 Středozemního moře
- ↪ **Ročně 6 milionů tun ropy do oceánů – 1 tuna ropných znečistí 6 km² vodní plochy**



Galveston Bay, Texas, 1990



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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