



CHEMIE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ I

Environmentální procesy

(05)

Složky prostředí – základní charakteristiky

Ivan Holoubek

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

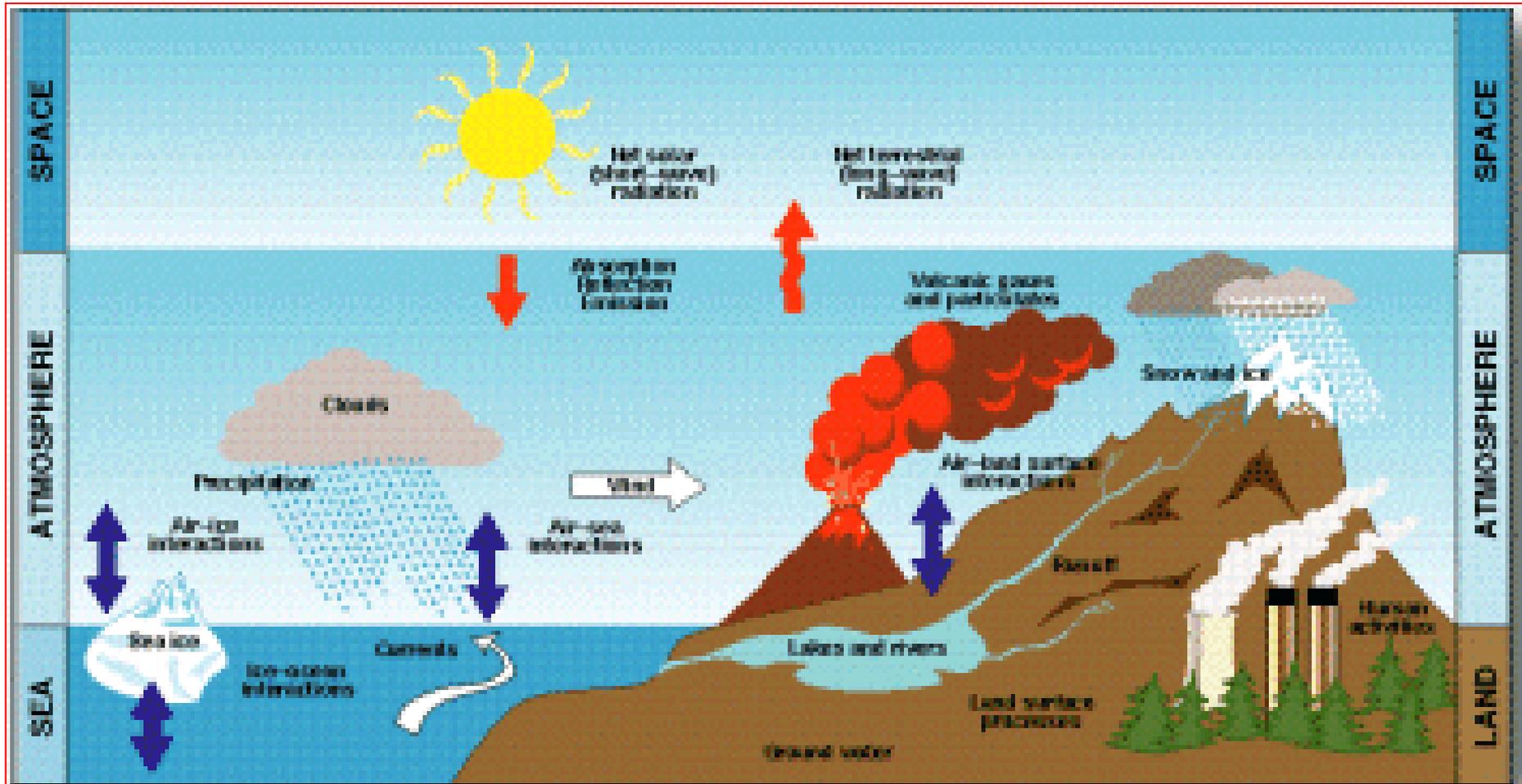
holoubek@recetox.muni.cz; <http://recetox.muni.cz>

(05) Složky prostředí – základní charakteristika

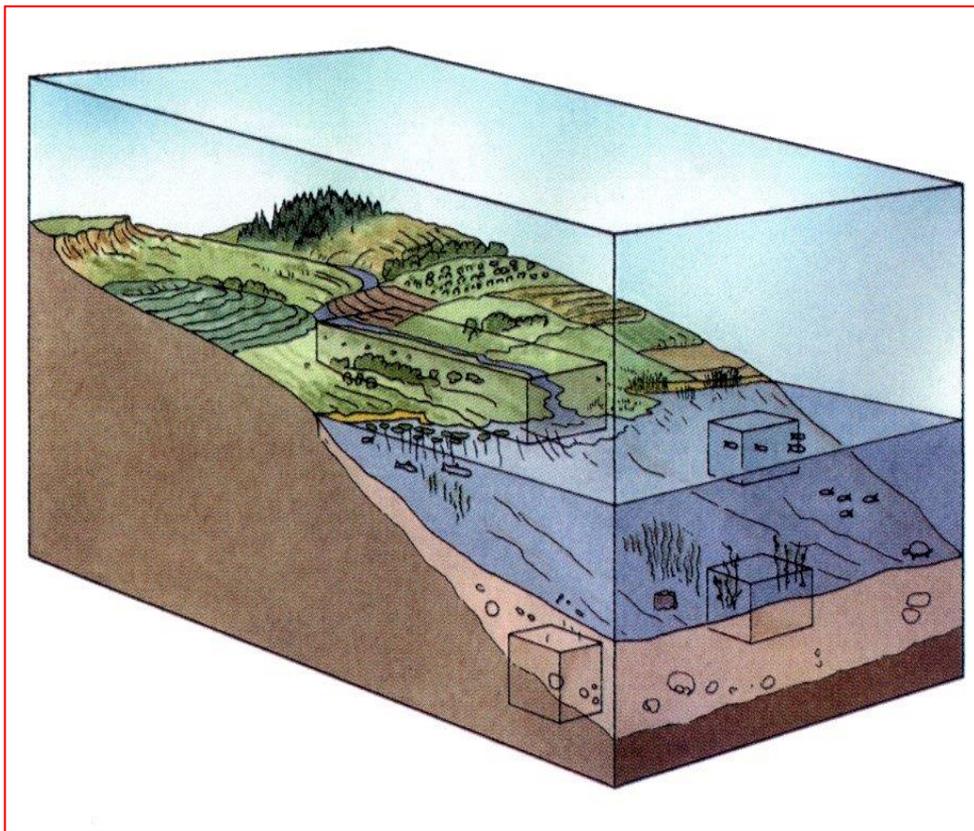
Složky prostředí, základní charakteristiky.

Ekosystémy – definice, vztahy.

Osud chemických látek v prostředí



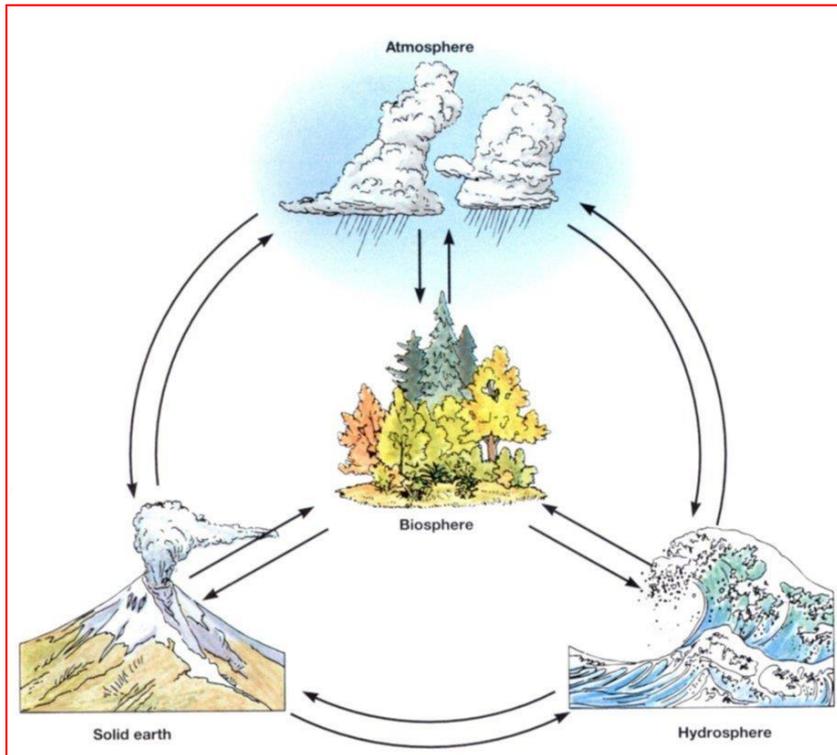
Koncepce systémů



- ↪ **Systém** je jakákoliv část Vesmíru („Všehomíru“), kterou pozorovatel vymezí (velký, malý, jednoduchý, složitý – od atomů po celý Vesmír): jezero, vzorek horniny, oceán, sopka, horský hřbet, kontinent, celá planeta; list je součástí stromu, strom je součástí lesa.
- ↪ **Začínáme od malých podsystemů**, pochopení jejich funkce je však možné jen v kontextu celého systému.

Zemský systém

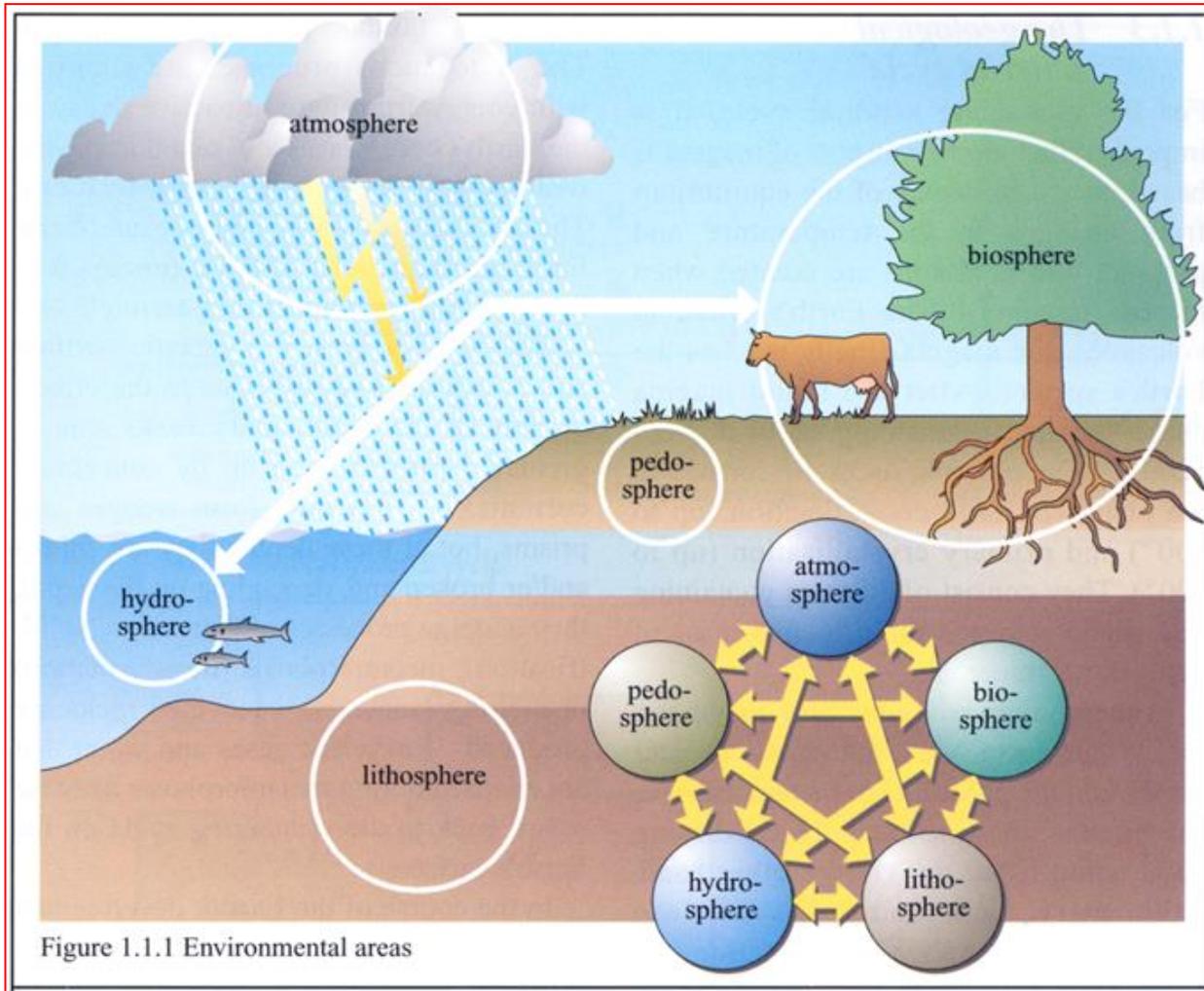
Zemský systém se skládá z menších podsystémů, které spolu intenzivně „komunikují“



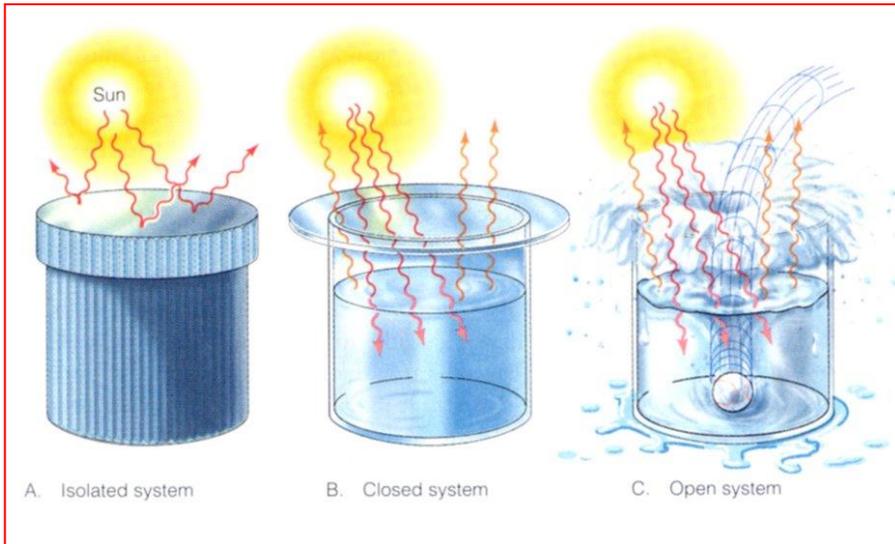
- ↪ atmosféra
- ↪ hydrosféra
- ↪ biosféra
- ↪ litosféra

Ty mohou být rozděleny na další podsystémy – hydrosféra = oceány, ledovce, vodní toky, podzemní voda.

Složky prostředí



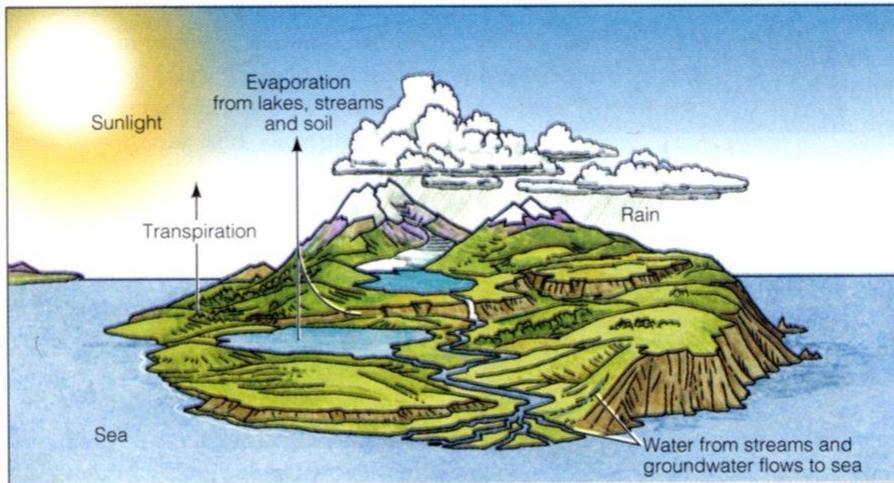
Systemy



↪ Izolovaný

↪ Uzavřený

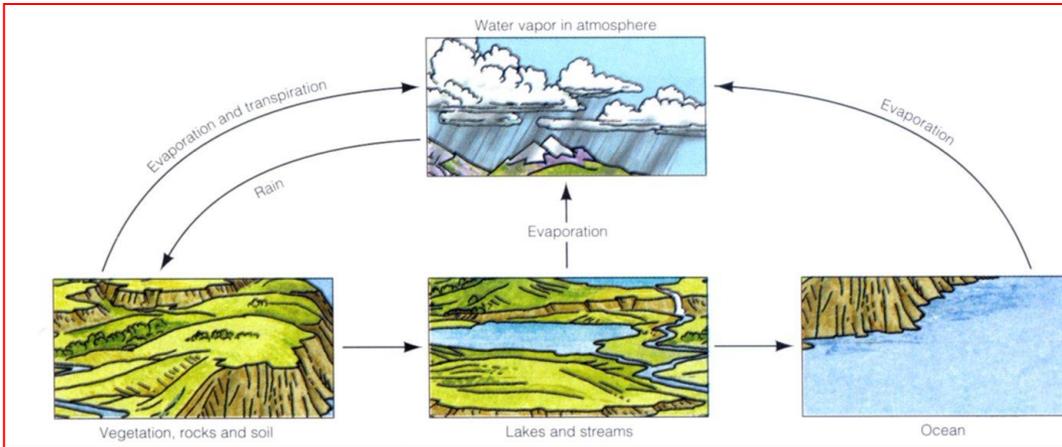
↪ Otevřený



↪ Otevřený

„Box“ modely

Systemy se obvykle zobrazují jako „box“ modely (snad „krabičkové“). Výhodou je jednoduchost a pohodlí. Ukazují:



- ↙ rychlost toků hmoty a energie z a do systémů
- ↙ celkové množství hmoty a energie v systému

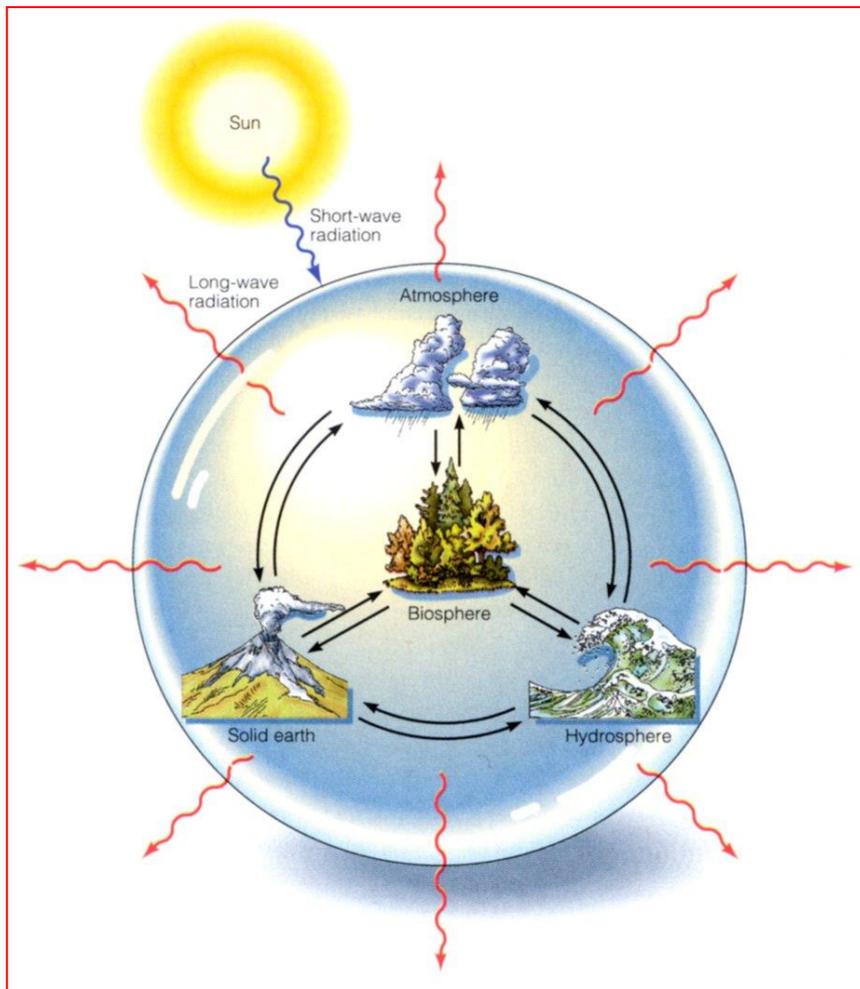
Rezervoáry, doba zdržení, vstupy, výstupy, stacionární stav. Velikost rezervoáru je dána celkovou bilancí (vstupy – výstupy)

$$r = k \times m$$

Čím provázanější jsou podsystemy a čím jich je víc, tím vyšší stabilita (mnoho cest, jak reagovat na vnější vychylování).

Mnoho cyklů a cest se vzájemně překrývá.

Život v uzavřeném systému



- ↪ množství hmoty je stálé a konečné (omezené zdroje, omezené možnosti zbavit se nepohodlných látek)
- ↪ změny v jedné části systému se projeví v ostatních částech (podsystemy jsou otevřené) – stavy jemně vybalancovaných a provázaných stacionárních stavů (řetězové přizpůsobení: vulkanická erupce v Indonésii může uvolnit tolik popela do atmosféry, že může dojít ke změně klimatu a záplavám v Jižní Americe a suchům v Kalifornii a tím ovlivnit cenu obilí v západní Africe).

Dynamické interakce mezi systémy

Cyklování a recyklování

Neustálý tok hmoty mezi rezervoáry. Jak to, že...

- ↪ Je složení atmosféry konstantní ??
- ↪ Se nezvyšuje ani nesnižuje salinita oceánů ??
- ↪ Je složení hornin 2 miliardy a 2 miliony starých stejné ??

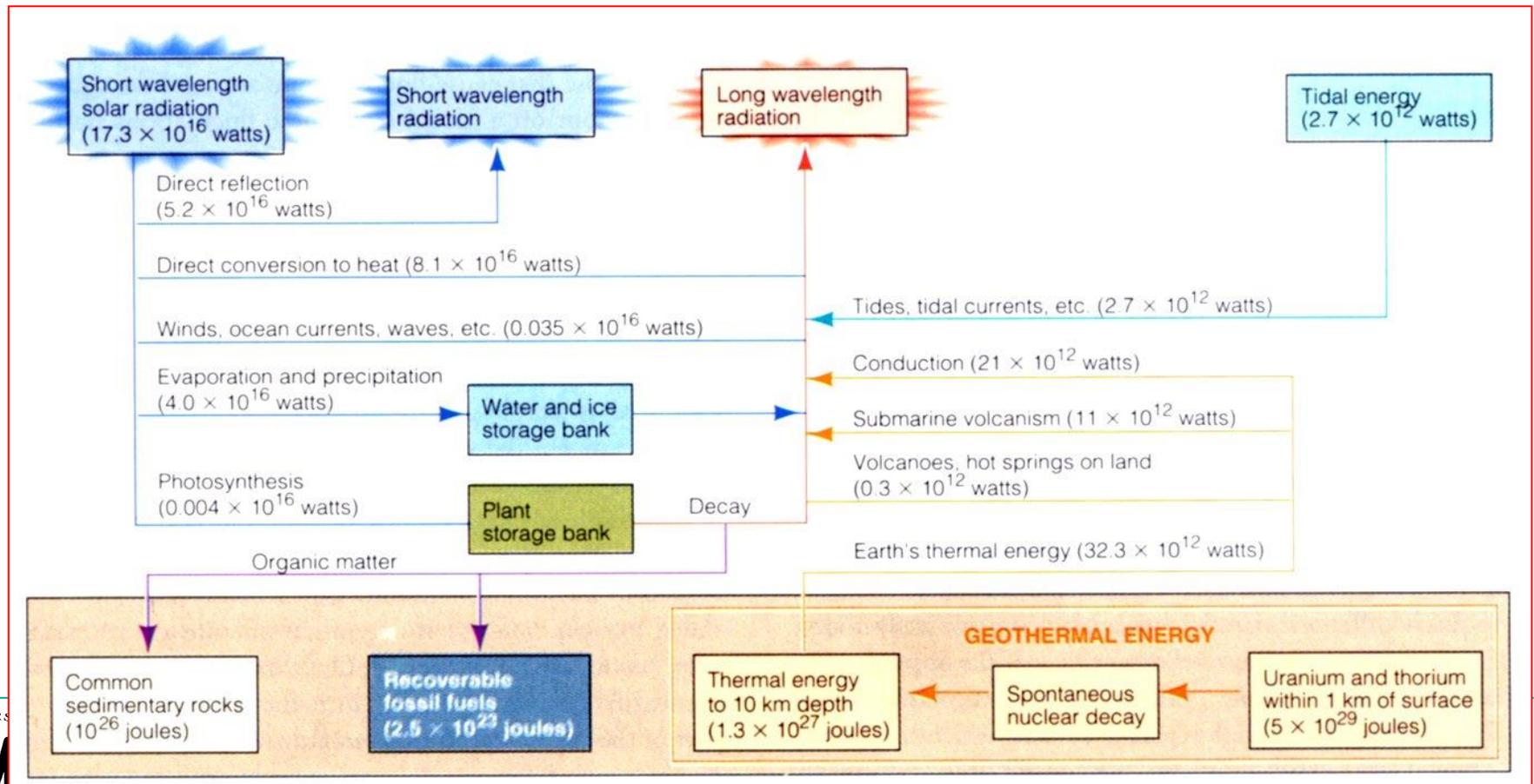
Přirozený tok hmoty na Zemi – cykly.

Hmota přechází mezi rezervoáry, různé části toků se vzájemně vyrovnávají (jsou obsaženy zpětné vazby):

Množství hmoty, které „přiteče“ je rovno množství hmoty, které „odteče“.

Energetický cyklus

Zahrnuje externí a interní zdroje energie – pohání globální systém a všechny jeho podcykly. Celkový „rozpočet“ (příjmy a výdaje) energie je vyrovnaný. Pokud by nebyl, Země by se buď přehřívala nebo chladla až do dosažení rovnováhy.



Energetické vstupy

Celkový příjem: 174 000 teraW ($174\,000 \times 10^{12}$ J/s) (člověk užívá 10 teraW za rok)

Sluneční záření: 99,986 % z celkového množství – pohání vítr, déšť, oceánské proudy, vlny; fotosyntézu.

Geotermální energie: 23 teraW (0,013 % z celkového příjmu) – vulkanická činnost, horninový cyklus

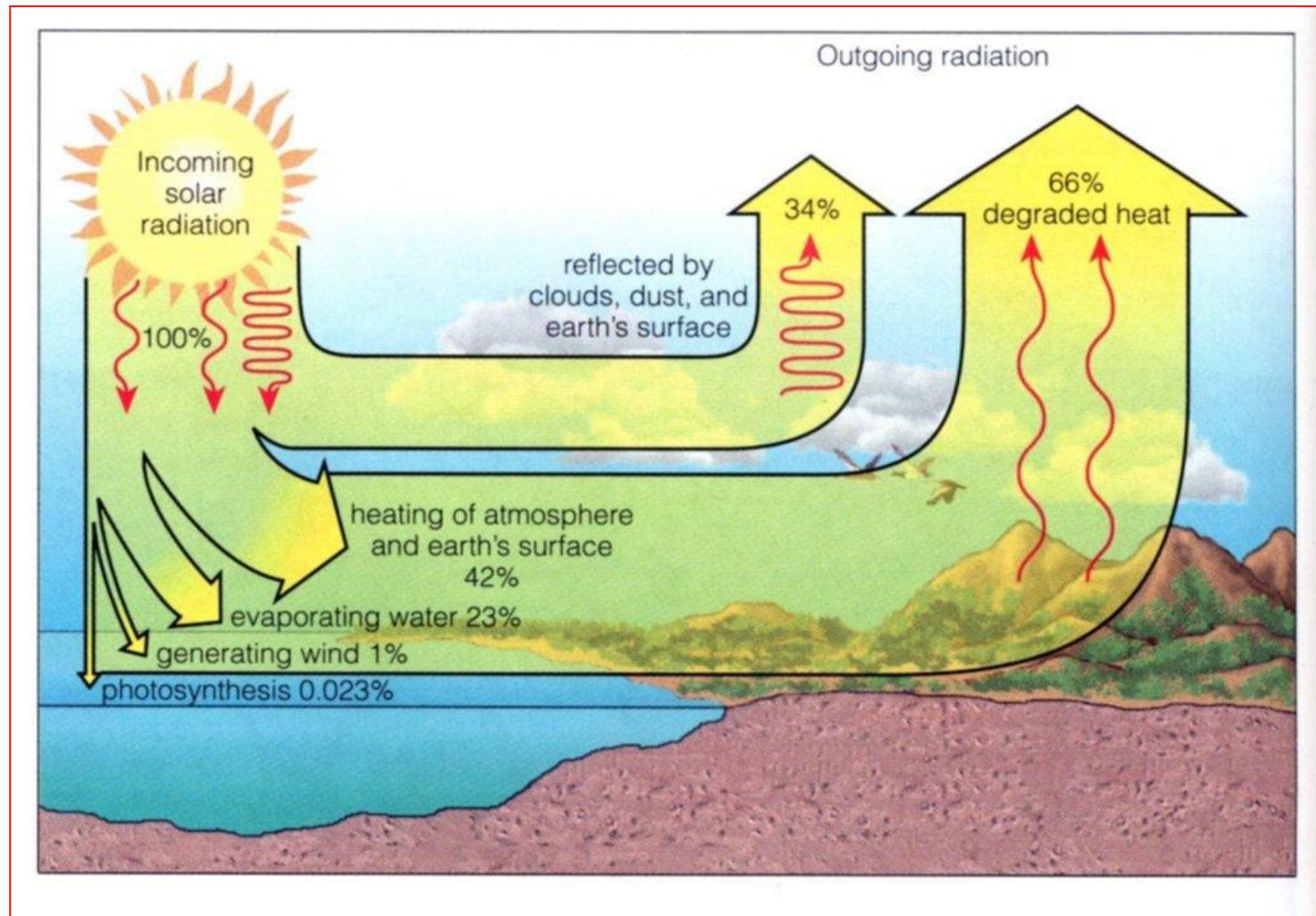
Energie přílivu: 3 teraW (0,002 % z celkového příjmu) – rotace Země a gravitační přitažlivost Měsíce; pohyb vodní hmoty vůči horninám působí jako „brzda“ zemské rotace

Energetické výstupy

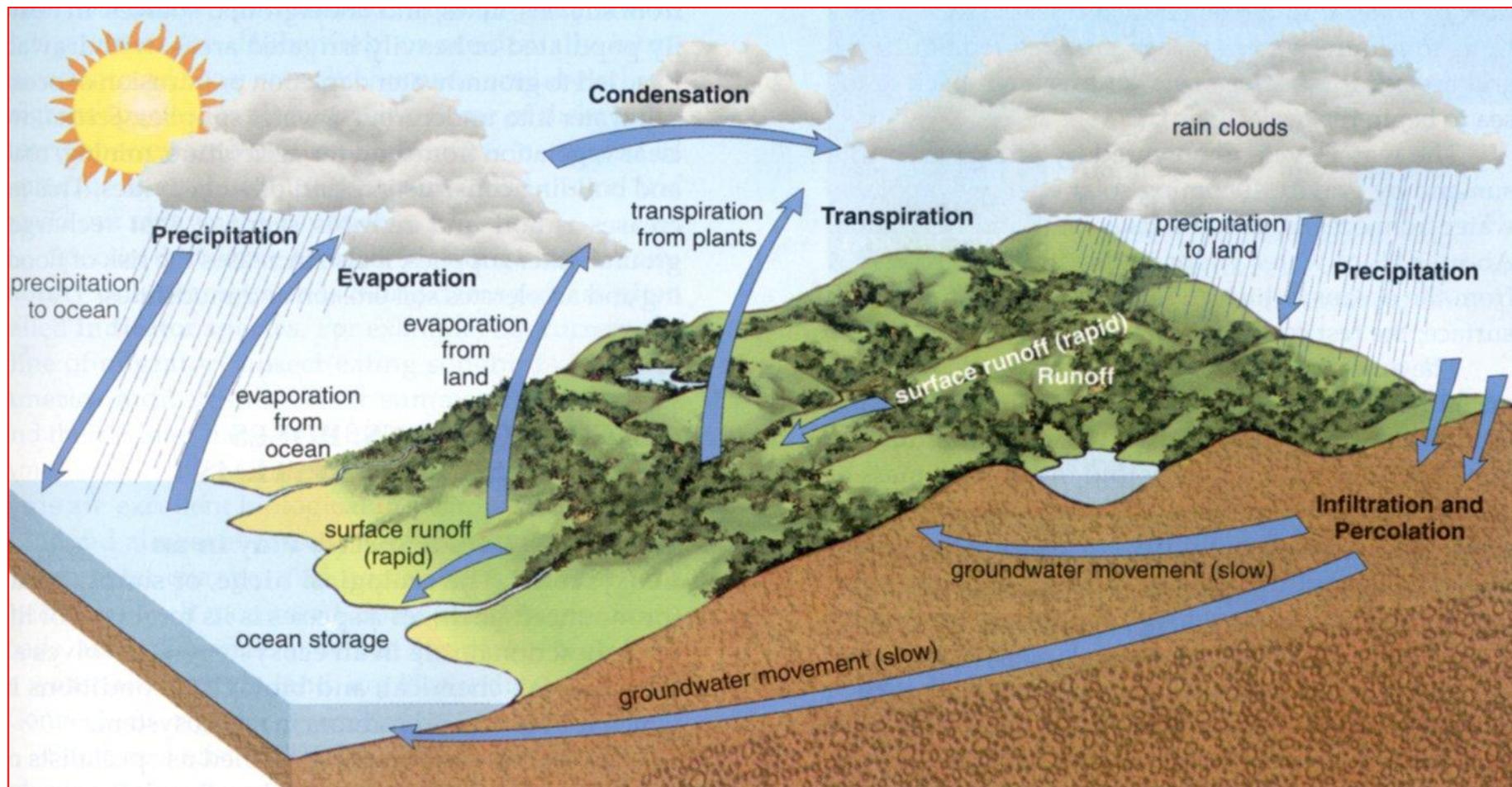
Odraz kolem 40 % slunečního záření je nezměněno odraženo zpět (albedo)

Degradace a znovuvyzáření 60 % slunečního záření absorbováno, přechází nevratně z jednoho rezervoáru do druhého až skončí jako teplo, které je opět vyzářeno v dlouhovlnné (infračervené) oblasti.

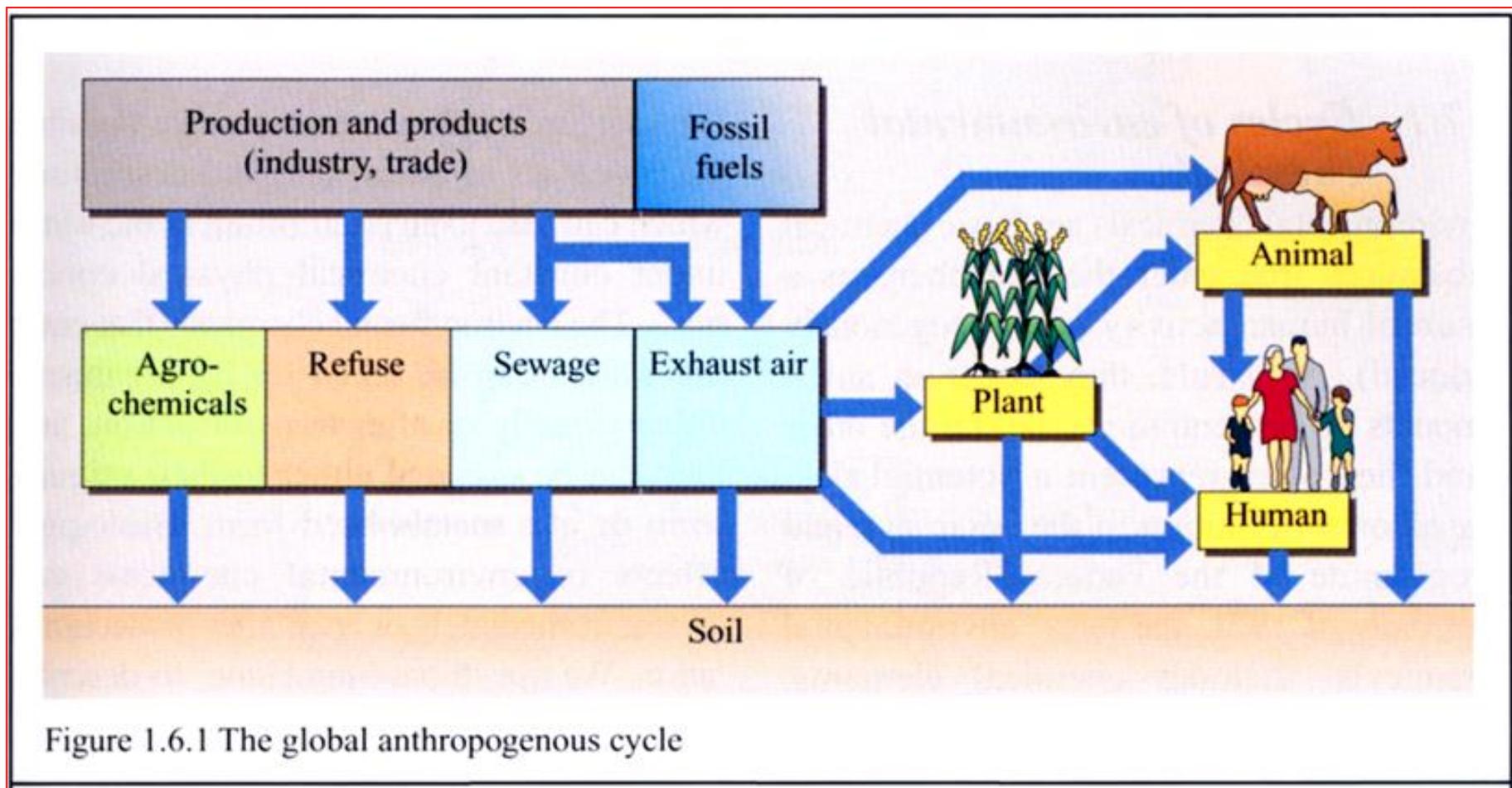
Energetický cyklus



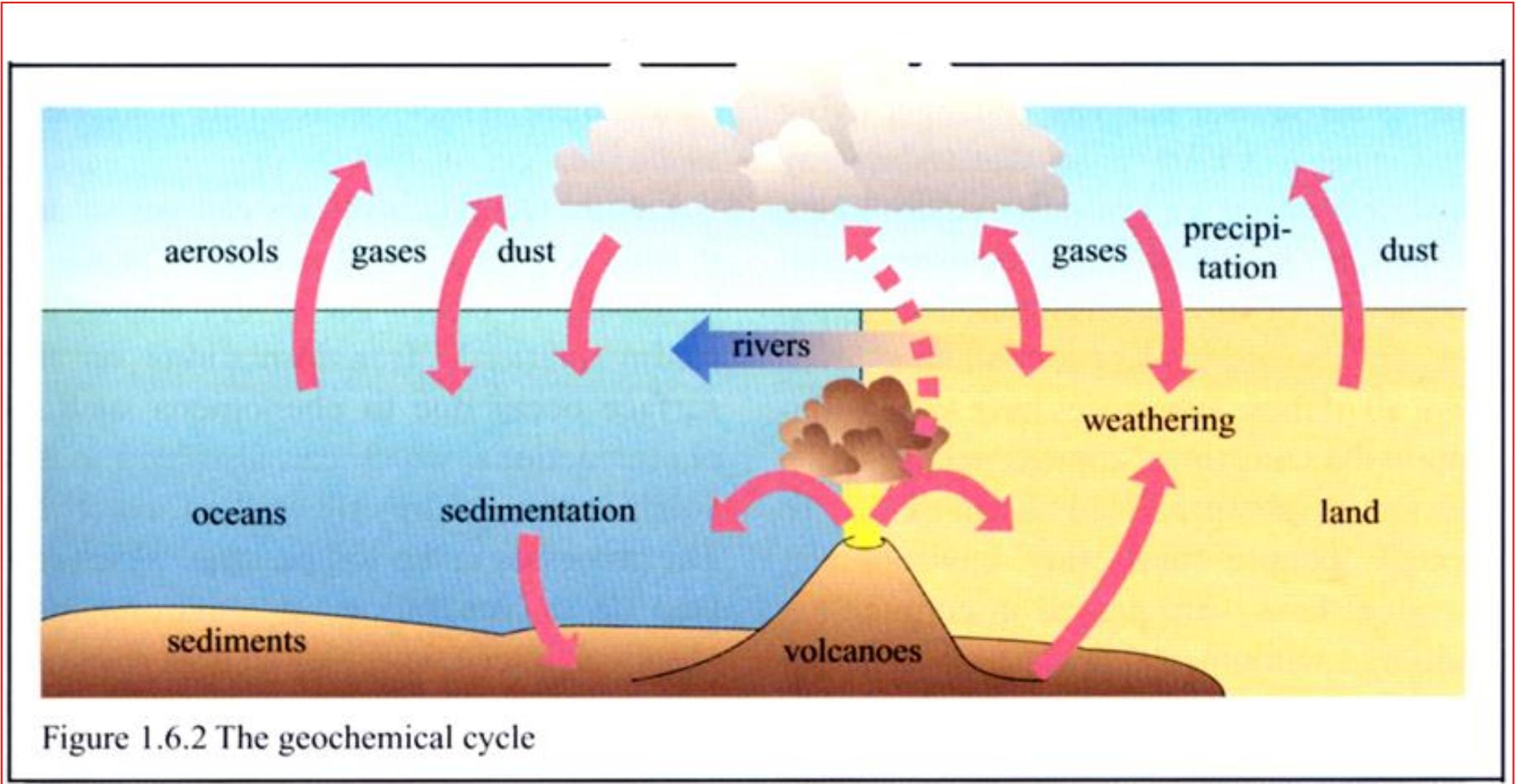
Hydrologický cyklus



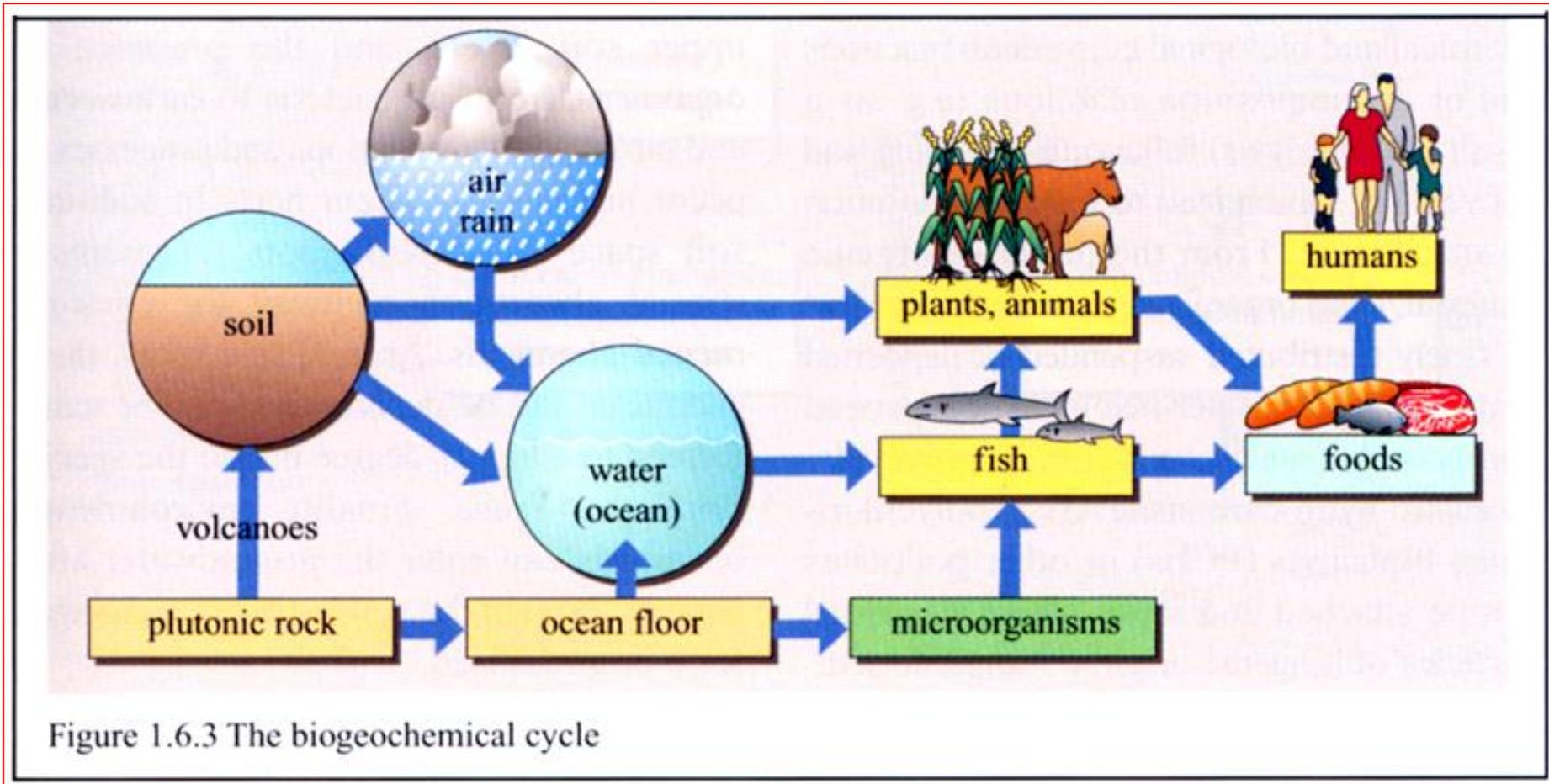
Globální antropogenní cyklus



Geochemický cyklus



Biochemický cyklus



Cyklus látek v prostředí

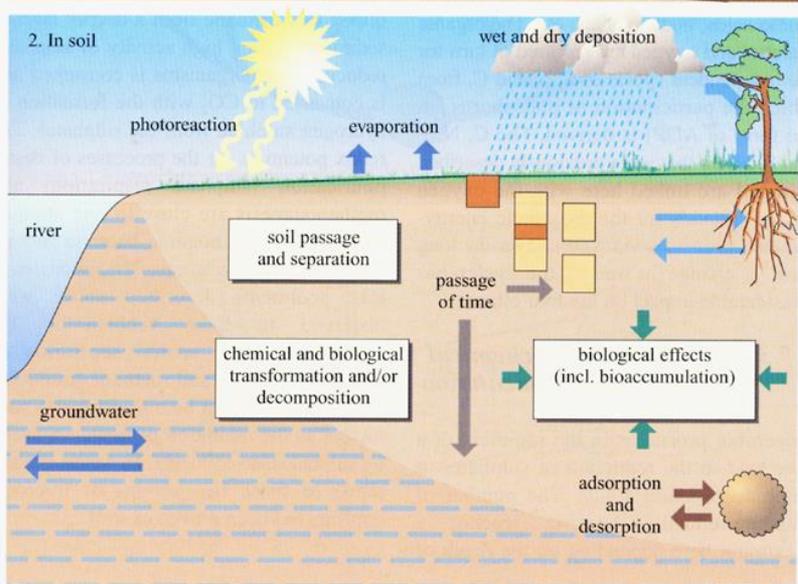
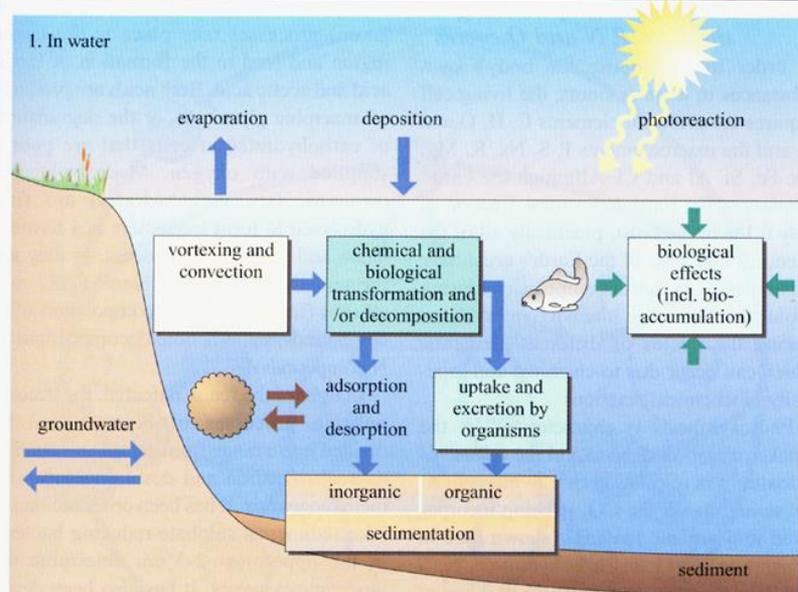
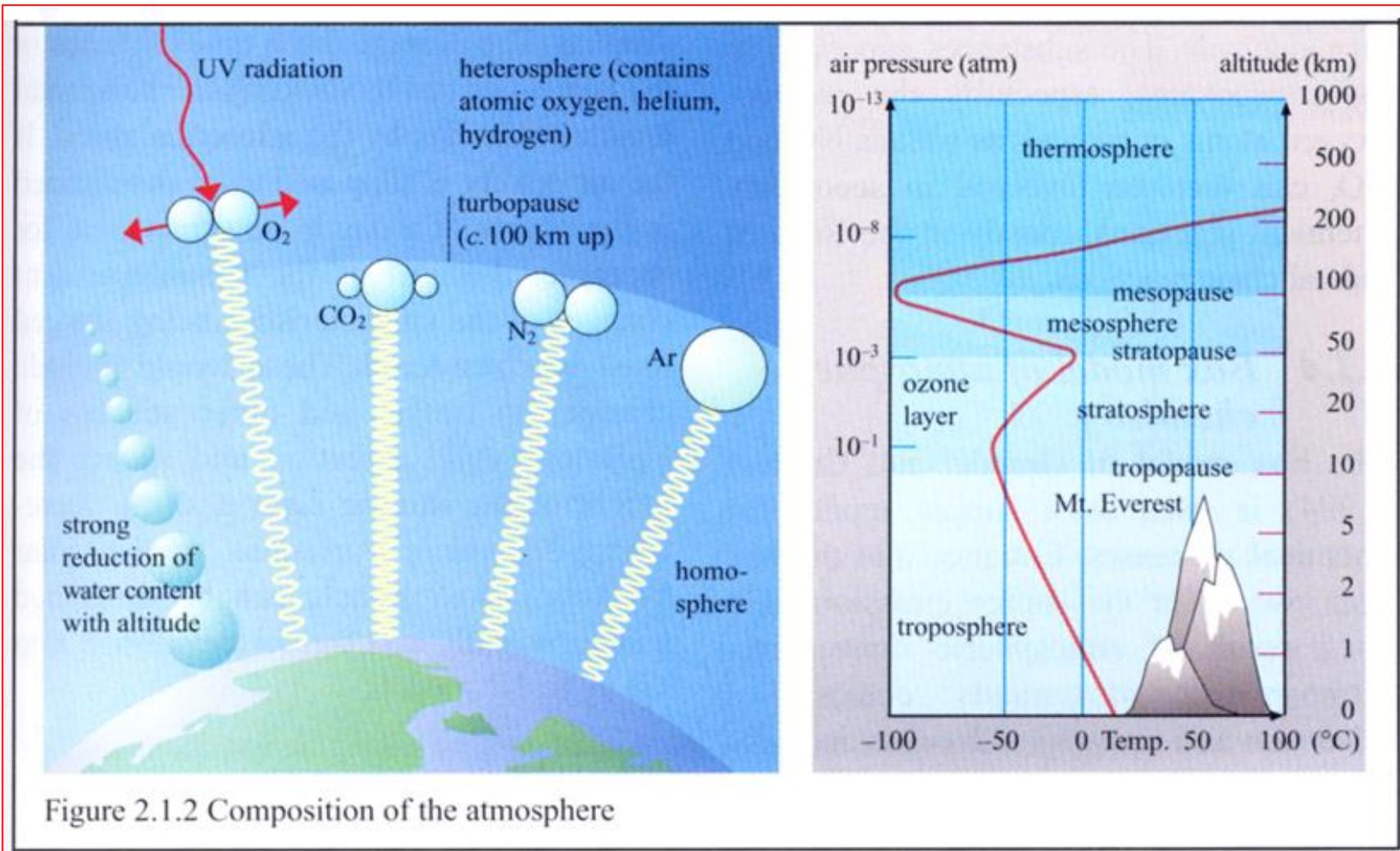
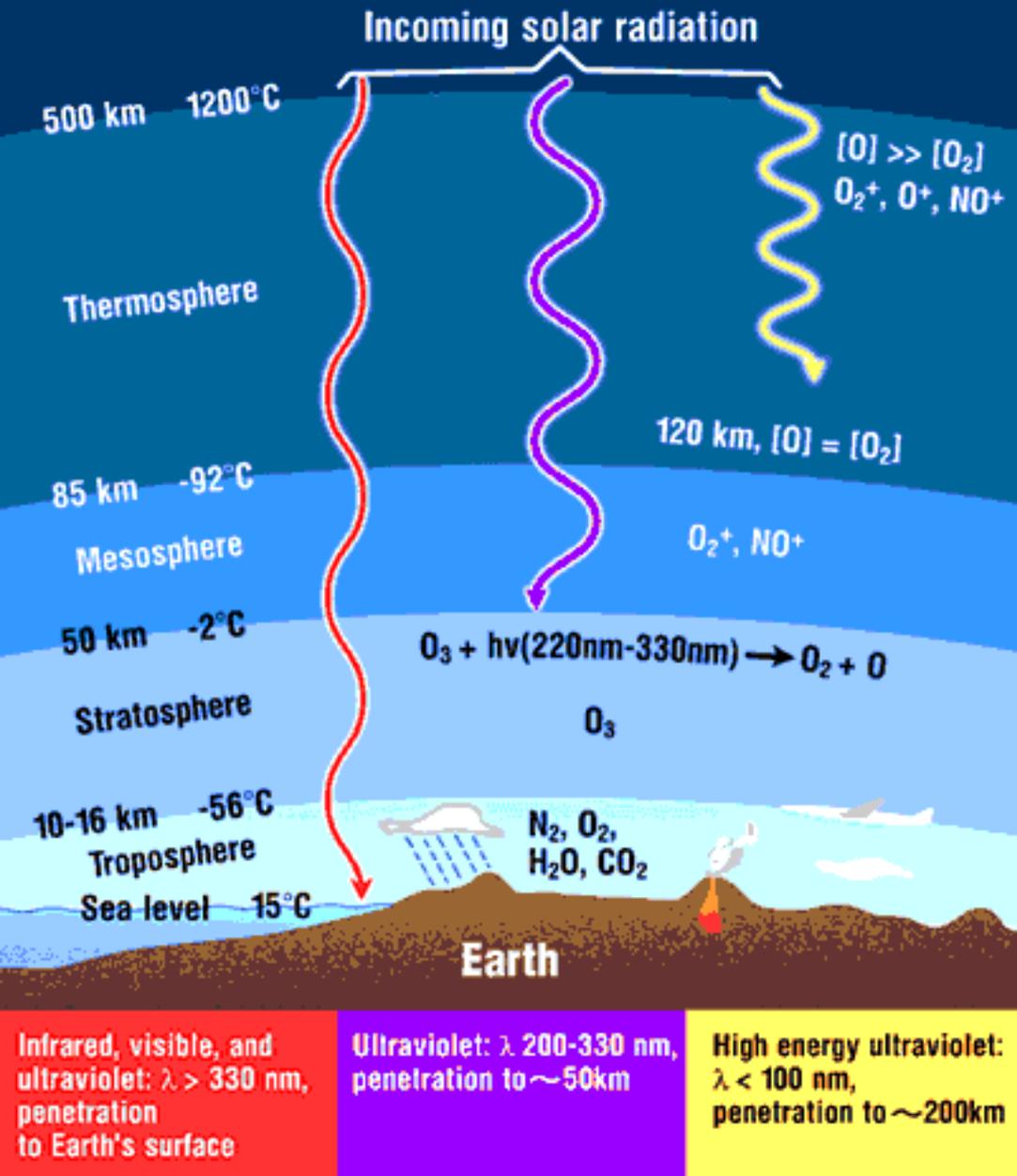


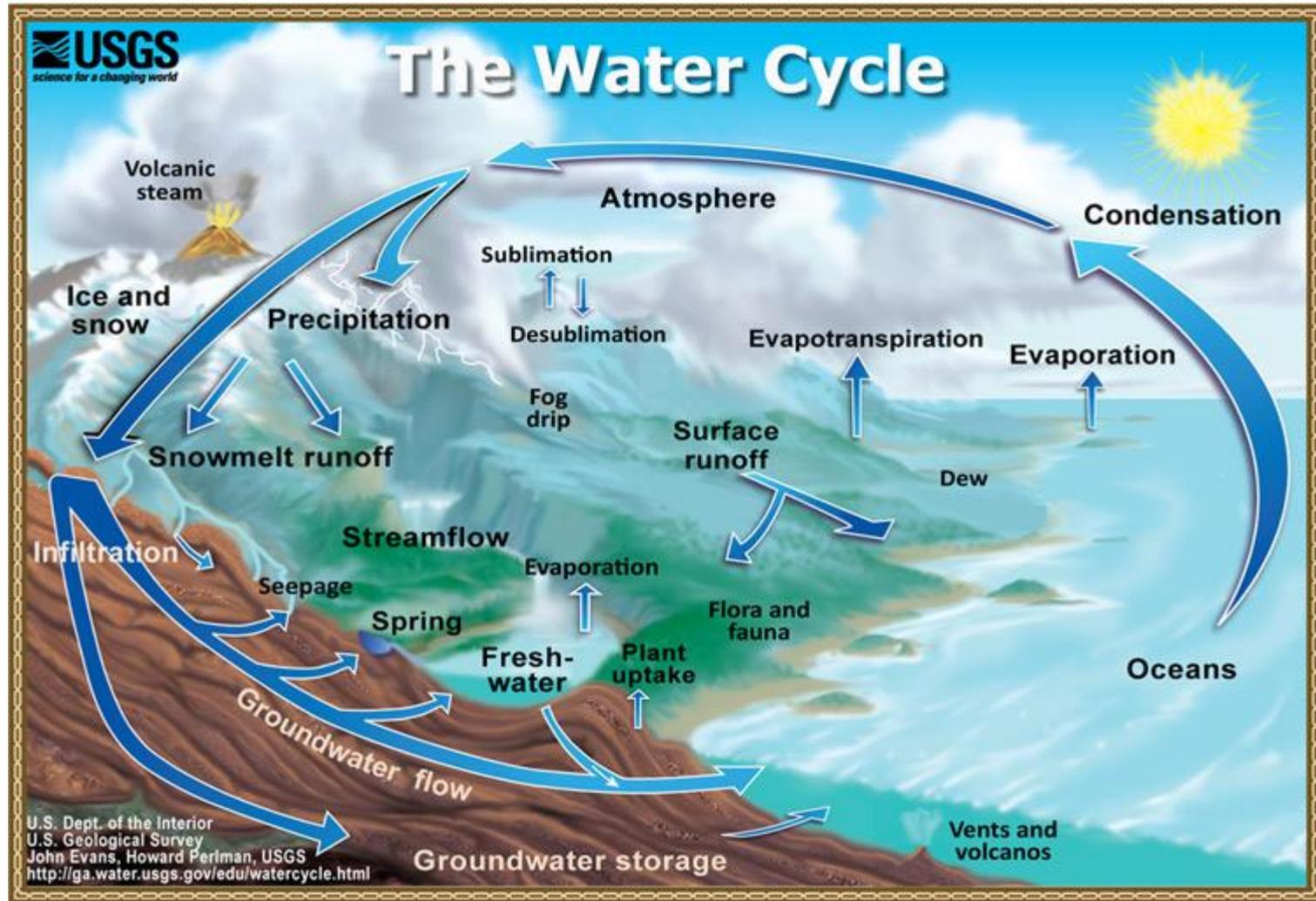
Figure 1.7.1 Cycles of environmental chemicals

Ovzduší





Hydrologický cyklus



Hydrologický cyklus

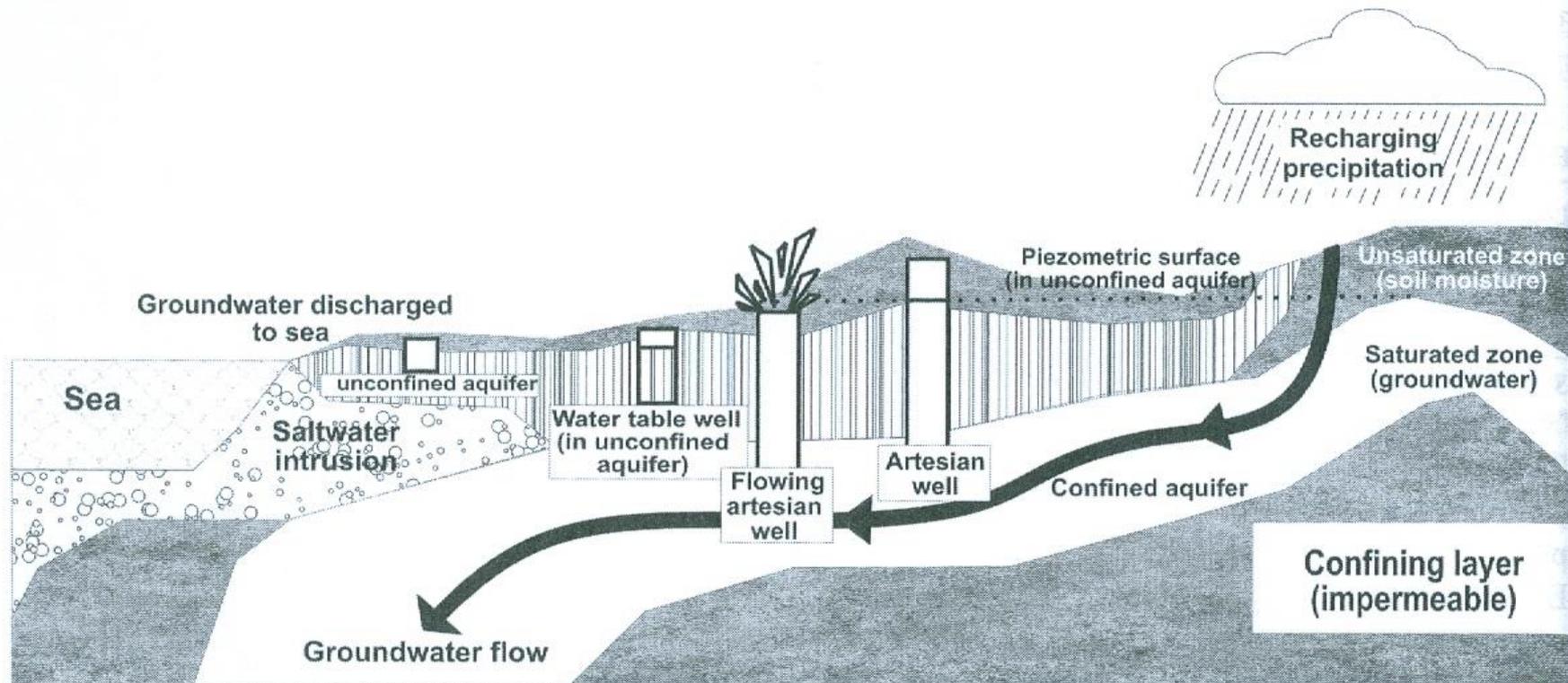
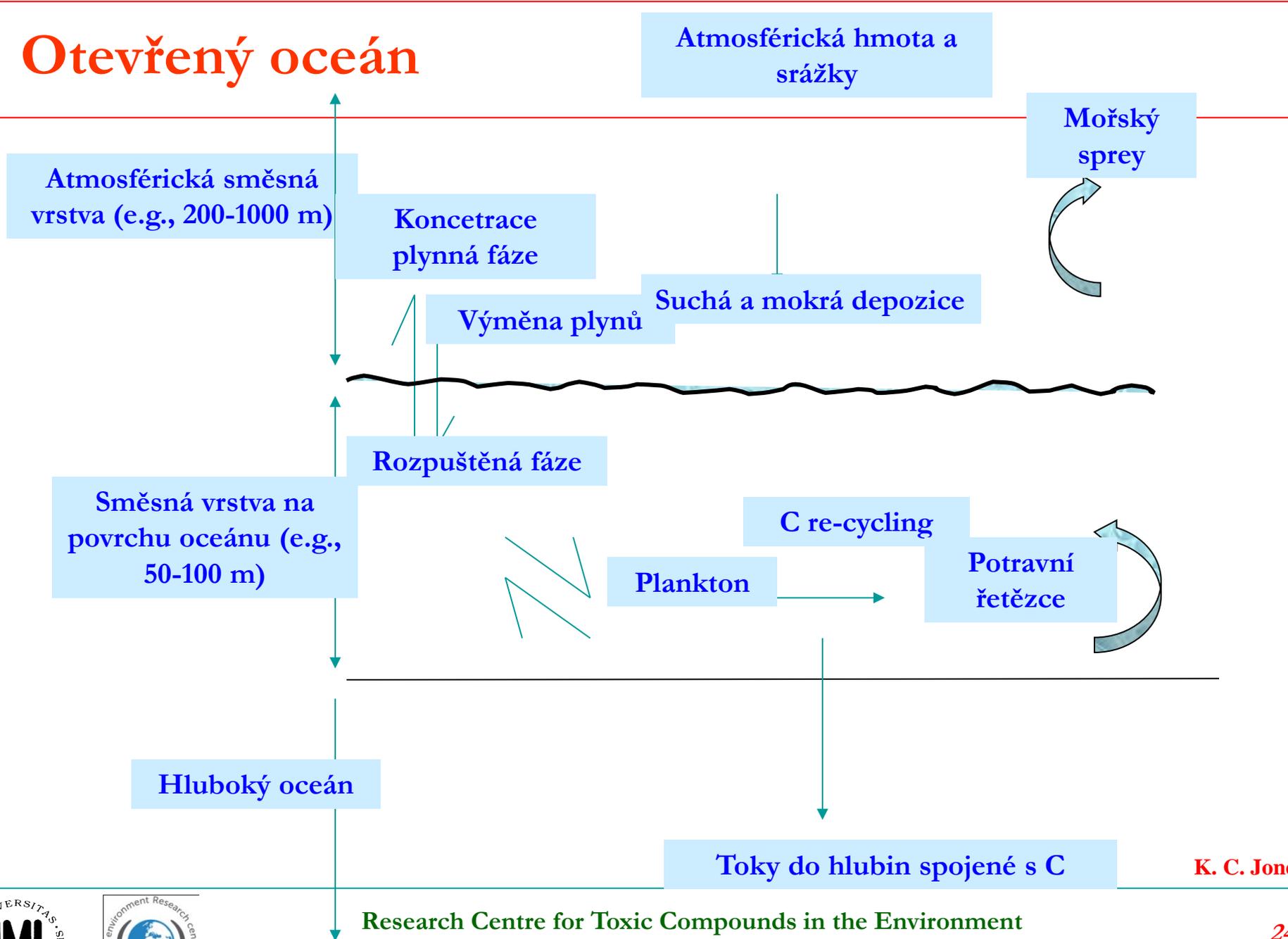


FIGURE 6.4. Types of aquifers, wells, and groundwater flow. (Adapted from: Environment Canada).

Otevřený oceán

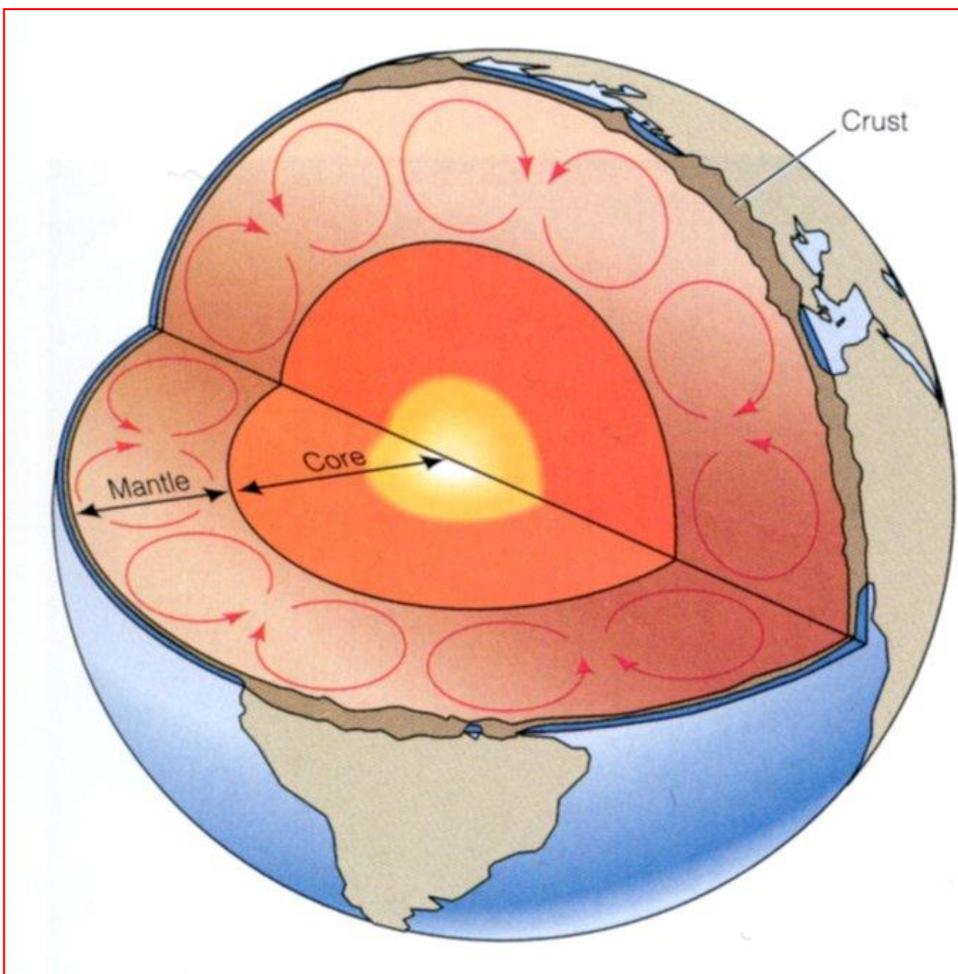


K. C. Jones

Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

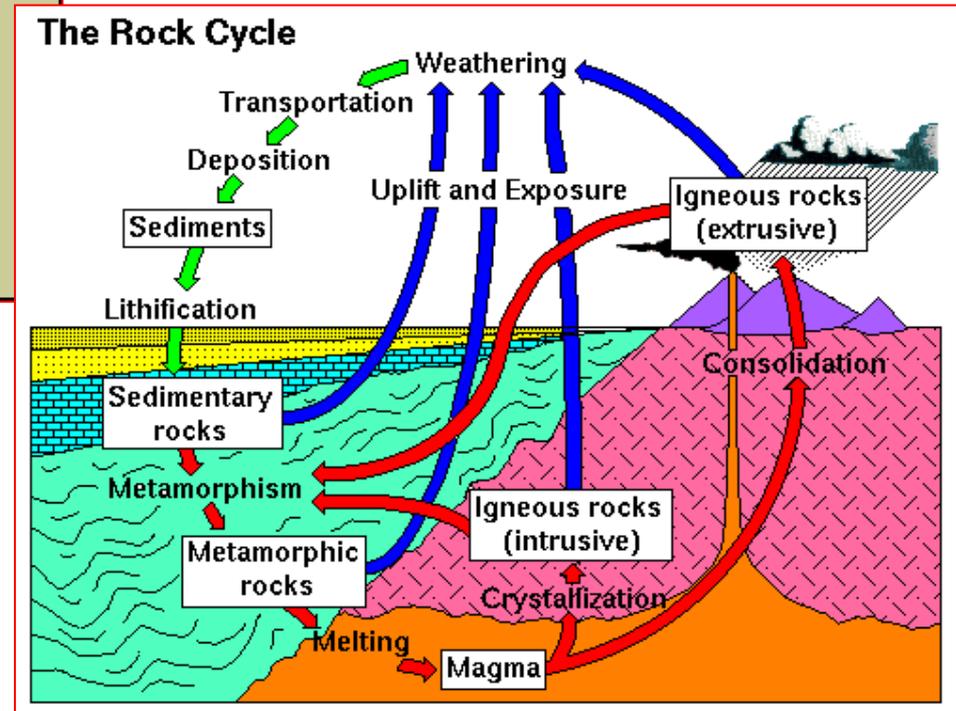
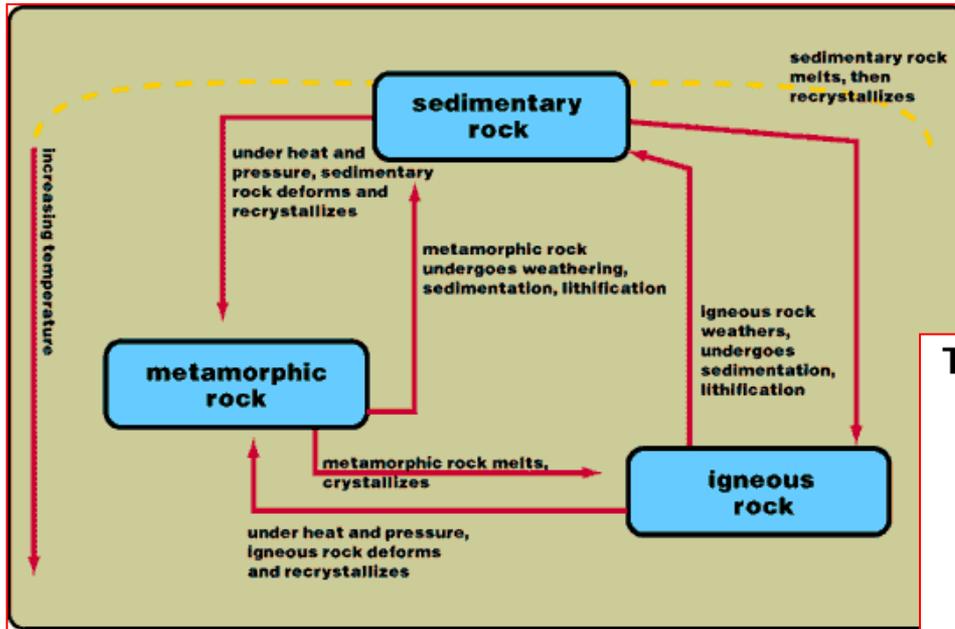
<http://recetox.muni.cz>

Geosféry a horninový cyklus

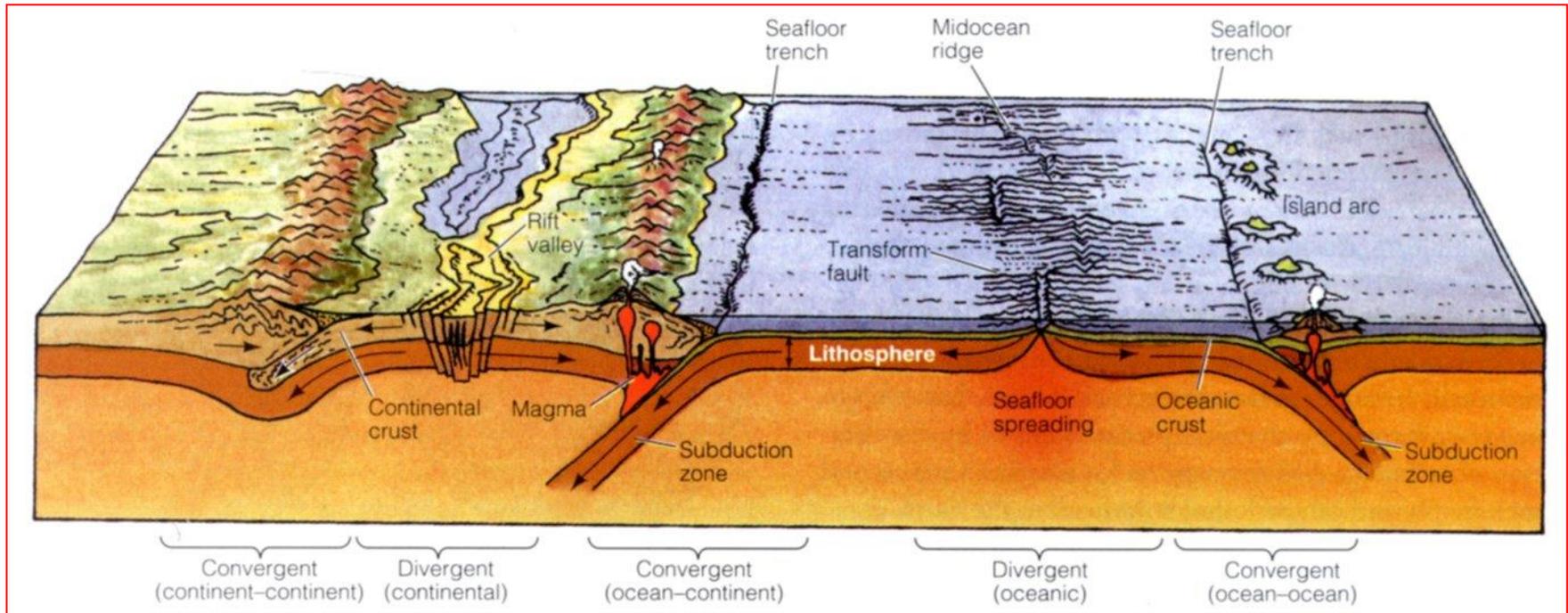


- ↪ Geosféry
- ↪ Zvětrávání a půdy
- ↪ Ztráta půdy

Geosféry a horninový cyklus



Geosféry a horninový cyklus



Zvětrávání

Chemická a fyzikální degradace hornin na relativně jemné částice (půdy a sedimenty) a rozpuštěné látky, klíčový prvek exogenního geochemického cyklu



- ↪ salinita oceánů
- ↪ výživa pro biotu
- ↪ rudy
- ↪ transformace povrchu
- ↪ spotřeba H^+
- ↪ spotřeba CO_2

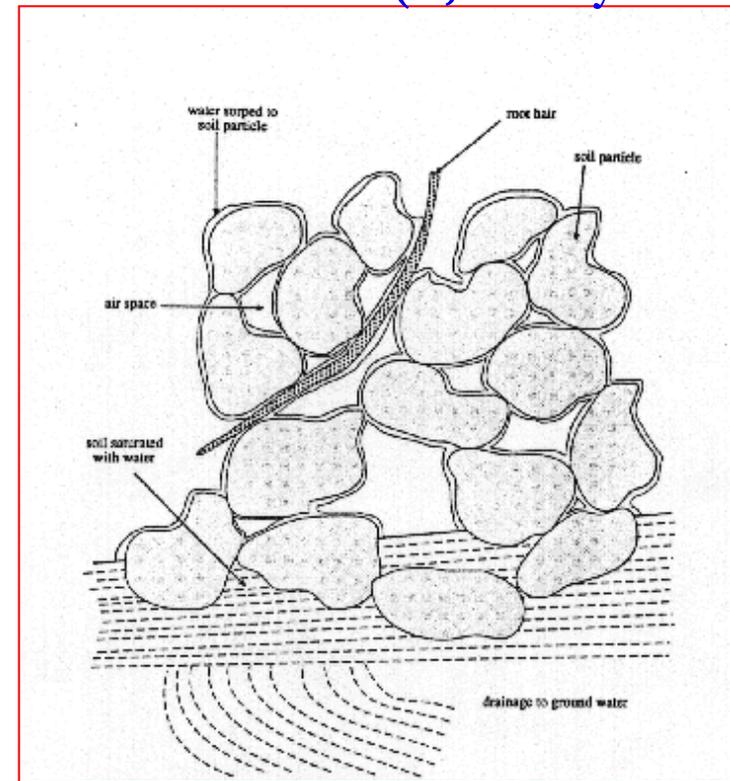
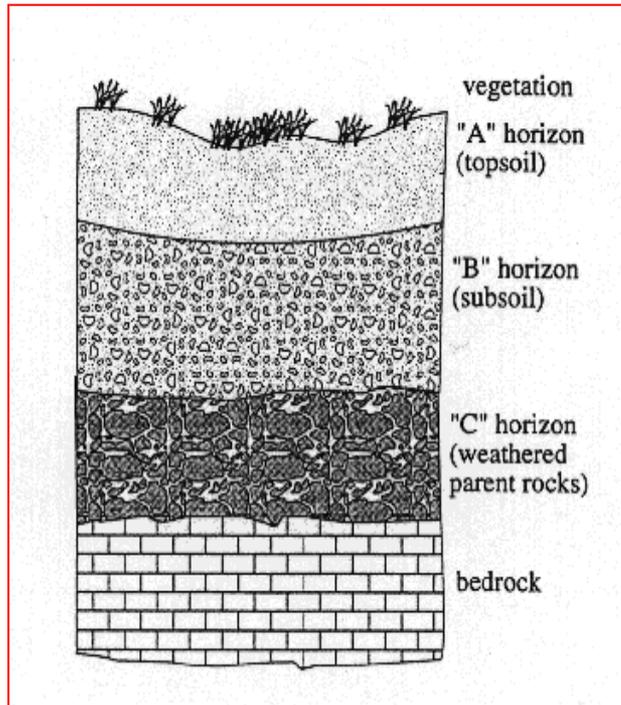
Zvětrávání



mnohotvárnost reakcí proti vysokoteplotním procesům

Půda

- ↪ směs produktů zvětrávání, organických látek a zbytků původních hornin a vody
- ↪ typická půda 5 % organických látek, 95 % anorganických
- ↪ posloupnost vrstev (půdní profil); složení je závislé na klimatu (T, srážky atd.), vegetaci, času, podložní hornině



Půdní povrchová vrstva

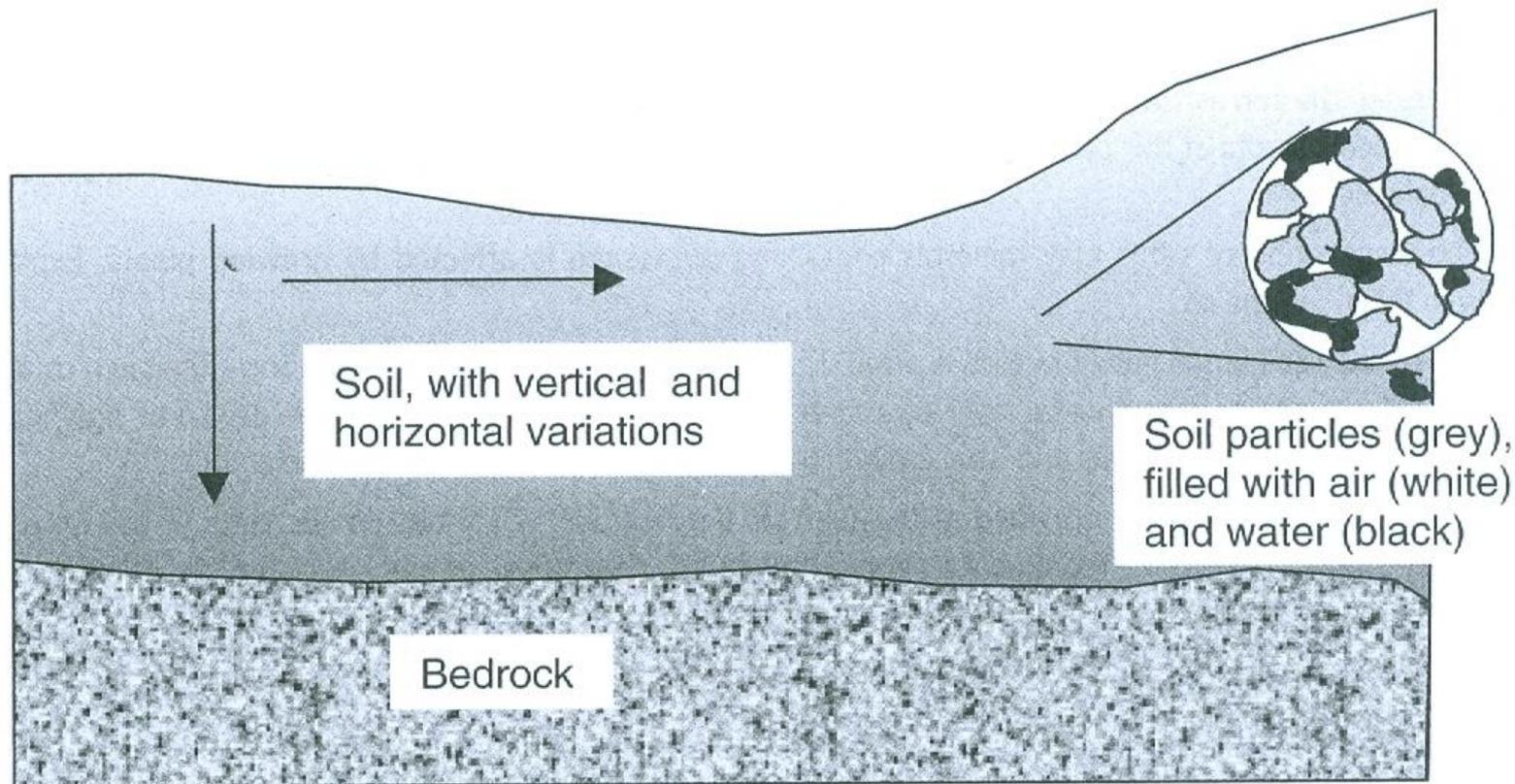


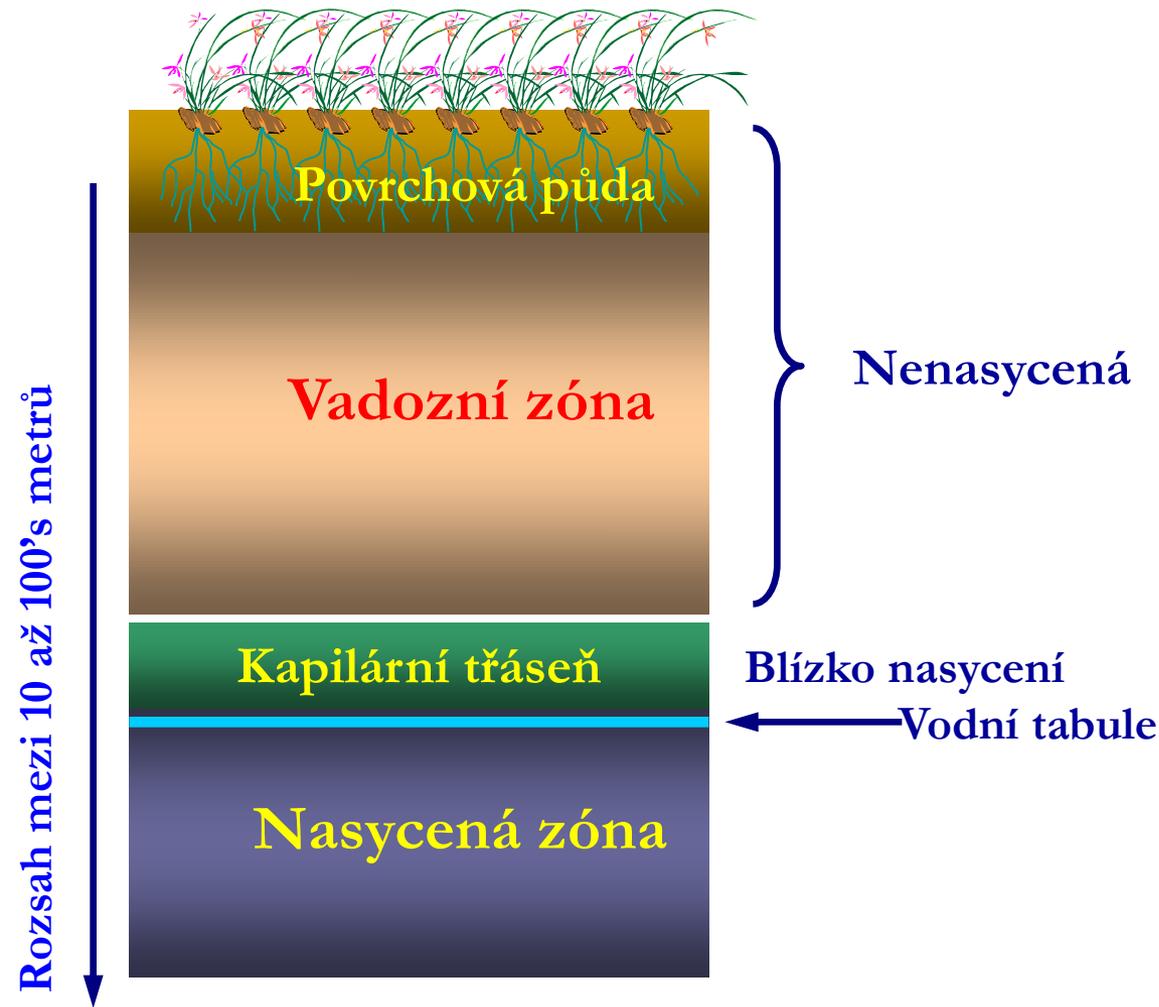
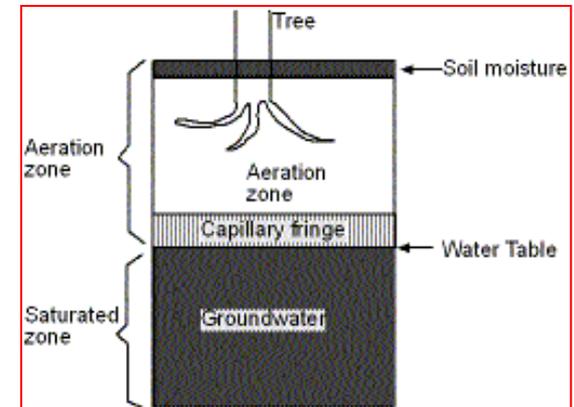
Fig. 17.2 Soil, the surface layer of much of the terrestrial environment. A three-phase mixture, it consists of finely divided organic and inorganic particles and pore spaces filled with water and / or air. The soil is highly heterogeneous in both the vertical and horizontal dimensions.

Lito-ekosféra

Každá zóna obsahuje:

1. Minerální frakce
2. Organická frakce
3. Kapalná fáze
4. Plynná fáze

Interakce



Geochemie půdy

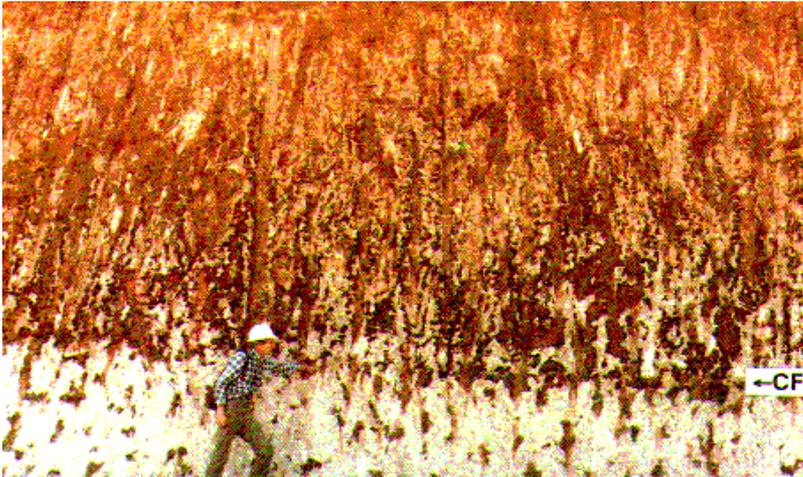


- ↪ Acidobazické a výměnné reakce v půdách
- ↪ Makroživiny
- ↪ Mikroživiny
- ↪ Pesticidy a chemické odpady v půdách
- ↪ Ztráta půdy - dezertifikace

Ztráty půdy

↪ eroze

↪ dezertifikace

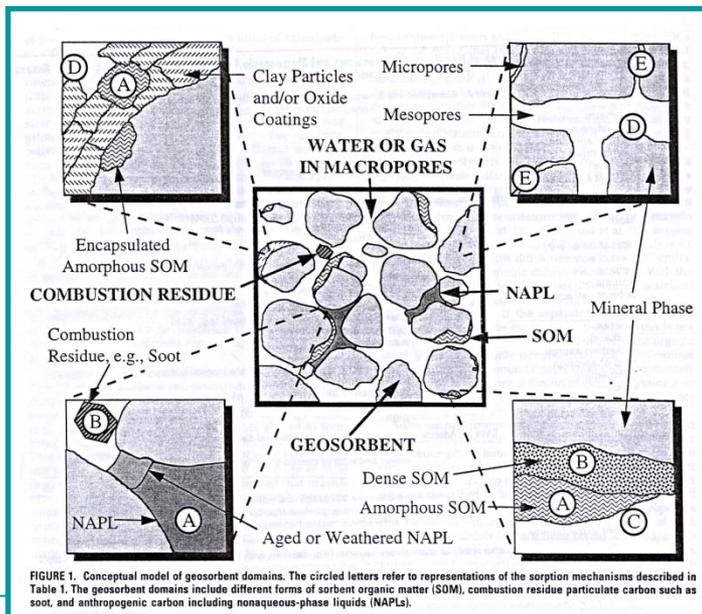


Kumulace chemických látek v půdách a jejich osud

Výměna
vzduch - povrch

Přímé
aplikace

‘Occlusion’



Biodegradace

Fyzikální mísení –
‘zředění’ s hloubkou

K. C. Jones

Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

<http://recetox.muni.cz>

Ekosystém

Terestrický (suchozemský)

- louky, lesy, pole



Akvatický (vodní)

- mořský

- sladkovodní

- řeky, rybníky, podzemní vody, močály



Ekosystém

Neživé složky ekosystémů

- Podloží
- Půda
- Voda
- Sedimenty
- Ovzduší
- Klima, krajina

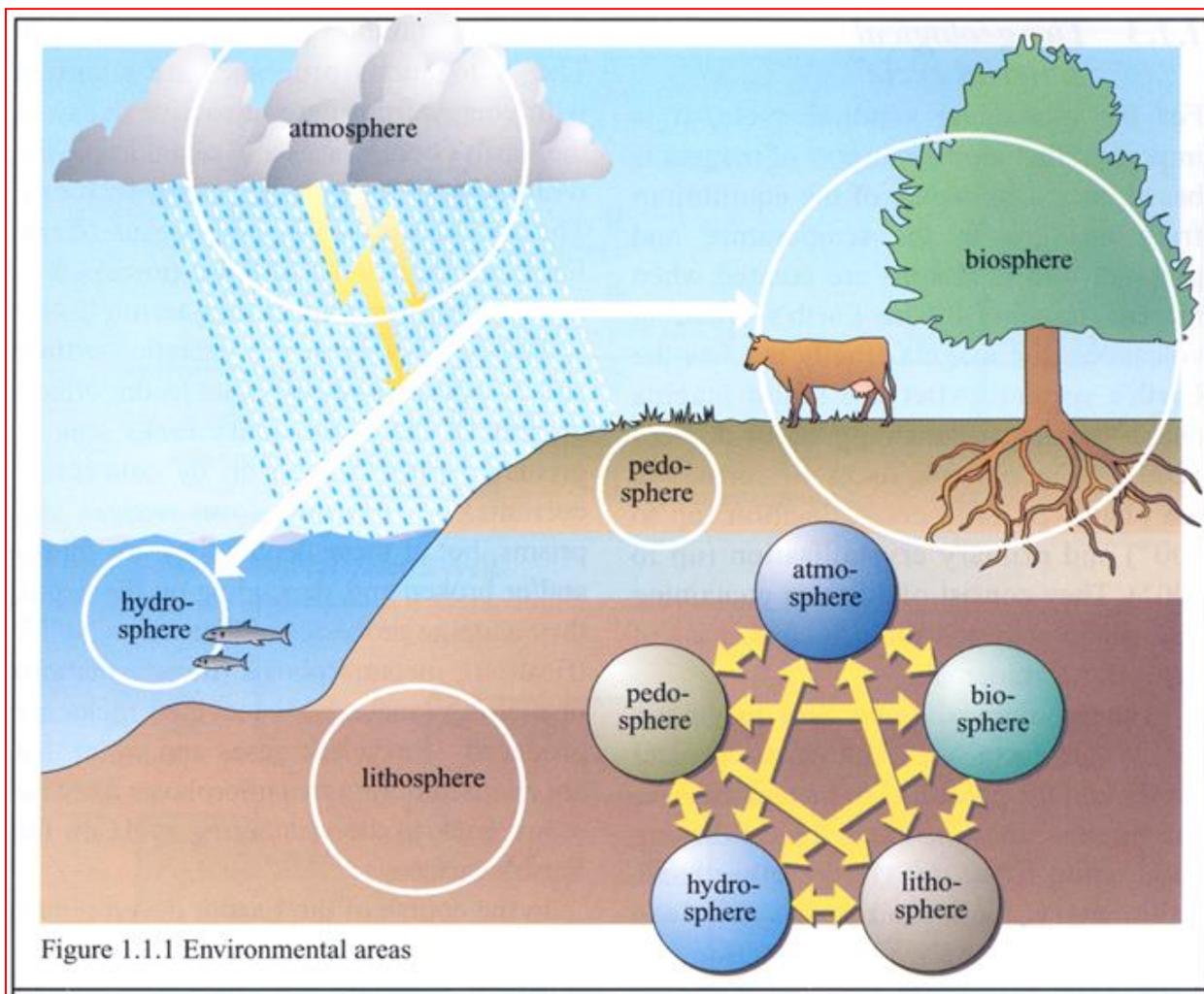


Organismy

- Viry
- Bakterie
- Houby
- Rostliny
- Živočichové
- + Člověk



Složky prostředí



Ekosystém

Ucelený soubor organismů a jejich prostředí – prostředí je zpravidla primární a určující.

Tvoří **základní strukturně funkční jednotku** krajiny i celé biosféry.

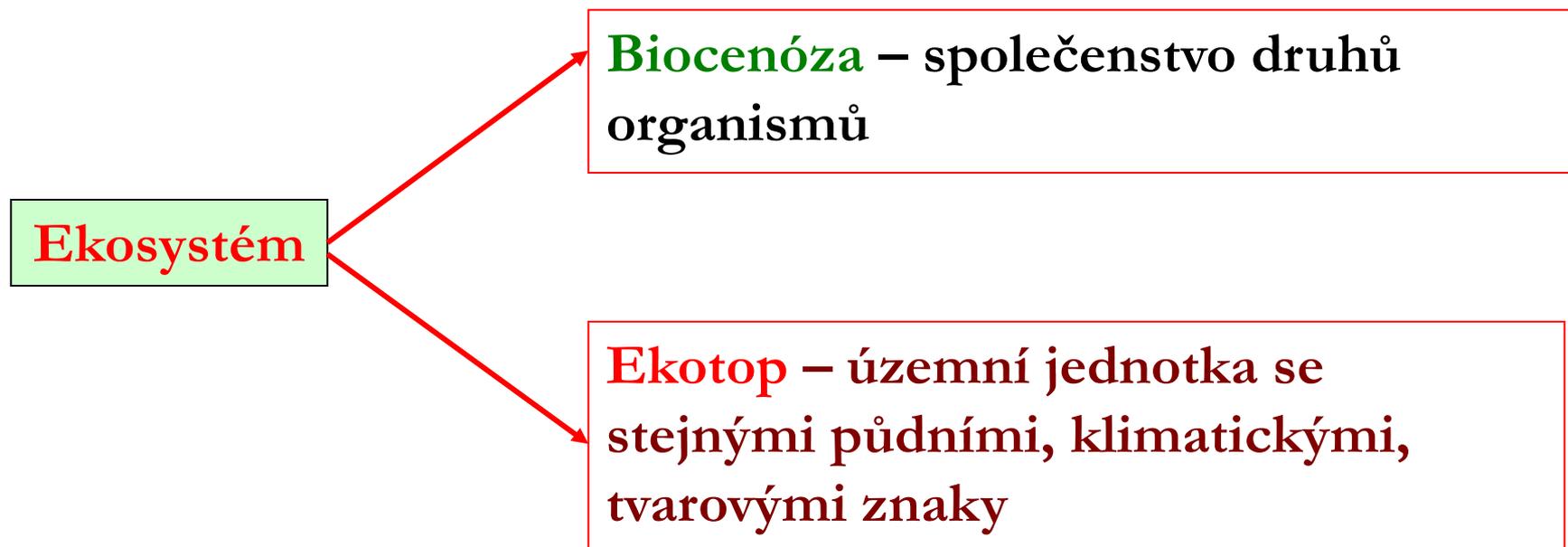
Je prostorový útvar, v němž biotické (živé) a abiotické (neživé) složky jsou vzájemně propojené rozmanitými **vztahy**

Ekosystém

Fyzikální parametry – sluneční záření (zdroj E), T a její kolísání, vlastnosti okolního prostředí (A, W, S).

Chemické parametry – složení prostředí.

Vedle živé složky (biocenóza) zahrnuje i neživé prostředí (biotop)



Typy ekosystémů

Podle míry ovlivnění člověkem rozlišujeme

↪ přírodní ekosystémy (bučina, rašeliniště aj.)

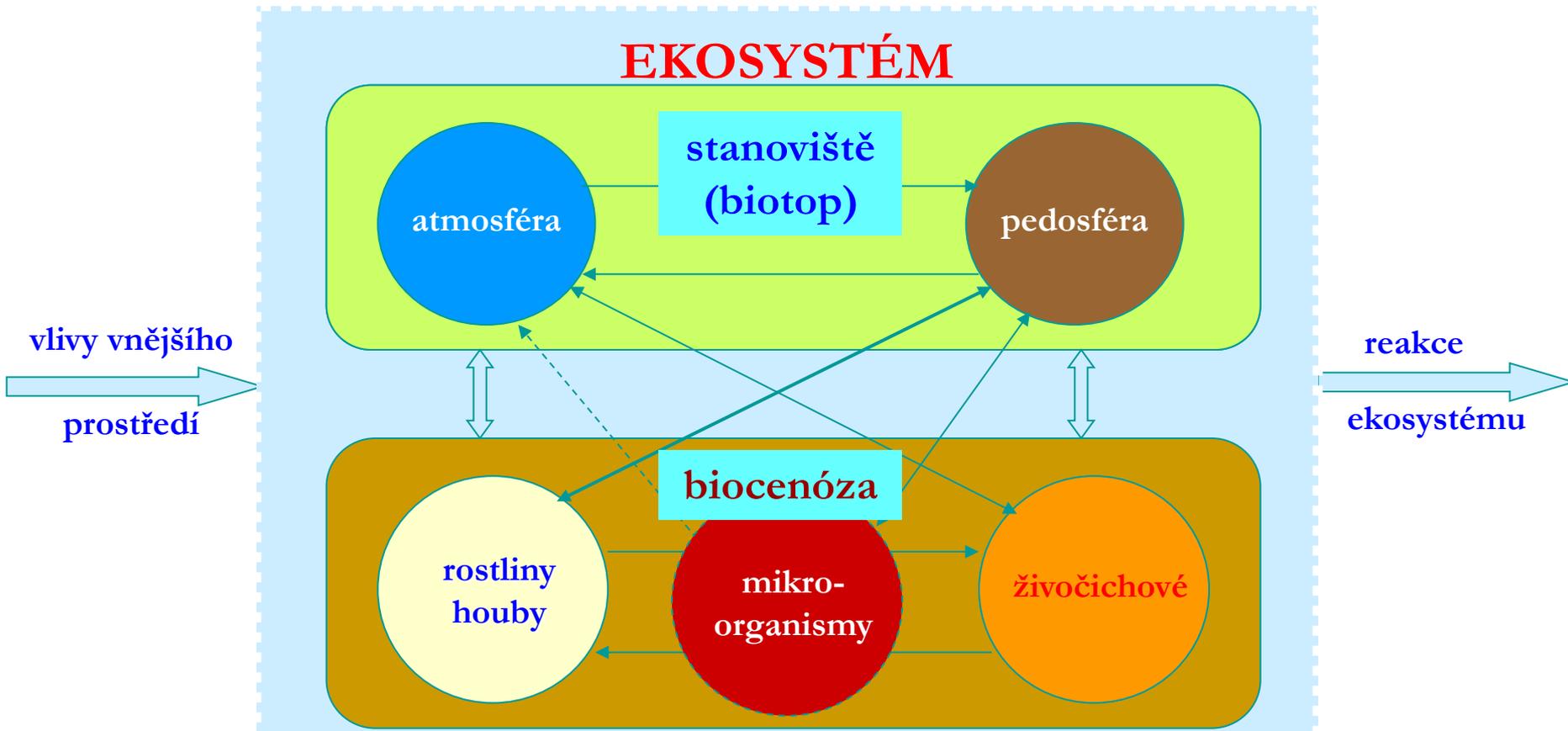
↪ umělé ekosystémy (smrková monokultura, pole, vinice atp.)



Typy ekosystémů (biotopů) v ČR

- ↪ skály, sutě, jeskyně
- ↪ suché bezlesé biotopy (primární a sekundární bezlesí)
- ↪ rybníky a tůně
- ↪ tekoucí vody (řeky s hlubokou erozí, boční erozí a větvením koryta)
- ↪ mokřady (rašeliniště, vrchoviště, slatiny, travertiny, eutrofní mokřady, slaniska)
- ↪ hory
- ↪ lesy
- ↪ tradiční kulturní krajina s převahou zemědělství (kulturní step, vesnice, louky, pole)
- ↪ moderní průmyslová krajina (lidská sídla, synantropizace..)

Schéma ekosystémů



Všechny ekosystémy jsou charakterizovány především:

tokem energie

koloběhem látek

vývojem

Ekosystém – otevřený systém

Ekosystémy jsou **otevřené systémy**, které se svým okolím vyměňují energii i látky:

Vstupy:

- ↙ Sluneční záření
- ↙ Oxid uhličitý
- ↙ Voda
- ↙ Živiny (minerály uvolňované do půdy zvětráváním horninového podloží, atmosférický spad nebo příchod nových druhů organismů či jejich diaspor)

Ekosystém – otevřený systém

Výstupy:

- ↪ Vyzařování (odpadní teplo)
- ↪ Vymýváním látek z půdy
- ↪ Povrchový odtok
- ↪ Větrná eroze
- ↪ Vystěhování organismů
- ↪ Sklizeň biomasy z obdělávaných ekosystémů (pole, louky)

Ekosystém

Ekosystém – společenstva rostlin, živočichů a protistů – tvořená populacemi příslušníků jednotlivých druhů

Biom



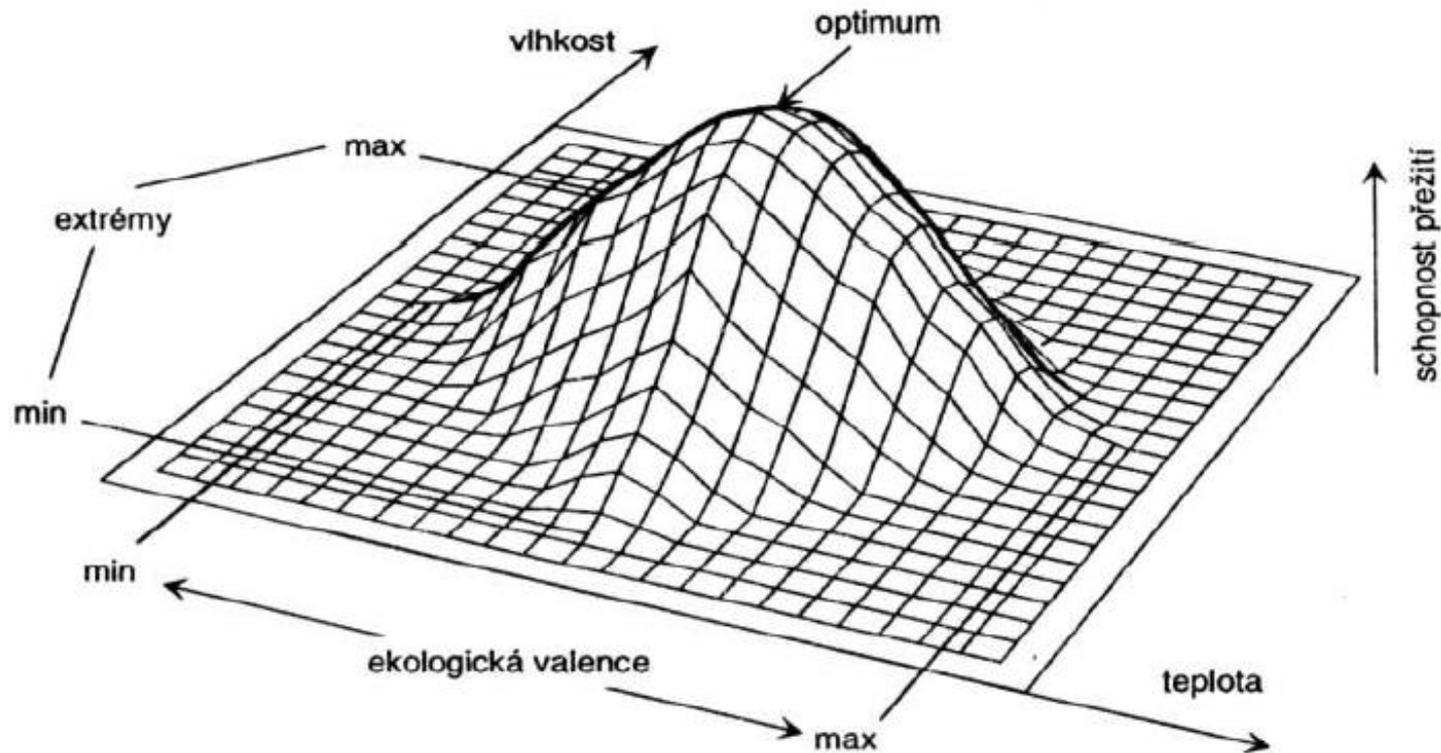
Soubor ekosystémů podobných typů

Úrovně biologické organizace: molekula – část buňky – buňka – tkáň – orgán – organismus – populace – společenstva organismů – ekosystém - biom

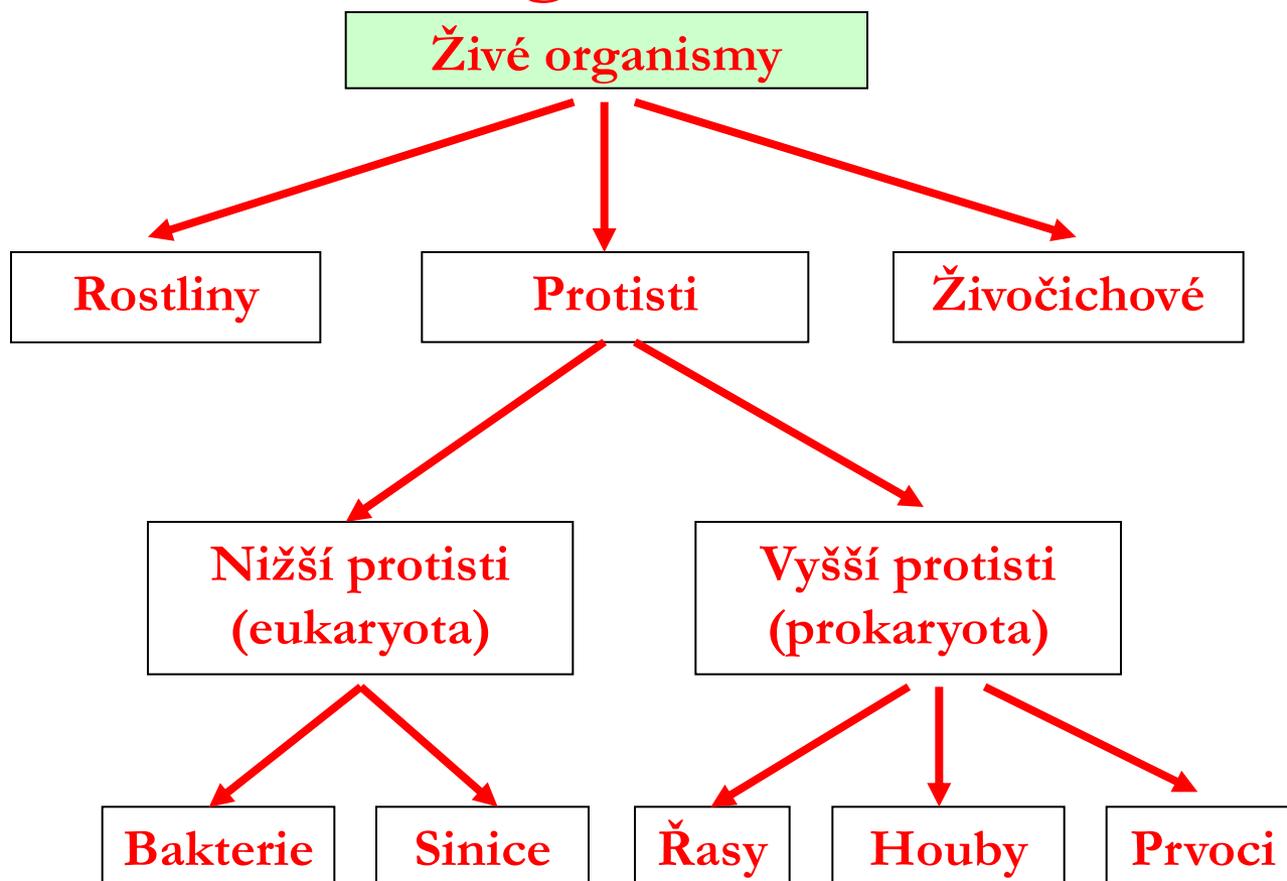
Ekologická nika – určitá funkce, kterou má ten či onen druh v daném ekosystému

Biotické složky prostředí

Ekologická nika - schéma



Základní rysy metabolismu jednotlivých živých organismů



Klíčovými druhy mohou být i různé opylovači či roznašeči semen (plodů) nebo symbiotické organismy

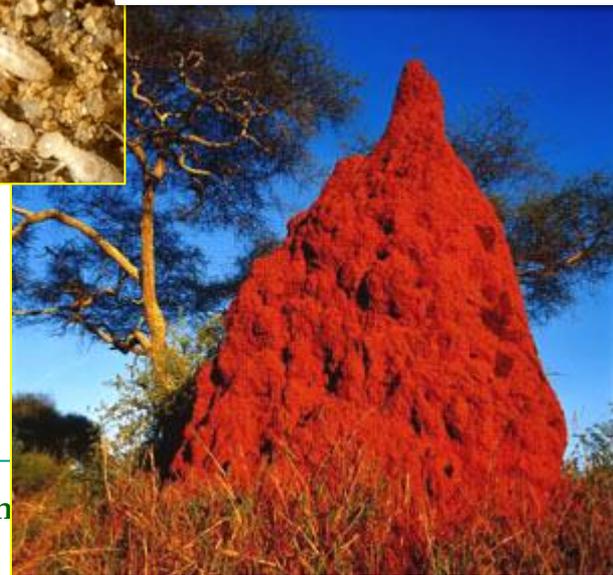


Odstranění jediného klíčového druhu může někdy vyvolat tzv. vymírací kaskádu (→ pokles biodiverzity)

Ekosystémoví stavitelé

Samostatnou skupinu klíčových druhů představují tzv. ekosystémoví stavitelé (ecosystem engineers), kteří zásadním způsobem ovlivňují prostředí (fyzikální podmínky) společenstva i celé krajiny – např. bobři, žížaly, termiti aj.

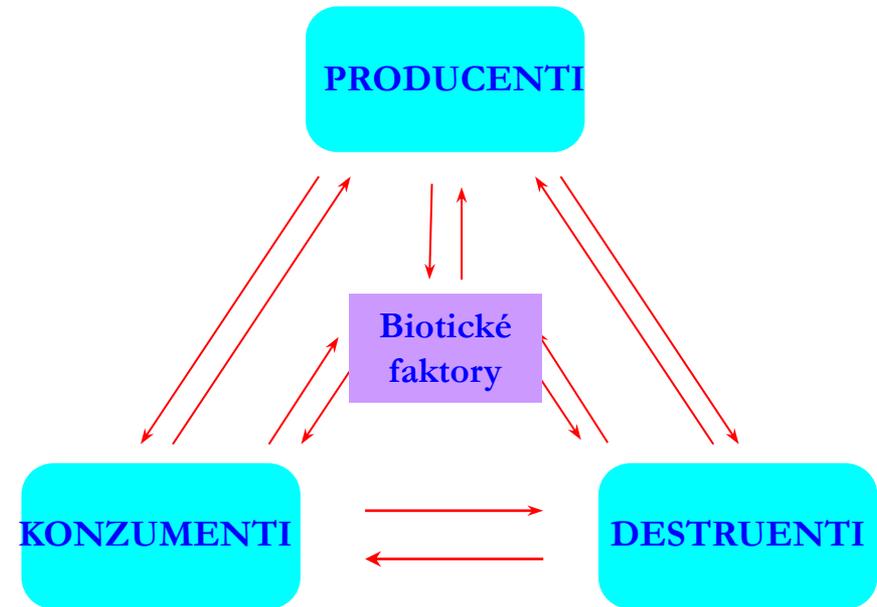
Termiti, kteří se vyvinuli již před 145 mil. lety, patří mezi nejvýznamnější ekosystémové stavitele světa zvířat.



toxic Compounds in the

[//recetox.muni.cz](http://recetox.muni.cz)

Základní složky ekosystému a jejich vzájemné vazby



Podle funkčního postavení v ekosystému a podílu na přeměně látek a energie lze organismy rozdělit na:

Producenty

Konzumenty

Destruenty

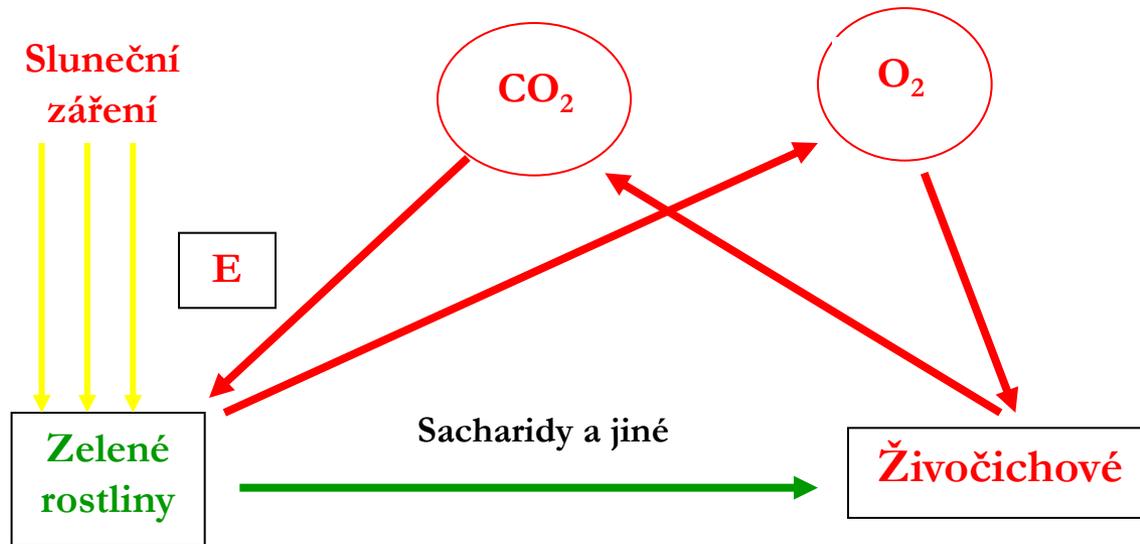
Základní typy metabolismu

	Organismy			
	Foto- litotrofní	Fotoorga- notrofní	Chemo- litotrofní	Chemoor- ganotrofní
Zdroj E	Světlo	Světlo	Oxidace	Oxidace
Zdroj H ⁺ , e	H ₂ O (H ₂ S)	Organické látky	H ₂ O (H ₂ S)	Organické látky
Zdroj C	CO ₂	CO ₂	CO ₂	Organické látky

Základní metabolismus

První skupina: typicky autotrofní organismy (pouze světlo a anorganické živiny)

Základní proces látkové výměny: fotosyntéza (asimilace CO₂)



Základní metabolismus

Druhá skupina – fotoorganotrofní – pouze bakterie jedné čeledi

Třetí skupina – chemolitotrofní – opět jen některé bakterie:

- ↪ nitrifikační – oxidace $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$
- ↪ sírné – oxidace S^0 a jejich sloučenin
- ↪ železité – oxidace Fe^{2+} na Fe^{3+}

Čtvrtá skupina – organismy heterotrofní – všichni živočichové a většina protistů

Většina organismů potřebuje vzdušný kyslík.

Mezi bakteriemi existují i další metabolické typy (konečným akceptorem – oxidace jiné látky:

- ↪ SO_4^{2-} - redukce na H_2S
- ↪ NO_3^- - denitrifikace na N_2 , N_2O
- ↪ CO_2 – redukce na CH_4

Základní metabolismus

Společný znak metabolismu heterotrofů – látkovým i energetickým zdrojem jsou organické látky z vnějšího prostředí

Konzumenti – konzumují živou biomasu (býložravci, masožravci)

Reducenti (destruenti, rozkladači) – konzumují biomasu mrtvou – heterotrofové z říše protistů – bakterie a houby

Zvláštní metabolické typy:

Bakterie a sinice vážící N: pomocí enzymu nitrogenázy dokáží rozbít neobvykle pevnou vazbu molekulárního dusíku a vázat jej do organických nebo anorganických molekul

Bakterie schopné rozložit pevné, stabilní organické látky: CH₄, nasycené uhlovodíky, benzen..

Organismy žijící v extrémních podmínkách: horké prameny, Sahara, nasycený roztok NaCl, nízké pH..

Ekosystém = producenti + konzumenti + destruenti

Zdroj E – sluneční záření

1-5 % dopadajícího slunečního záření využívají k asimilaci

Polovina asimilované energie se ztrácí při dýchání a polovina (0,5 – 3 % dopadající E) je využito ke tvorbě biomasy

Zbytek sluneční E

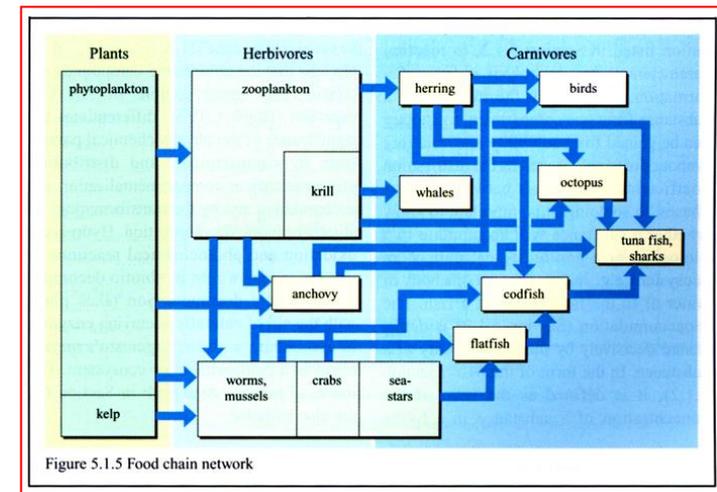
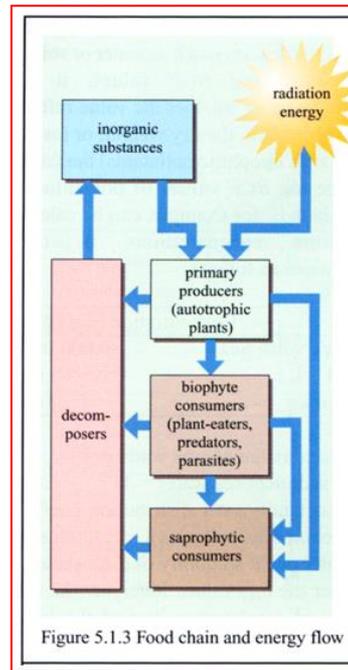
- odraz (10-25 %)
- absorpce rostlinami – přeměna na tepelnou E – spotřeba jako výparné teplo vody – přebytek (80 %) vyzářen ve formě tepelného záření

Živí se těly producentů:

- primární (býložravci)
- sekundární
- terciární

Žijí z těl a odpadů jiných organismů (zbytky, odumřelé organismy)

Výsledek činnosti destruentů – nic se neakumuluje, vše je znovu využito a znovu zapojeno do koloběhu látek



Producenti

Producenti (P) – autotrofní organismy tvořící z jednoduchých anorganických látek látky organické, buď prostřednictvím fotosyntézy (zelené rostliny, sinice), nebo chemosyntézy (některé bakterie, např. sirmé či nitrifikační).



Konzumenti

Konzumenti (K) – heterotrofní organismy (většina živočichů), živící se přímo či nepřímo organickými látkami vytvořenými producenty.

Podle typu výživy se dělí na:

- (1) býložravce (herbivoři, fytofágové, K1),
- (2) masožravce (karnivoři druhého řádu - K2, třetího řádu - K3 atd.
- (3) všežravce (omnivoři).



Destruenti (rozkladači, dekompozitoři)

Destruenti (rozkladači, dekompozitoři, D) – různé skupiny organismů živící se mrtvou organickou hmotou (detritem); tu postupně rozkládají až na jednoduché látky – CO_2 , H_2O , aminokyseliny, minerální živiny, které mohou být opět využity producenty.

Patří sem **heterotrofní organismy** makroskopických i mikroskopických rozměrů (hlavně houby a bakterie, dále žížaly, hmyz (např. chvostoskoci), prvoci, roztoči, mnohonožky, stonožky aj.)

Žijí převážně v půdě (kde tvoří součást edafonu), zčásti též na povrchu rostlin i na různých odumřelých organických zbytcích



stonožka
škvorová



chvostoskok

Produkce ekosystému

Autotrofními organismy (tj. producenty) vyprodukované organické látky tvoří primární produkci ekosystému.

Produkce = vytvořená biomasa [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$; $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2}$; $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$]

Fotosyntézou vzniká určité množství biomasy, tzv. **hrubá primární produkce (P_G)**, která je závislá na výkonnosti fotosyntetického aparátu porostu či rostliny; nelze ji však v přírodě přímo měřit, protože rostlina část asimilované energie ztrácí v podobě tepla dýcháním - v průměru kolem 50 [- 75] %.

$$P_G = P_N + R$$

R – ztráty dýcháním rostlinných orgánů

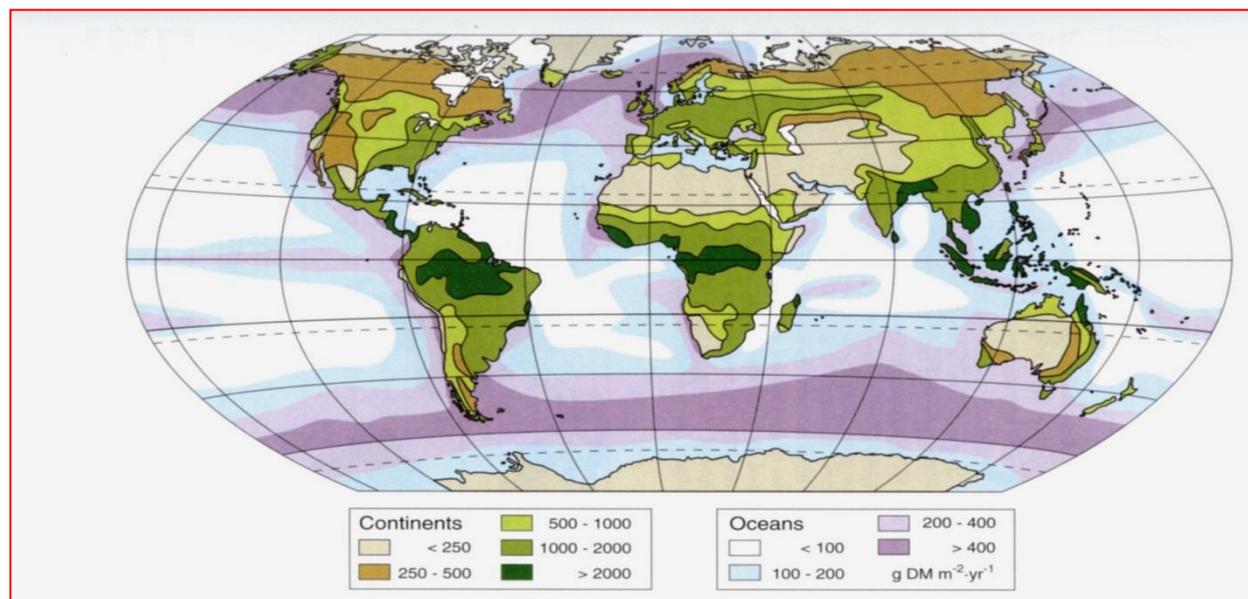
P_N - čistá primární produkce

Primární produkce ekosystému

Primární produkce obecně roste od pólů k rovníku v závislosti na růstu:

- ↪ Intenzity světla
- ↪ Průměrné teploty
- ↪ Délky vegetačního období

Roční čistá primární produkce Země
(g sušiny. m⁻². rok⁻¹)



Sekundární produkce ekosystému

Organické látky vytvořené v tělech všech heterotrofních organismů (konzumentů a destruentů) odpovídají **sekundární produkci ekosystému**.

Produktivita představuje **množství energie vázané do nové biomasy (sušiny)** vztažené na určitou plochu za jednotku času, např. za celý rok, nebo jen za vegetační periodu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$; $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$].

↪ **V terestrických ekosystémech** produktivita obecně klesá s rostoucí nadmořskou výškou a rostoucí ariditou klimatu, a zpravidla stoupá s rostoucím množstvím dostupných živin (hlavně N, P, K)

↪ Asi 3/4 plochy Země pokrývají **málo produktivní ekosystémy** – otevřené oceány, pouště a polopouště, tundra, oligotrofní jezera

↪ **Nejvyšší produktivitu** mají tropické deštné lesy, monzunové lesy, korálové útesy; intenzivně obdělávaná půda

Sekundární produkce ekosystému

Vyšší produktivita většinou úzce koreluje s vyšším druhovým bohatstvím; výjimkou jsou druhově velmi bohatá společenstva na chudých půdách v jižní Africe a v Austrálii

V mořích a oceánech jsou **nejproduktivnější vody při pobřeží** (dokonalé promíchání díky bouřím a mořským proudům), výstupné proudy lokálně výrazně zvyšují produktivitu mořského ekosystému !

Chladné vody jsou produktivnější než teplé (zřejmě proto, že jsou bohatší na živiny (např. fosfáty jsou více rozpustné v chladnější vodě))

Energie se v ekosystému zpravidla nemůže výrazněji hromadit (× fosilní paliva) → jednostranný tok energie, který je realizován prostřednictvím trofických vztahů.

Potravní řetězce

Přenosy látek a energie v ekosystémech se uskutečňují v potravních (trofických) řetězcích, které propojují jednotlivé potravní úrovně.

Potravní řetězec představuje posloupnost (sled) organismů, které jsou ve vzájemných potravních závislostech, tj. jeden požívá druhého, přičemž sám se stává potravou v následující trofické úrovni.

Obecně: $P \rightarrow K_1 \rightarrow K_2 \rightarrow K_3 \rightarrow \dots$

V každém ekosystému musí existovat minimálně 2 trofické úrovně.

Potravní řetězce

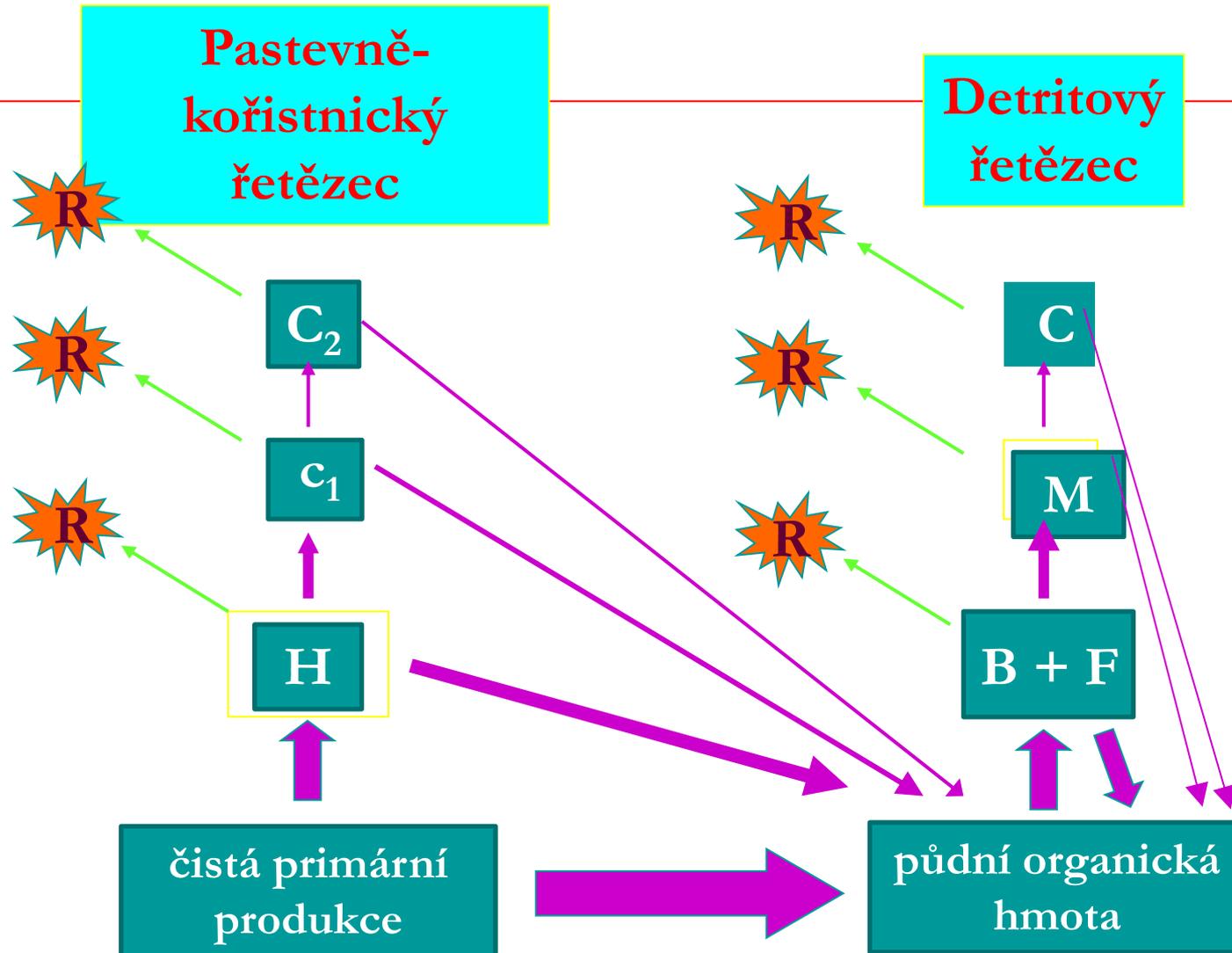
Potravní řetězce mívají v průměru 4 články:

Nejdelší trofické řetězce jsou ve vodních ekosystémech, např.

fytoplankton → zooplankton → drobné ryby → dravé ryby →
draví kytovci → lední medvěd (maximálně kolem 10 článků)

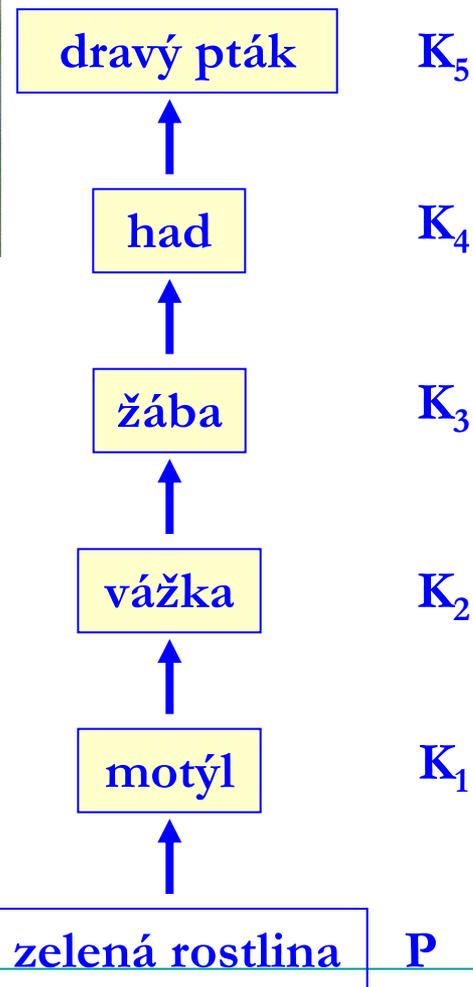
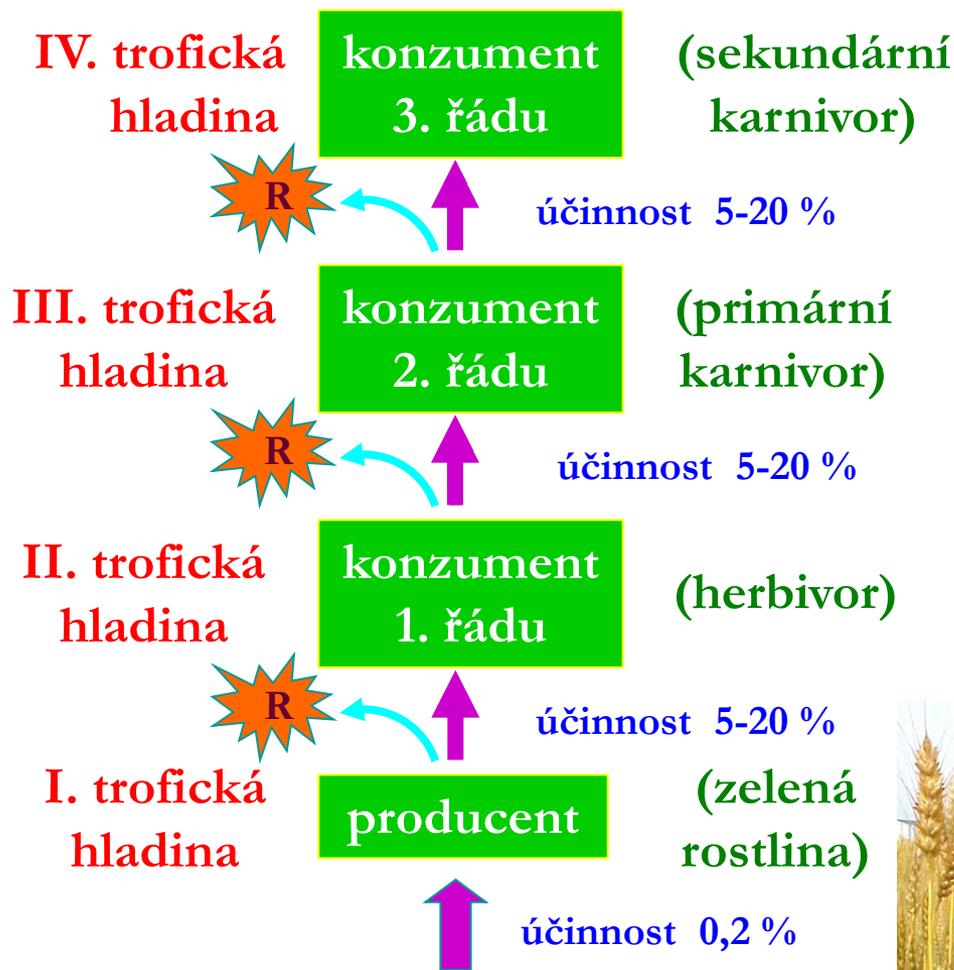
Existují 3 typy potravních řetězců (podle toho, zda začíná živou biomasou či mrtvou organickou hmotou):

- ↪ pastevně-kořistnický
- ↪ detritový (= dekompoziční)
- ↪ parazitický – spojuje různé skupiny parazitů (cizopasníků)



H – herbivoři, C₁- primární karnivoři, C₂- sekundární karnivoři; B – bakterie, F – houby, M – mikrobivoři (prvoci aj.), C – karnivoři, R – respirační ztráty

Pastevně-kořistnický řetězec



Koloběh látek a tok energie



Konzumenti
3. řádu K_3



Producenti P

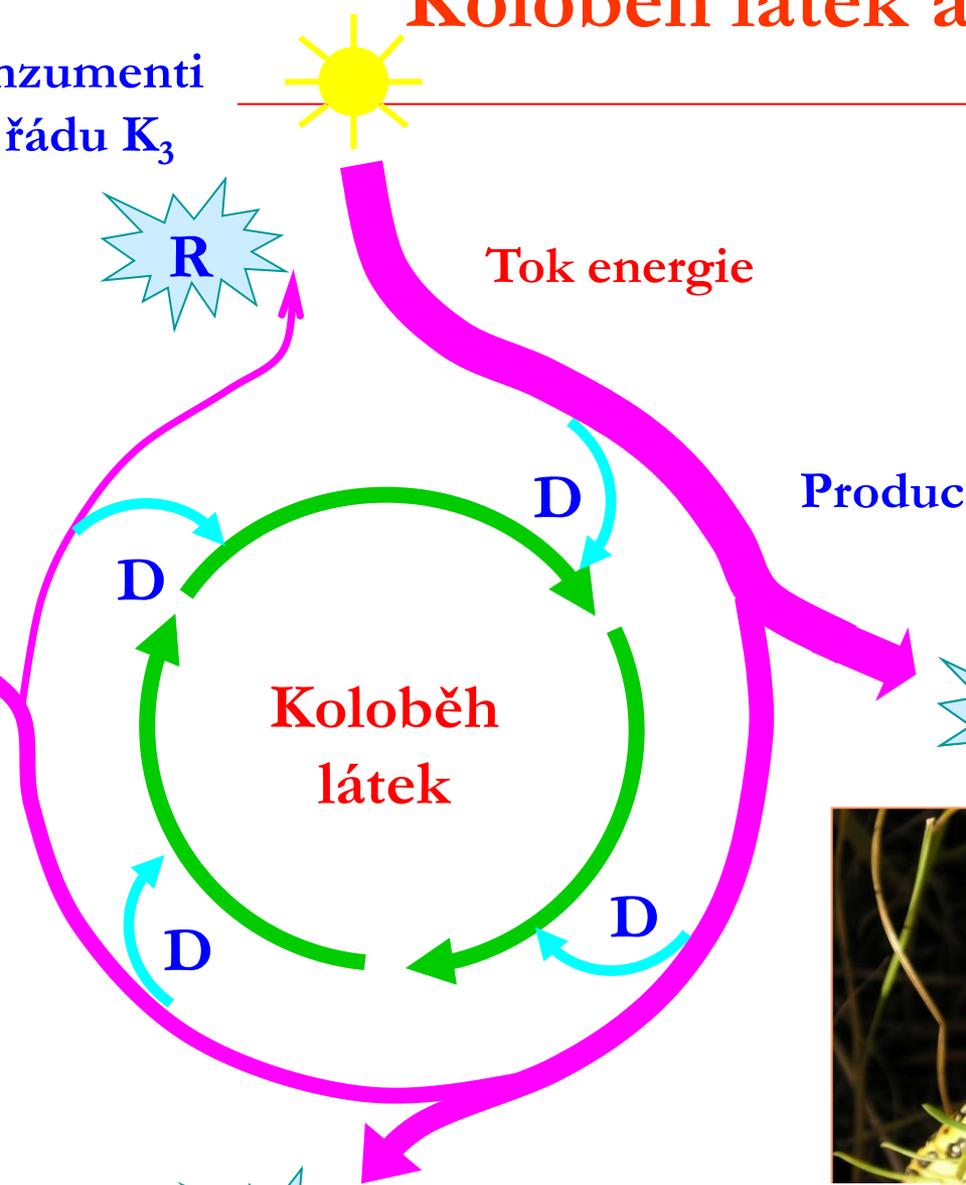
Konzumenti
2. řádu K_2



Konzumenti 1. řádu
(herbivoři) K_1

Research for T
http

iment

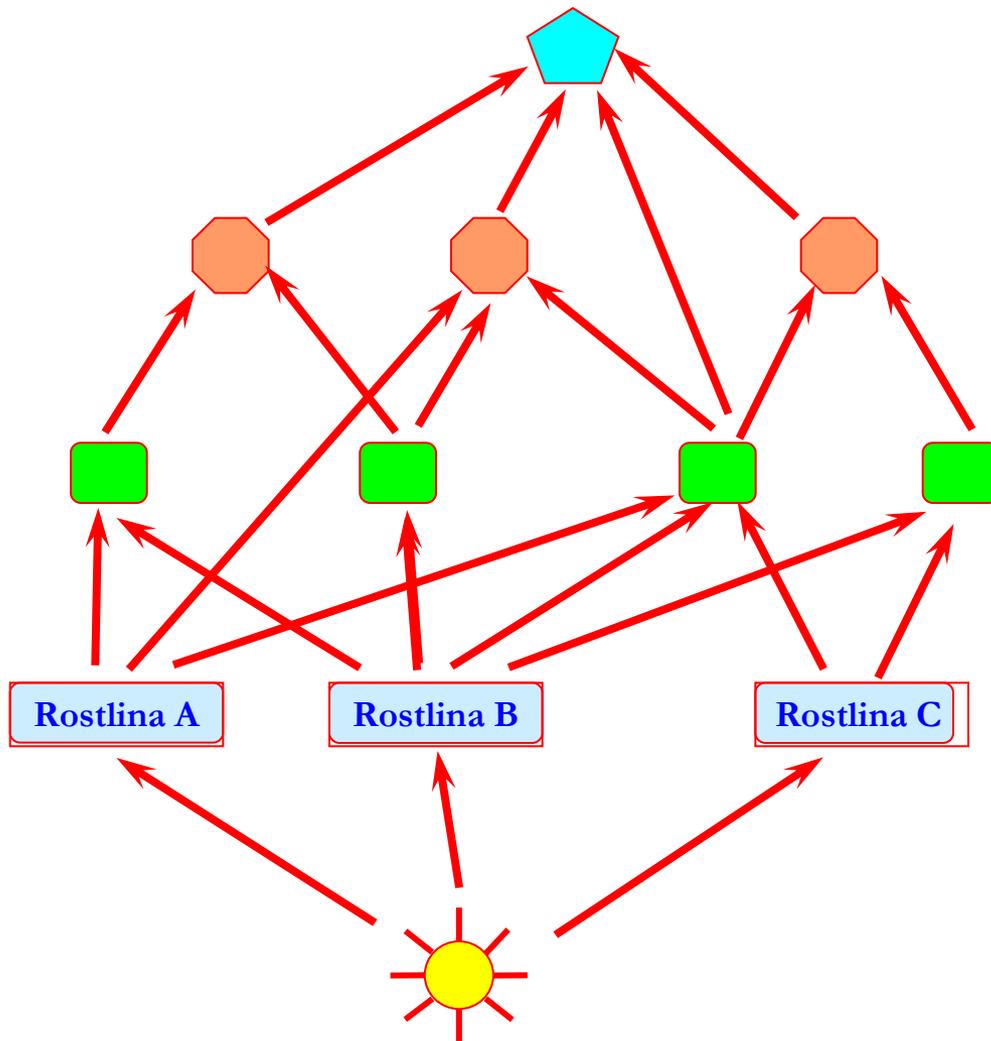


Potravní sítě

Potravní (= trofická) síť představuje systém vzájemně propojených potravních řetězců (ukazuje, které druhy v rámci biocenózy jsou spolu potravně propojeny).

Čím je potravní síť určitého biotopu hustší, tím stabilnější zde bývá biologická rovnováha;

Potravní síť



Konzument 3. řádu

Konzumenti 2. řádu

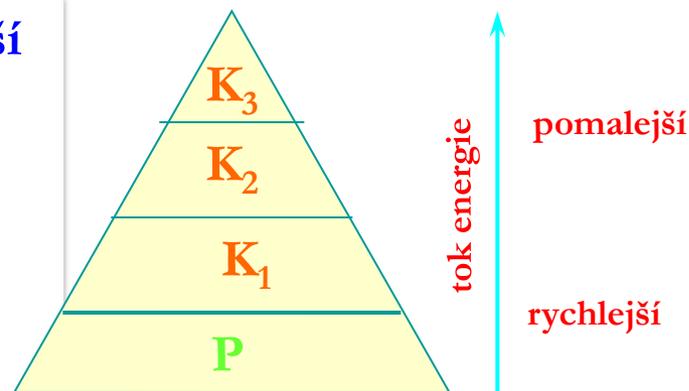
Konzumenti 1. řádu

Producenti

Ekologické pyramidy

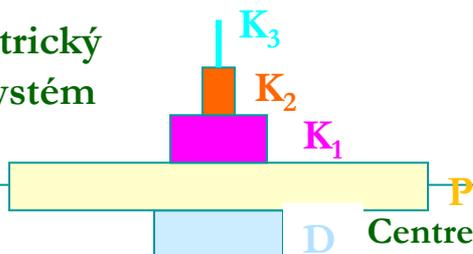
Potravní závislosti, tj. postupný pokles celkové biomasy, energie či počtu jedinců v jednotlivých trofických úrovních lze graficky znázornit pomocí ekologických pyramid.

Pyramida energie – představuje nejobektivnější způsob vyjádření trofické struktury ekosystému (je náročná na údaje ...); má vždy klasický tvar, protože všechny energetické přechody jsou spojeny se ztrátou energie



Pyramida biomasy – každou trofickou úroveň zastupuje biomasa organismů

Terestrický
ekosystém

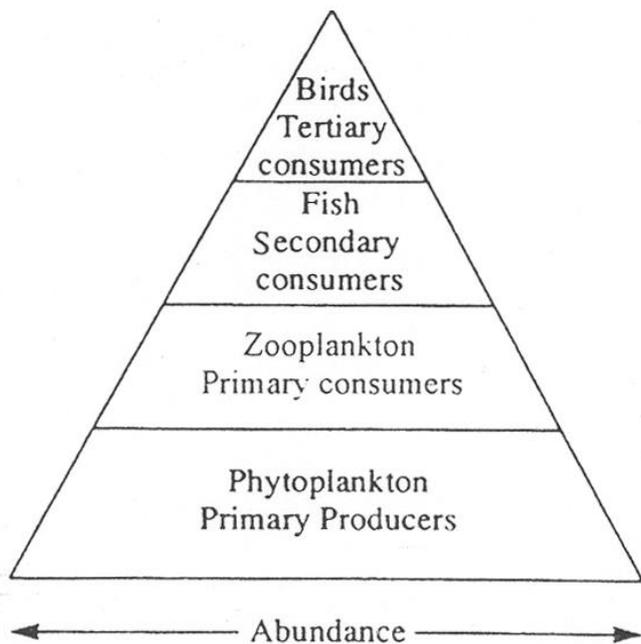


Biomasa producentů bývá nejméně 1000krát větší než biomasa K + D.

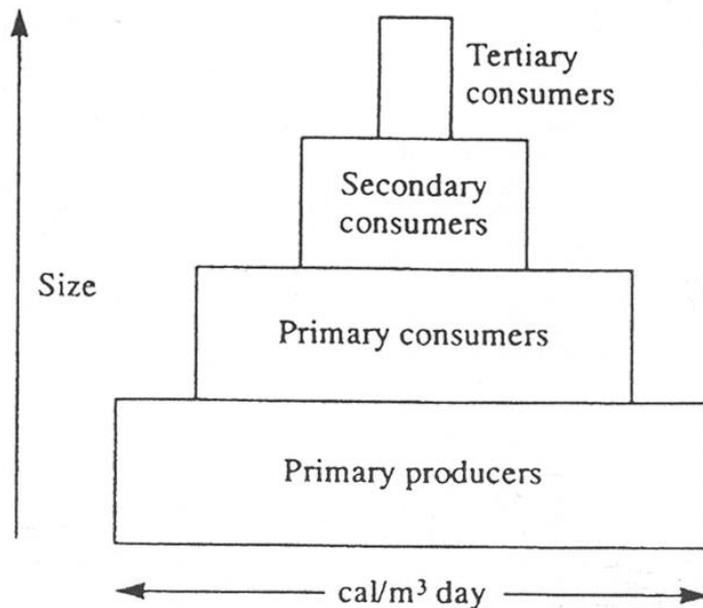
Centre for Toxic Compounds in the Environment

<http://recetox.muni.cz>

Pyramida (a) množství a trofických úrovní v ekosystému (b) energie a individuální velikosti potravního řetězce



(a)



(b)

Figure 2.4 Pyramid of (a) numbers and trophic levels for an ecosystem and (b) the concept of the energy pyramid and individual size of a food chain.

Pyramida (a) množství a trofických úrovní v ekosystému (b) energie a individuální velikosti potravního řetězce

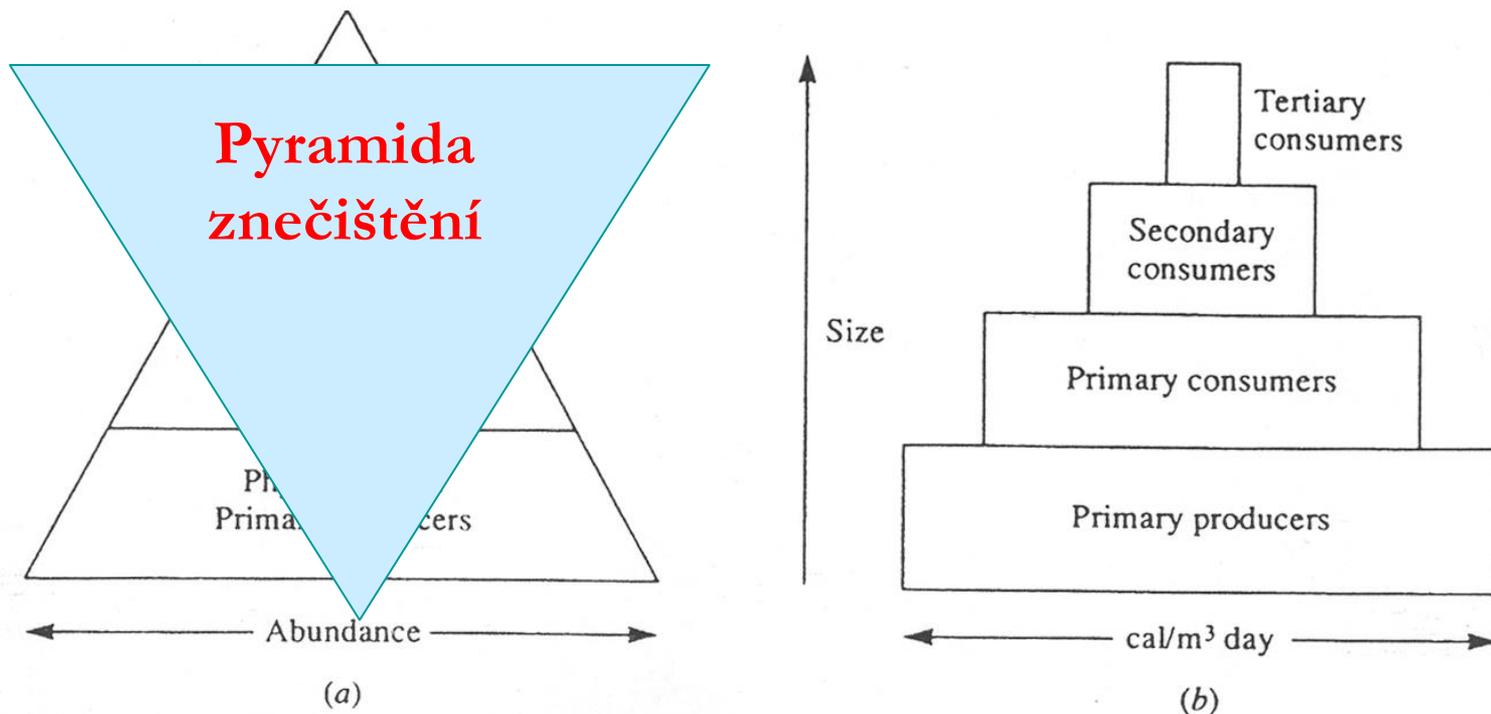


Figure 2.4 Pyramid of (a) numbers and trophic levels for an ecosystem and (b) the concept of the energy pyramid and individual size of a food chain.

Pyramida četnosti

Pyramida četnosti – odráží jev, že počet jedinců od první k poslední trofické úrovni (vrcholová predátoři) se obvykle strmě zmenšuje

↪ Při přechodu na vyšší trofickou úroveň je pokles početnosti doprovázen zvětšením rozměrů

↪ Obrácené poměry jsou u parazitických řetězců (parazité jsou menší a početnější než hostitel)

↪ Existují i „obrácené“ pyramidy četnosti – např. strom s velkým počtem herbivorního hmyzu

