

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.

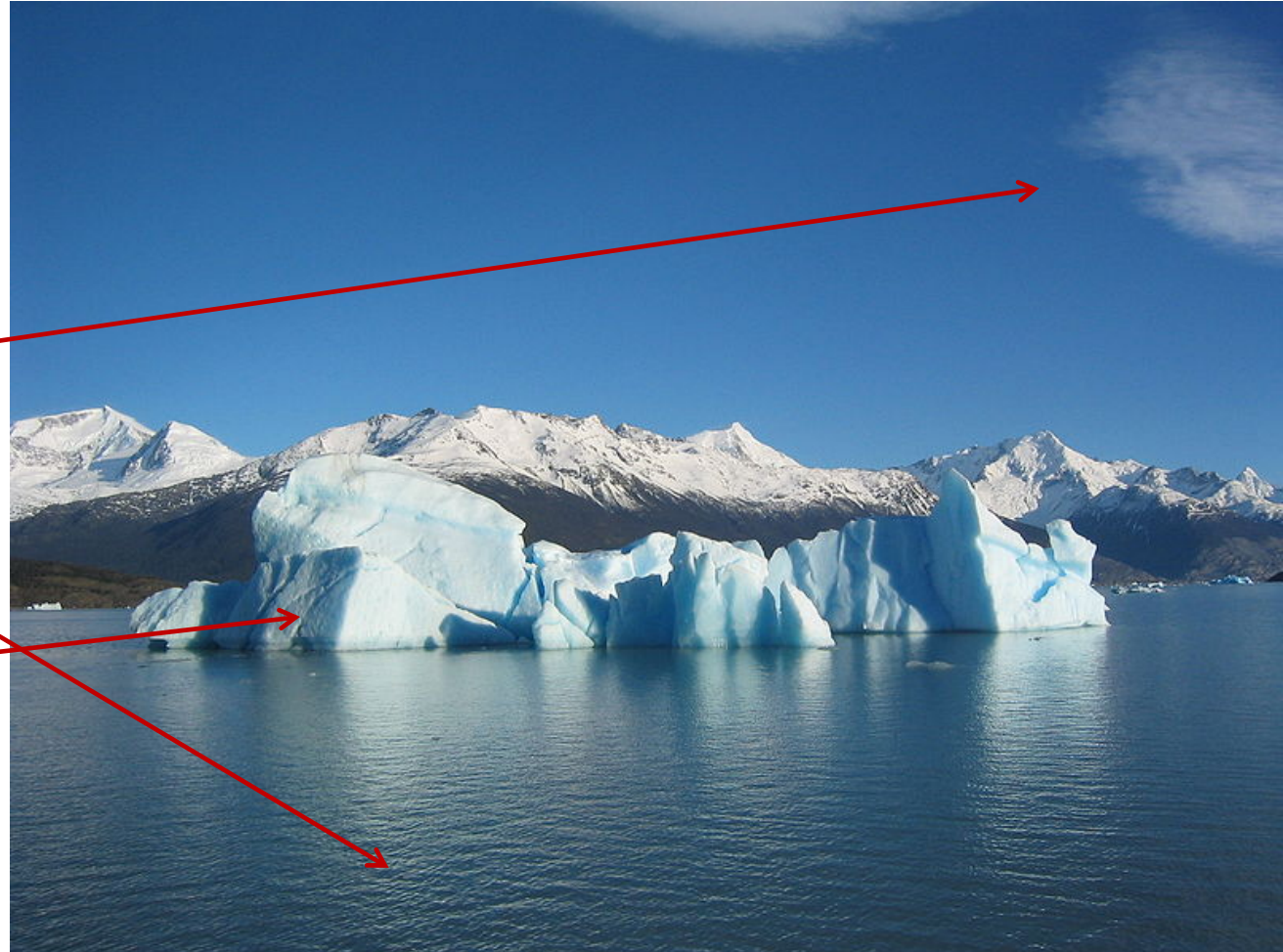
http://switchboard.nrdc.org/blogs/lpagano/media/blue_planet.jpg

Skupenství vody

vodní pára

kapalina

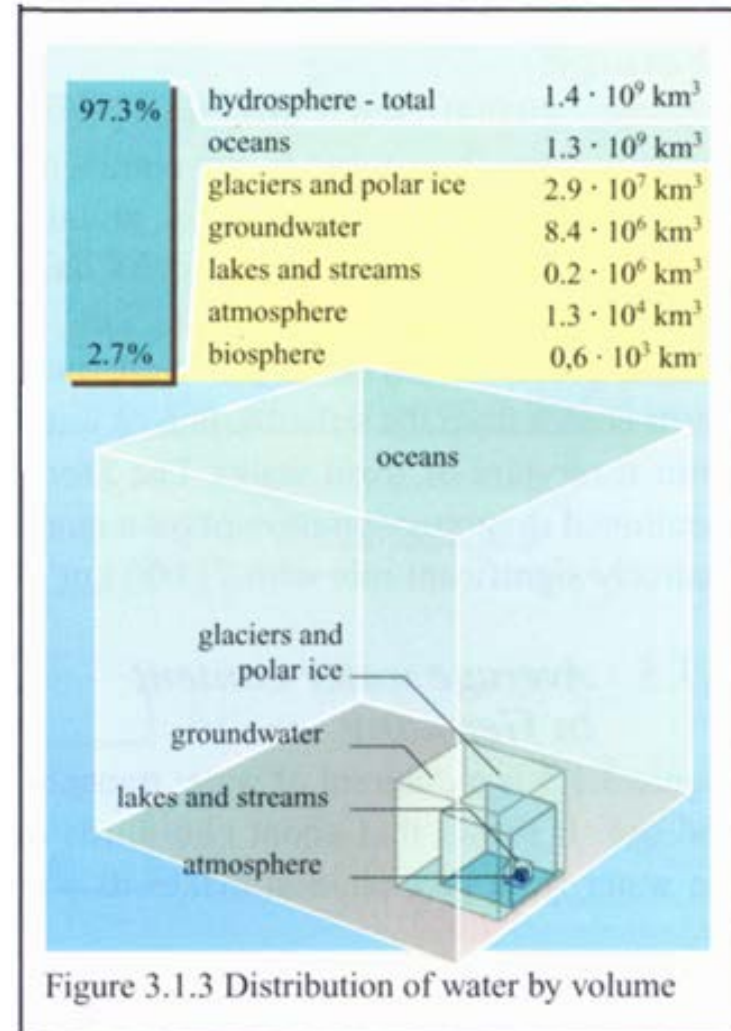
led



Světové vodní zdroje

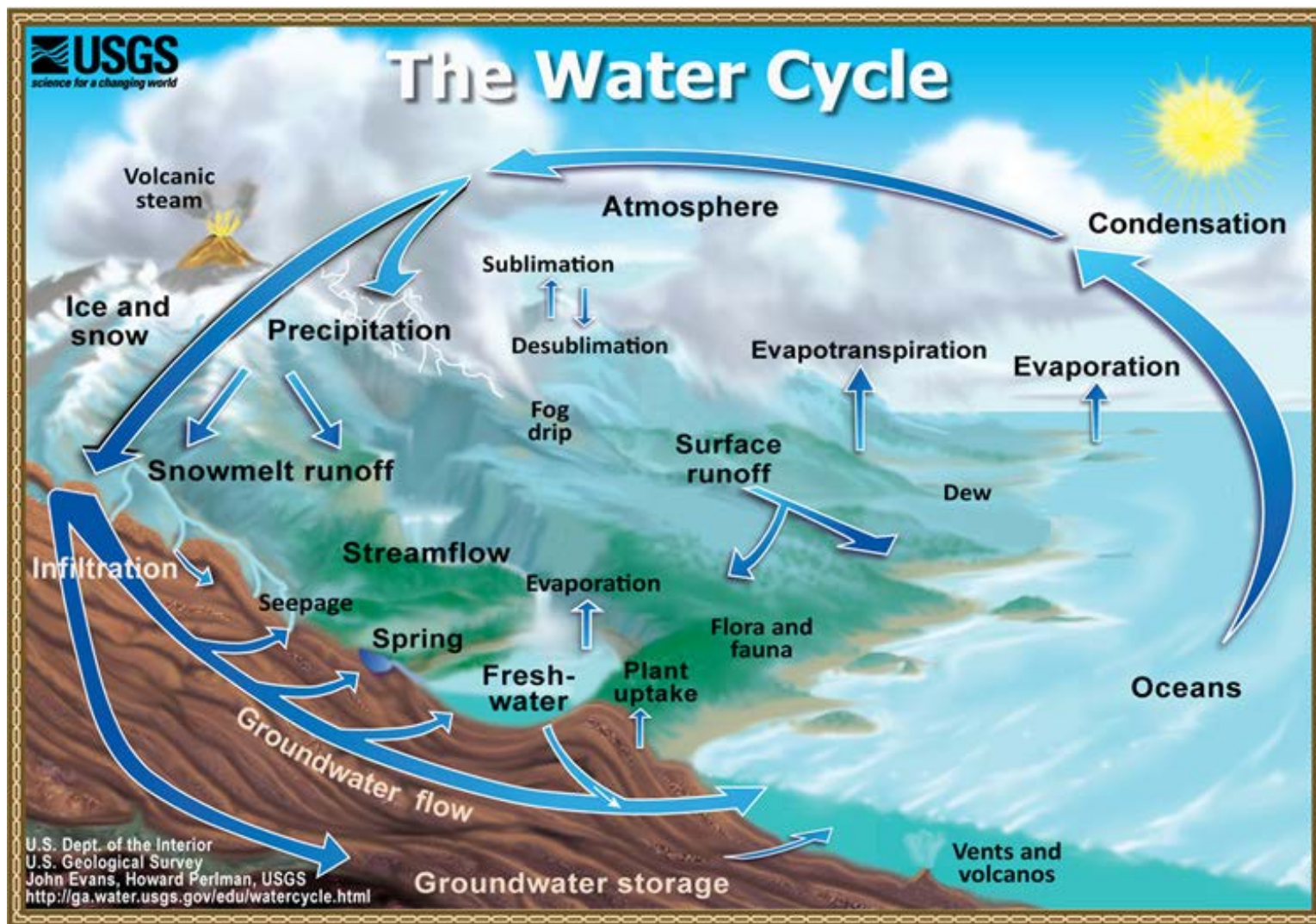
Global Water Reservoirs and Turnover Times

	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

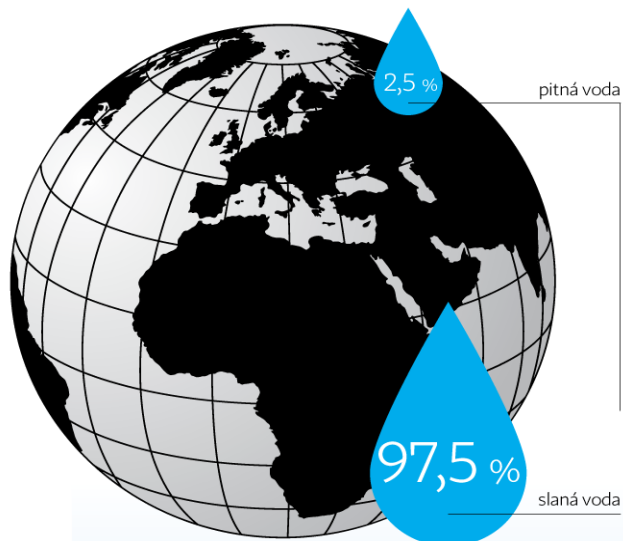


Zdroje

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.



NEJVĚŠÍ 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

Zdroj: UNESCO-IHE, Water Footprint Network

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 vyplytváno 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

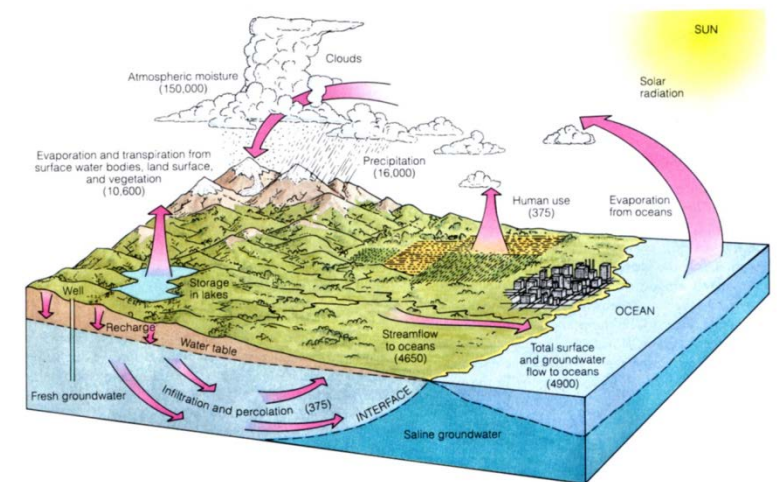
Světové vodní zdroje

Hydrologický cyklus

Cesty

Odpaření (evaporace)

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



Zdroje

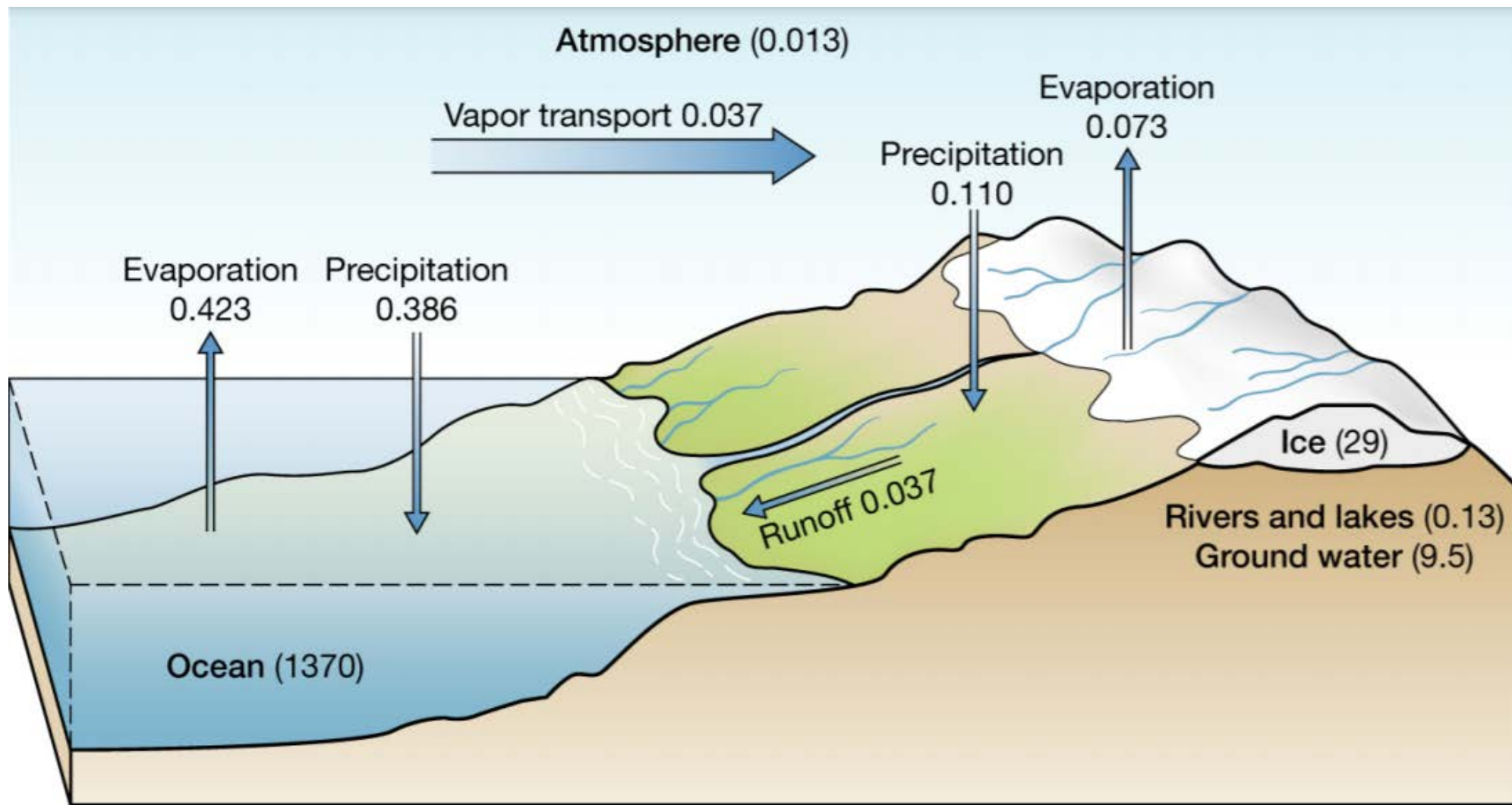
Dva hlavní faktory:

- ↪ **Kvalita**
- ↪ **Množství**

Podzemní voda

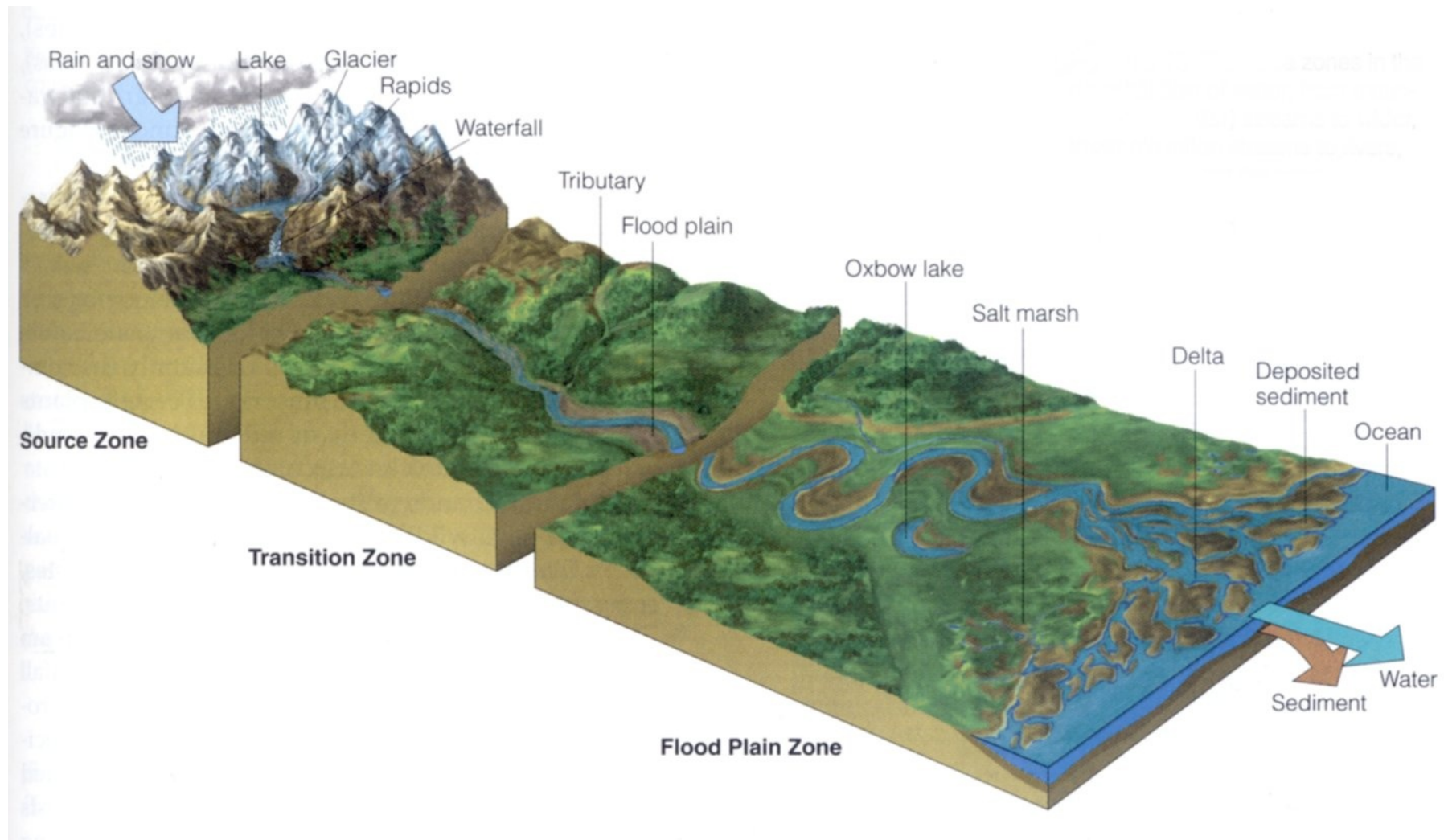
- ↪ méně než 1 % z celkového množství vody
- ↪ 40× více než ve sladkovodních jezerech
- ↪ více než 98 % nezmrzlé vody v hydrologickém cyklu jako podzemní voda
- ↪ většinou v oblasti do 750 m
- ↪ objem ekvivalentní vrstvě 55 m vody na kontinentech

Hydrologický cyklus - kvantifikace



Objem vody v jednotlivých zásobnících (v miliónech km³)
a toky vody (v miliónech km³ za rok). Townsend et al. (2010)

Hydrologický cyklus



Vztahy mezi vodou a krajinou

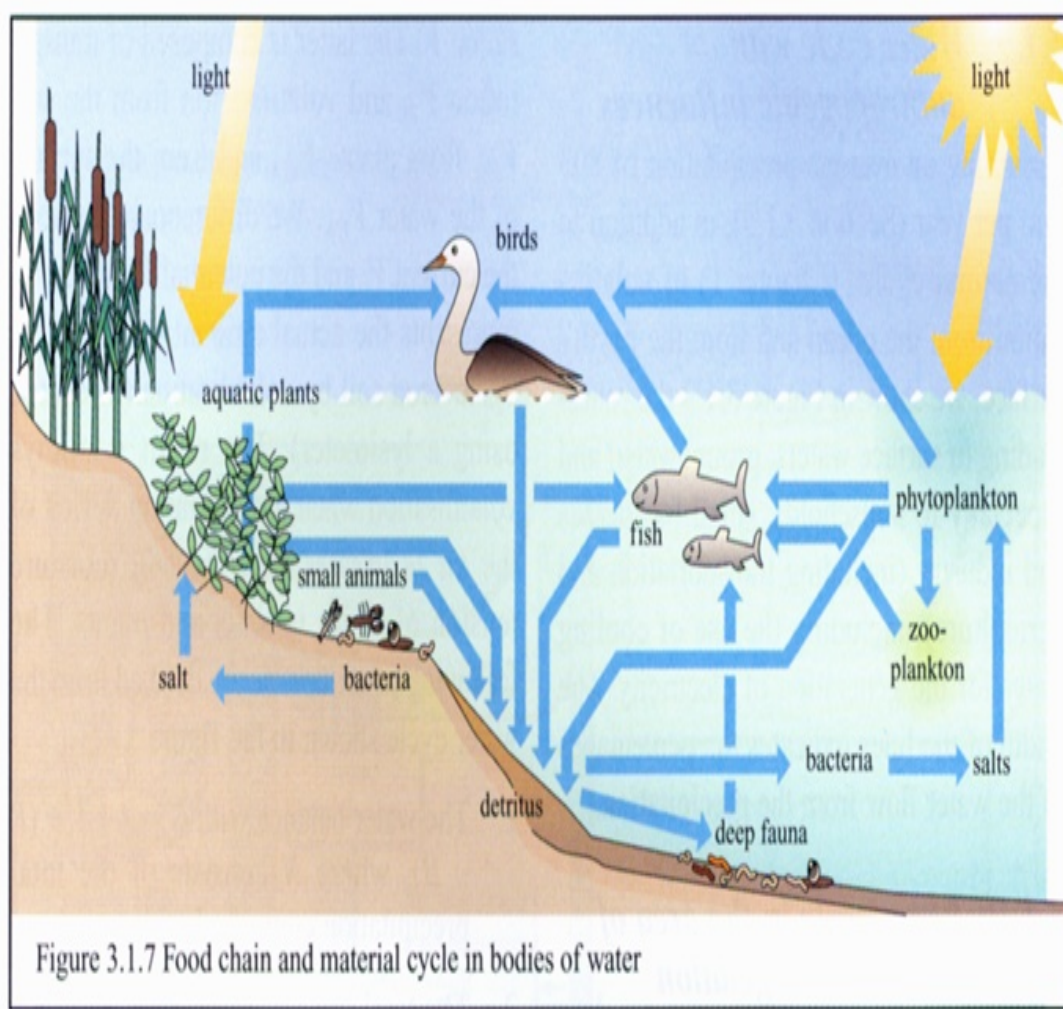


Figure 3.1.7 Food chain and material cycle in bodies of water

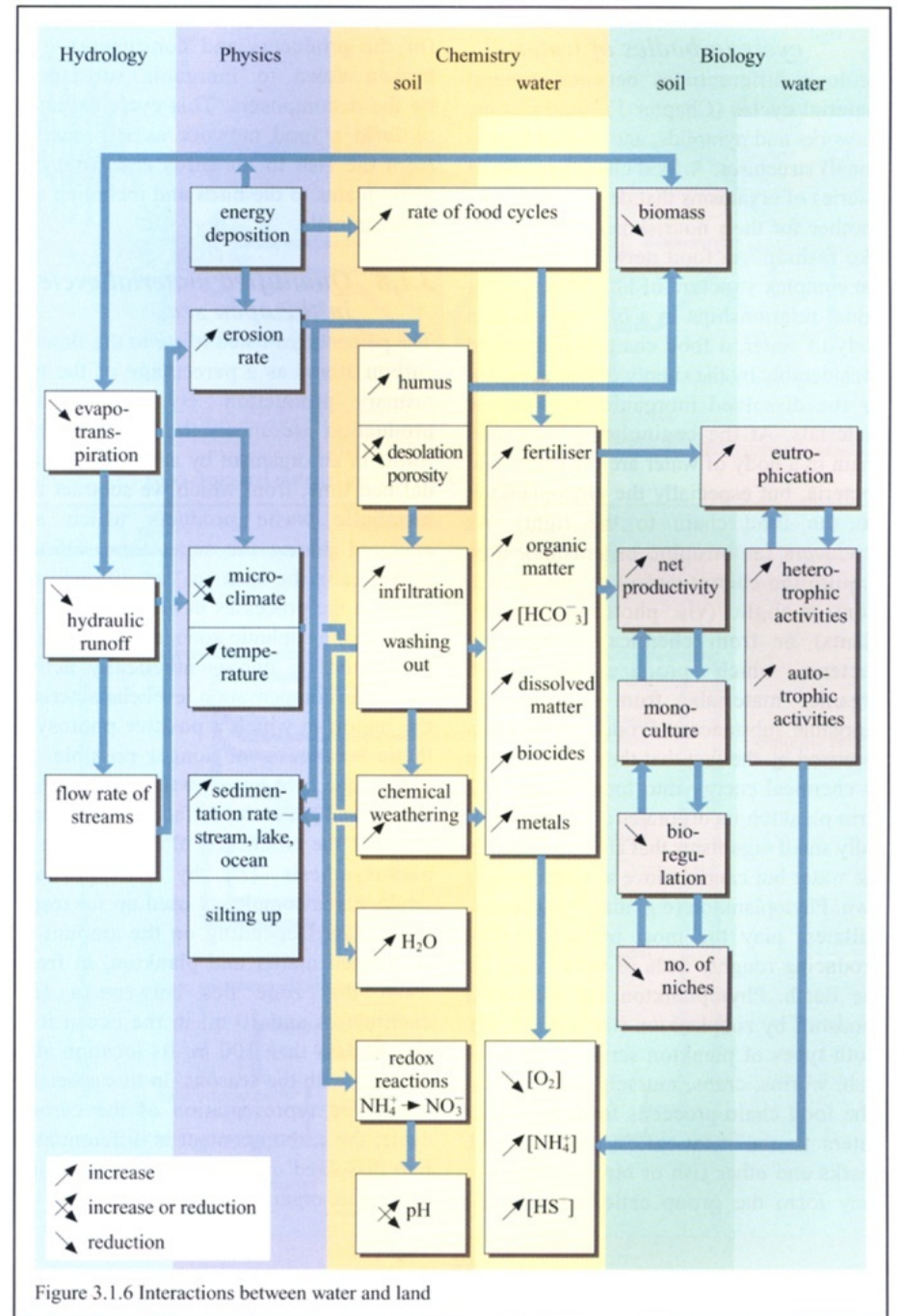
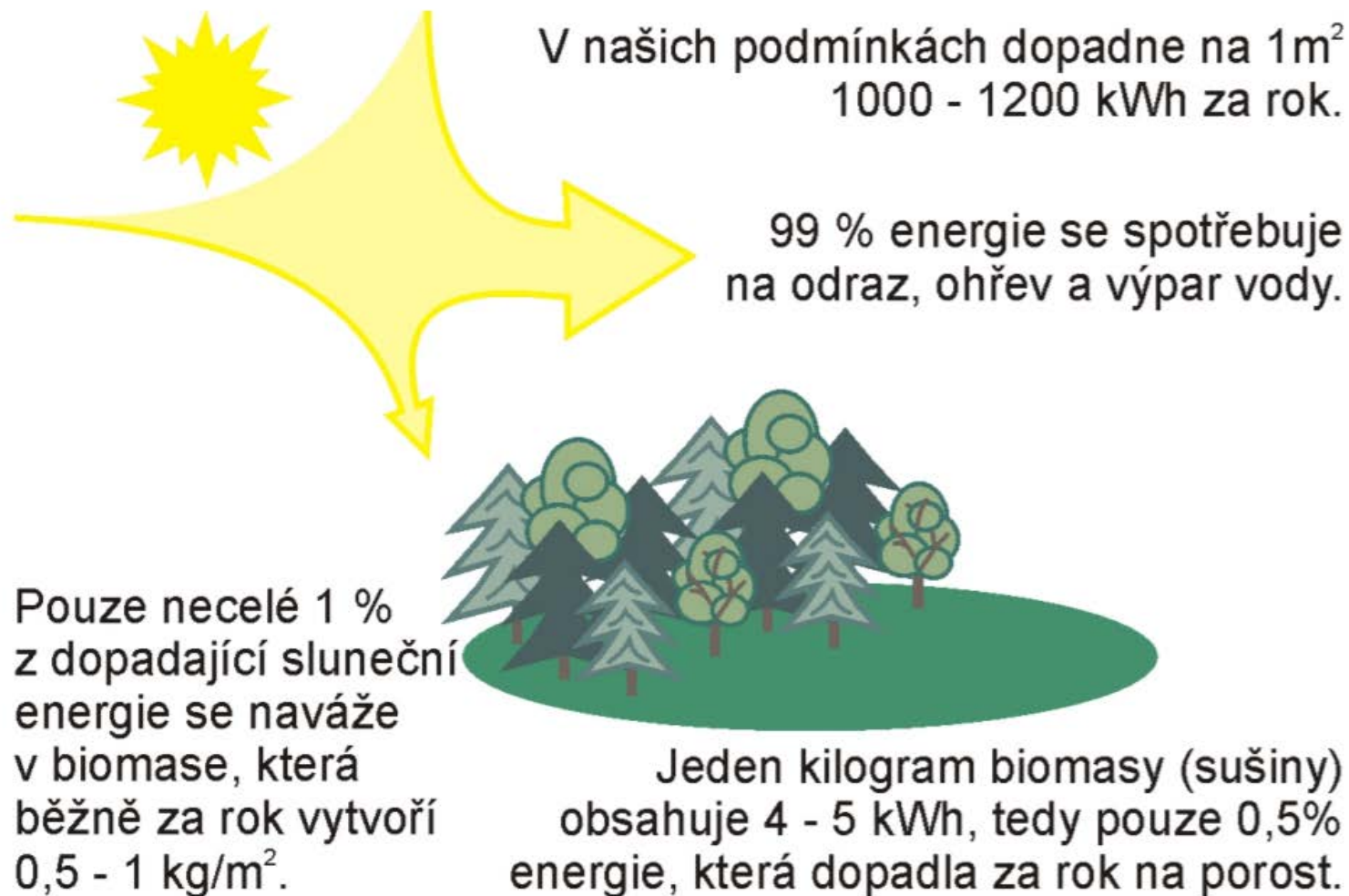
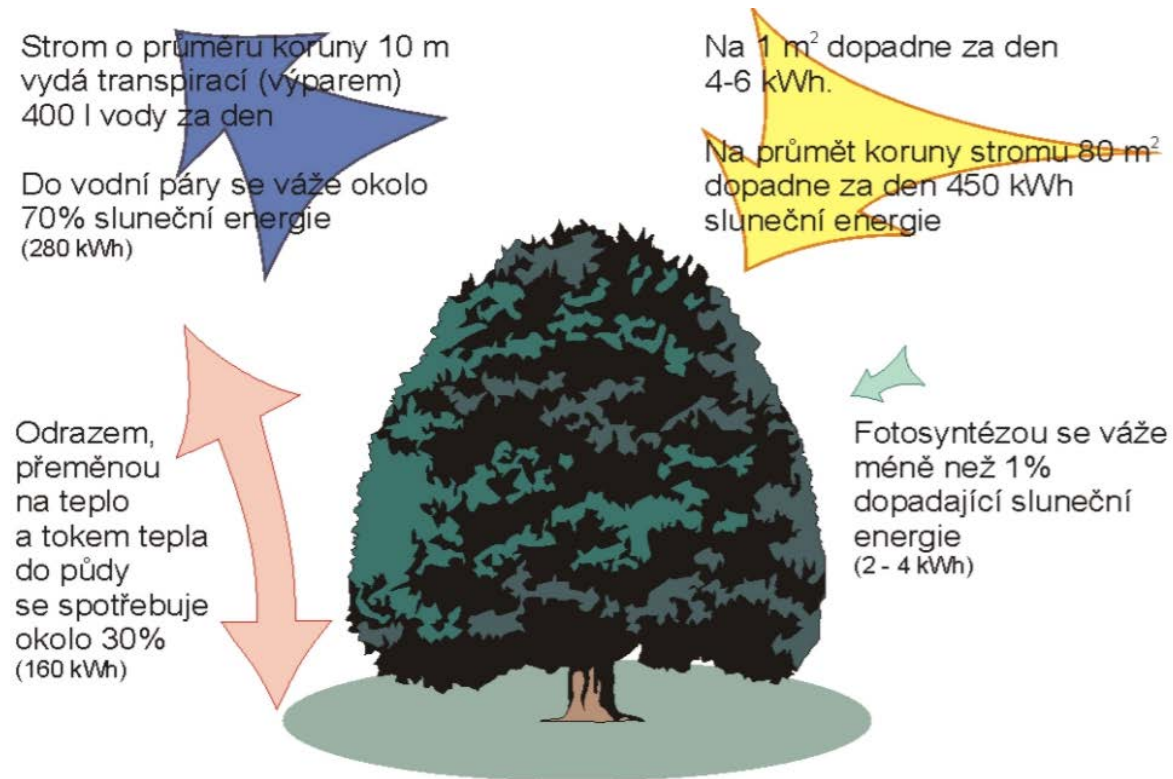


Figure 3.1.6 Interactions between water and land

Vztah bilance vody a energie



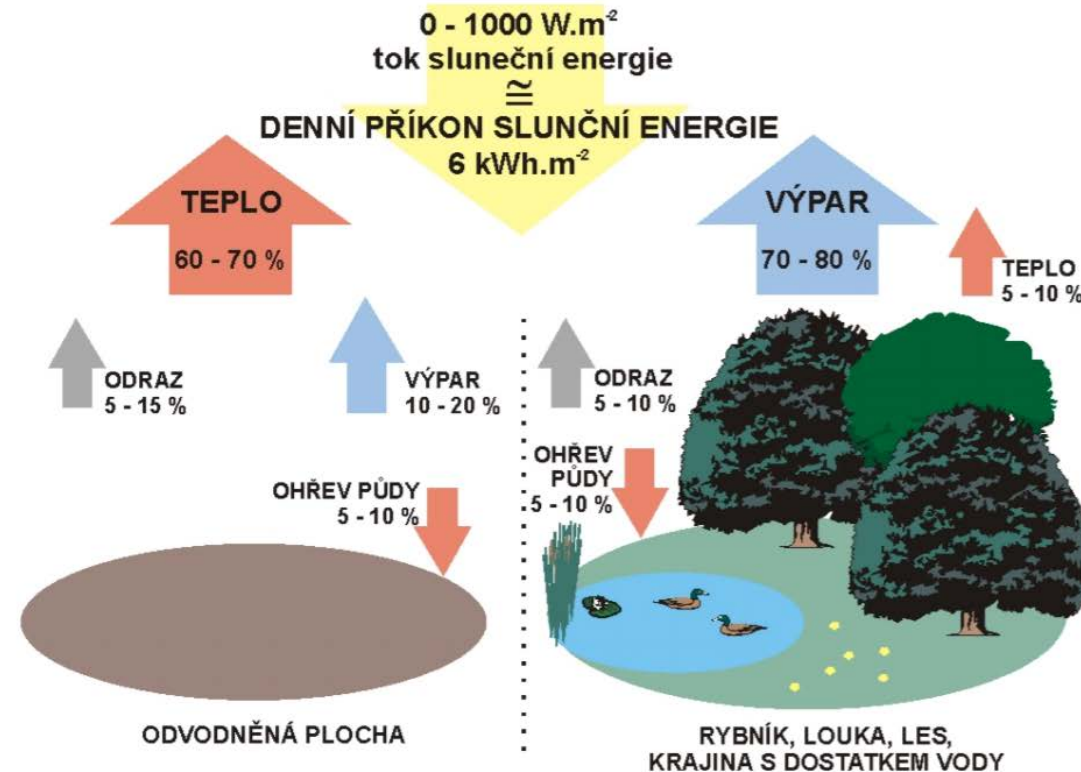
Dokonalé klimatizační zařízení: strom



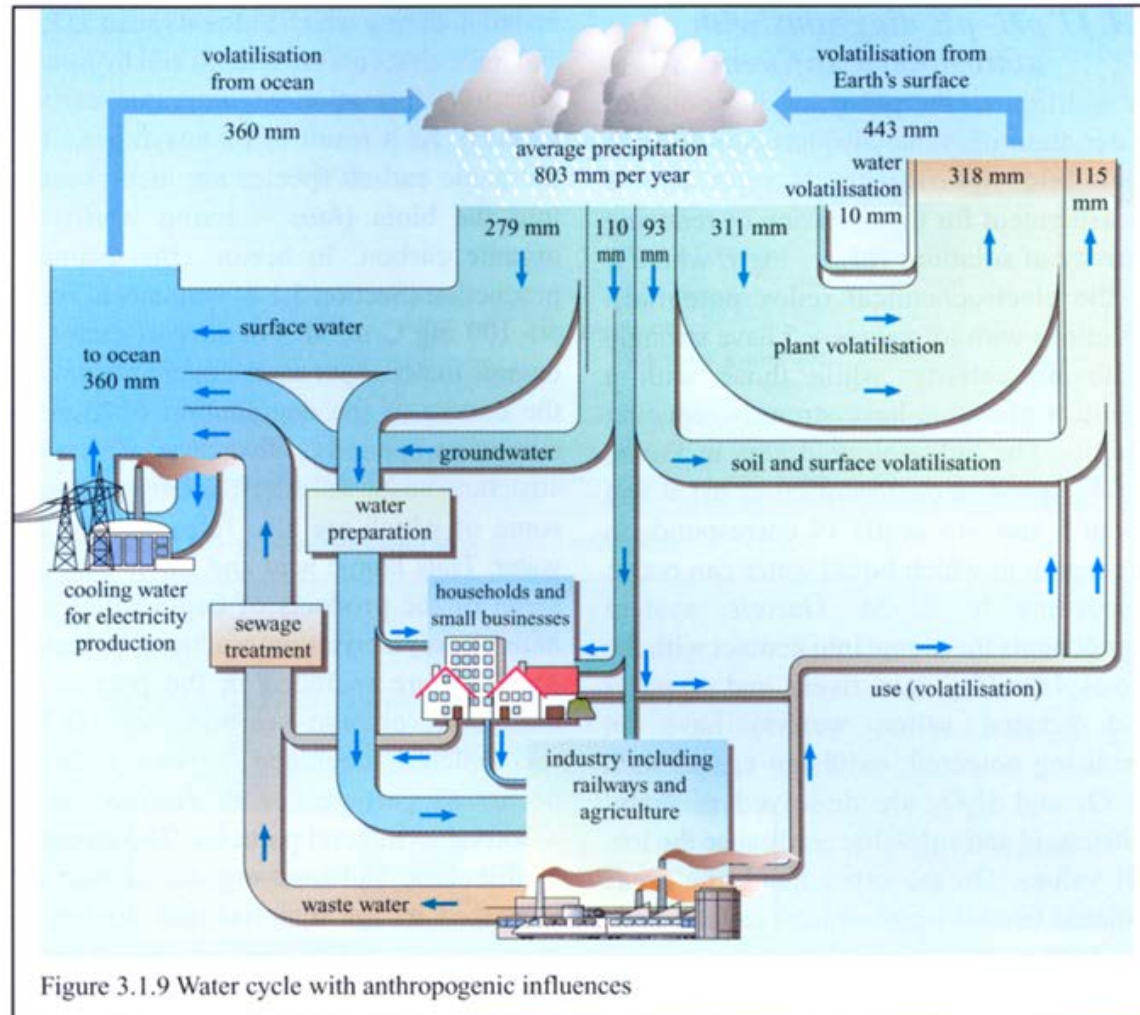
Jediný velký strom dostatečně zásobený vodou v létě chladí výkonem 20-30 kW.

Energetická bilance krajiny

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

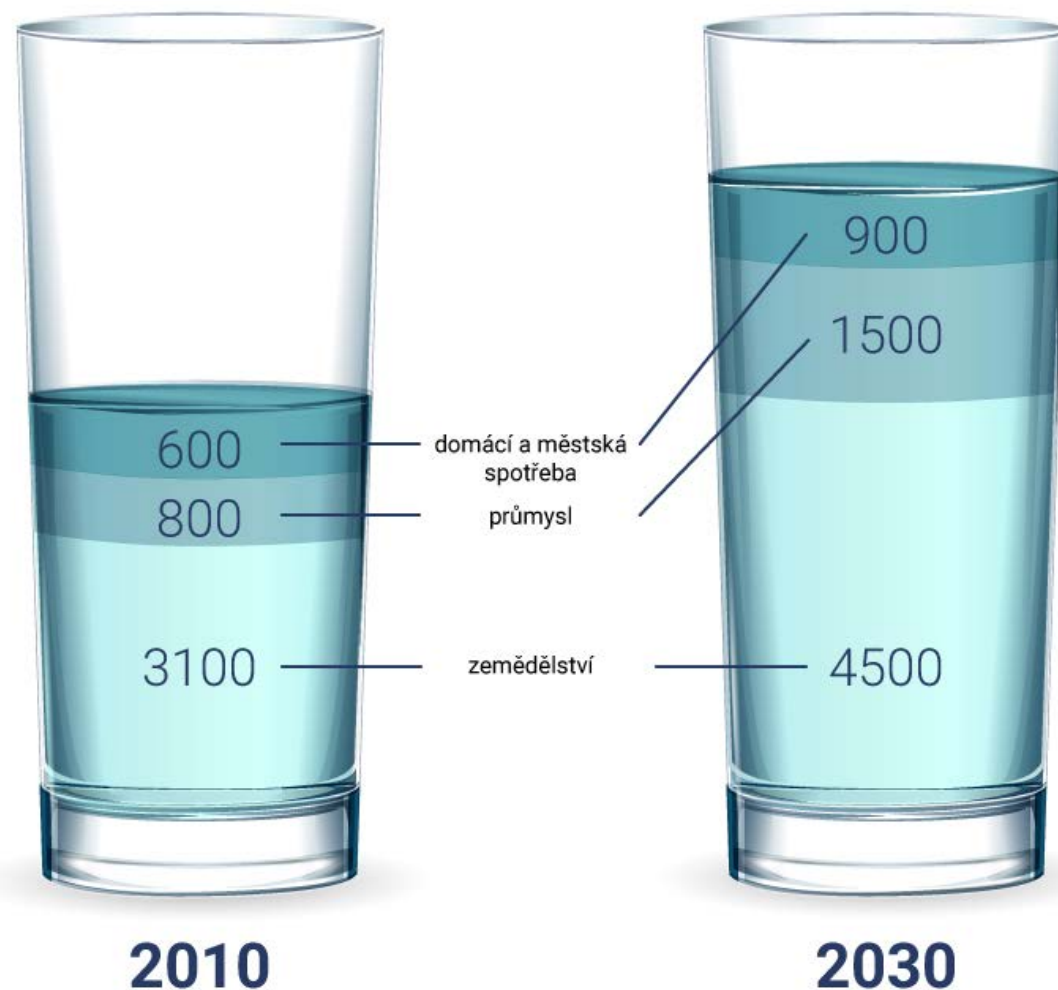


Antropogenní ovlivnění hydrologického cyklu



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**

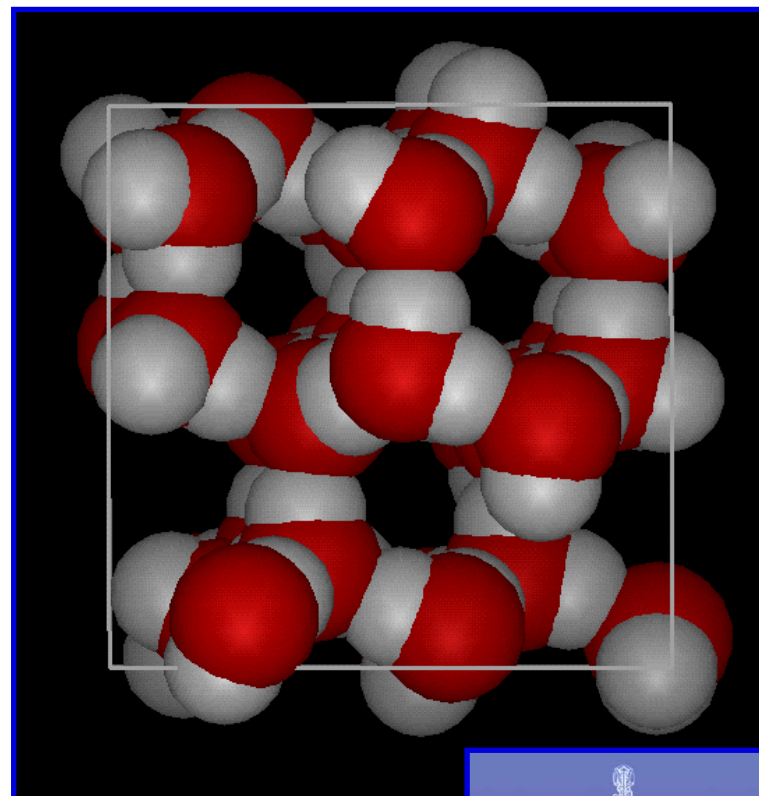


LED – nejčtetnější, fascinující krystalická pevná látka

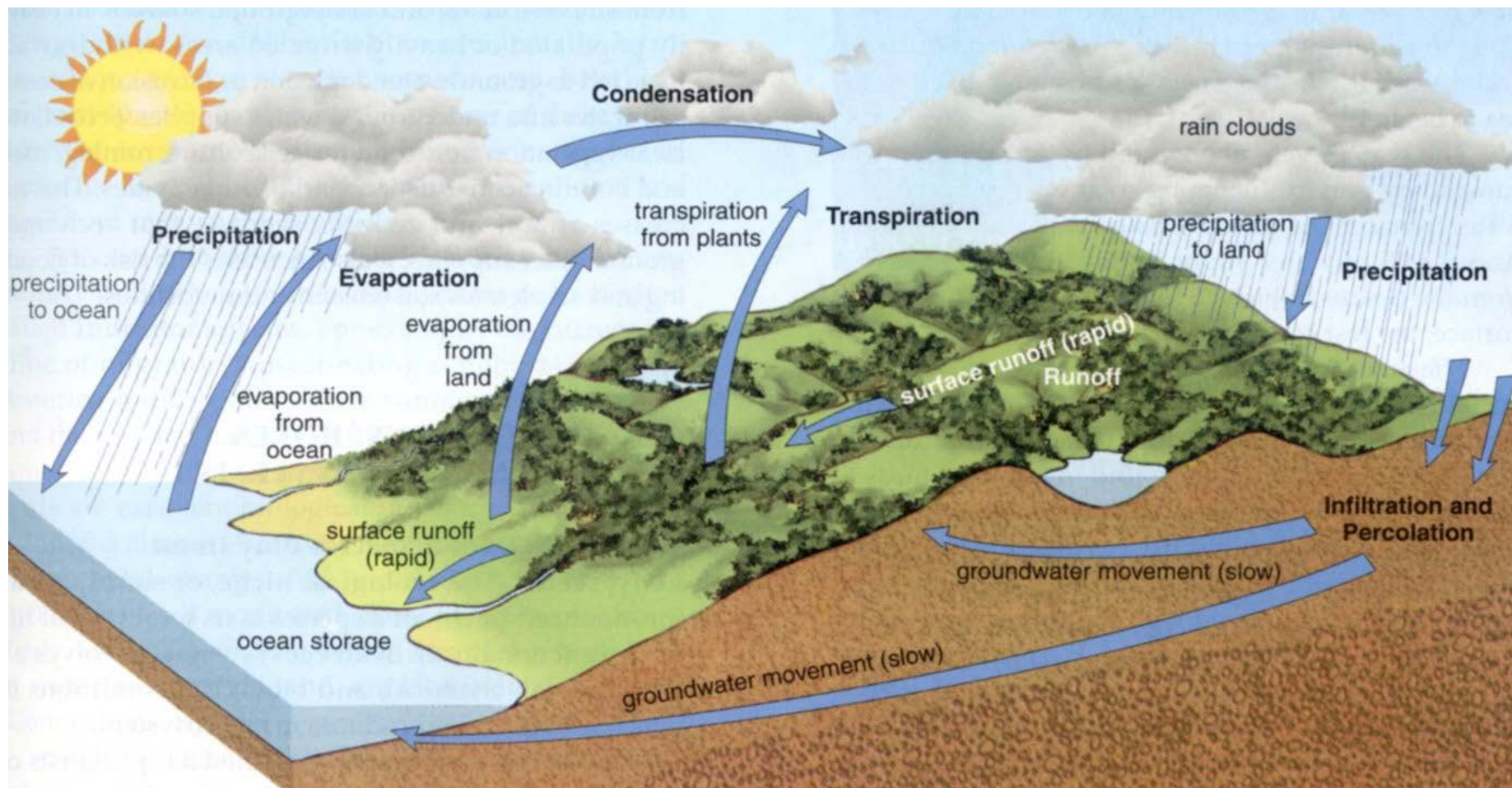
- Led na jezerech a řekách
- Mořský led
- Led v atmosféře
- Sníh
- Ledovcový a polární led
- Zmrzlý povrch
- 10 % povrchu planety
- 5 % povrchu oceánu

- Planetární led
- Mezihvězdný led

- ↺ Led *I_h* (hexagonální) + 13 krystalických fází
- ↺ Vodíkové vazby ~20 kJ mol⁻¹
- ↺ 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 % 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**.

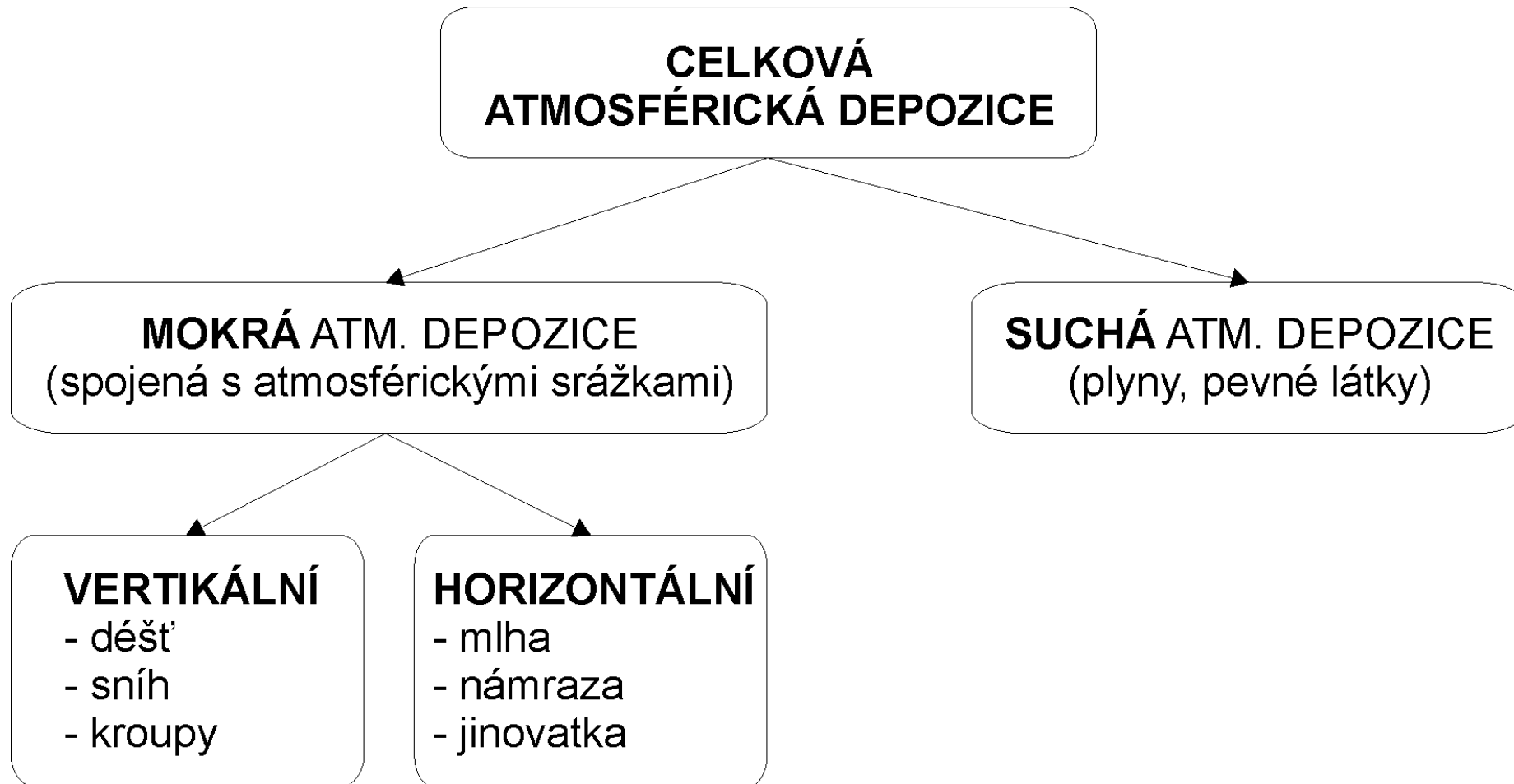
Atmosférická depozice:

- ↪ 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.

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 $> 1 \text{ mm}$.

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

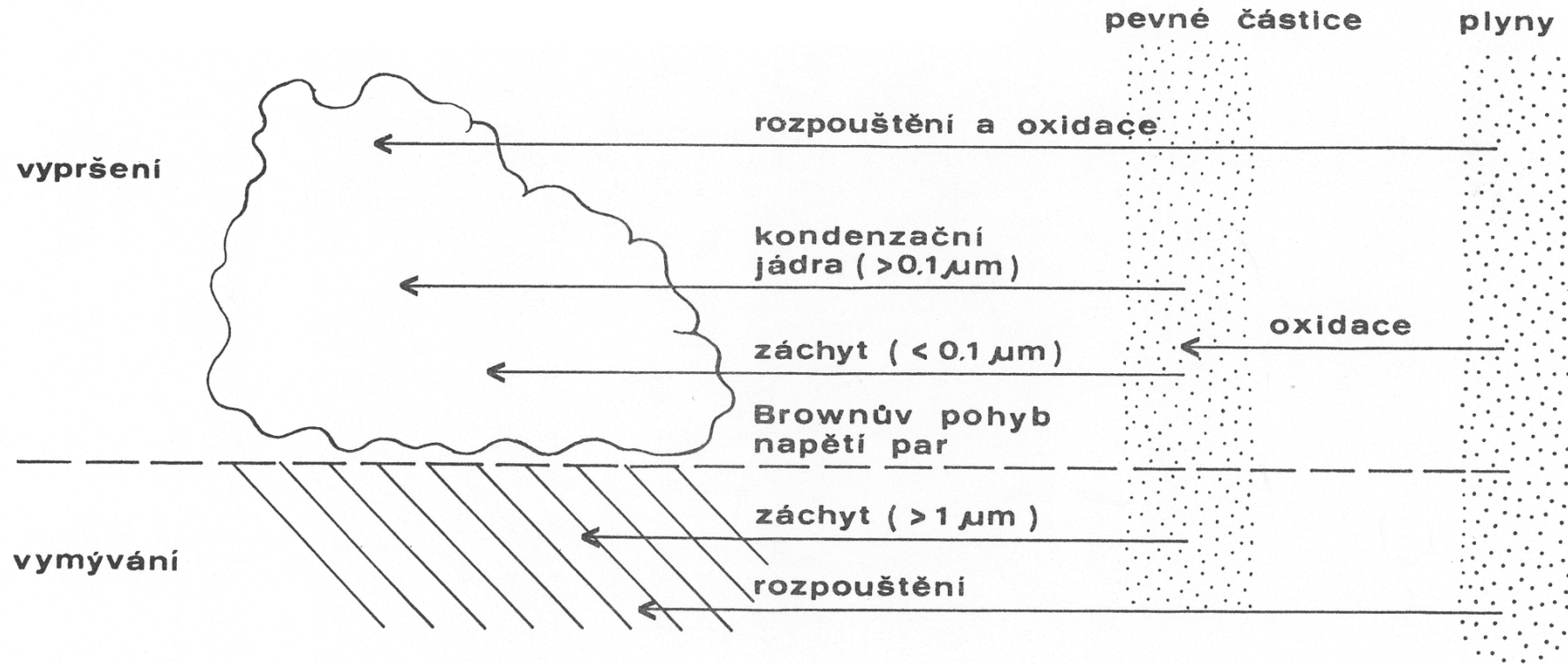
Mokr atmosfrick depozice

Pro plynn organick látky vnitro-oblan bude nejdůležitějším atmosfrickm vymvacm procesem.

Pod-oblan vymývání je duležit v prpad, kdy koncentrace pod oblaky jsou vyšší než koncentrace uvnitř oblaků, například v blízkosti emisnch zdrojů.

V oblacích je vysoce uinnm procesem příjem aerosolů kapkami oblaků.

Mechanismy znečištění mokré atmosférické depozice



Interakce, které určují složení vodní kapky v atmosféře

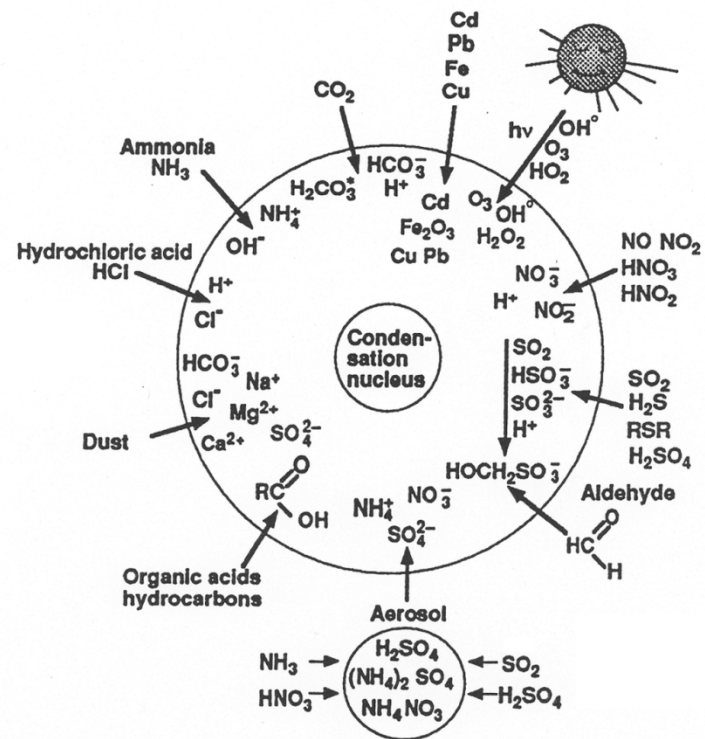


Figure 5.2. Various interactions that determine the composition of a water droplet in the atmosphere (e.g., cloud, fog). Aerosol particles, which to a large extent consist of (NH₄)₂SO₄ and NH₄NO₃, can form the nuclei for the condensation of liquid water. Various gases can become absorbed into the aqueous phase. The atmosphere is an oxidative environment; the water phase, often assisted by light, promotes oxidation reactions, for example, the oxidation of SO₂ to H₂SO₄ and of organic matter to CO₂. NH₃ 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.

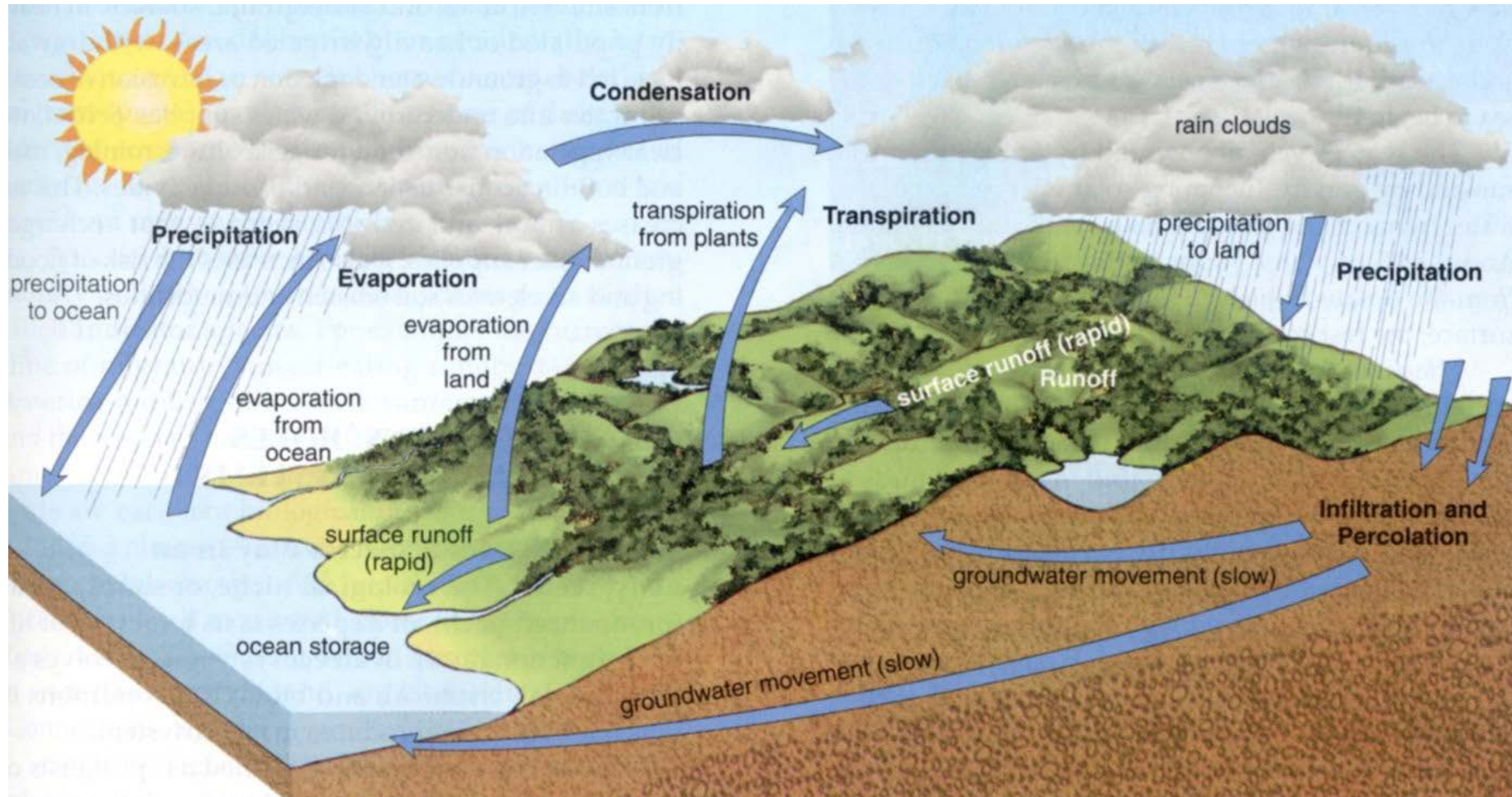
V antropogenně zatížených oblastech bývá mineralizace vyšší než 10 mg l^{-1} .

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.

Hydrologický cyklus

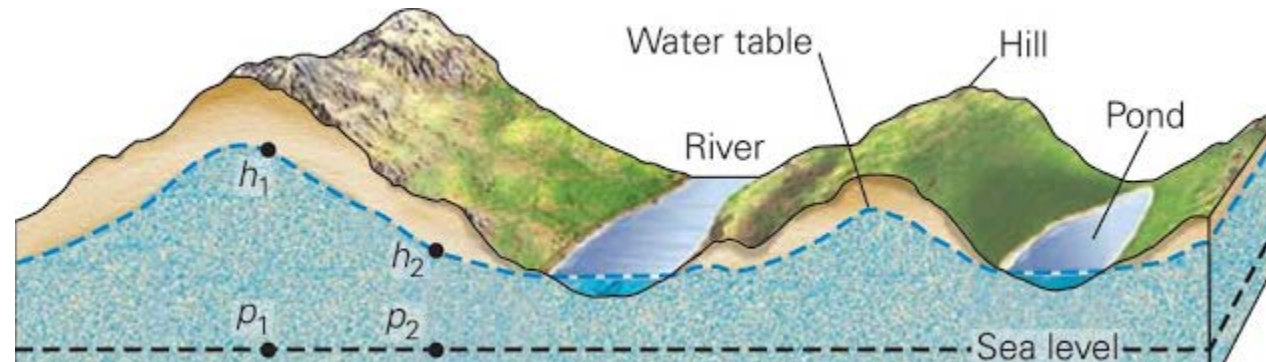
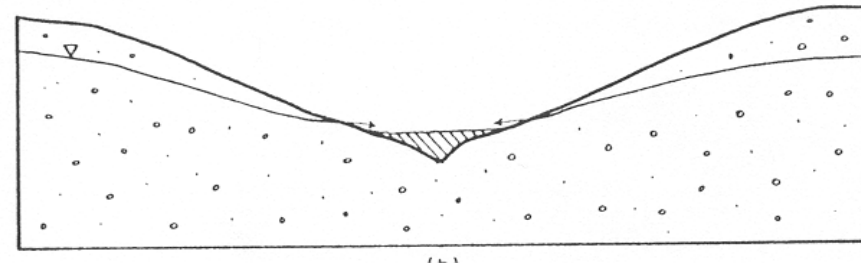
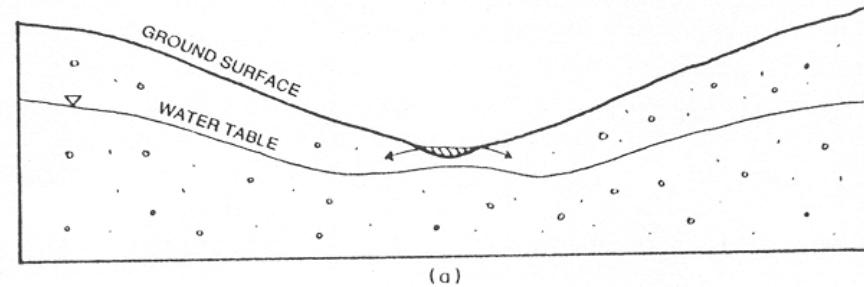


Podzemní vody

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



Podzemní vody

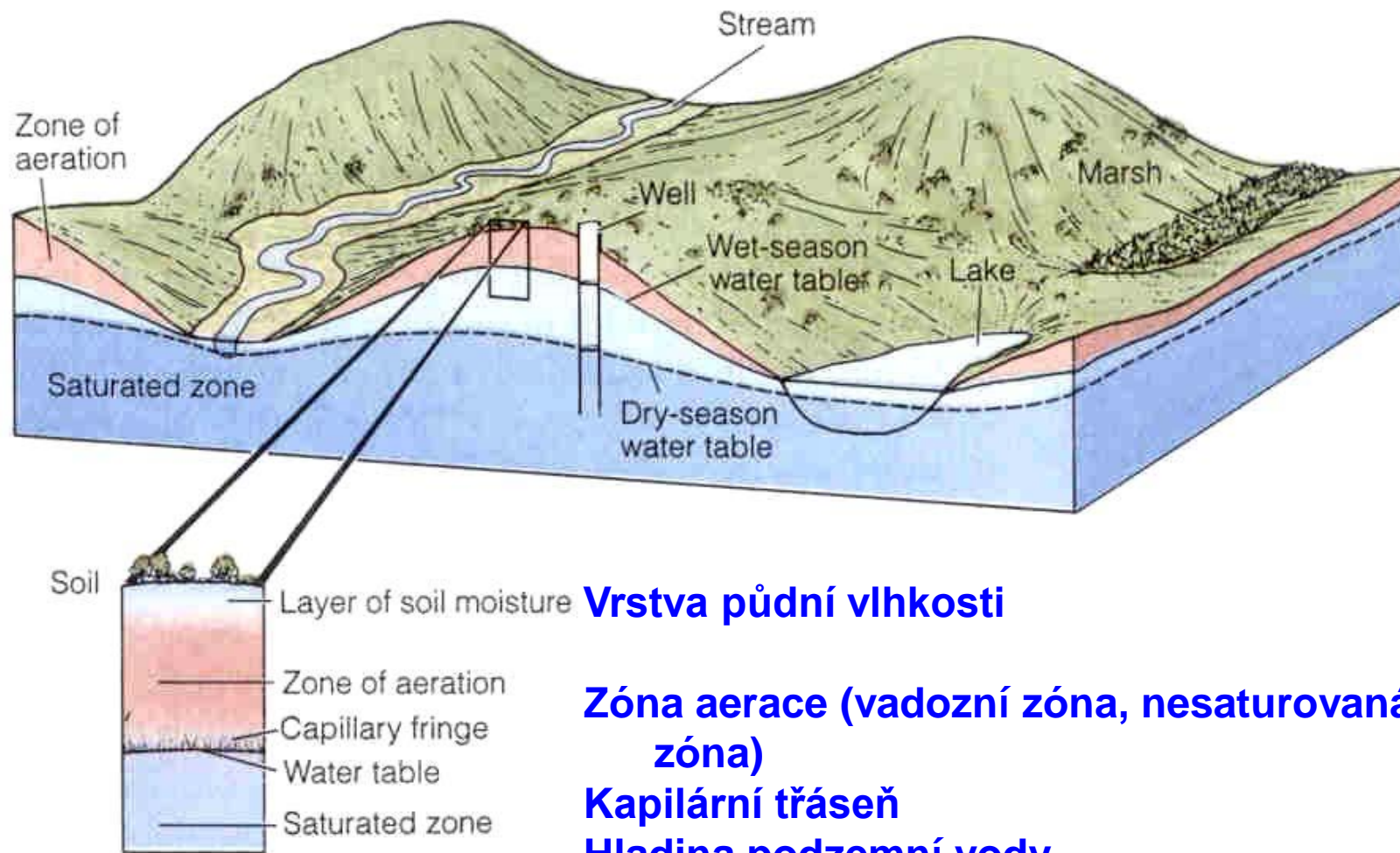
Podmínky pro vznik podzemní vody jsou přibližně do hloubky 10 km pod zemským povrchem.

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**.

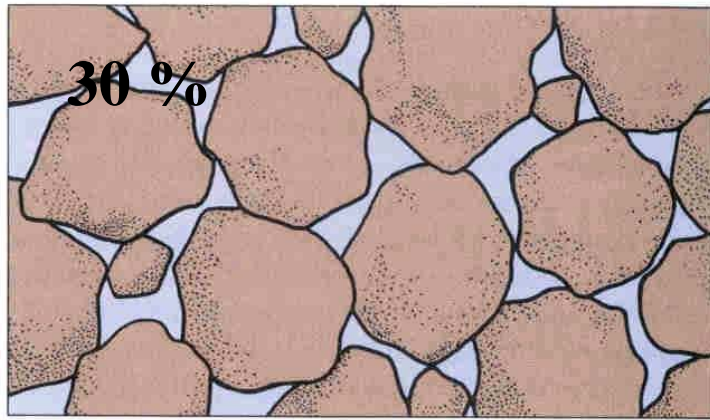
Pokud je celkový objem krychle horniny V_t , objem pevných částic V_s a objem volného prostoru V_v , potom je **porozita N** definována následujícími vztahy:

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

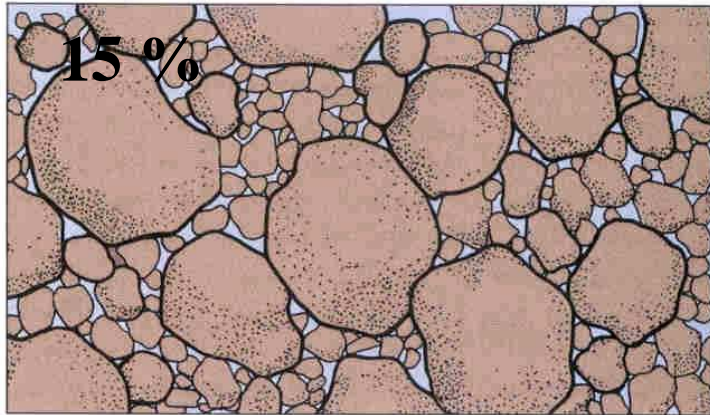
Podzemní vody

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

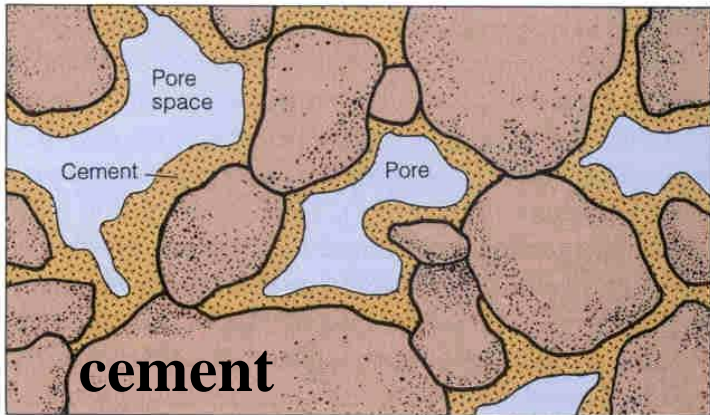
Závislost prolínání vody horninou v závislosti na její struktuře



A.

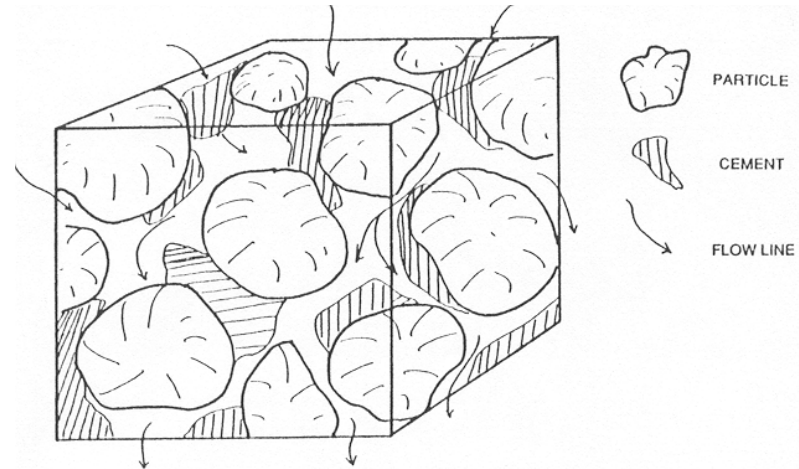


B.



C.

0 0.5mm



Podzemní vody

Porozita závisí na struktuře horniny.

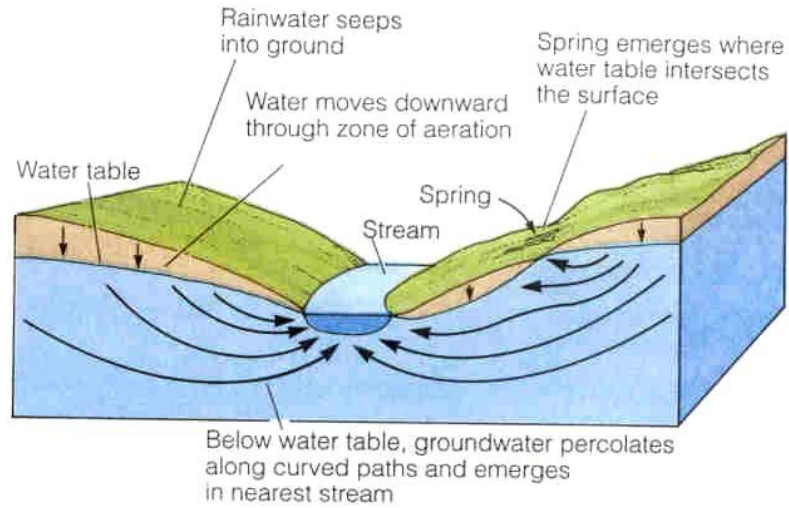
Kubická struktura má průměrně 32 % volného prostoru, hexagonální struktura kolem 26 %.

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

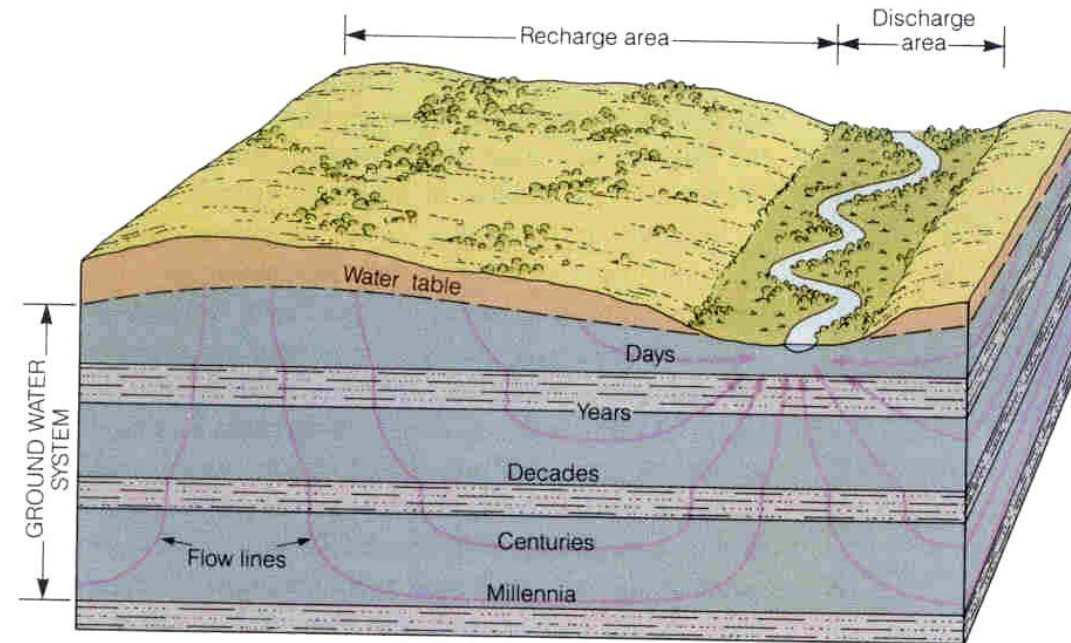
Typické hodnoty porozity pro různé typy hornin:

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



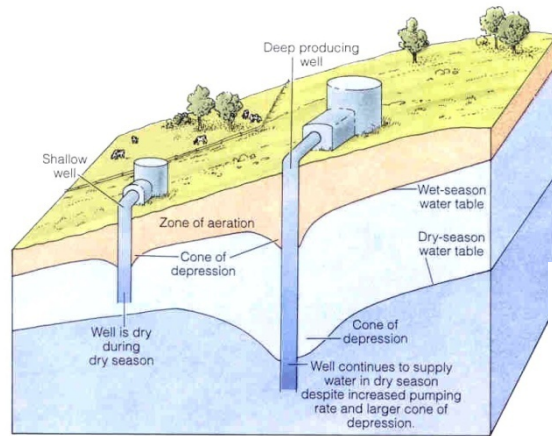
Pohyb v zóně aerace (půdní vlhkost)
Pohyb v saturované zóně (perkolace)



**Oblast doplňování a
odvodňování – časový režim**

Pohyb podzemní vody

Sezónní vlivy



Darcyho zákon:

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

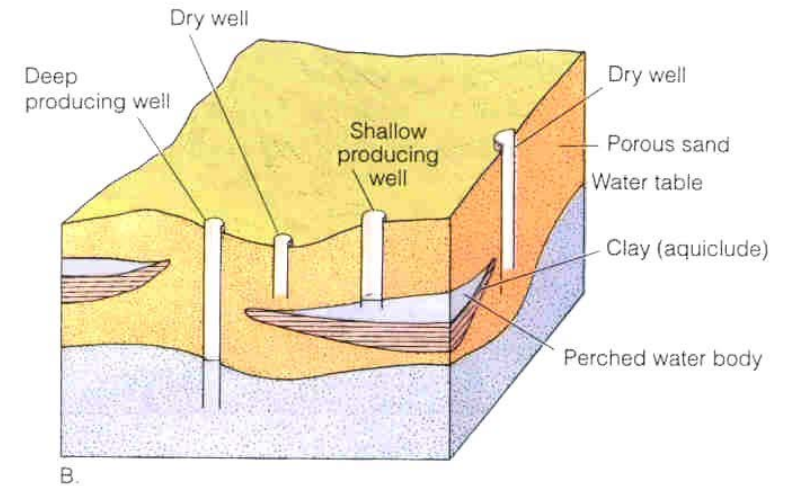
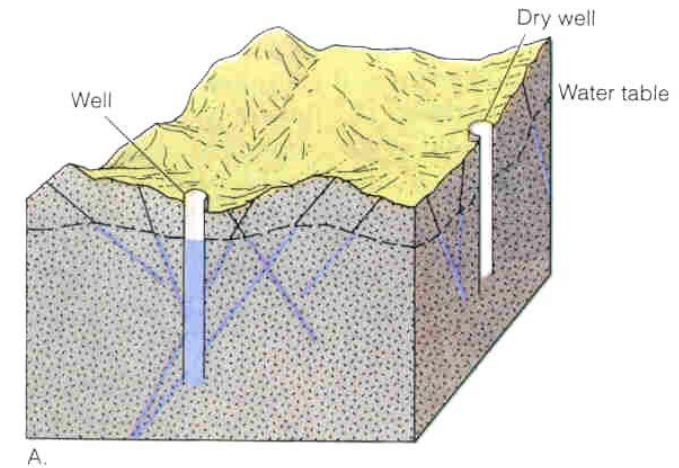
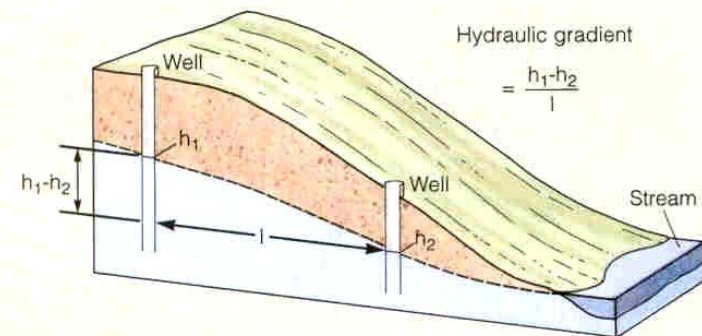
resp.:

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

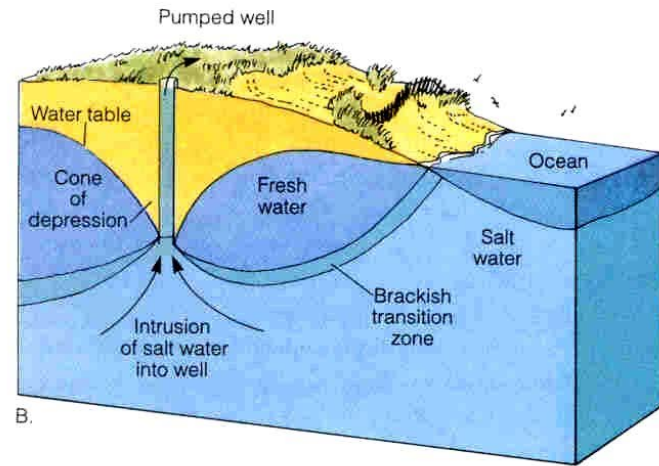
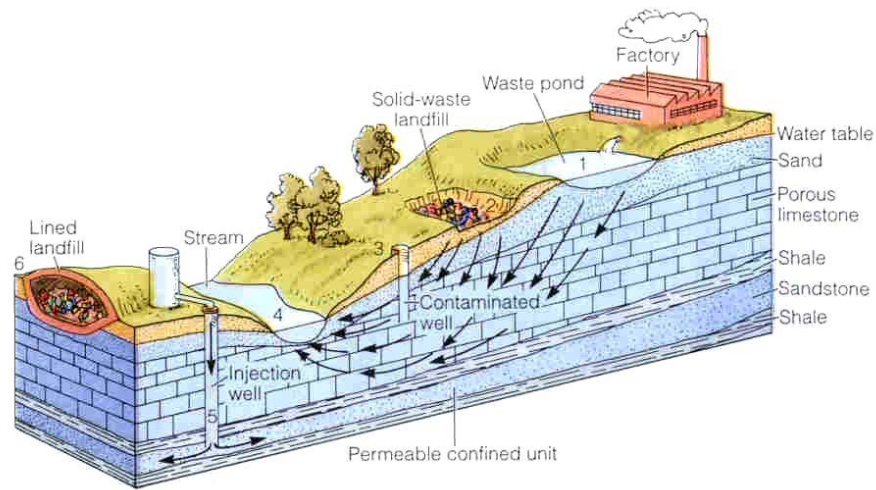
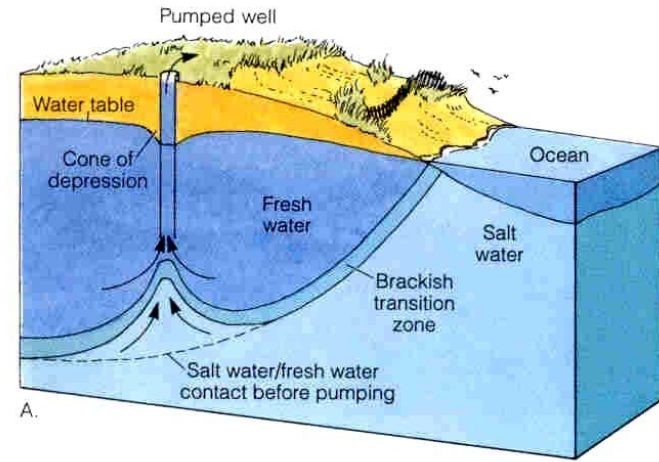
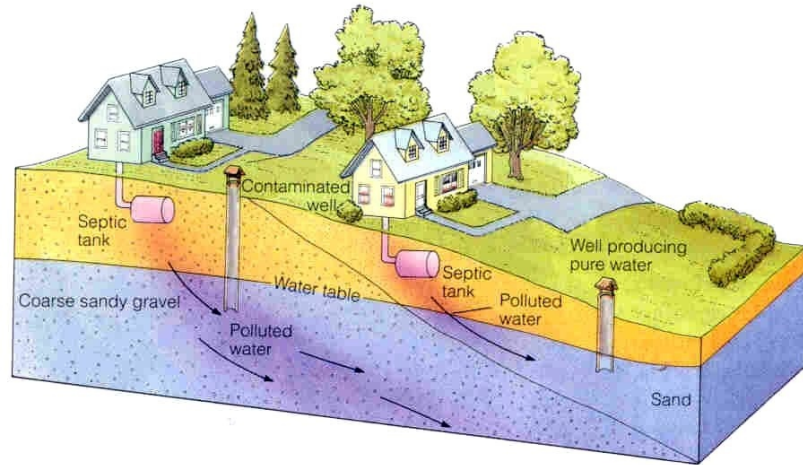
kde:

- 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 .

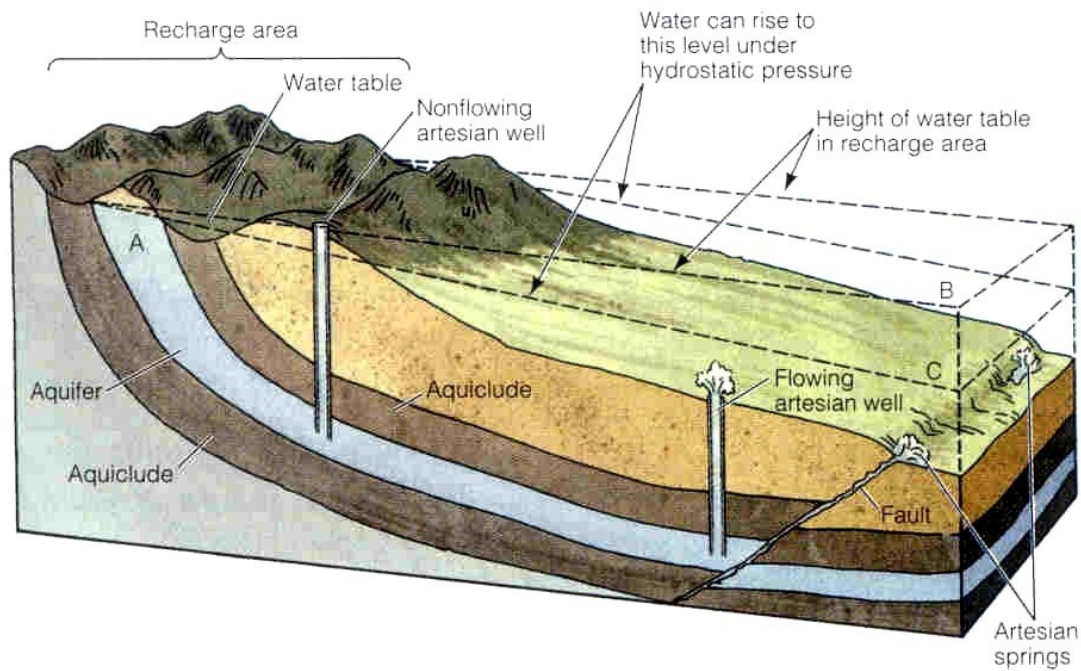
Rychlost proudění



Pohyb podzemní vody



Artézské systémy



Vlivy nadměrného čerpání
Snížení hladiny podzemní vody
Kompakce a poklesy

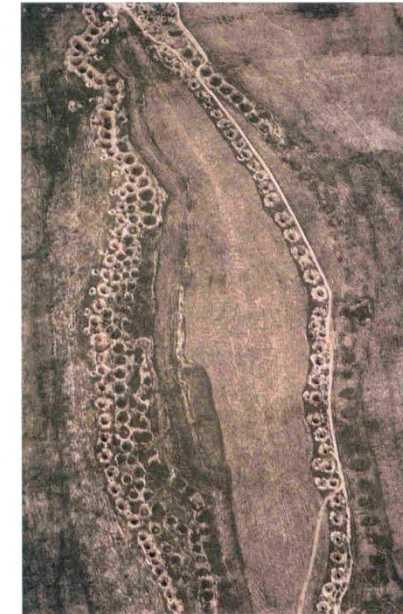
Soupeření o povrchovou vodu
Přenos mezi povodími

Dopady

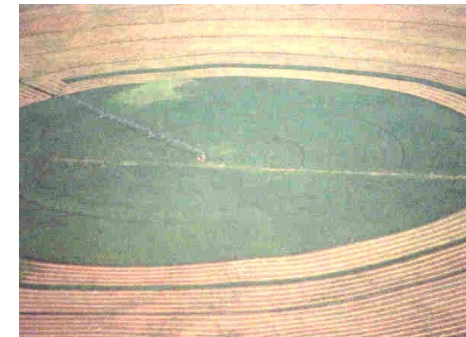
- Amu Darja, Syr Darja (hranice mezi Kazachstánem a Uzbekistánem)
- Před třiceti lety bylo Aralské jezero čtvrtým největším jezerem světa (68 000 km², 16 m hloubka, 45 000 tun ryb ročně)
- Zavlažování: rybářské vesnice jsou 50 km od břehů, 40 000 km², 9 m hloubka



Zavlažování v Kanadě

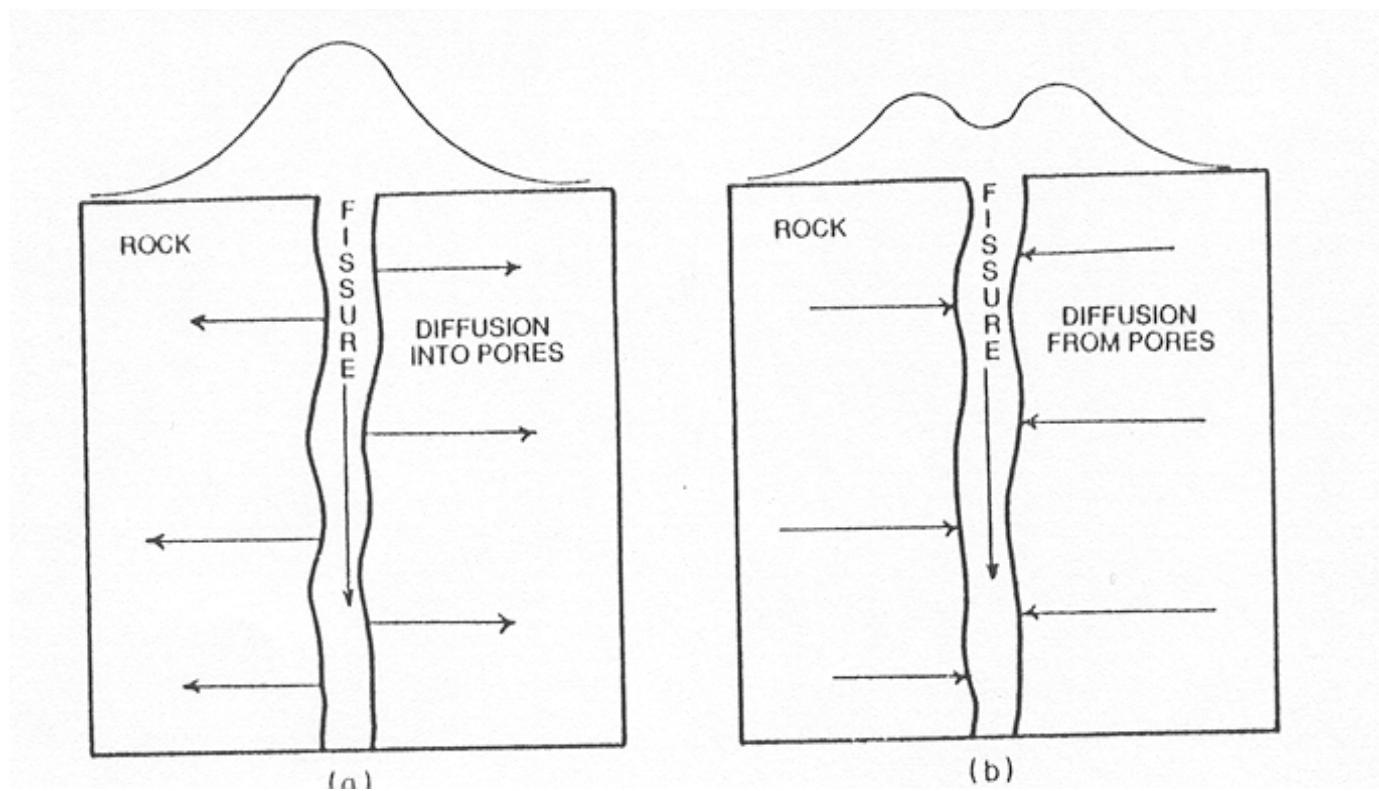


Zavlažovací systém v Iráku



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 CO_2 nebo minerálních kyselin (důlní vody) – převod málo rozpustných uhličitanů na hydrogenuhličitanů, 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

Přírozené 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

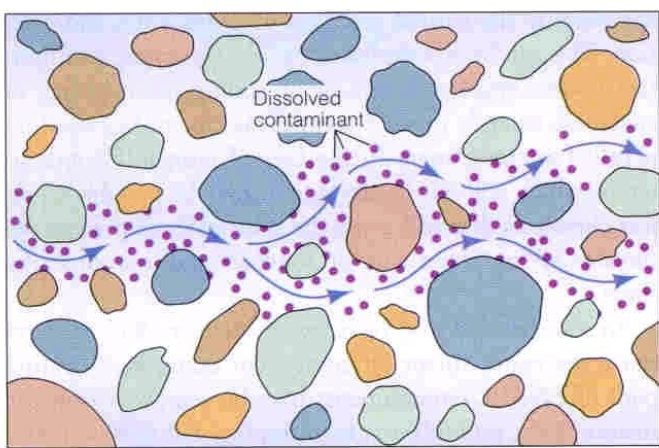
Antropogenní:

- Průsaky pesticidů a hnojiv ze zemědělsky obdělávaných půd
- Odpady (močůvka, silážní 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)

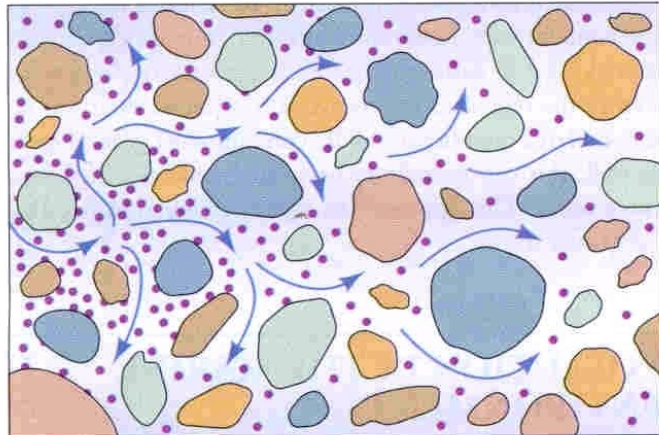
Znečištění podzemní vody

- 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

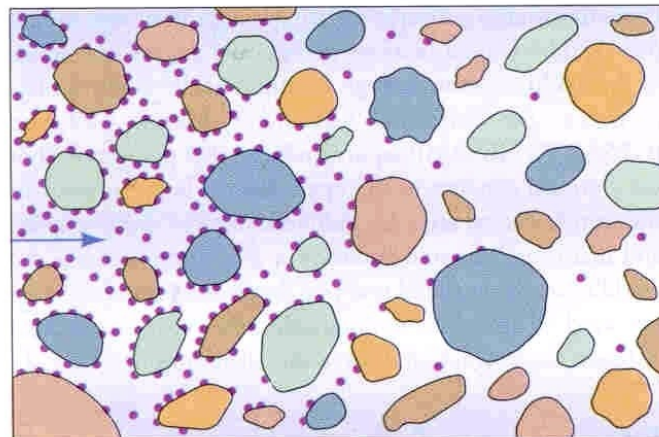
Chování kontaminantů pod povrchem



A. Advective flow

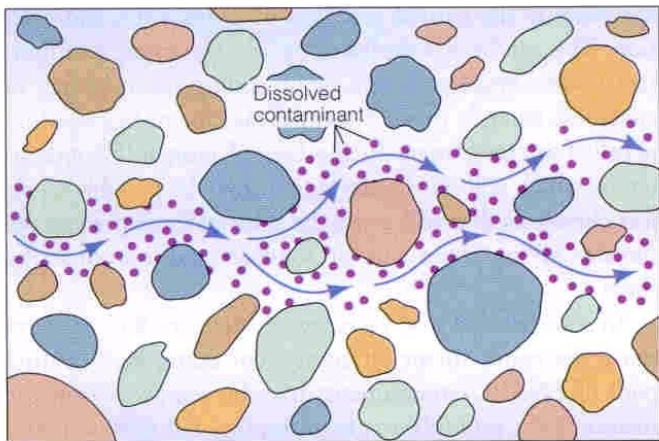


B. Dispersion

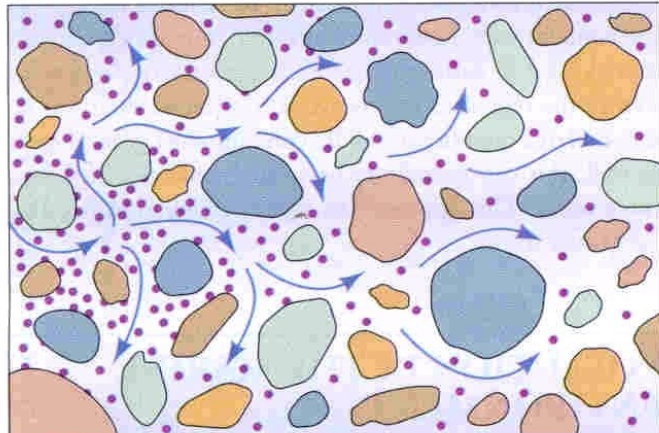


- Chování kontaminantů pod povrchem
- Porosita, permeabilita
- Hladina podzemní vody, saturevaná a nesaturevaná zóna
- Transport kontaminantů
- Kontaminační mrak
- Normální tok vody propustným prostředím – advekce

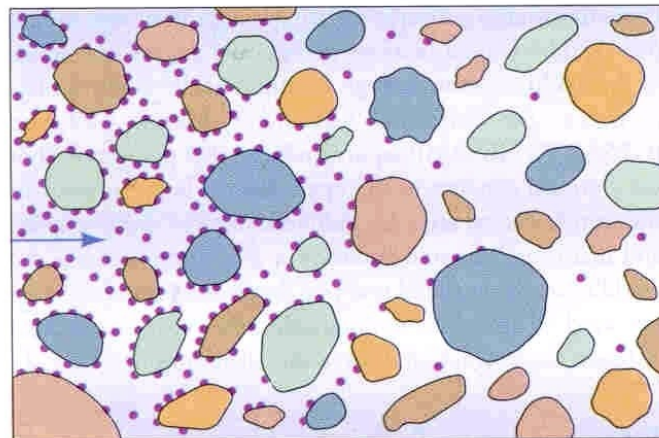
Chování kontaminantů pod povrchem



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.

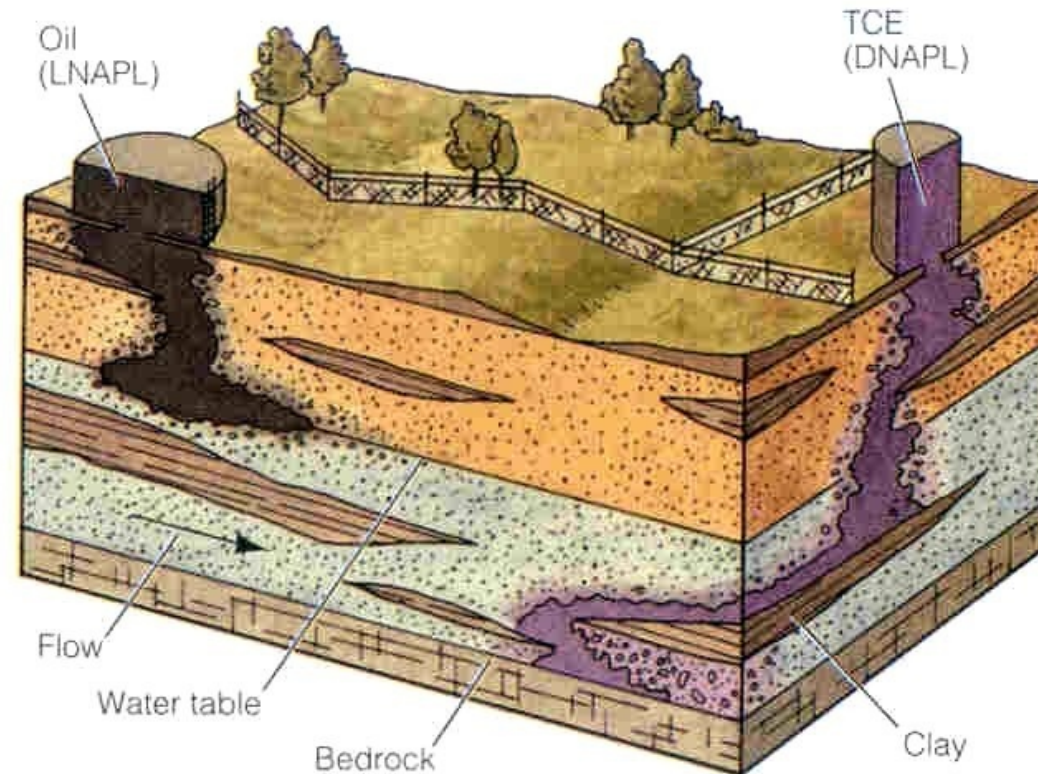
Chování kontaminantů pod povrchem

Důležité charakteristiky:

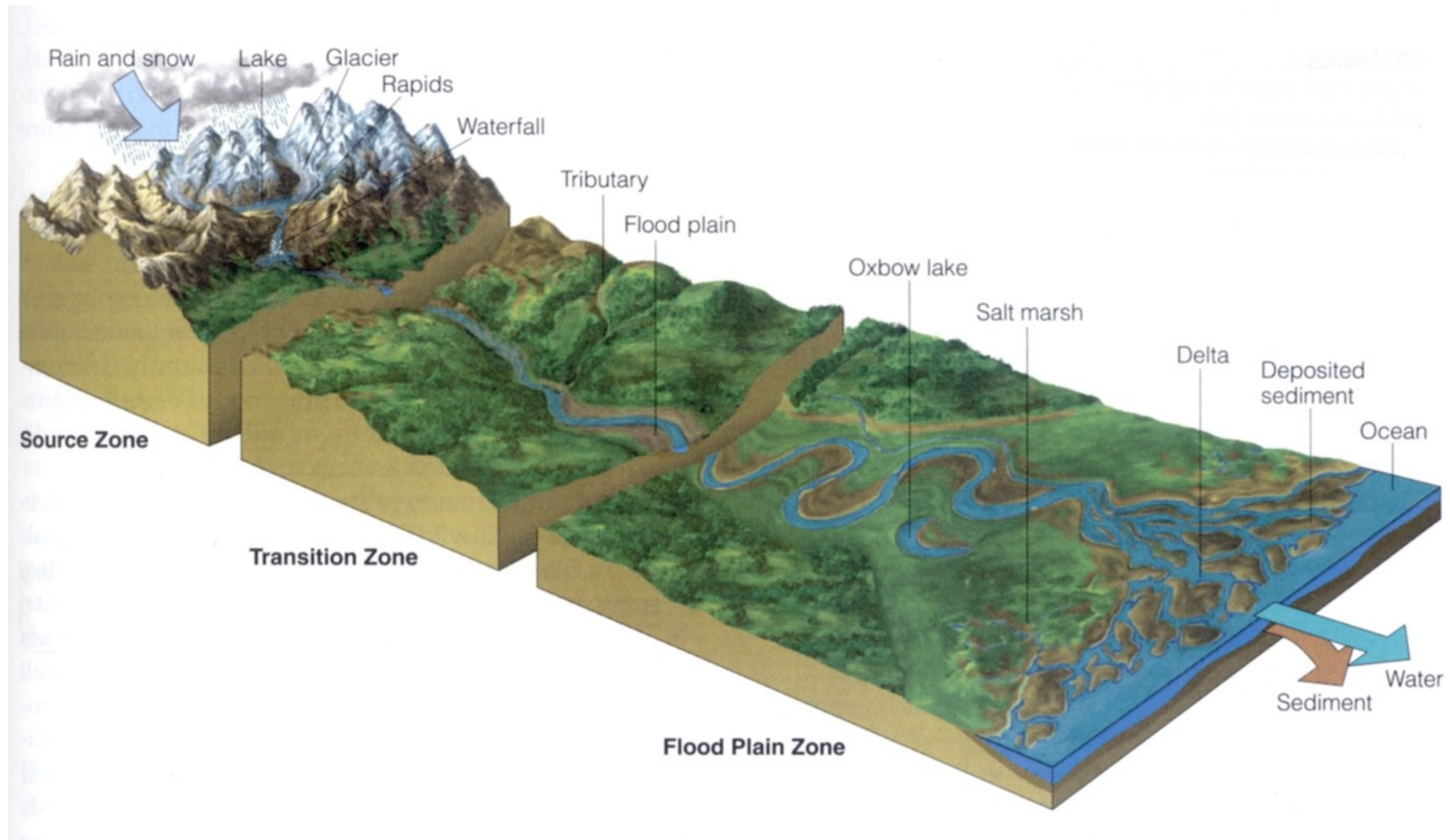
- ↪ Hustota kontaminantu ve vztahu k podzemní vodě
- ↪ Lehčí (LNAPL – light nonaqueous phase liquid) – benzin
- ↪ Těžší (DNAPL – dense ...) – TCE

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 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)

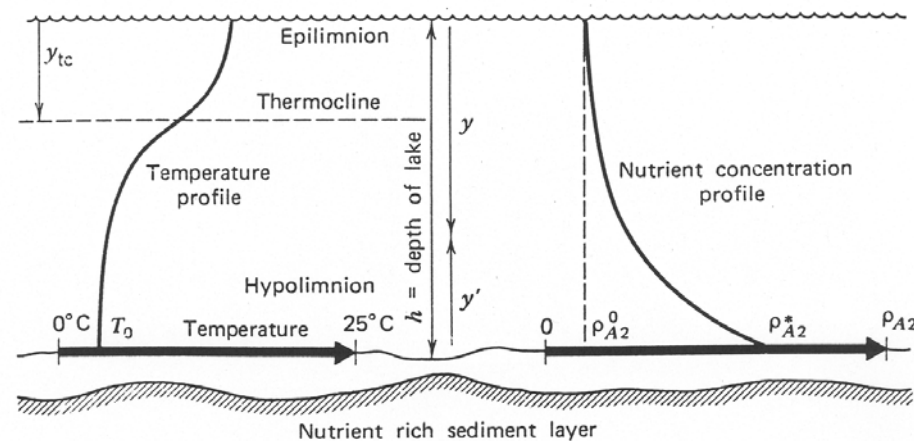


Figure 5.2-1. Typical lake-water column conditions.

Stojaté vody – teplotní stratifikace

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

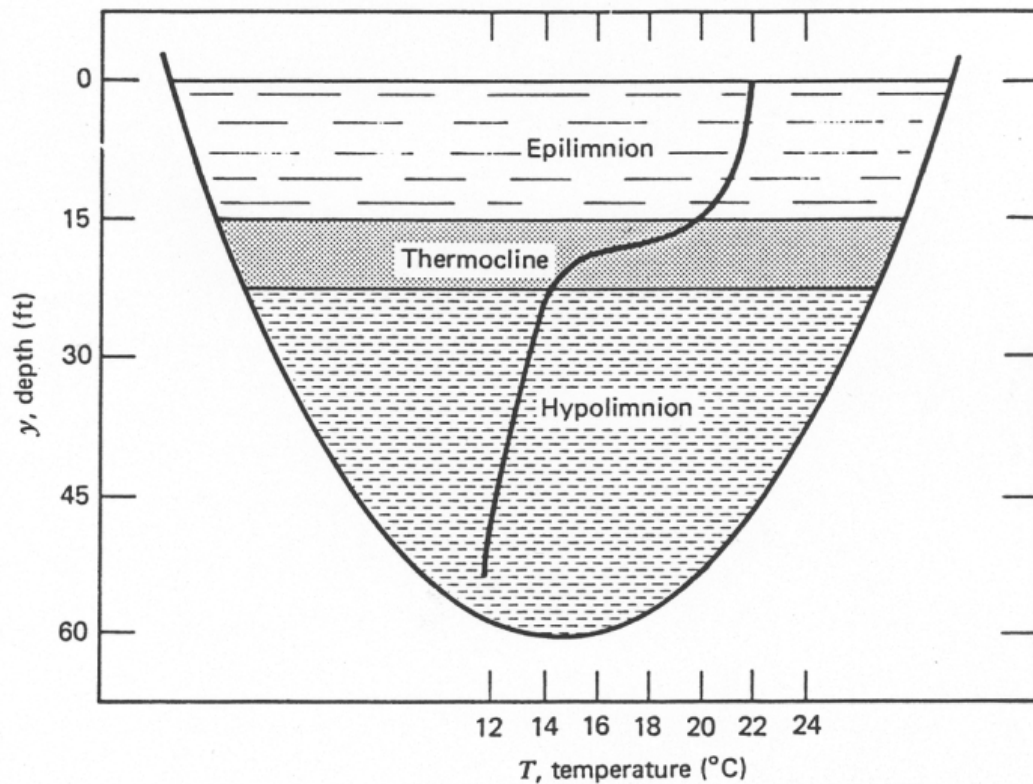


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

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

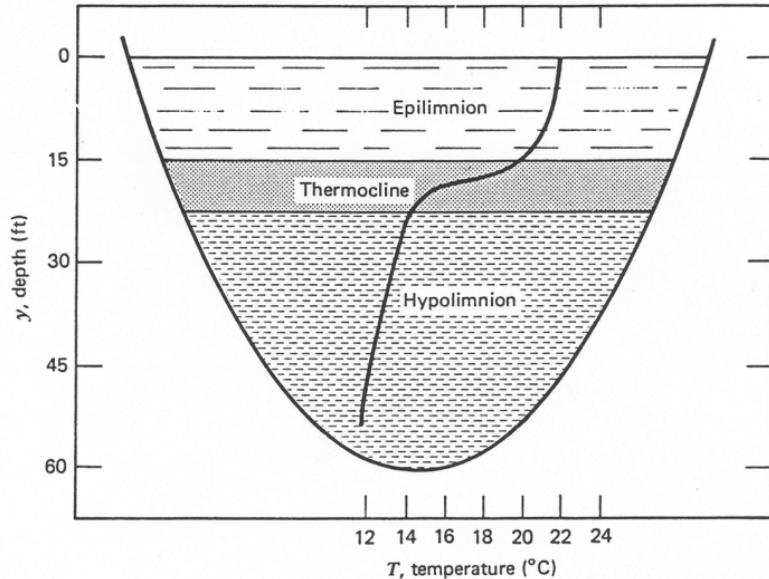


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

**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**

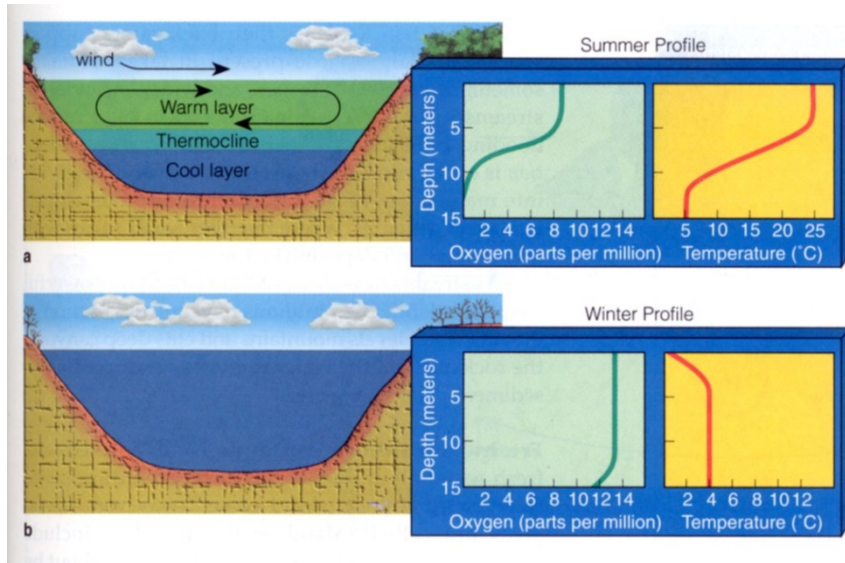
Teplotní stratifikace je charakterizována dobře promíchávanou teplejší svrchní vrstvou a chladnější vrstvou nad dnem, obě vrstvy jsou odděleny skočnou vrstvou.

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 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.

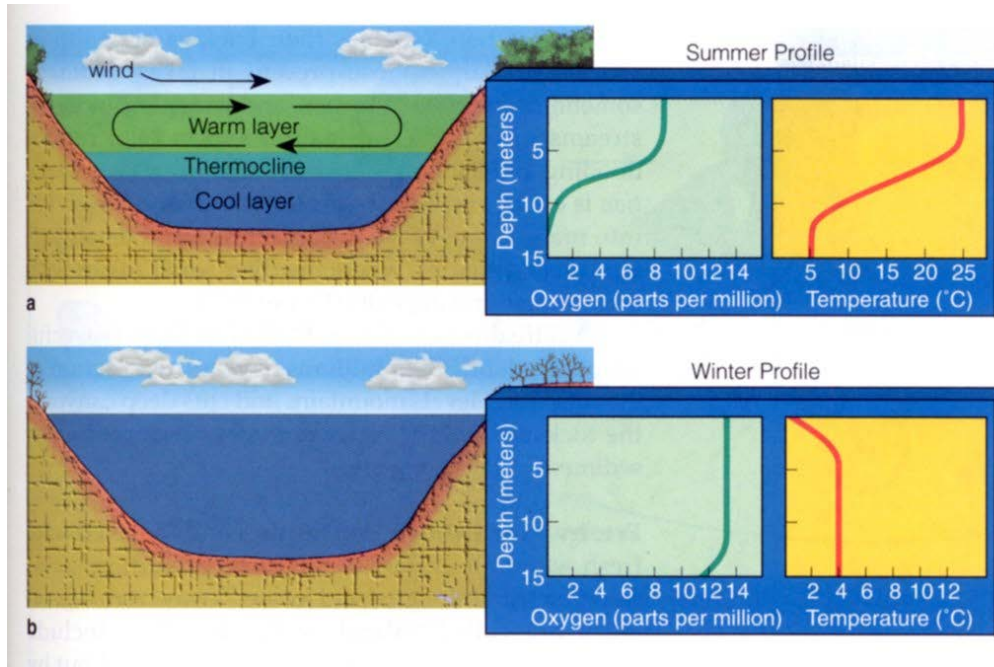
Teplota se v celé nádrži vyrovná a nádrž získá homotermii.

V zimě, po podzimní cirkulaci, dochází 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**.

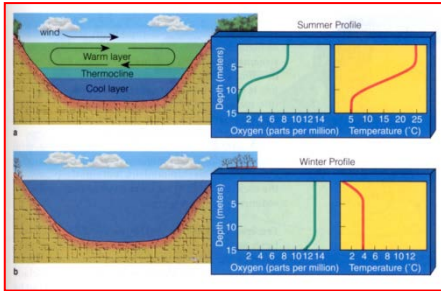
Postupným oteplováním vody v jarních měsících se opět za vhodných podmínek vytváří **teplotní stratifikace** a nastupuje znovu období **letní stagnace**.

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

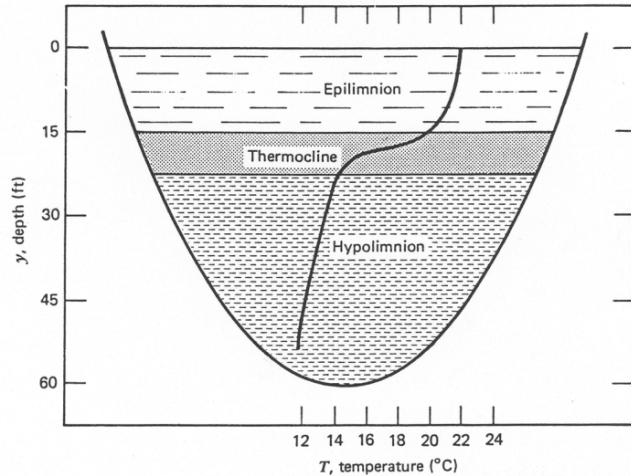


Figure 7.1-1. Typical temperature stratification in a reservoir.

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

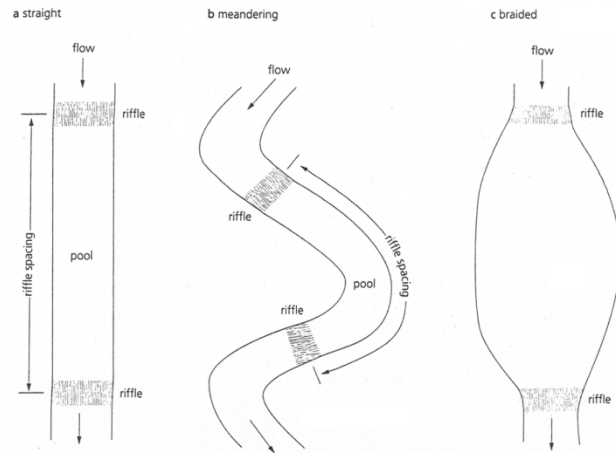
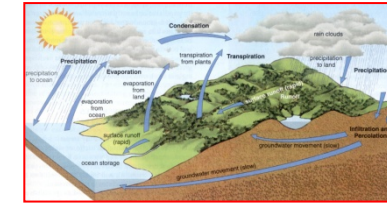


Figure 11.12. Main types of channel patterns. There are three main types of channel patterns – straight (a), meandering (b) and braided (c). Meandering is the most common. After Figure 15 in Thornes, J. (1990) River channels. Macmillan Education, London

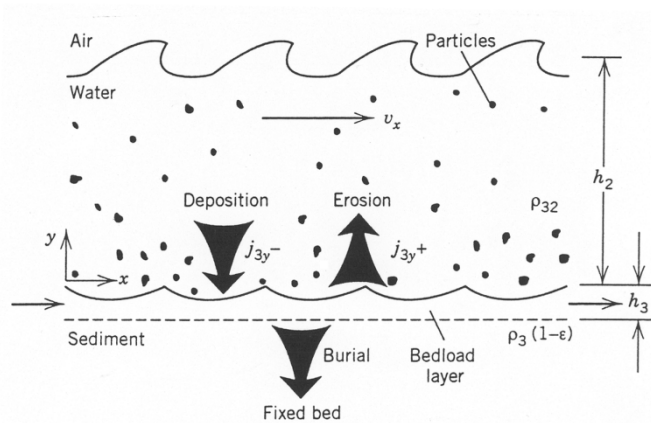


Figure 5.1-6. Major particle transport processes in stream.

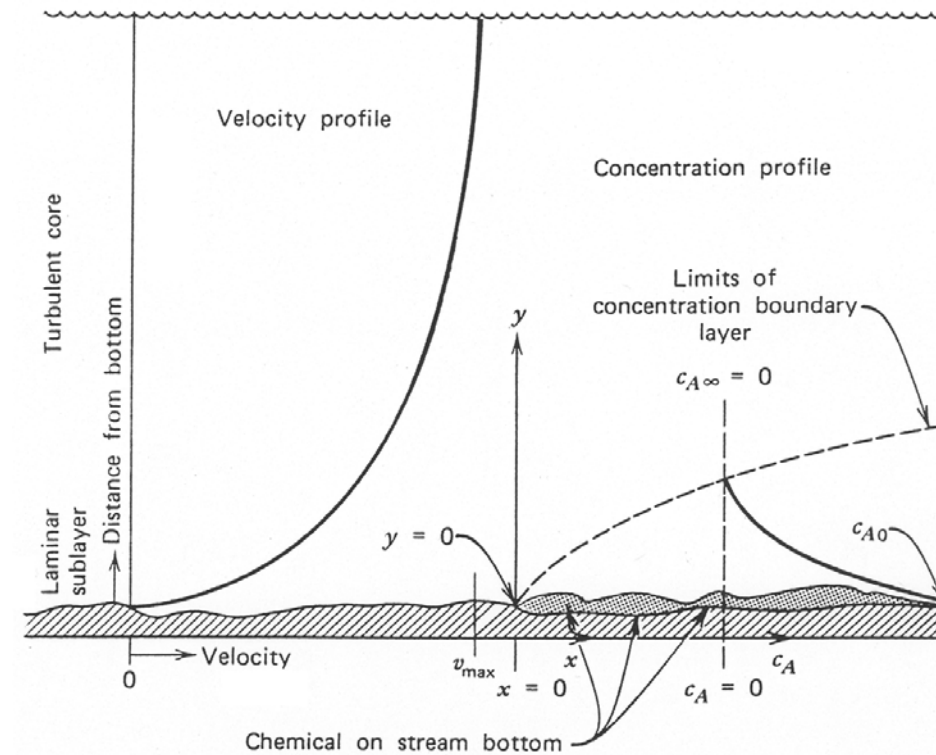
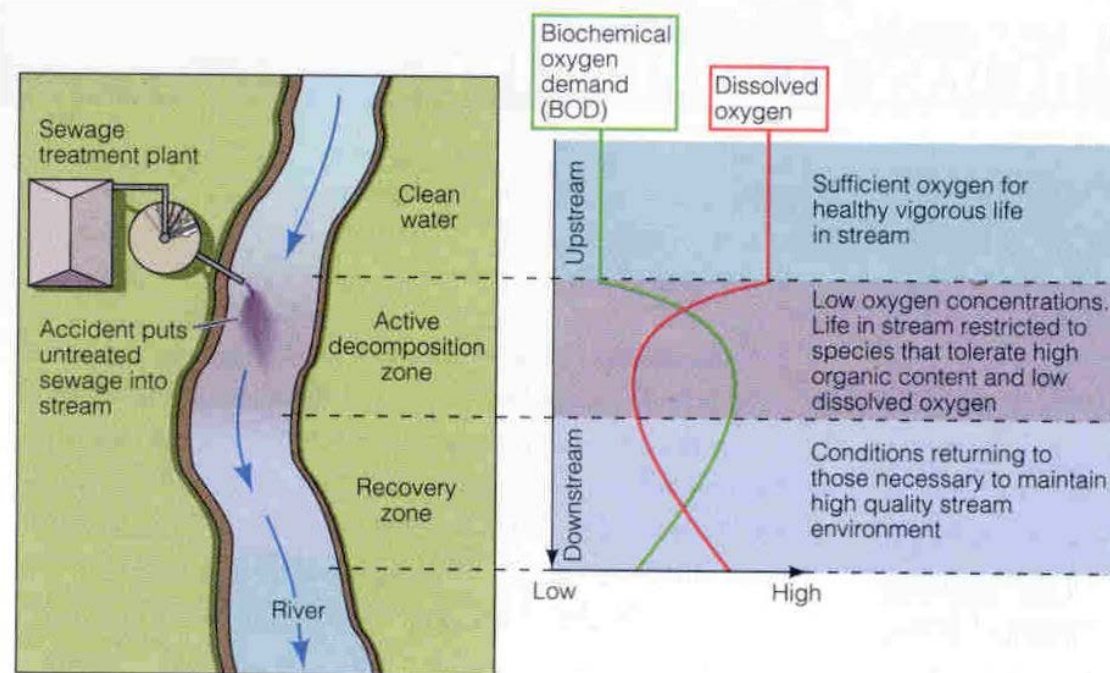


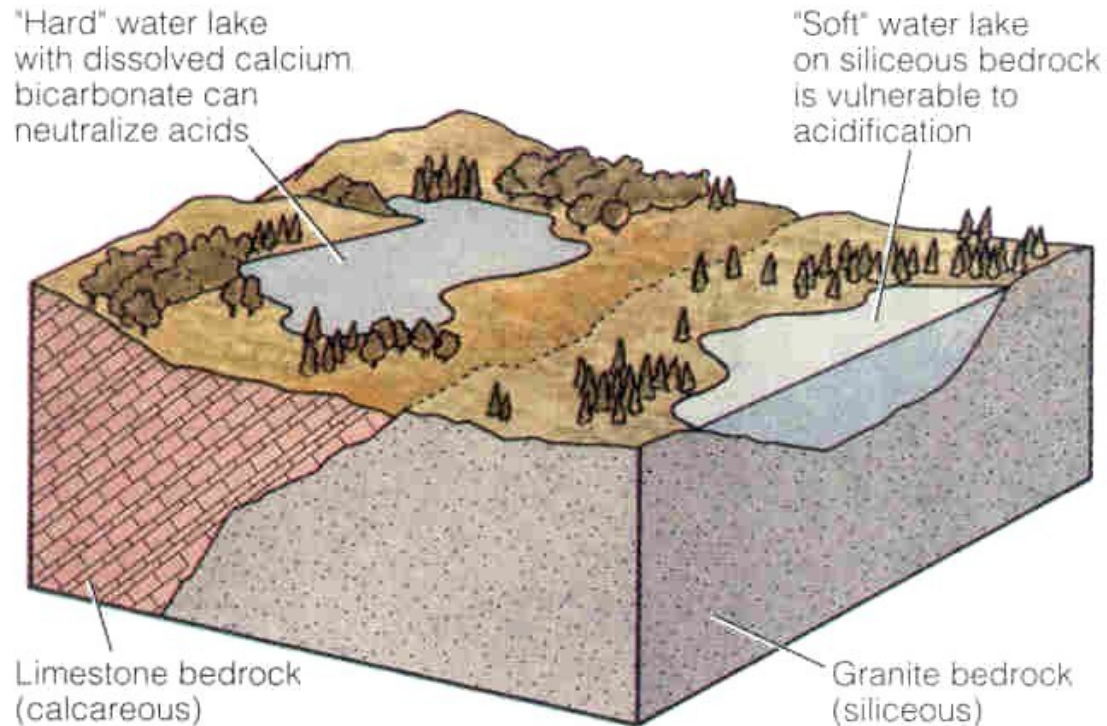
Figure 5.1-2. Chemical dissolution in flowing stream.

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



- 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

- ↪ **SO₄²⁻** - z poloviny dáno atmosférickou depozicí, z poloviny zvětráváním a rozpouštěním minerálů, minerální hnojiva
- ↪ **Cl⁻** - z geologického podloží, méně z atmosféry
- ↪ **Ca²⁺** - z uhličitánů, méně hlinitokřemičitany
- ↪ **Mg²⁺** - 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

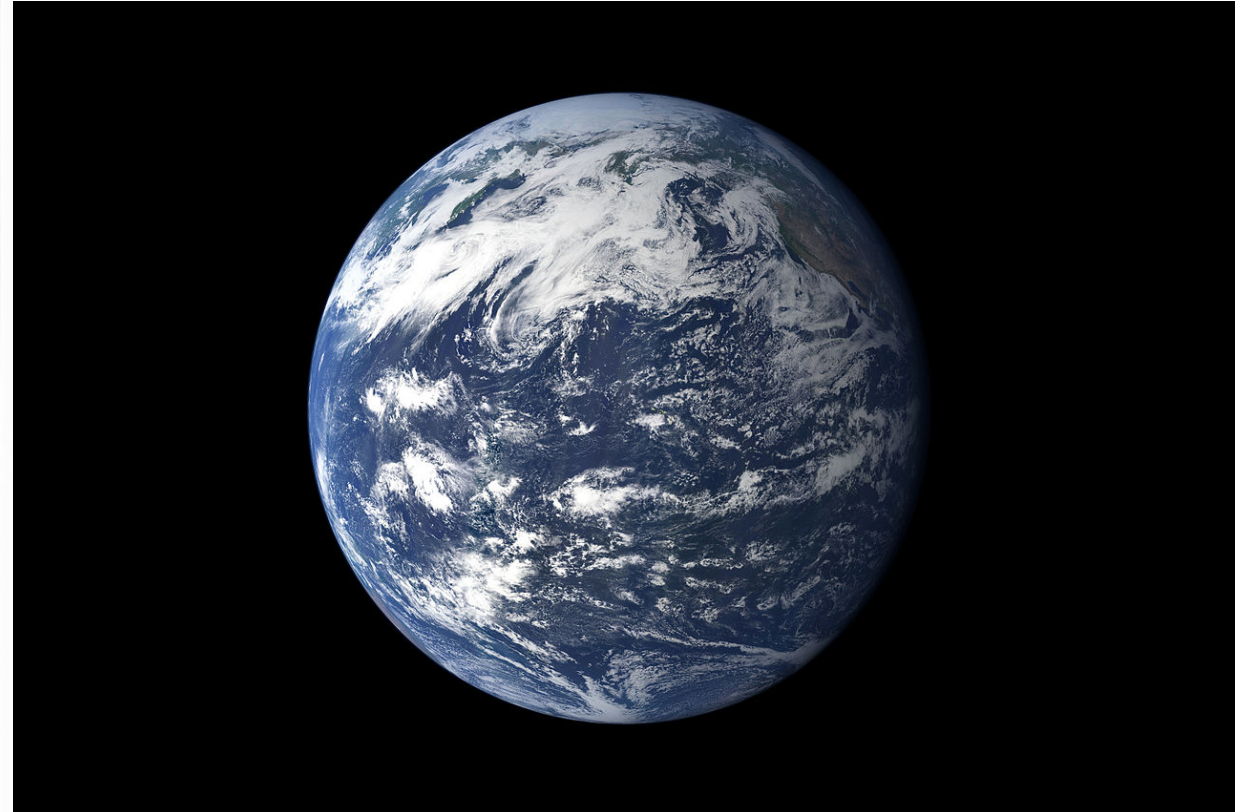
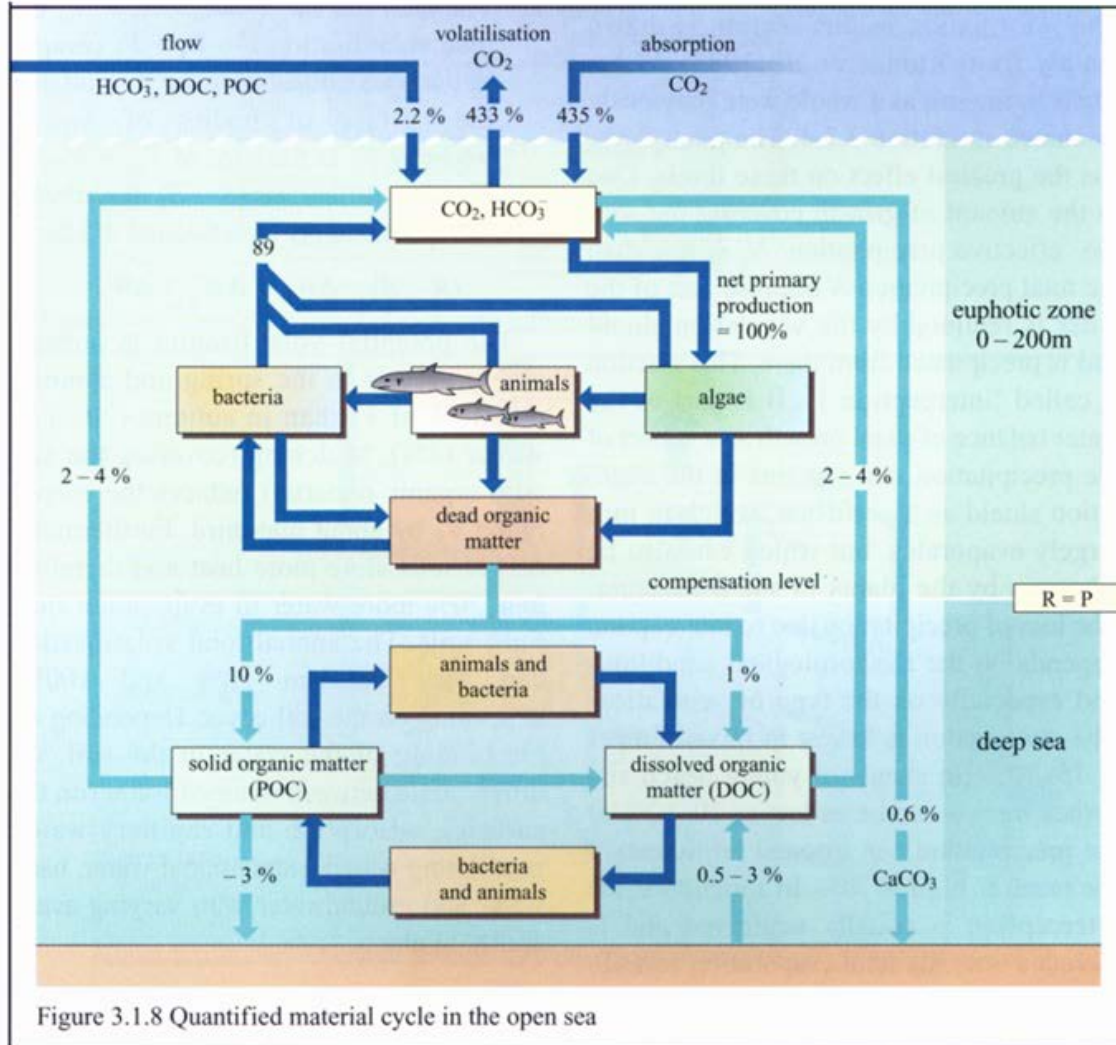
Povrchové vody - znečištění

Klasifikace tekoucích vod z obecného (ekologického) hlediska

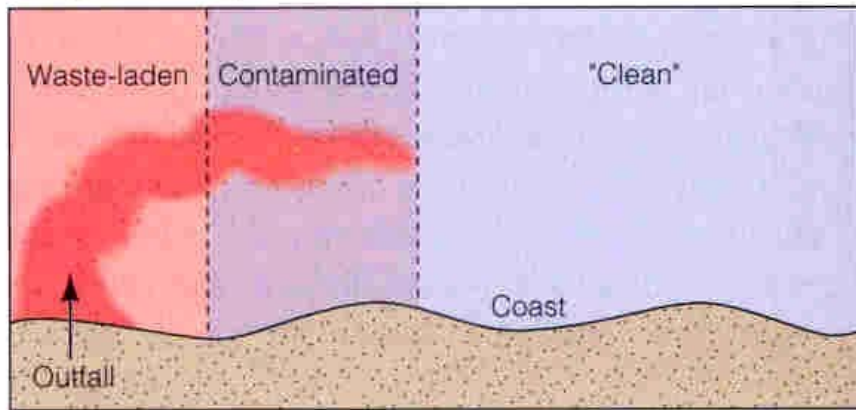
Ukazatelé:

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

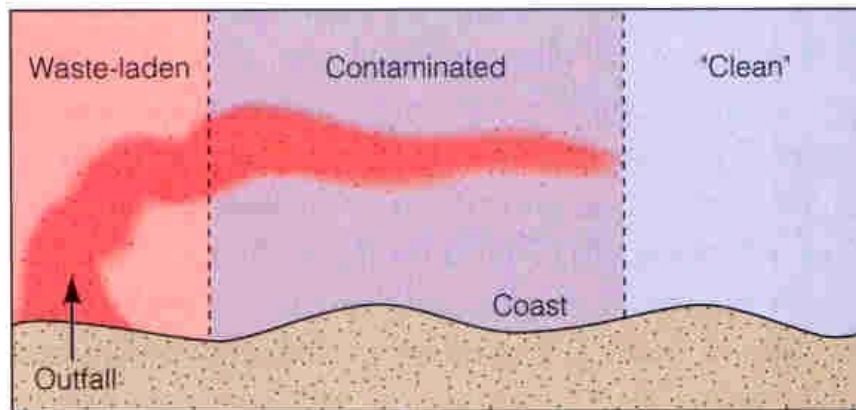
Otevřené moře



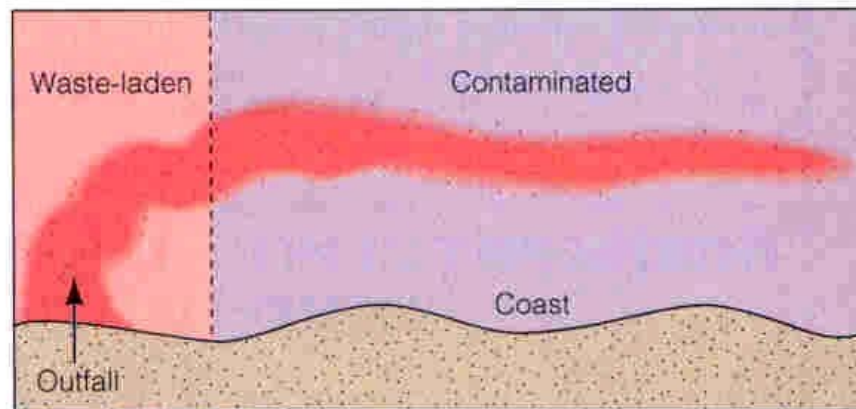
Longshore transport →



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

Galveston Bay, Texas,
1990

