

Organizmy a biogeochemické cykly hlavních prvků (C,N,P) a látek (voda) v ekosystému

(Hana Šantrůčková, Katedra biologie ekosystémů, B 361)

Biogeochemické cykly:

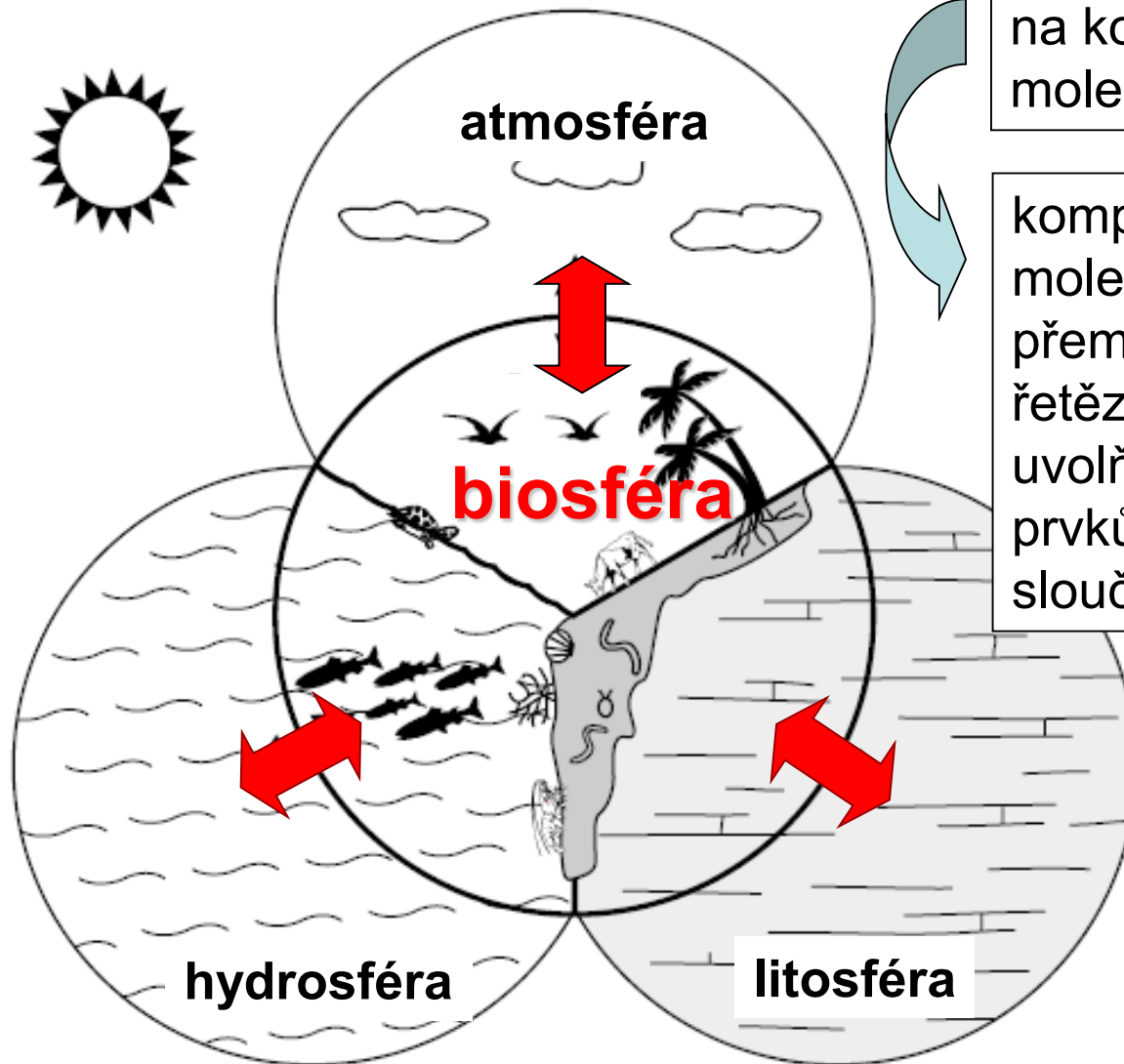
Pohyb chemických prvků mezi organizmy a neživými částmi atmosféry, litosféry a hydrosféry

Abiotické (neživé) prostředí



organizmy
(živočichové, rostliny,
mikroorganizmy)

Biogeochemické cykly



Anorganické prvky & sloučeniny jsou přijímány autotrofy a přeměňovány na komplexní organické molekuly

komplexní organické molekuly jsou přeměňovány v potravních řetězcích a částečně uvolňovány zpět ve formě prvků nebo anorganických sloučenin

Ekosystém definice

Ohraničený ekologický systém, který se **skládá z organismů**, které žijí v určitém prostoru a čase, **a z prostředí**, s kterým se vzájemně ovlivňují.

- Biotické procesy
- Abiotické procesy
- Sociální procesy

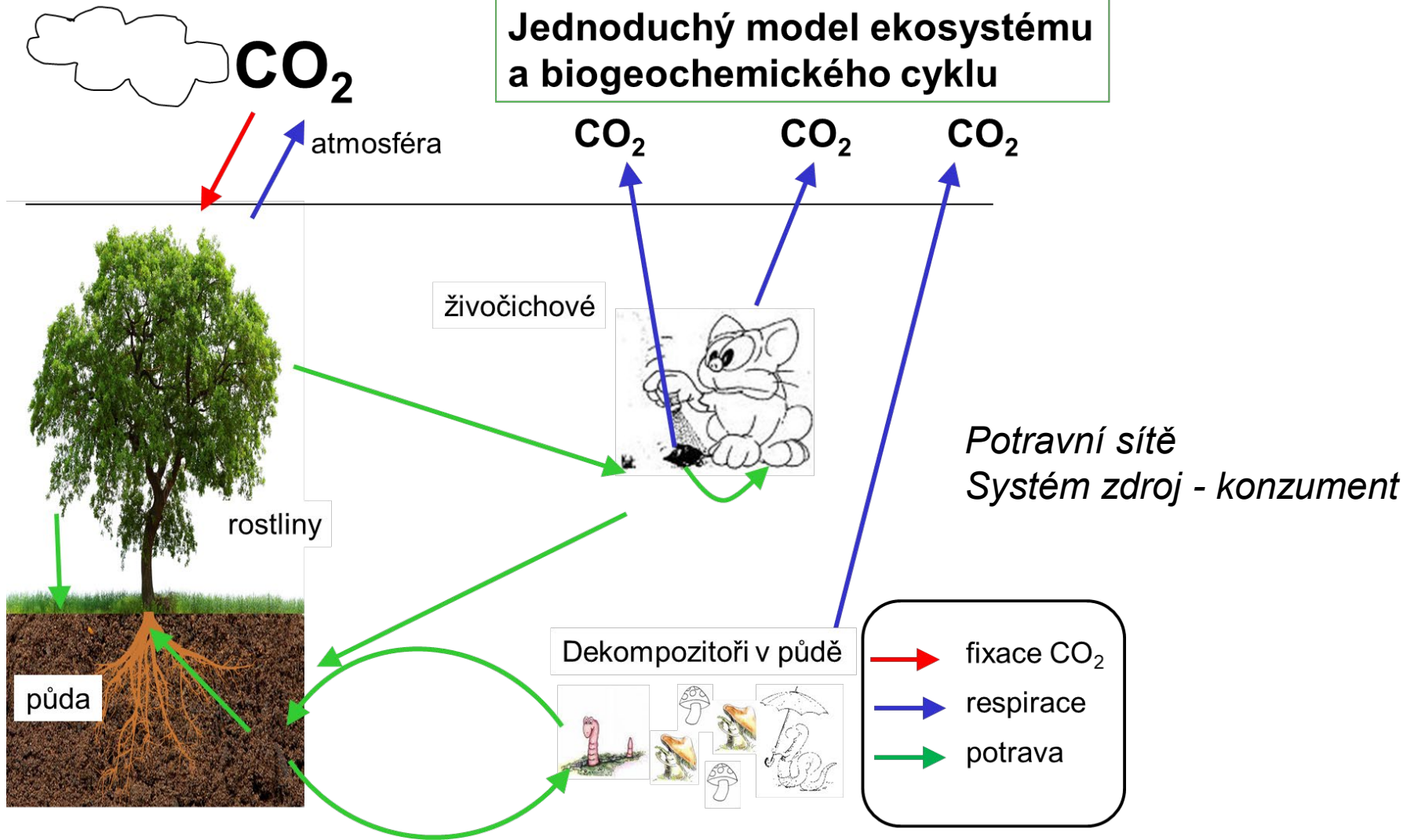
Ekosystém definice

- Organizmy na určitém prostoru
- Organizmy v interakcích s prostředím
- Tok energie definován trofickou strukturou, diverzitou a koloběhem živin
- Otevřený systém (energie, látky kontinuálně přenášeny přes hranice ekosystému)
- Klima, litosféra, hydrosféra (a vliv člověka) jsou vnějšími (nezávislými) proměnnými

Ekologie ekosystémů:

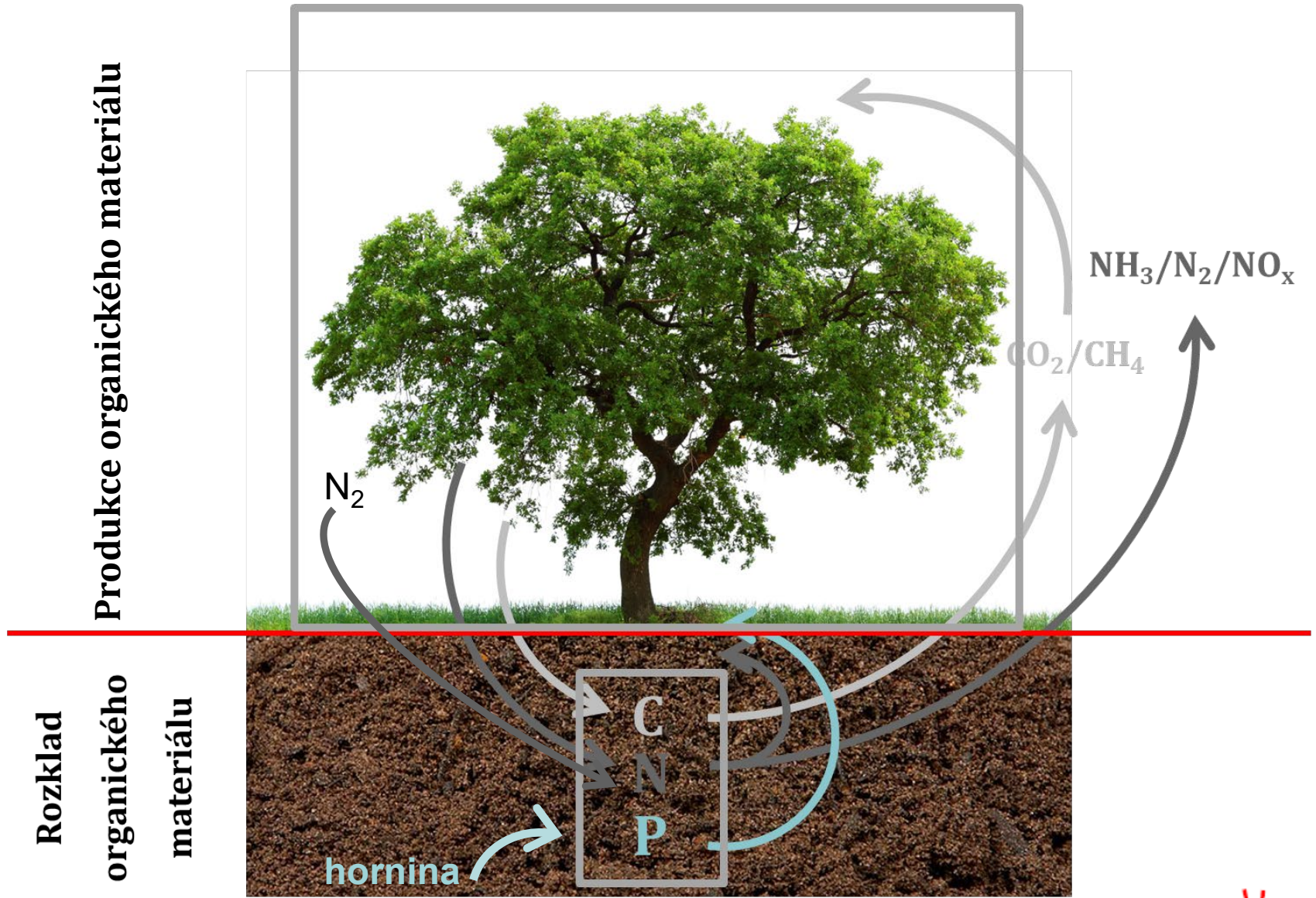
Studuje interakce mezi organizmy a jejich abiotickým (*neživým*) prostředím jako integrovaný (*celkový, propojený*) systém

Jednoduchý model ekosystému a biogeochemického cyklu



Organizmy (autotrofní a heterotrofní) a přenos energie, uhlíku a živin jsou hybnou silou **biogeochemických** cyklů





Cykly živin, vody a energie jsou vzájemně propojené



Základní pojmy

Látky v přírodě

- definovaný prostor
- definované množství
- „nemohou se ztratit“

zásobník
(pool)

Zásobníky si látky vyměňují

= **tok** (flux)

látky do zásobníku vstupují

= **vstup**
(input)

látky ze zásobníku vystupují

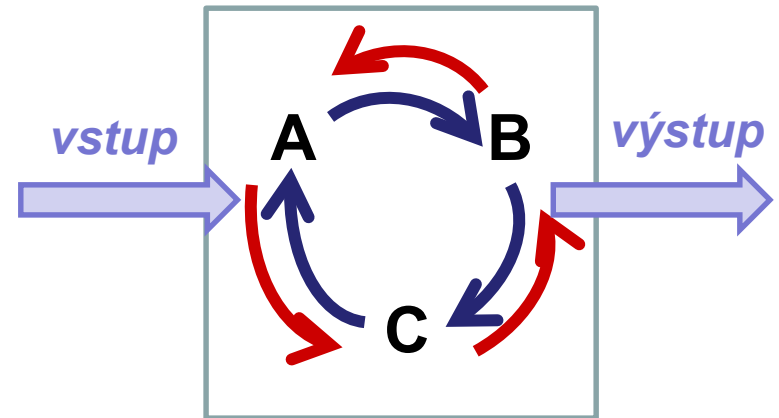
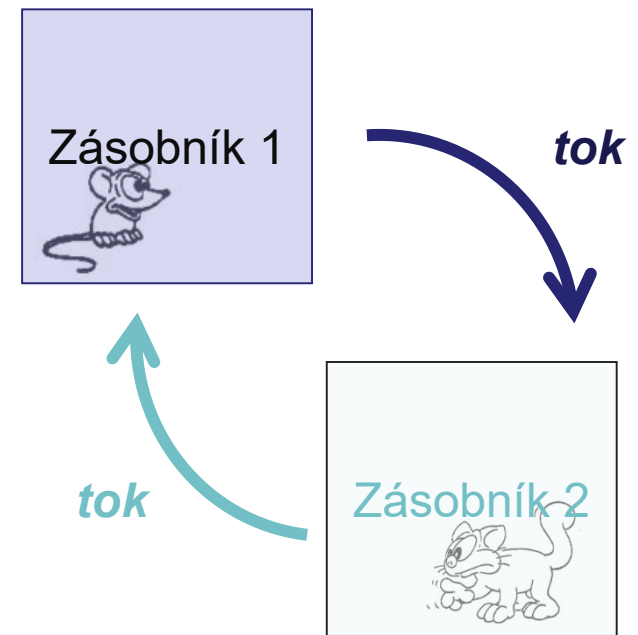
výstup
(output)

látky v zásobníku zůstávají určitou dobu

= **doba zdržení**
(residence time)

rychlosti toku společně s velikostí zásobníků

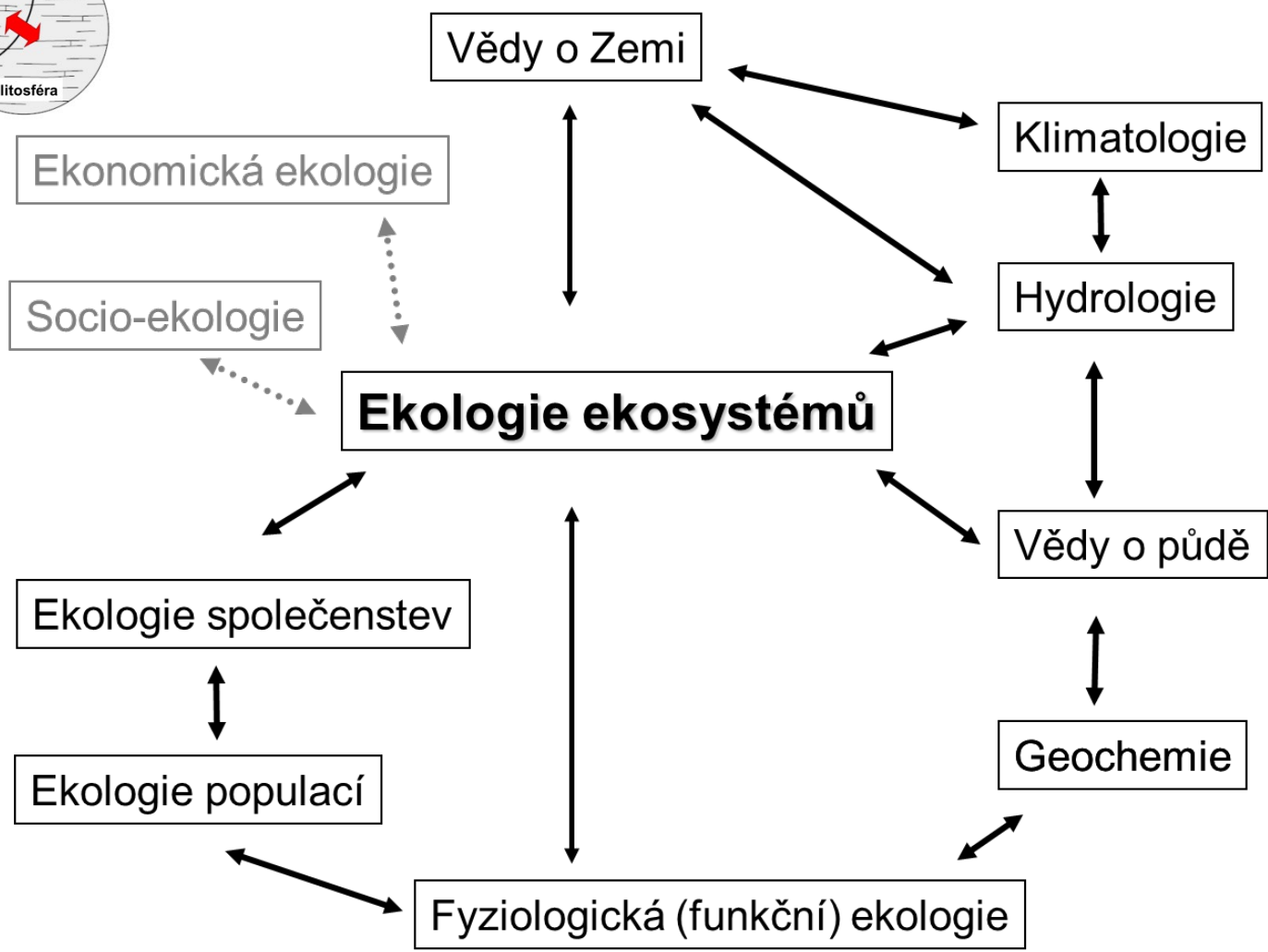
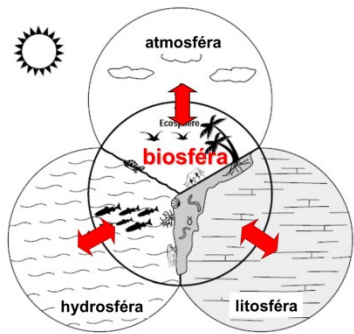
= **cyklus živin**



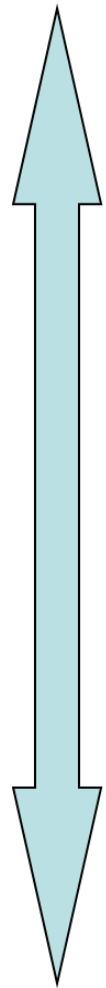
Studium založeno na:

- Zákonu zachování hmoty - bilance živin (*mass balance budget*)
 1. Systém v rovnováze – toky jsou v rovnováze a **vstup = výstup** (*input = output*)
 2. Prvky se akumulují v ekosystému, **vstup > výstup** a ekosystém se stává **zásobárnou (jímkou)** živiny (*storage, sink*)
 3. Prvky ubývají z ekosystému **vstup < výstup** ekosystém se stává **zdrojem** živin (*loss, source*)
- Zákonu zachování energie

Energii nelze vyrobit ani zničit, ale pouze přeměnit na jiný druh energie.



souvislosti



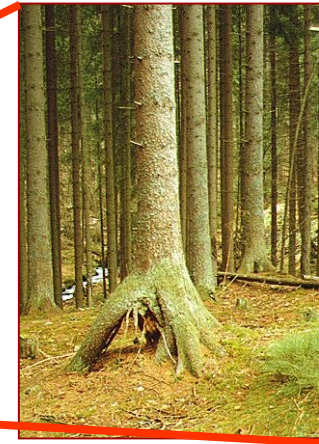
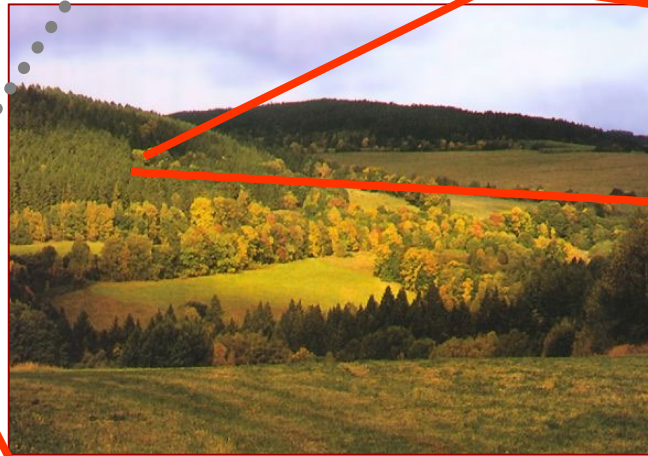
mechanismy

• Interdisciplinarita, důraz na interakce

Prostorové měřítko

Globální cykly

Lokální cykly



Ekosystémy (povodí)

Části ekosystémů

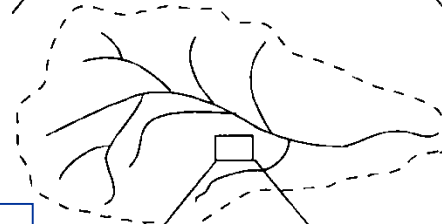
Globální ekosystém

5,000 km



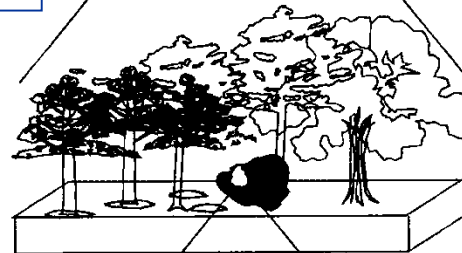
povodí

10 km



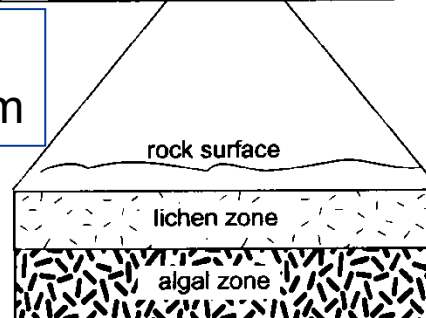
Lesní ekosystém

1 km



Půdní ekosystém

1 mm



Příklad problematiky

Jak odlesňování ovlivňuje 'globální klima?

Jak odlesňování ovlivní kvalitu vody v okolních městech?

Jak odlesnění ovlivní půdní živočichy ve smíšeném lese?

Jak biota ovlivní zvětrávání hornin?

**Ekosystémy
různá velikost**



**různé
úrovně studia**



různé metody



**různá
časoprostorová
měřítka**

Upraveno podle Chapin 2002

Prostorové měřítko

10^3

metry

10^{-3}

10^{-9}

Bottom up přístup

Top down přístup

Časové měřítko

dny

měsíce

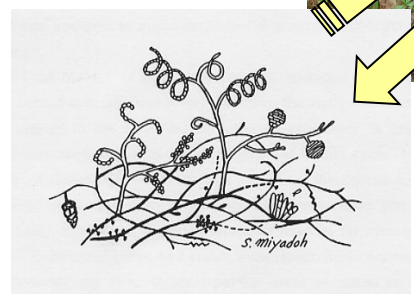
roky

mikroorganismy

půda

porost

atmosféra



Co je dobré si zapamatovat



1. Prostředí ovlivňuje organizmy a naopak organizmy ovlivňují prostředí, ve kterém žijí (zpětnovazebný efekt)

2. Koloběhy jednotlivých živin, vody a tok energie jsou vzájemně propojené

Tok energie

Tok energie



Krátkovlnné záření



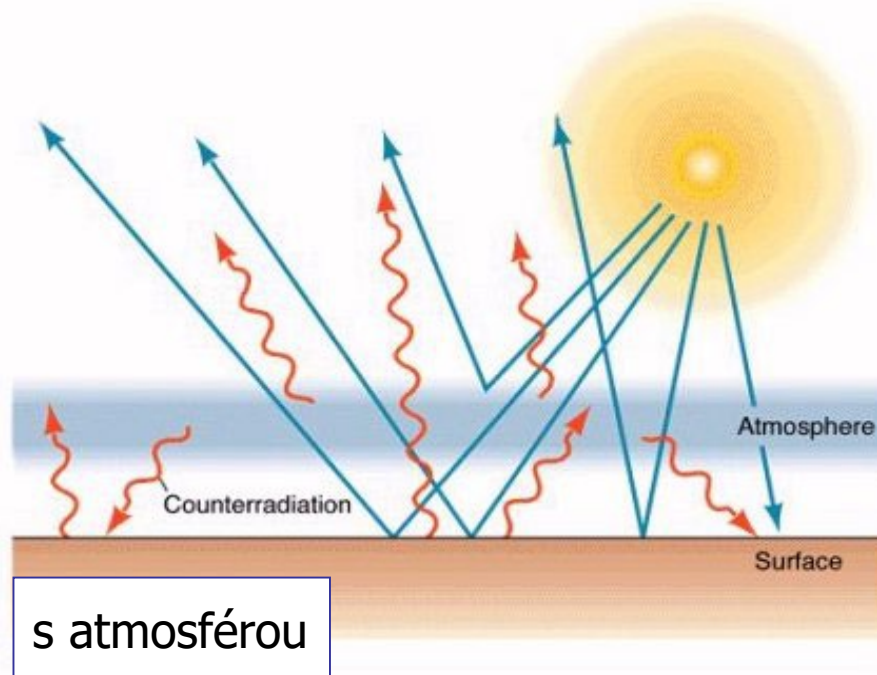
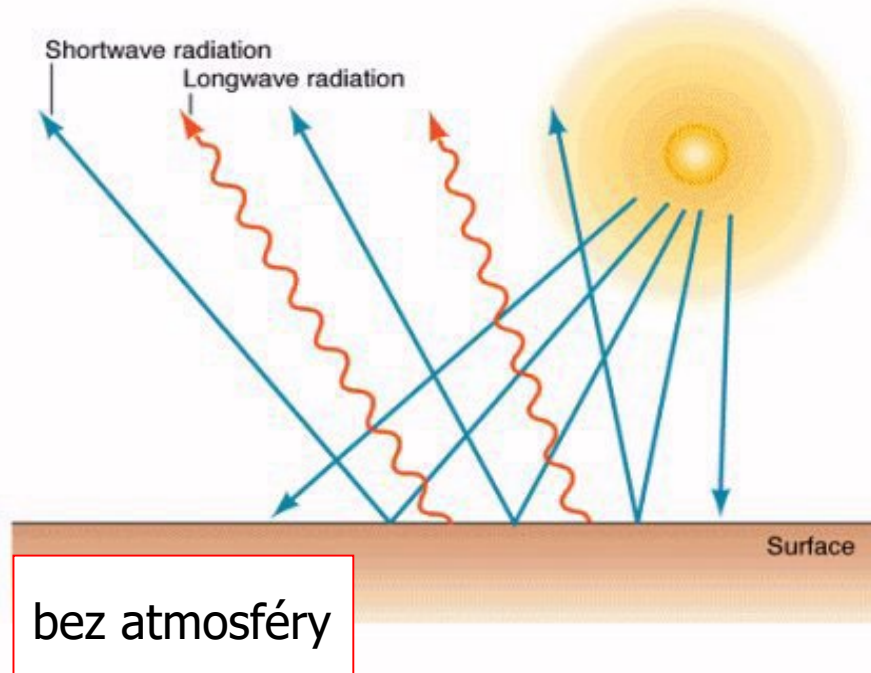
dlouhovlnné záření

Skleníkový efekt atmosféry

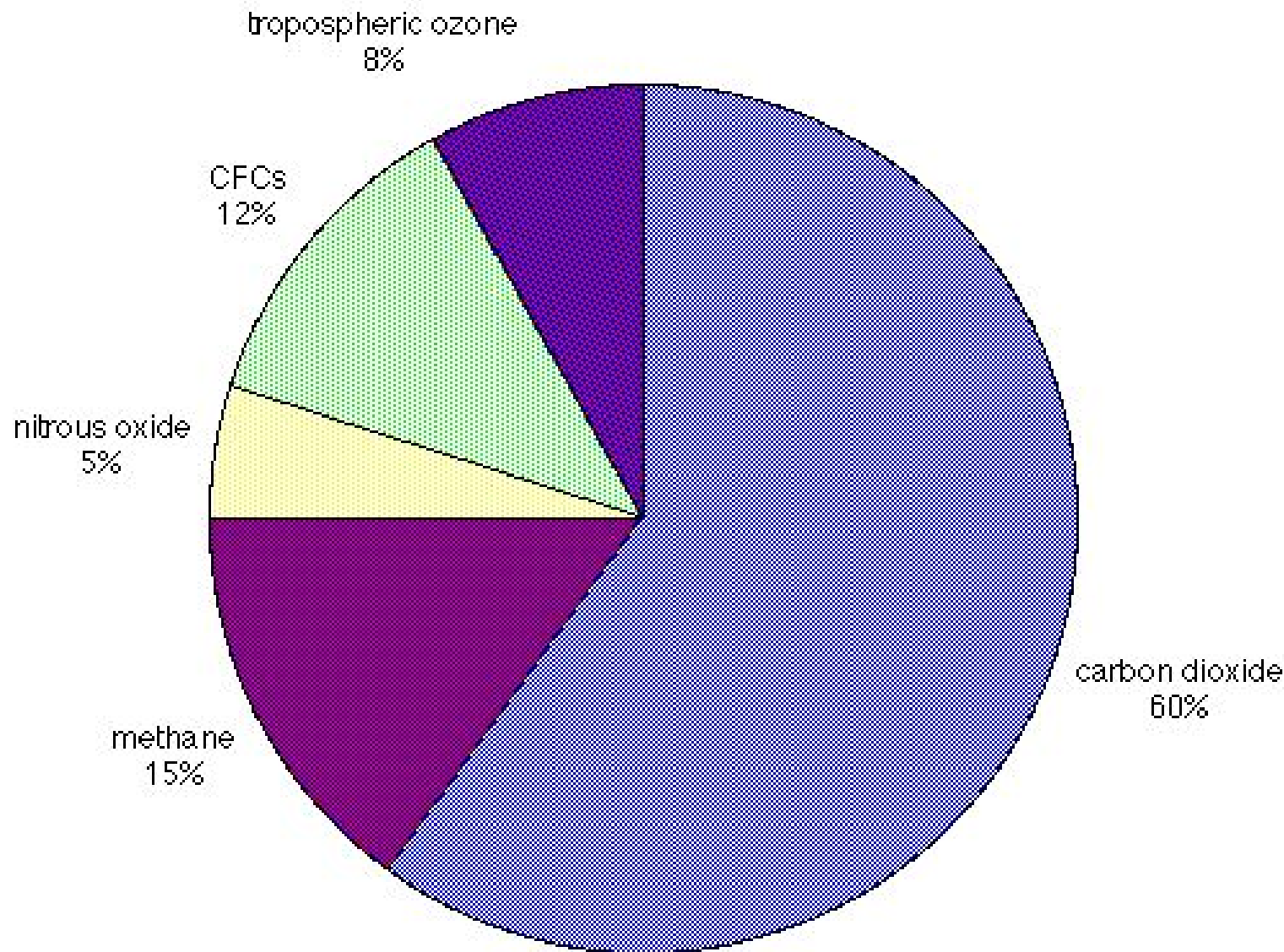


vodní páry,
Plyny (CO_2 , CH_4 , NO_x)

Nejdůležitějším skleníkovým plynem je vodní pára, podílí se 60% na celkovém skleníkovém efektu



Relativní podíl **plynů** na skleníkovém efektu



Účinnost pohlcování dlouhovlnného záření (**jednotková** radiační účinnost):
N₂O > CH₄ > CO₂ (310:21:1)

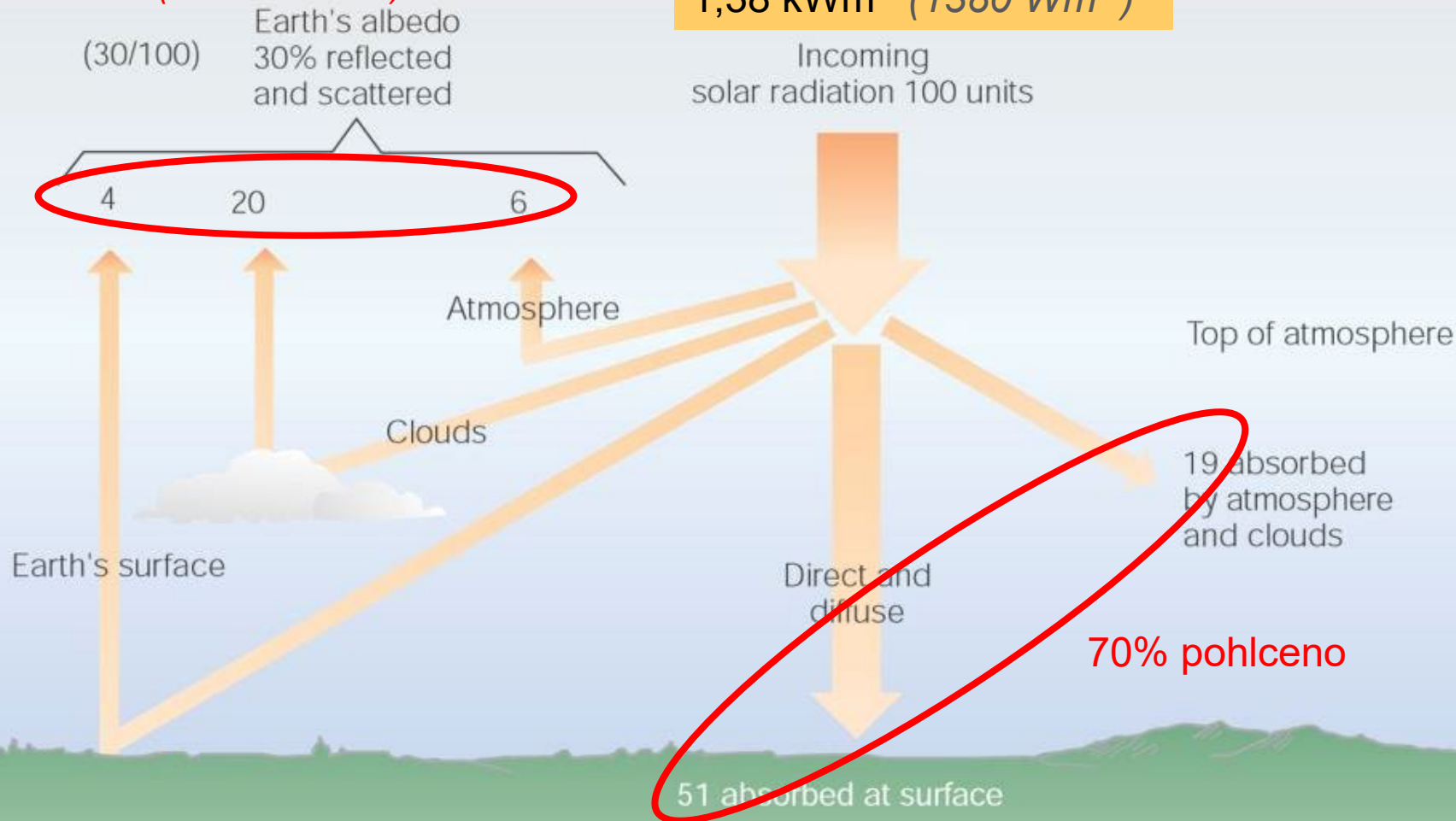
Tok energie

Reflected = odražené
Scattered = rozptýlené
Absorbed = pohlcené

1. Vstupující sluneční (krátkovlnné) záření

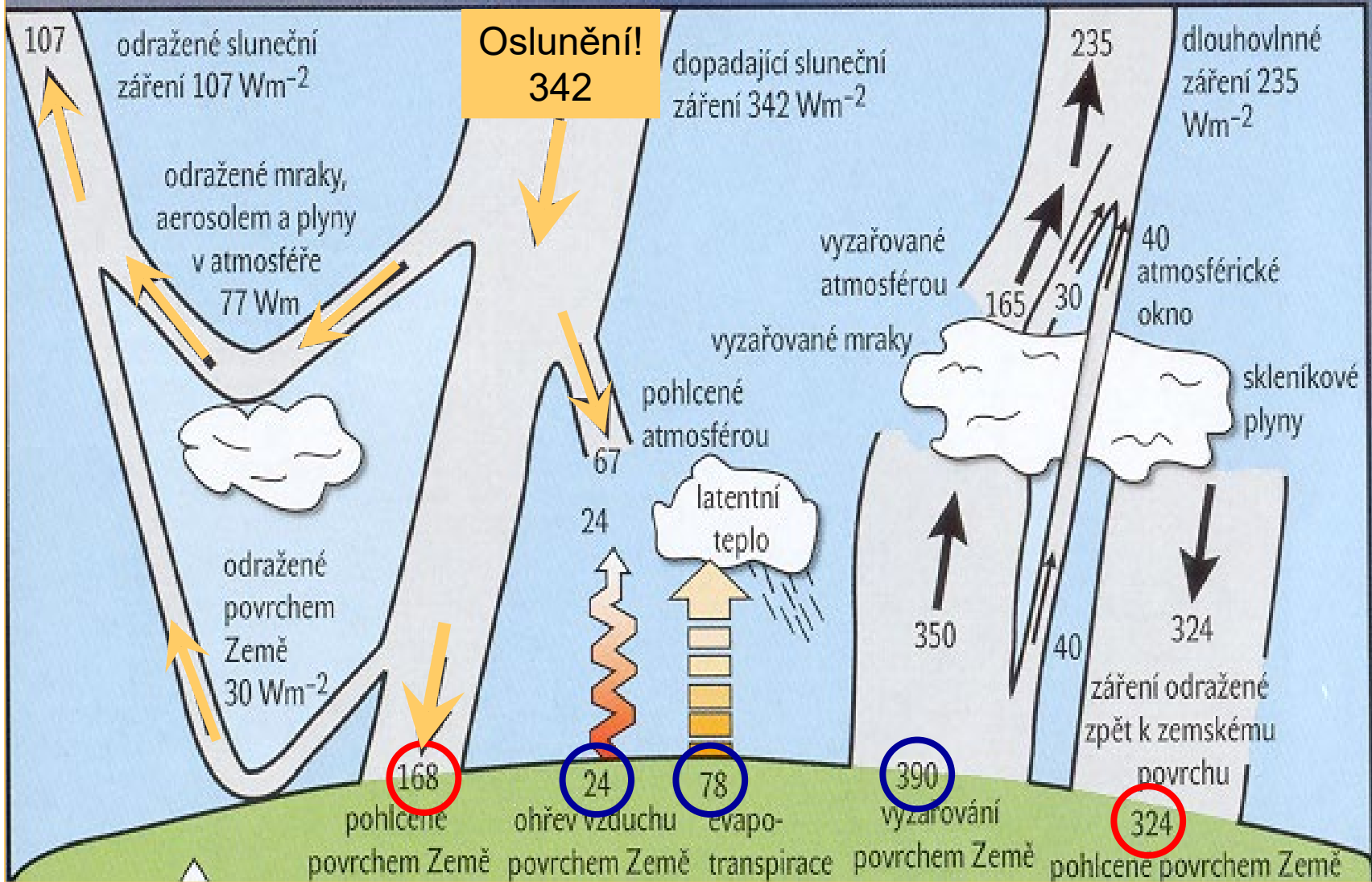
30% odraženo a rozptýleno
(*albedo Země**)

Sluneční konstanta
 $1,38 \text{ kWm}^{-2}$ (1380 Wm^{-2})



*Albedo = (odražené a rozptýlené záření)/dopadající záření

2. Bilance energie mezi atmosférou a povrchem Země



○ Dopadající záření
 ○ odražené záření
 ➡ krátkovlnné záření
 ➡ dlouhovlnné záření

Co lze z obrázku vyčíst:

Oslunění $\approx \frac{1}{4}$ sluneční konstanty

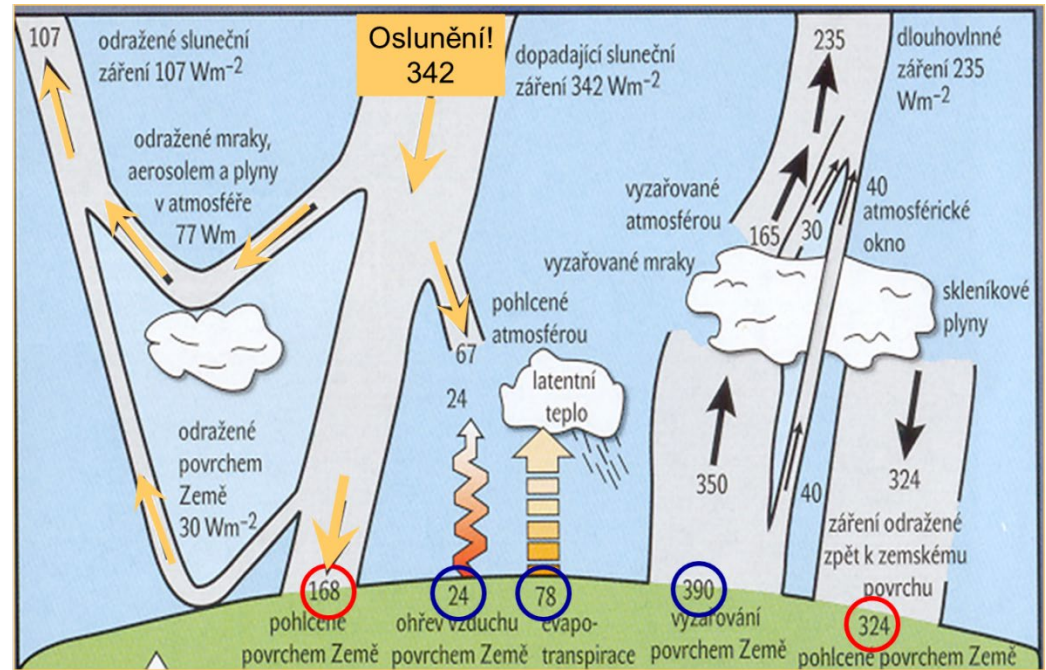
Z absorbované energie Země:

(168+324)

Vyzařování do atmosféry 79 %

Přenos odparem vody 16 %

Přenos konvekcí 5 %



Z dlouhodobého hlediska Země ve stavu energetické rovnováhy:

pohlcená energie (168+324 Wm^{-2}) = *vyzářená energie* (390+78+24 Wm^{-2})

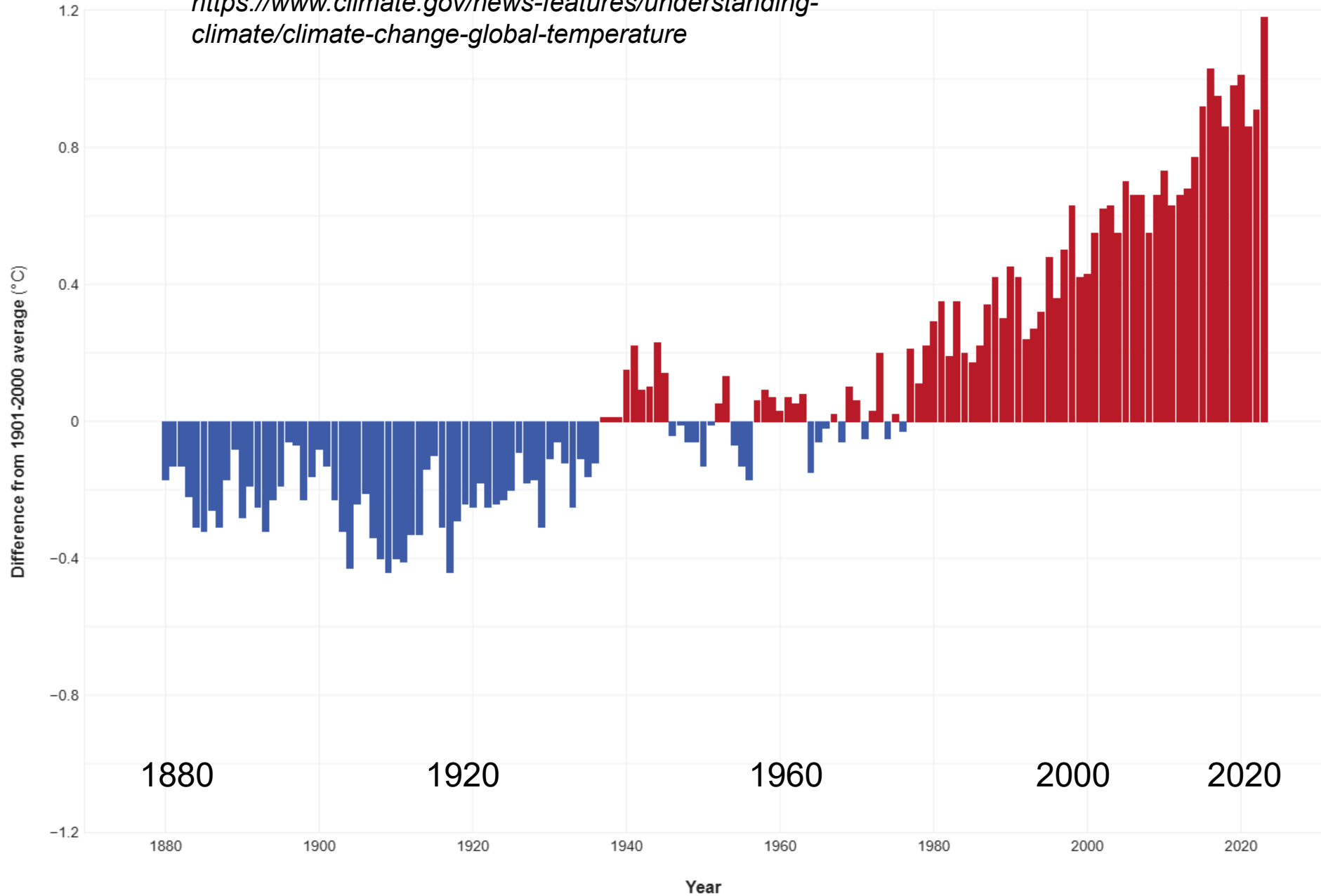
90 % (324 Wm^{-2}) vyzářené energie pohlceno atmosférou (radiačně aktivní plyny) a vráceno zpět k povrchu Země (skleníkový efekt)

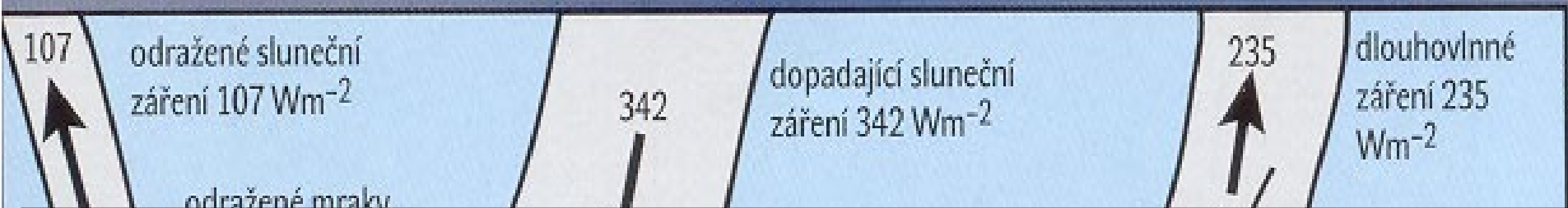
Současná teplota povrchu Země $\approx 15^{\circ}C$

Bez skleníkového efektu $\approx -12^{\circ}C$

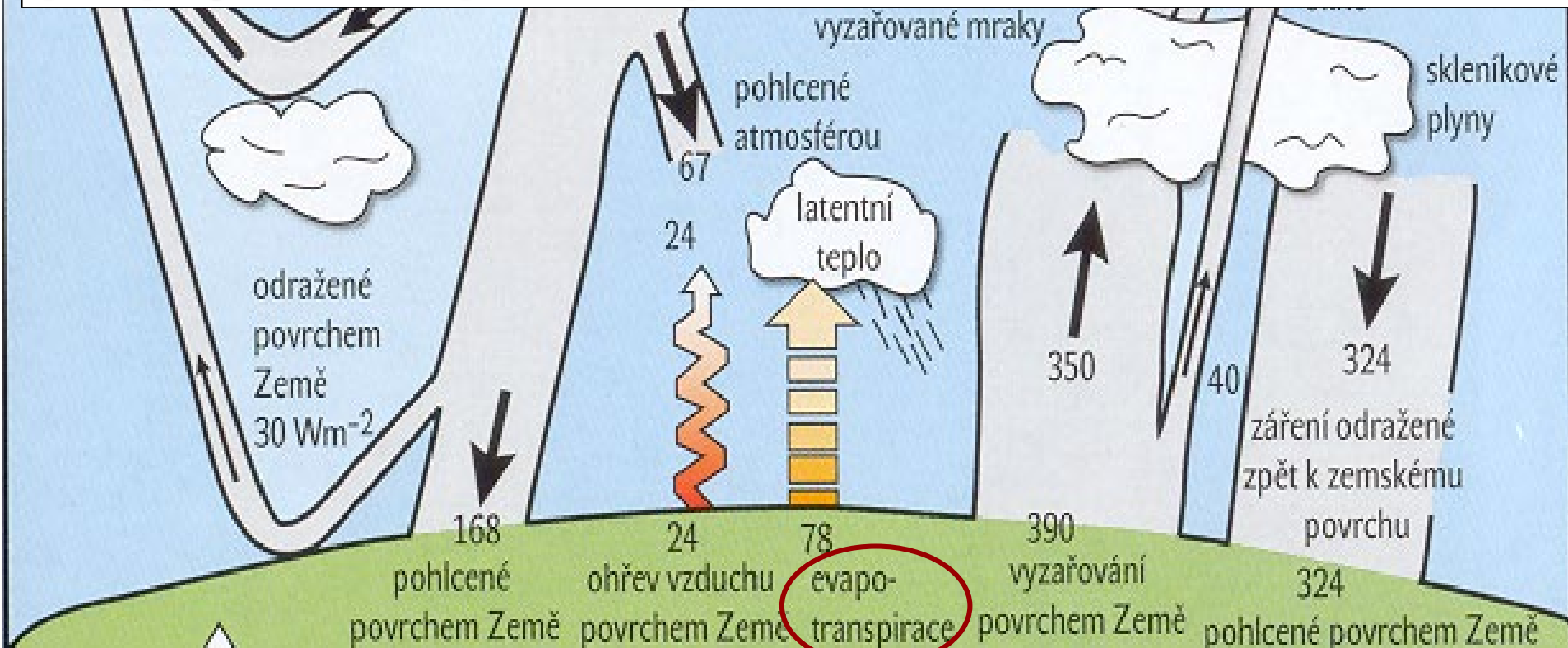
GLOBAL AVERAGE SURFACE TEMPERATURE

<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>



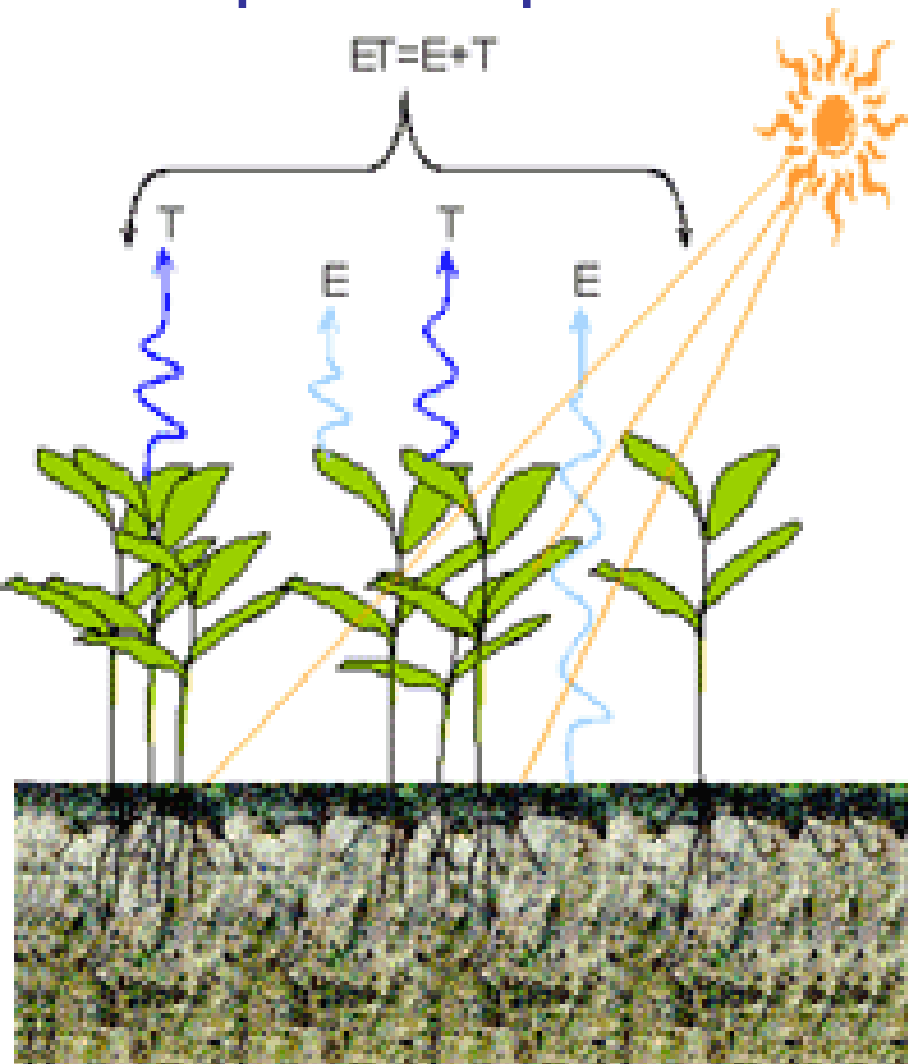


Tok energie a koloběh vody jsou vzájemně propojené evapotranspirací



Evapotranspirace (ET)

Evapotranspirace = Evaporace + Transpirace

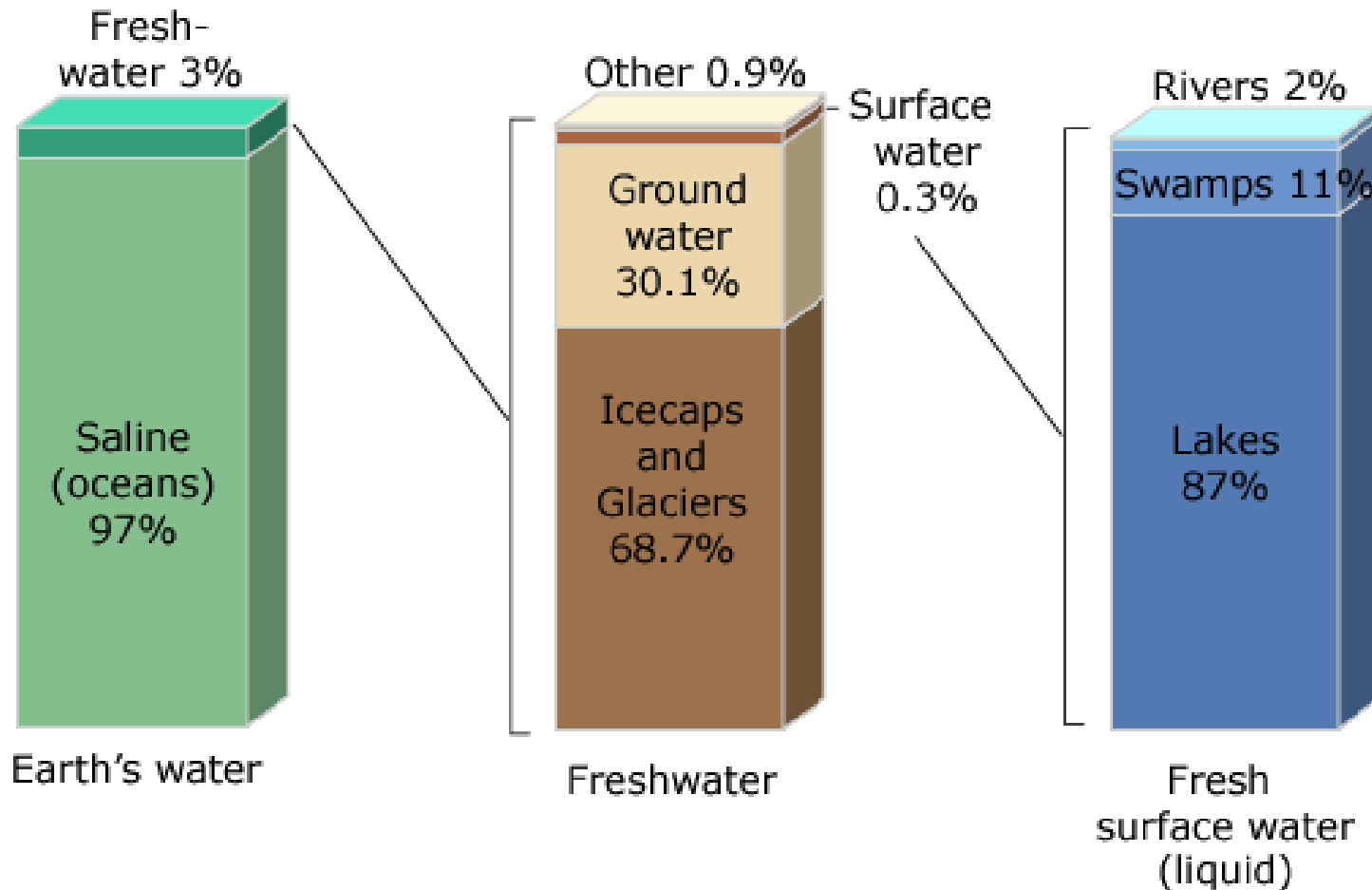


E = evaporace
= přímý výpar z povrchů
T = transpirace
= ztráta vody listovými
průduchy

Hydrologický cyklus

Zásoba vody na Zemi

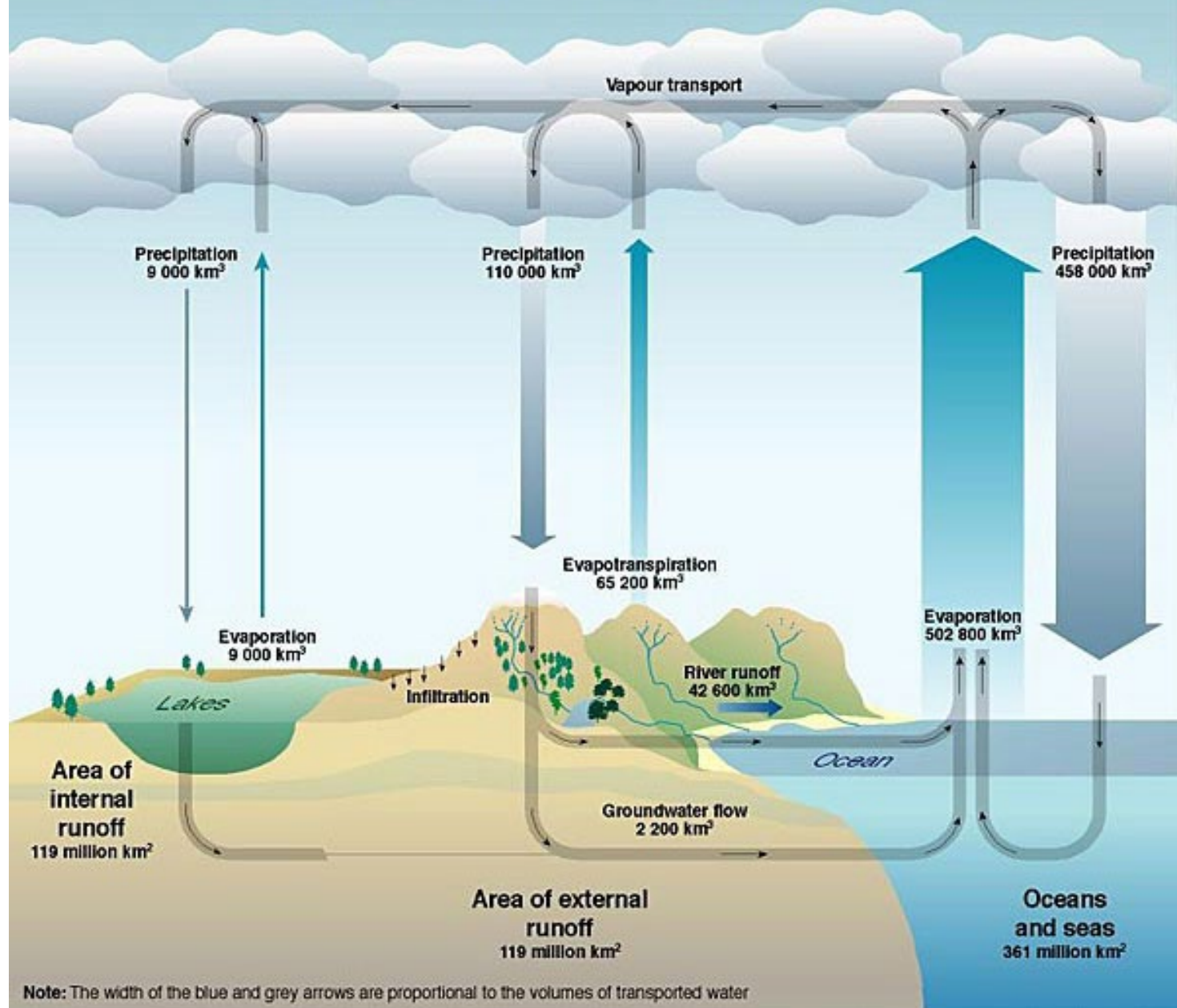
Distribution of Earth's Water



- (oceány: $1348 \times 10^6 \text{ km}^3$ (97.39%))
- atmosféra: $0.013 \times 10^6 \text{ km}^3$ (0.001%)

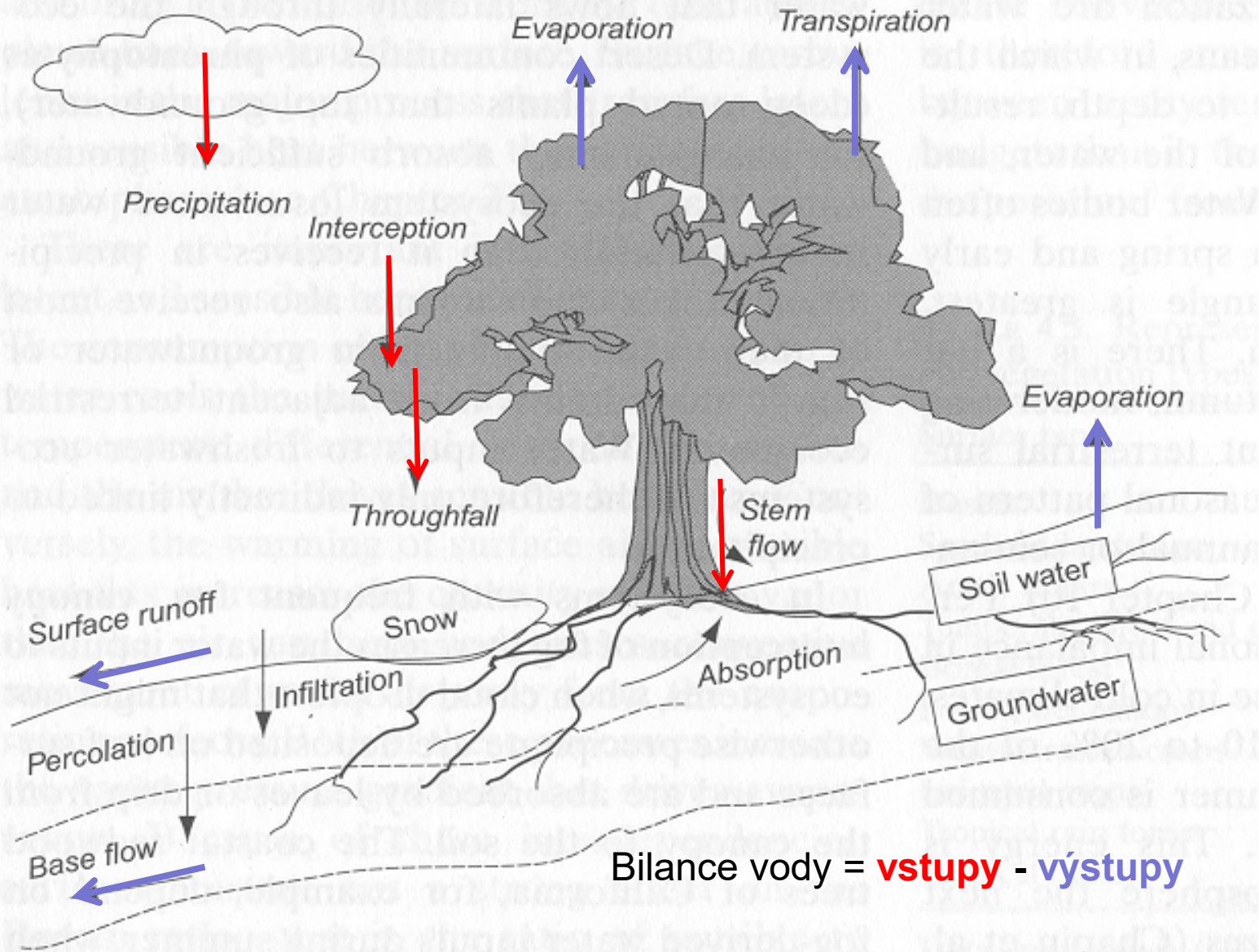
The World's Water Cycle

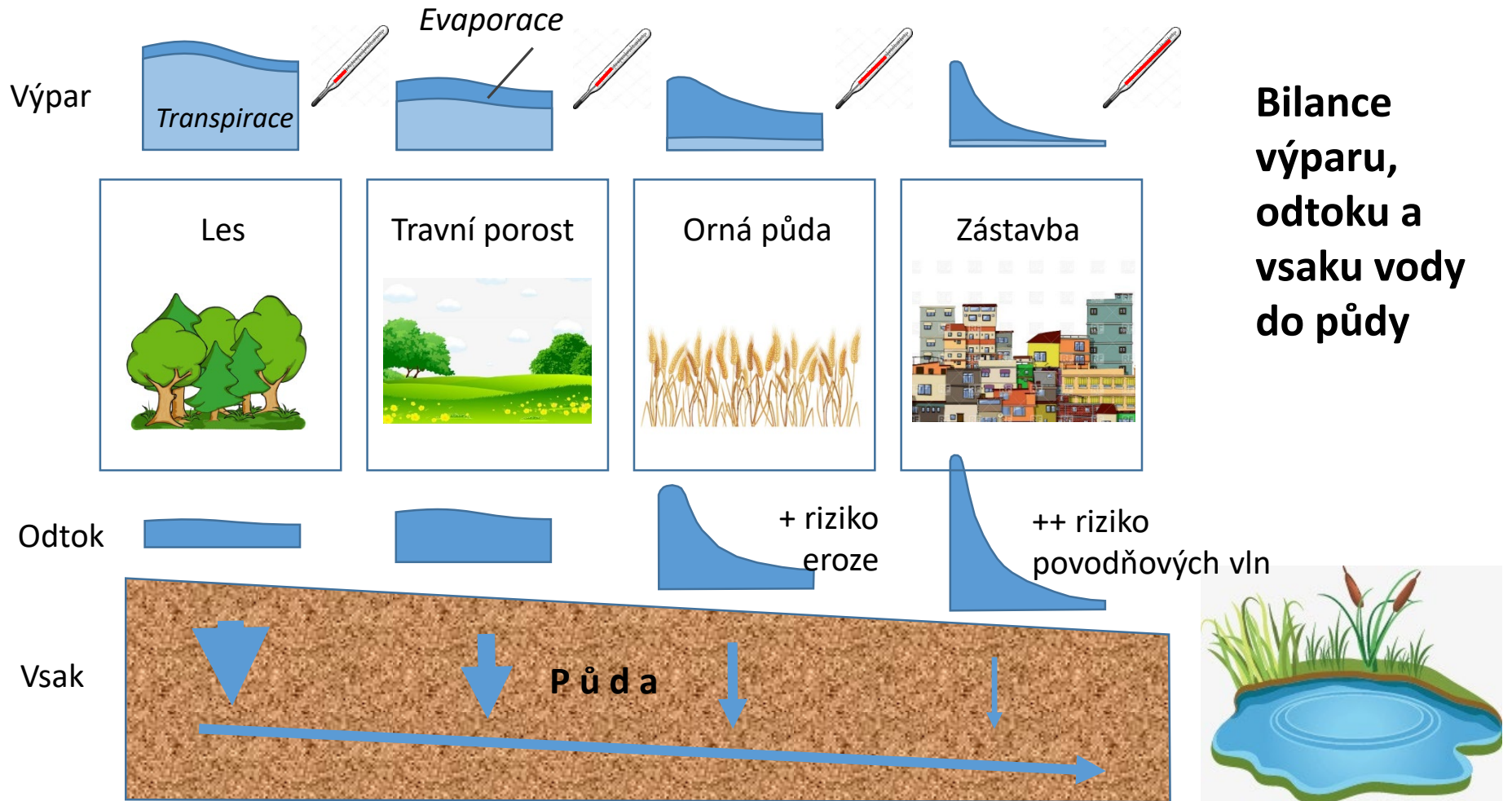
Global Precipitation, Evaporation, Evapotranspiration and Runoff



Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999; Max Planck, Institute for Meteorology, Hamburg, 1994; Freeze, Allen, John, Cherry, *Groundwater*, Prentice-Hall: Engle wood Cliffs NJ, 1979.

Pohyb vody v suchozemském ekosystému





<http://www.benateckycyt.yrilistek.eu/?p=1259>

<http://clipartportal.com/grassland-clipart-2/>

<http://es.hereisfree.com/materials/download/8650.html>

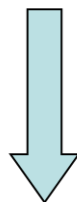
<https://rfclipart.com/urban-cityscape-with-trees-and-houses-residential-settlement-18309-vector-clipart.html>

Shrnutí



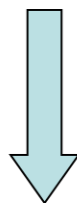
- Hydrologický cyklus a tok energie v ekosystému propojeny *via* evapotranspirací
- Vegetace a půda hrají klíčovou roli v retenci vody v suchozemském ekosystému
- Člověk svou činností ovlivňuje retenci vody v krajině převážně negativně
- **Hydrologický cyklus je základem fungování všech BGCh cyklů**

Sluneční energie



via evapotranspiraci
(viz bilance energie a
rozdělení energie v ekosystému)

Hydrologický cyklus



via biologické procesy
(rozpuštění živin, transport v ekosystému)

Cykly živin

Vodní ekosystémy

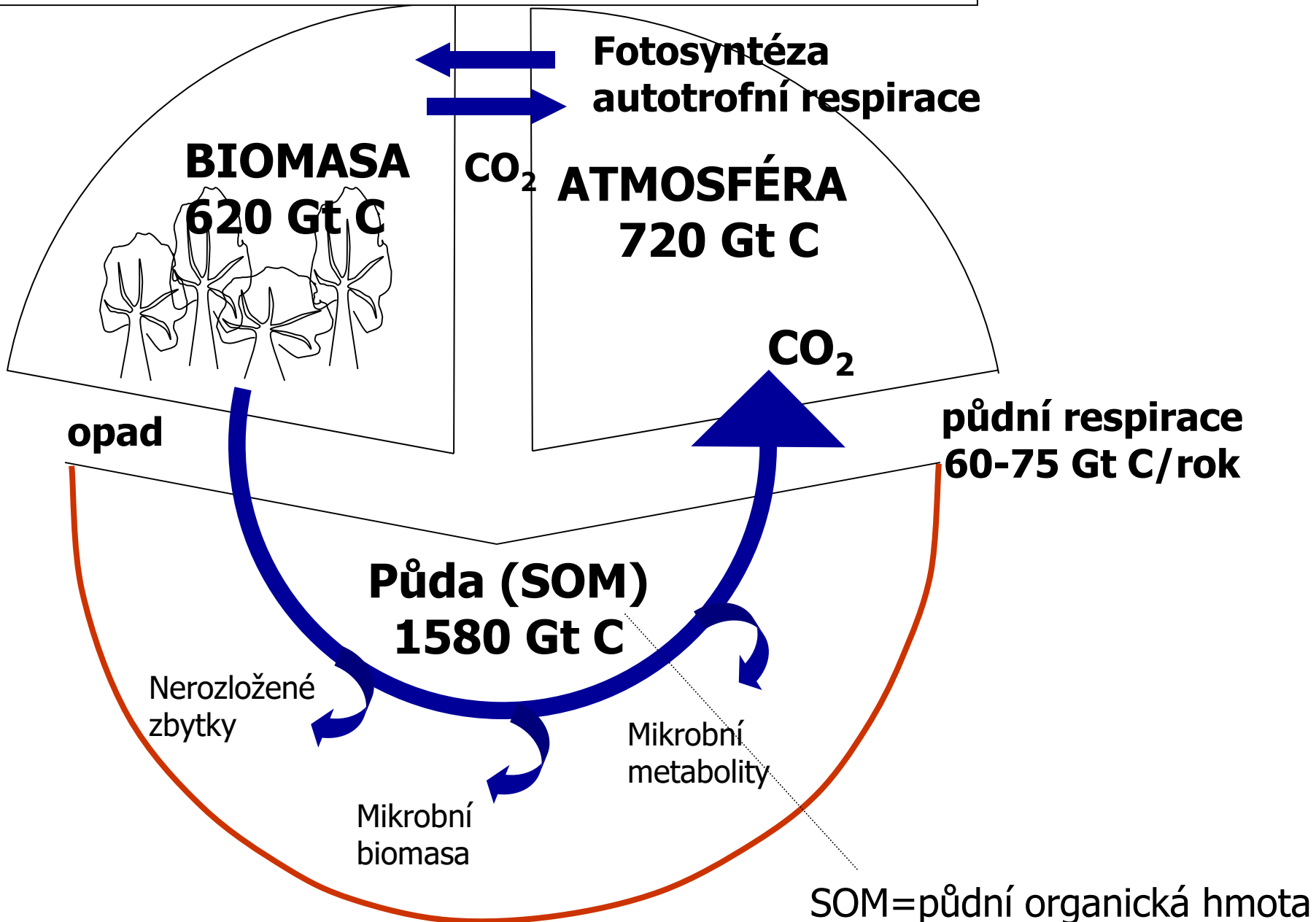
versus

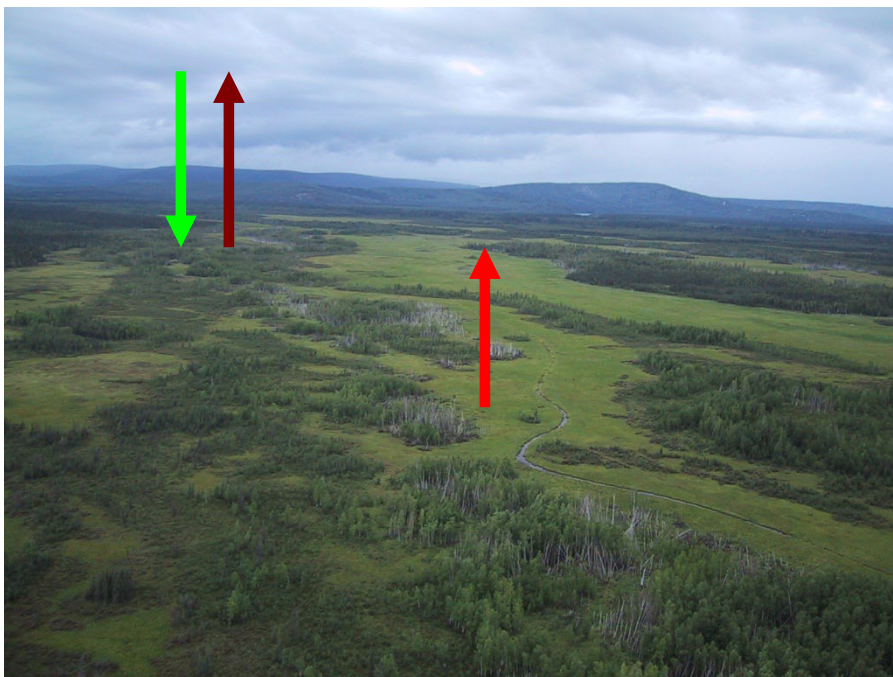
suchozemské ekosystémy

- Platí stejné principy jako v suchozemských ekosystémech, ale zcela jiné řídicí ekologické faktory, dynamika (vodní prostředí x vzduch, tepelná vodivost, hustota, viskozita, rozpustnost plynů)
- Strukturní a funkční diverzita vodních ekosystémů – srovnatelná se suchozemskými

Koloběh C v suchozemském ekosystému

celková zásoba C v suchozemských ekosystémech





**Hrubá primární
produkce
(GPP)**

**Respirace
rostlin
(autotrofní
respirace - AR)**

**Respirace
půdy
(heterotrofní
respirace - HR)**

$GPP - AR =$ čistá
primární produkce
(NPP)

$GPP - AR - HR =$
čistá produkce
ekosystému (NEP)

Dekompozice → půdní respirace

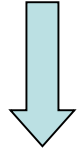
GPP – vstup C fotosyntézou

NPP – produkce biomasy

NEP – organická hmota, která zůstane vázaná v ekosystému

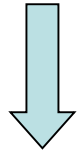
Hrubá = gross
Čistá = net

100 % Hrubá primární produkce (GPP)



- respirace autotrofů
(temnostní resp., kořeny)

50 % čistá primární produkce (NPP)



- respirace heterotrofních organismů

5 % čistá produkce ekosystému (NEP)
živá a mrtvá biomasa rostlin,
živočichů a půdní org. hmota
vytvořená za časovou jednotku

Nadzemní produkce: nadzemní
části rostlin, mechy, řasy, lišejníky,

Podzemní produkce: kořeny
rostlin a rhizodeponie



ekosystém produkce kořenů (% NPP)

lesy mírného pásu	13-46
louka mírného pásu	50-75
step	50
polopoušť	12
zemědělské půdy:	
kukuřice, soja	25

produkce rhizodeponií: 1-30% HPP

Půdní organická hmota:

celosvět. zásoba = $1,5 \times 10^{18}$ g C
2-3 x více než v nadzemní biomase rostlin
závisí na : NEP (NPP)
abiotických faktorech
(hlavně vlhkost a teplota)

Odhad NPP, ročního množství opadu a obsahu org. hmoty v půdě

ekosystém	čistá primární produkce (g C m⁻² rok⁻¹)	roční opad (g C m⁻² rok⁻¹)	obsah org. hmoty v půdě (g C m⁻²)
dešťový prales	1035	833	8000
les mírného pásu	630	383	12000
louka mírného pásu	540	405	30000
polopoušť	68	56	8000
tundra (lyšejníky, bylinné patro)	39	37	6500
poušť	14	6,8	2500
zemědělská půda	563	135	8000

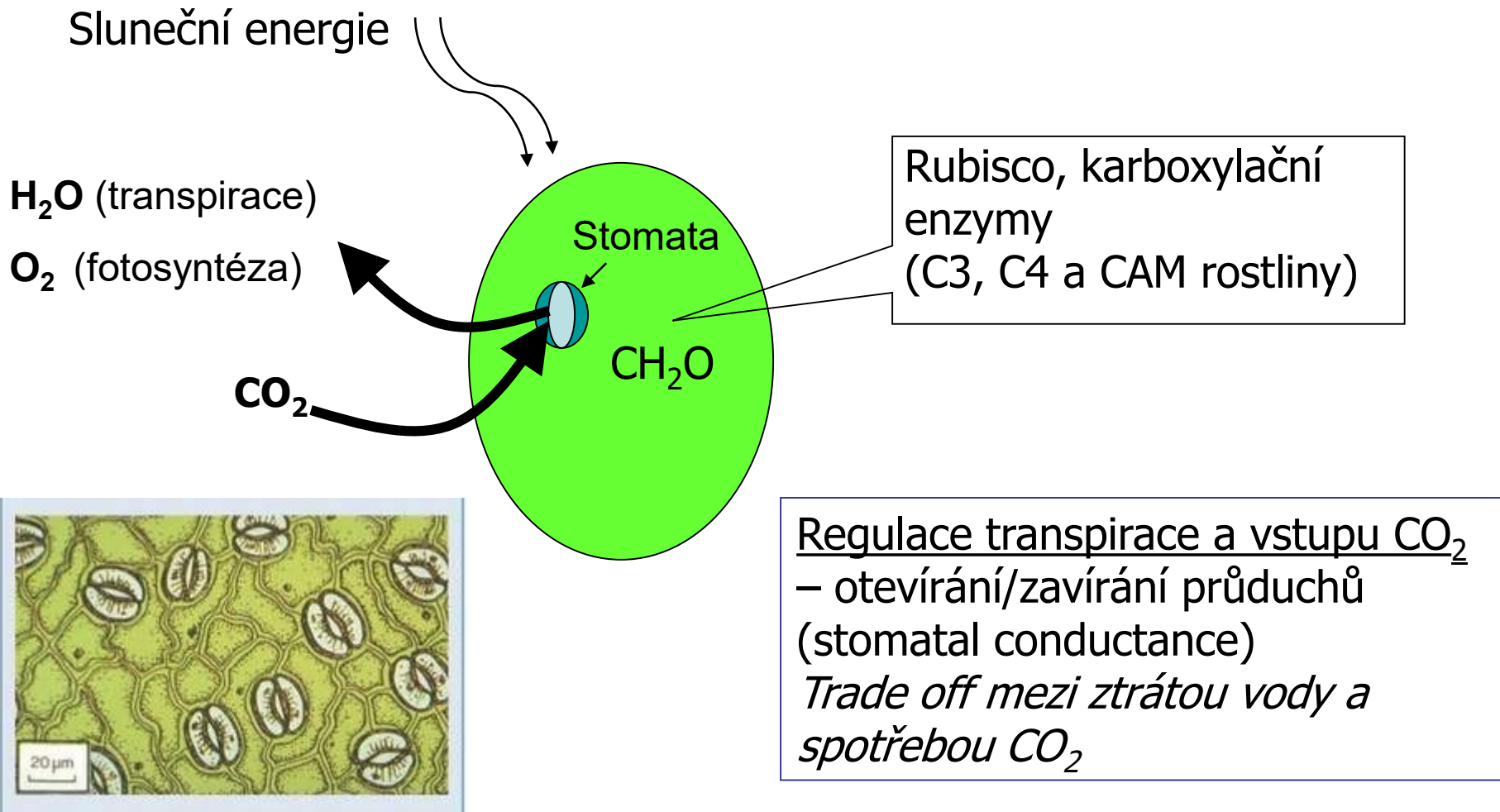
Shrnutí NEP (Net Ecosystem production)



- NEP je rozdíl mezi množstvím C fixovaným při fotosyntéze a celkovou respirací ekosystému ($\cong C$, který v ekosystému zůstane)
- Respirace ekosystému se skládá z autotrofní a heterotrofní složky
- Půda je důležitou složkou bilance C
- NEP nemusí korelovat s NGP (NPP)
- NEP se mění během sezóny, po disturbancích, v závislosti na kolísání počasí
- V současnosti vliv člověka (disturbancí) na NEP větší, než vliv klimatu a dalších faktorů prostředí
- NEP je nejvyšší ve „středních“ stádiích sukcesního vývoje

Propojení cyklu C s ostatními cykly

- procesy fotosyntézy, místo propojení toku energie, hydrologického a C cyklu

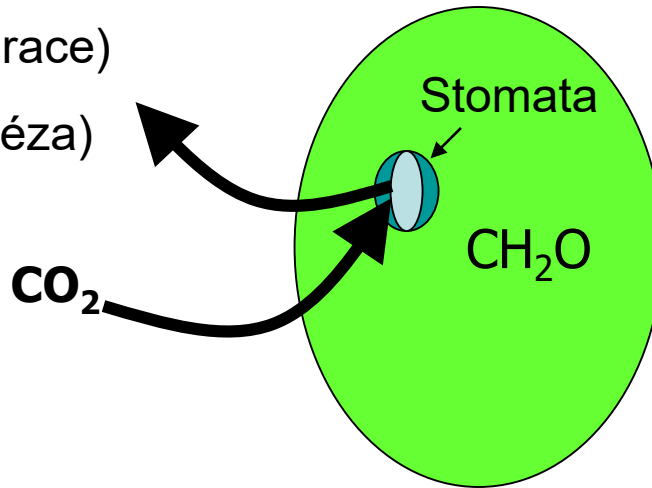


Vliv vody na vstup uhlíku

Dostatek vody - otevřená stomata

H_2O (transpirace)

O_2 (fotosyntéza)

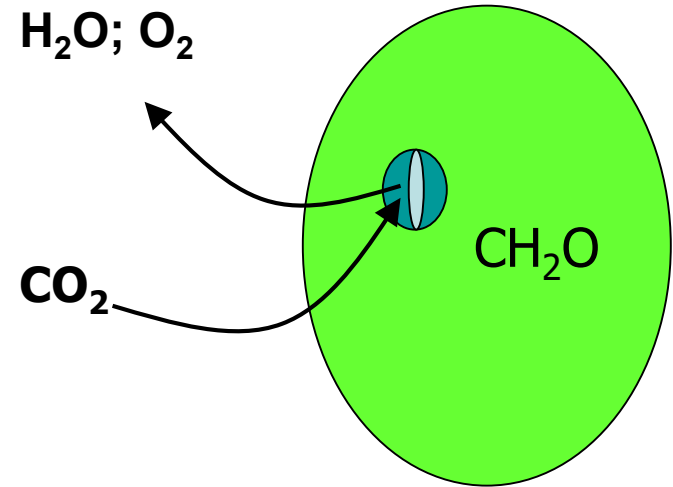


Do listu vstupuje dostatek CO₂

nedostatek vody - zavřená stomata

H_2O ; O_2

CO_2



nedostatek CO₂

Regulace transpirace a vstupu CO₂ - otevírání/zavírání průduchů (stomatal conductance)

Trade off mezi ztrátou vody a spotřebou CO₂

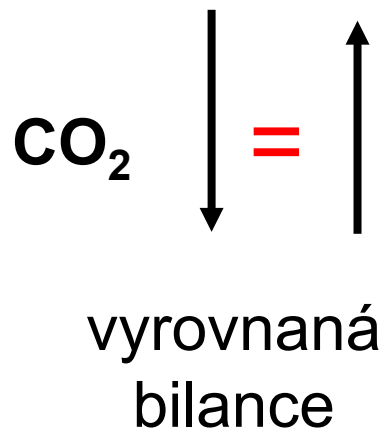
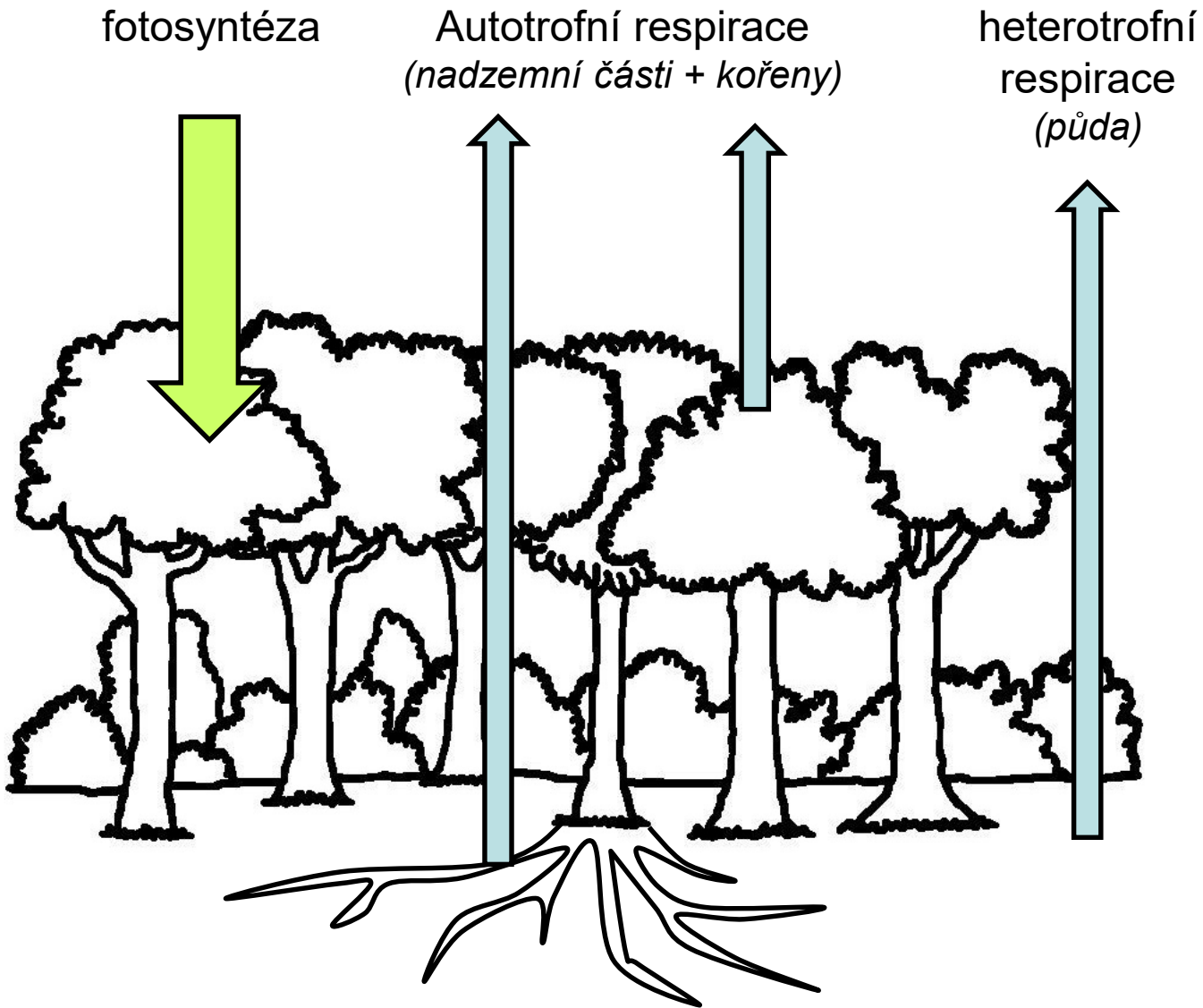
Čistá výměna C v ekosystému (NEE)

Měřítka výměny C mezi atmosférou a
ekosystémem

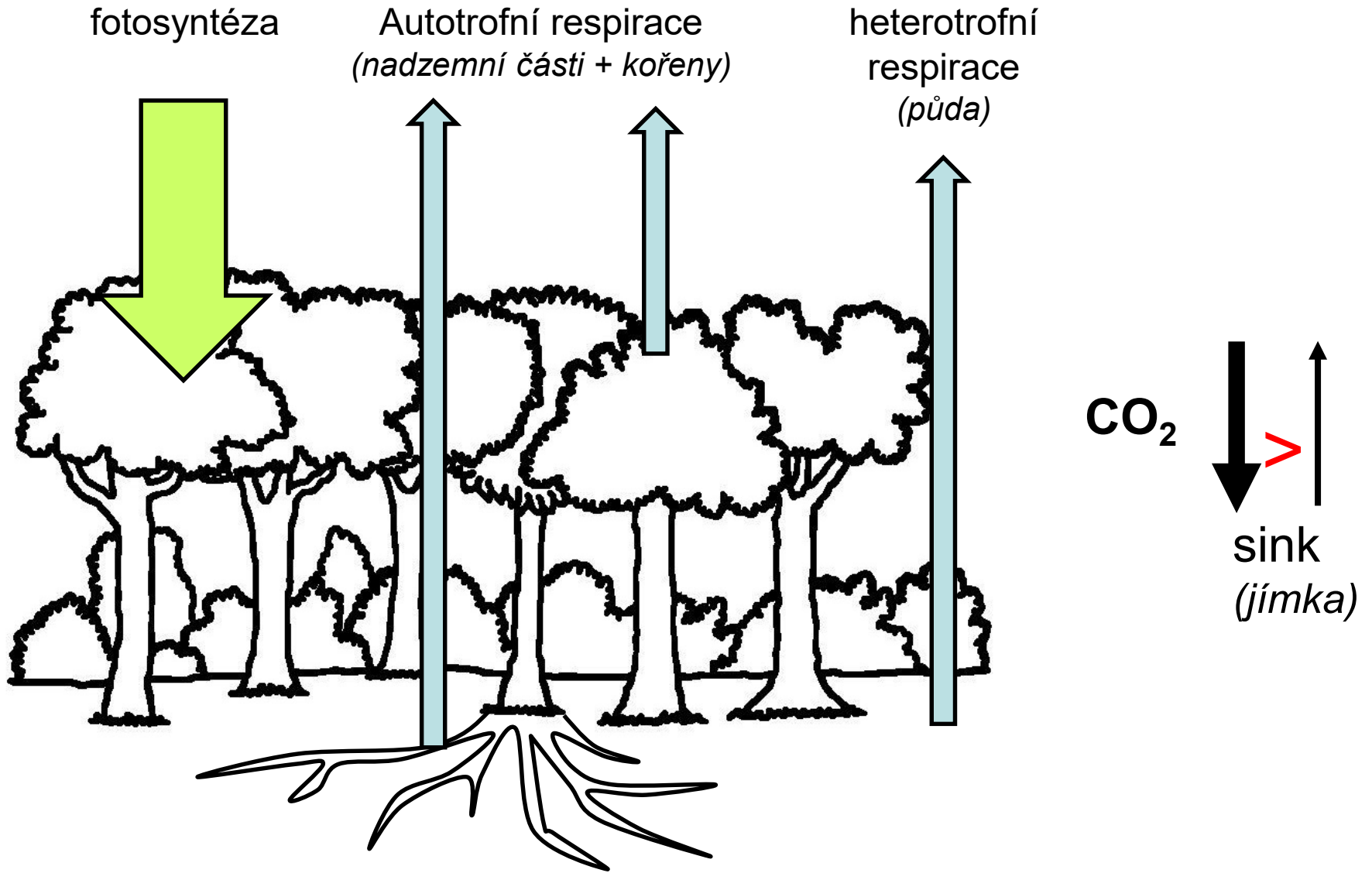


$$NEE \approx NEP$$





$$NEE = GPP - R_{\text{ekosyst}}$$

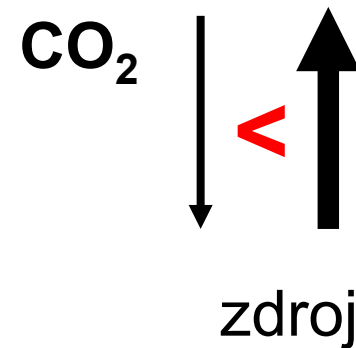
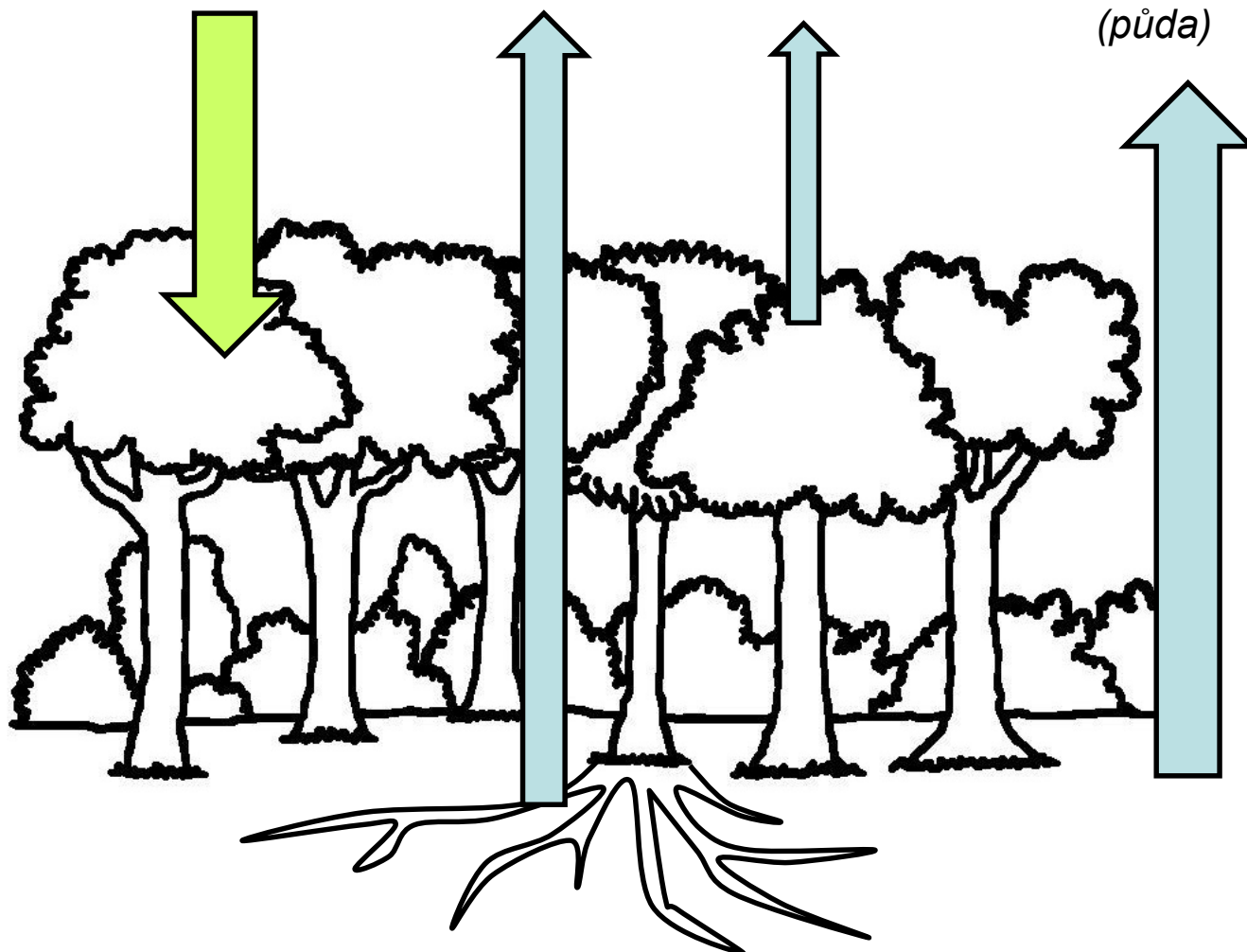


$$NEE = GPP - R_{\text{ekosyst}}$$

fotosyntéza

Autotrofní respirace
(nadzemní části + kořeny)

heterotrofní
respirace
(půda)



$$NEE = GPP - R_{\text{ekosyst}}$$

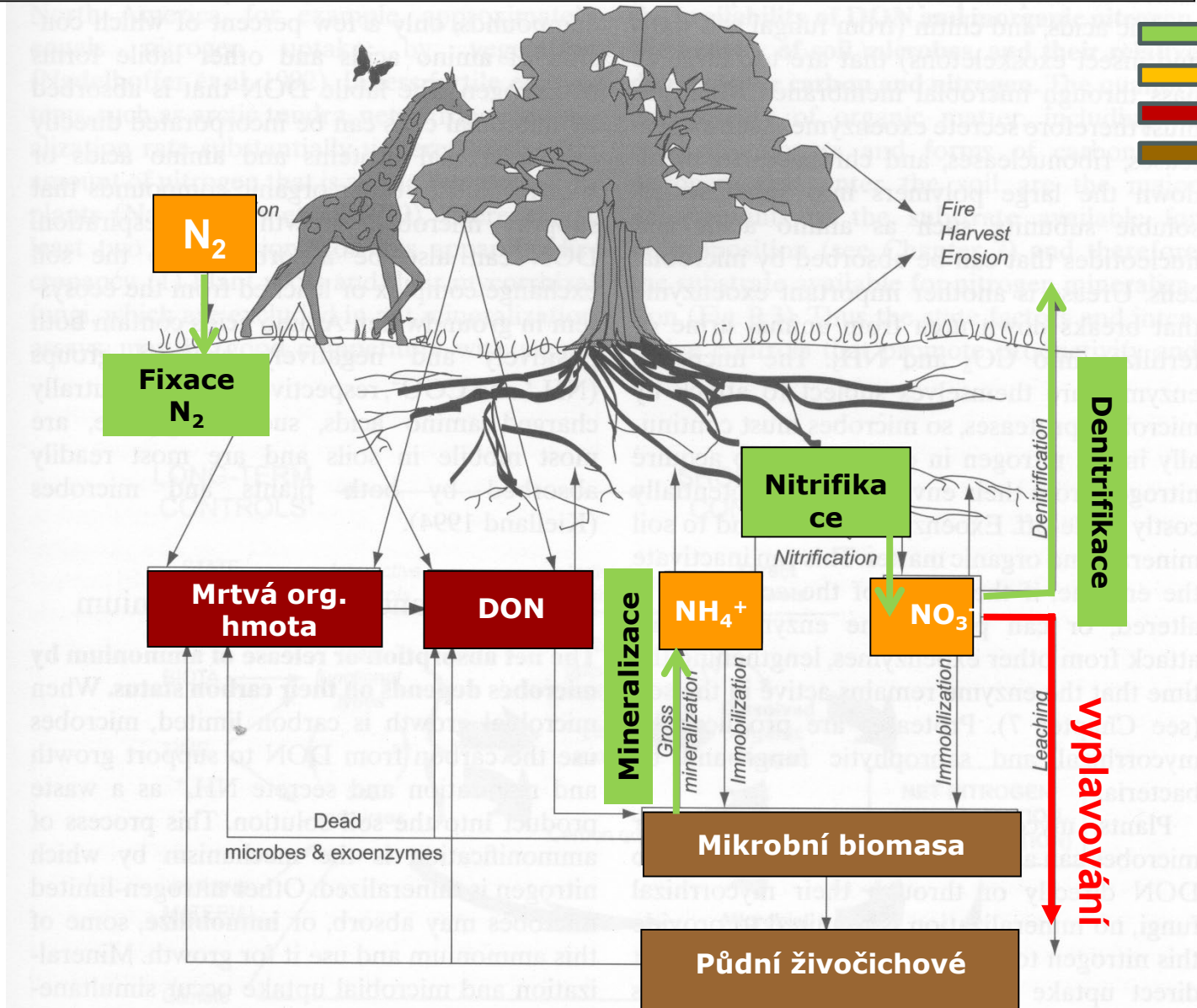
Shrnutí NEE (Net Ecosystem Exchange)



- Sezónní změny v koncentraci CO₂ v atmosféře jsou odrazem NEE
- Mokřady a chladné arktické/alpínské ekosystémy C pohlcují (nízký rozklad organické hmoty a nízká respirace půdy)
- Agroekosystémy a obecně ekosystémy po disturbancích jsou zdrojem C (rychlý rozklad organické hmoty a vysoká respirace)

Cyklus dusíku

Zjednodušený terestrický cyklus N



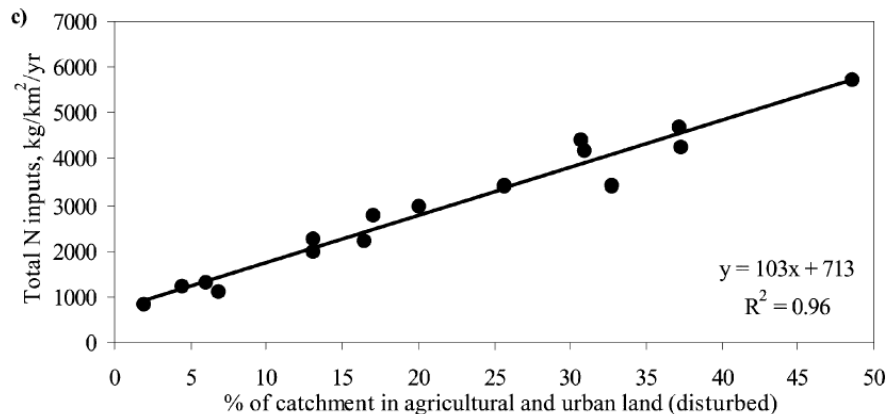
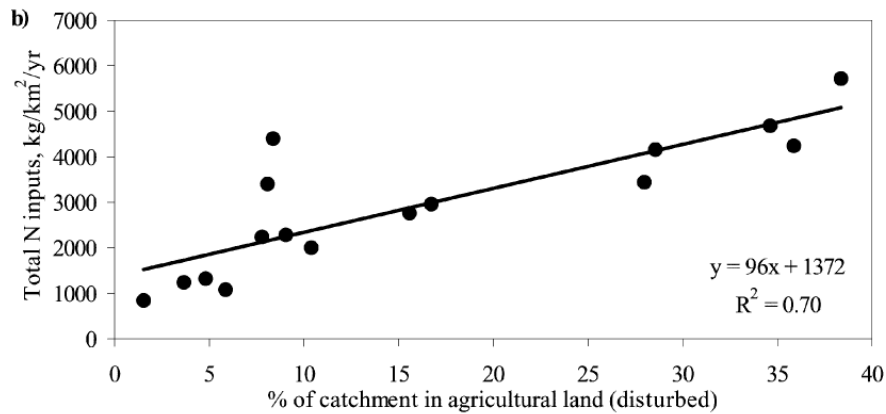
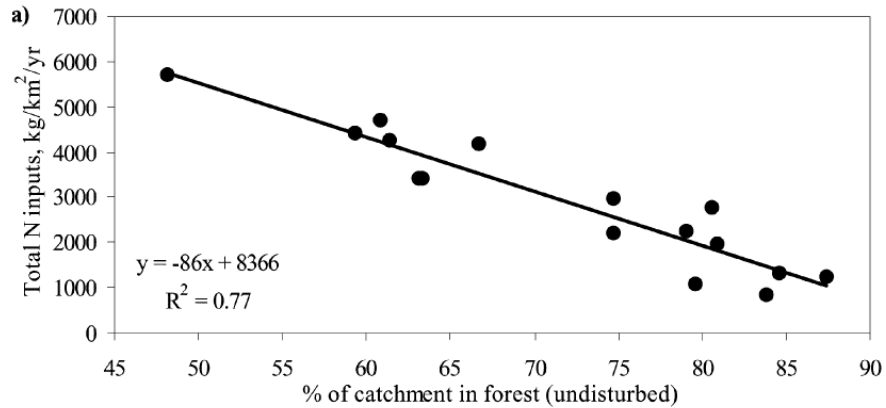
- procesy
- Zásobník min N
- Zásobník org N
- N v biomase

Půda je nejdůležitějším místem přeměn N

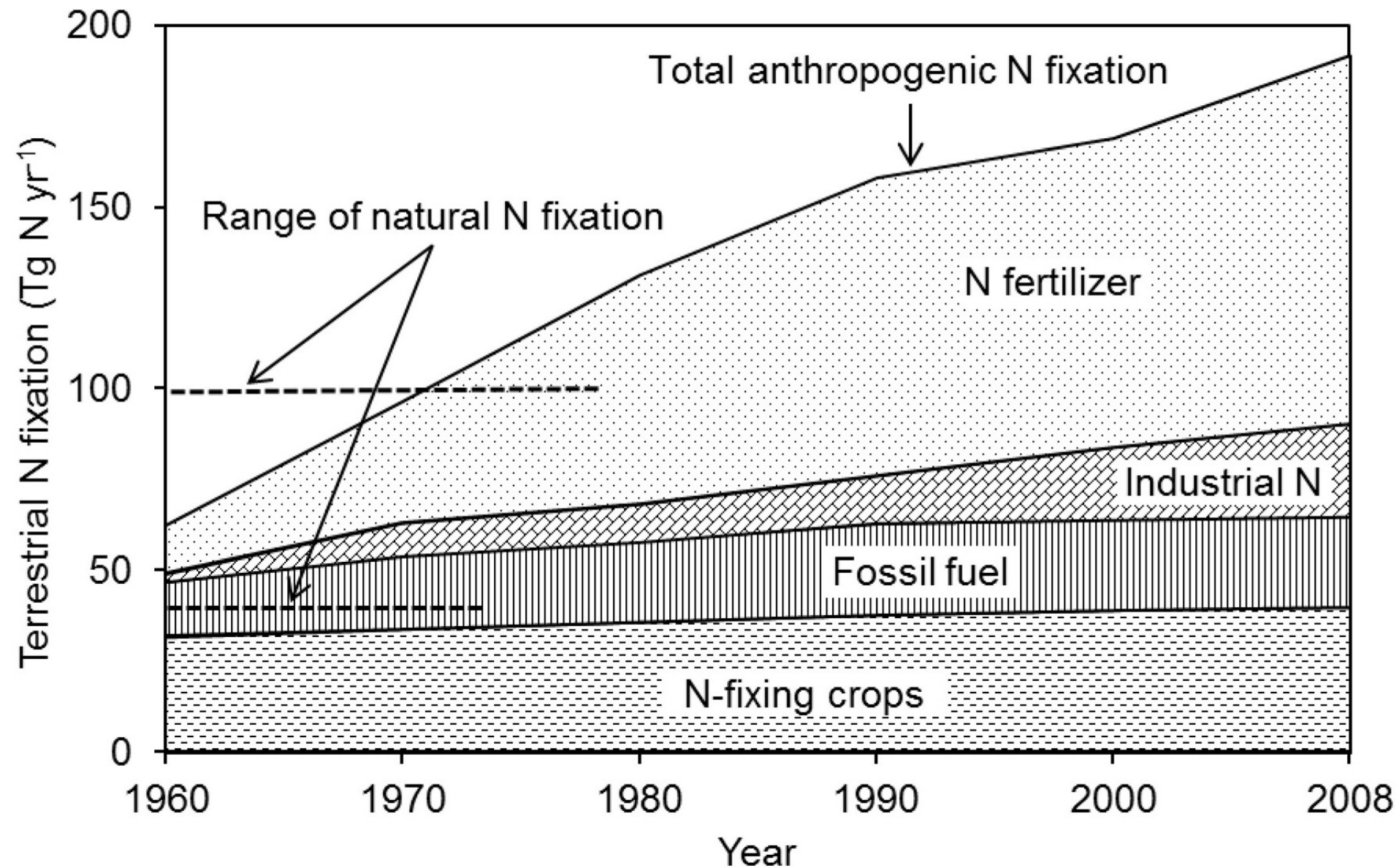
Propojení cyklů C a N?

Vliv hospodaření na vyplavování N

Vyplavování N do povrchových vod



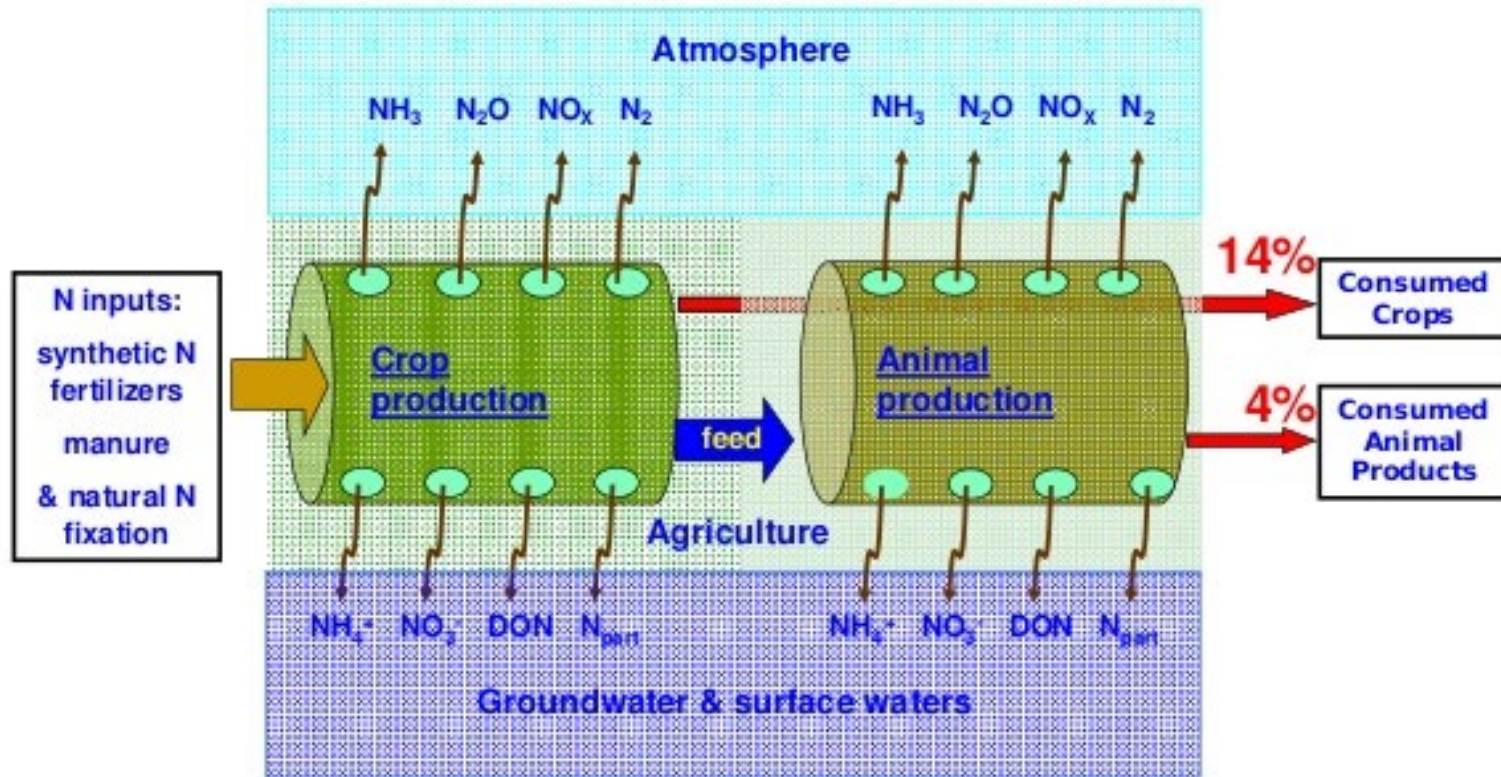
Vyplavování N do povrchových vod a jeho kolísání v čase je **významně ovlivněno způsobem využití krajiny.**



N fixace = přeměna N₂ na „reaktivní sloučeniny“ ((NH₄⁺, NO₃⁻, NO_x.....)

Velké ztráty reaktivních forem N z půdy i při chovu dobytka

Nitrogen: A Very Leaky Element



Reaktivní forma N = oxidy N, organický N, minerální N

a proto má na ztráty N vliv délka potravního řetězce

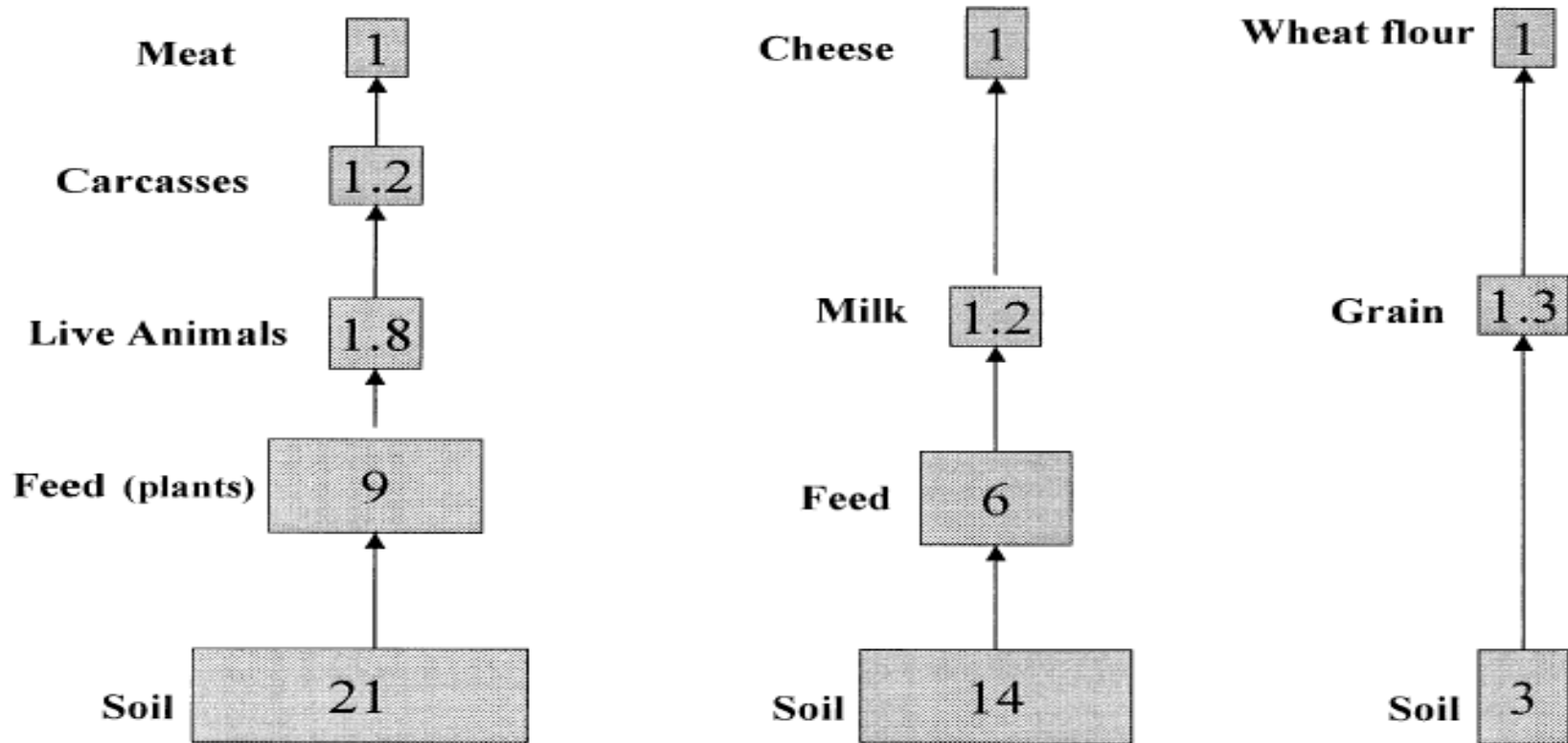


Figure 7. A diagram of flow of reactive N from application to soil through intermediary plant and animal products to produce a unit of edible protein N. The numbers indicate of amount of N. One g N corresponds to ~6.25 g protein, ~35 g meat, ~200 g milk or ~50 g wheat flour (Bleken & Bakken 1997).

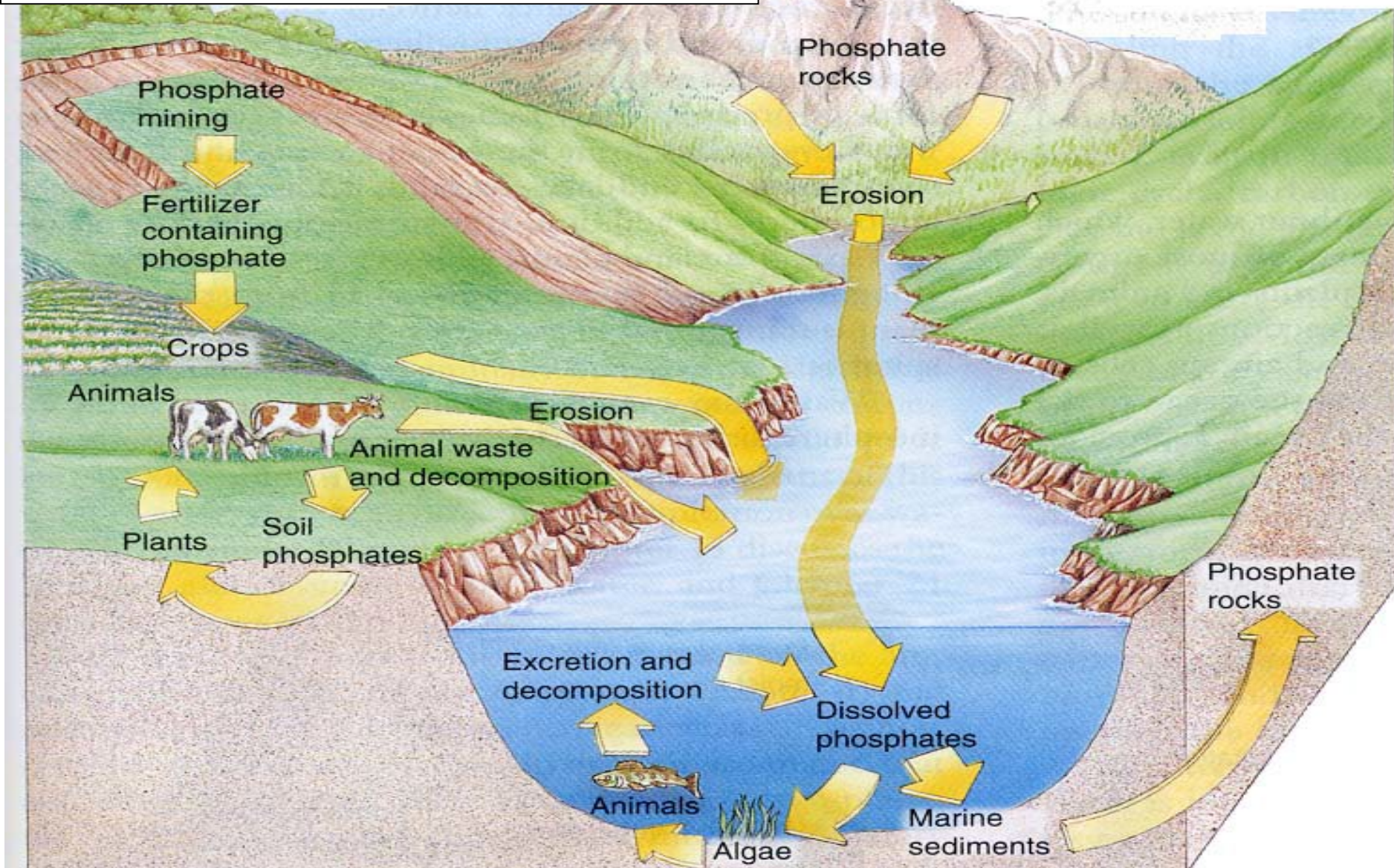
Shrnutí koloběh N



- koloběh N je komplikovaný díky tomu, že N slouží jako živina, jako donor i akceptor elektronů
- nejdůležitějšími procesy transformace N jsou:
 - (i) fixace N_2 , zabudování reaktivních forem N do biomasy,
 - (ii) mineralizace N,
 - (iii) nitrifikace a denitrifikace
- objevení výroby N hnojiv znamenalo zelenou revoluci a zdvojnásobení přirozené fixace N
- více než polovina aplikovaných N hnojiv se ztrácí nitrifikací a denitrifikací
- na ztráty N má celosvětově vliv délka potravního řetězce
- atmosférické depozice N (a S) mají významný vliv od poloviny 19. století, způsobují tzv. saturaci ekosystémů N a vyplavování z ekosystémů, ale i acidifikaci a degradaci půd.
- N se z půd vyplavuje především ve formě nitrátů a rozpuštěné organické hmoty; nitráty s sebou odnáší živiny

Cyklus **fosforu** v suchozemském ekosystému

Globální cyklus fosforu



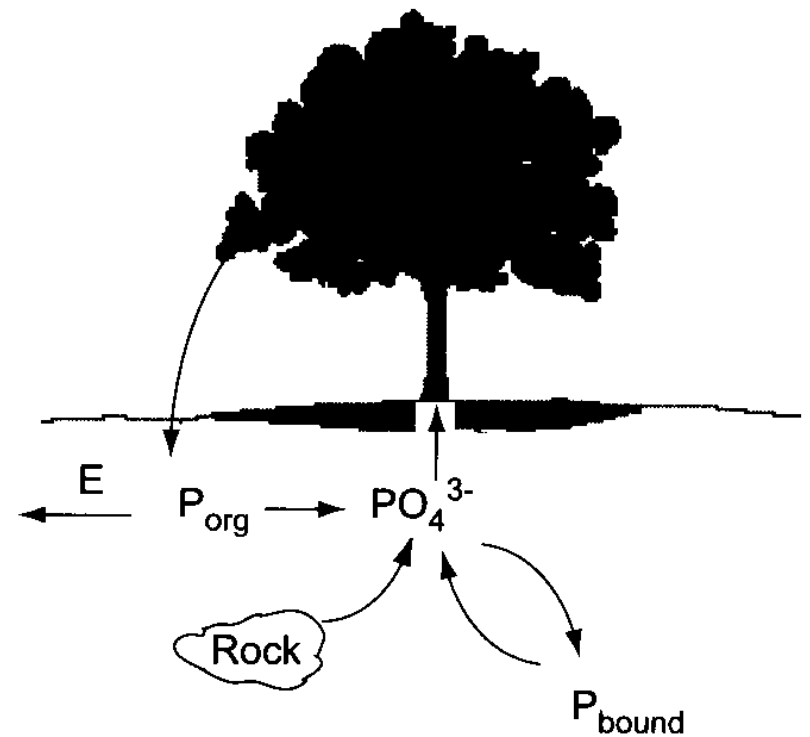
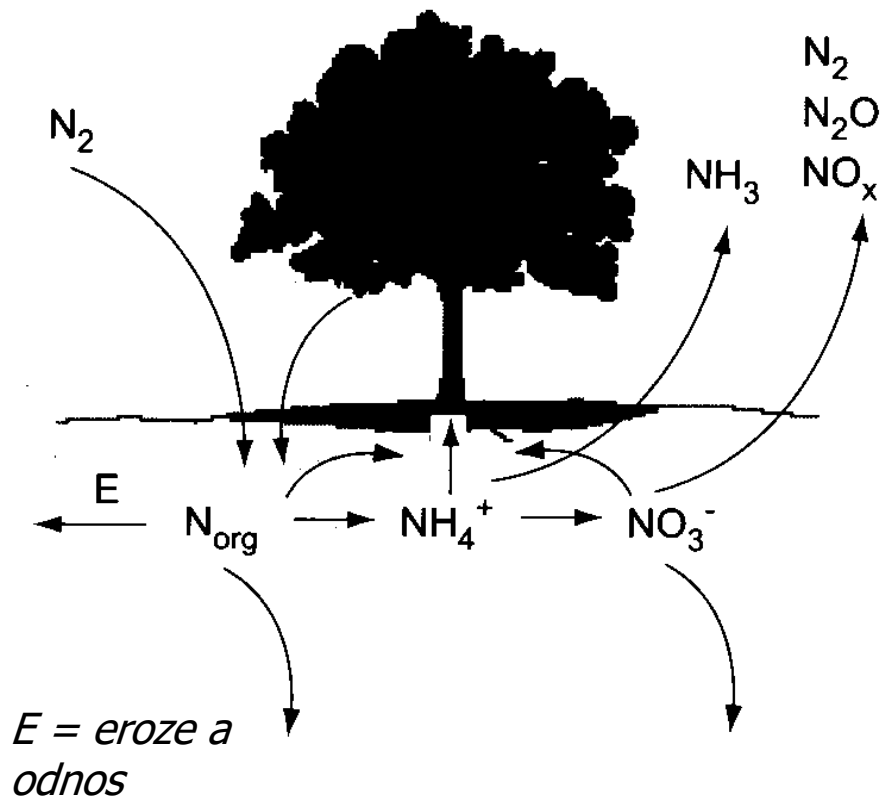
Cyklus P souhrn:

- Sloučeniny P nejsou na rozdíl od cyklu C, N a S ve vzduchu
- P cyklus je nejpomalejší z cyklů
- Nejvíce P je v horninách, a oceánském sedimentu

Vliv člověka:

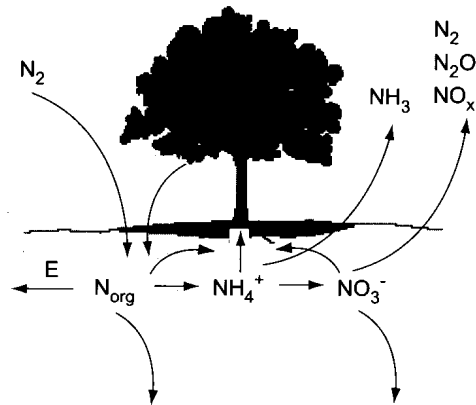
- zvýšené hnojení - odtok z půdy a eutrofizace vod (80% používaných P hnojiv je ze sedimentů)
- odtok odpadních vod bohatých na P)
- používání změkčovadel
- odstraňování P z odpadních vod chemickou precipitací obtížné – intenzivní výzkum zaměřený na biologické odstraňování P
- Při zachování současné produkce P hnojiv -zásoby na 93- 290 let (pozor odhady nepřesné)

Cyklus P - srovnání s cyklem N

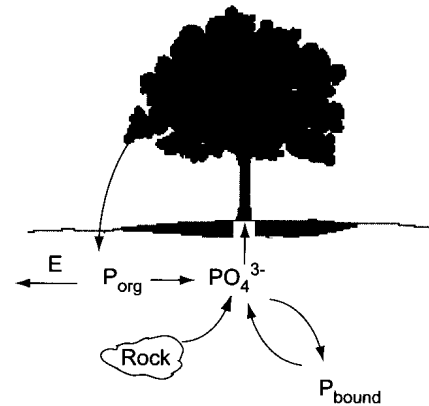


Proč je cyklus N složitý a cyklus P jednoduchý?

Cyklus P - srovnání s cyklem N



N je využíván pro tvorbu biomasy a jako donor a akceptor elektronů v energetickém metabolismu



P je využíván jen pro tvorbu biomasy (organických látek včetně ATP)

S a všechny prvky, které slouží pro tvorbu org. látek i jako donory/akceptor elektronů v energetickém metabolismu mají složitý koloběh

Cyklus P souhrn:

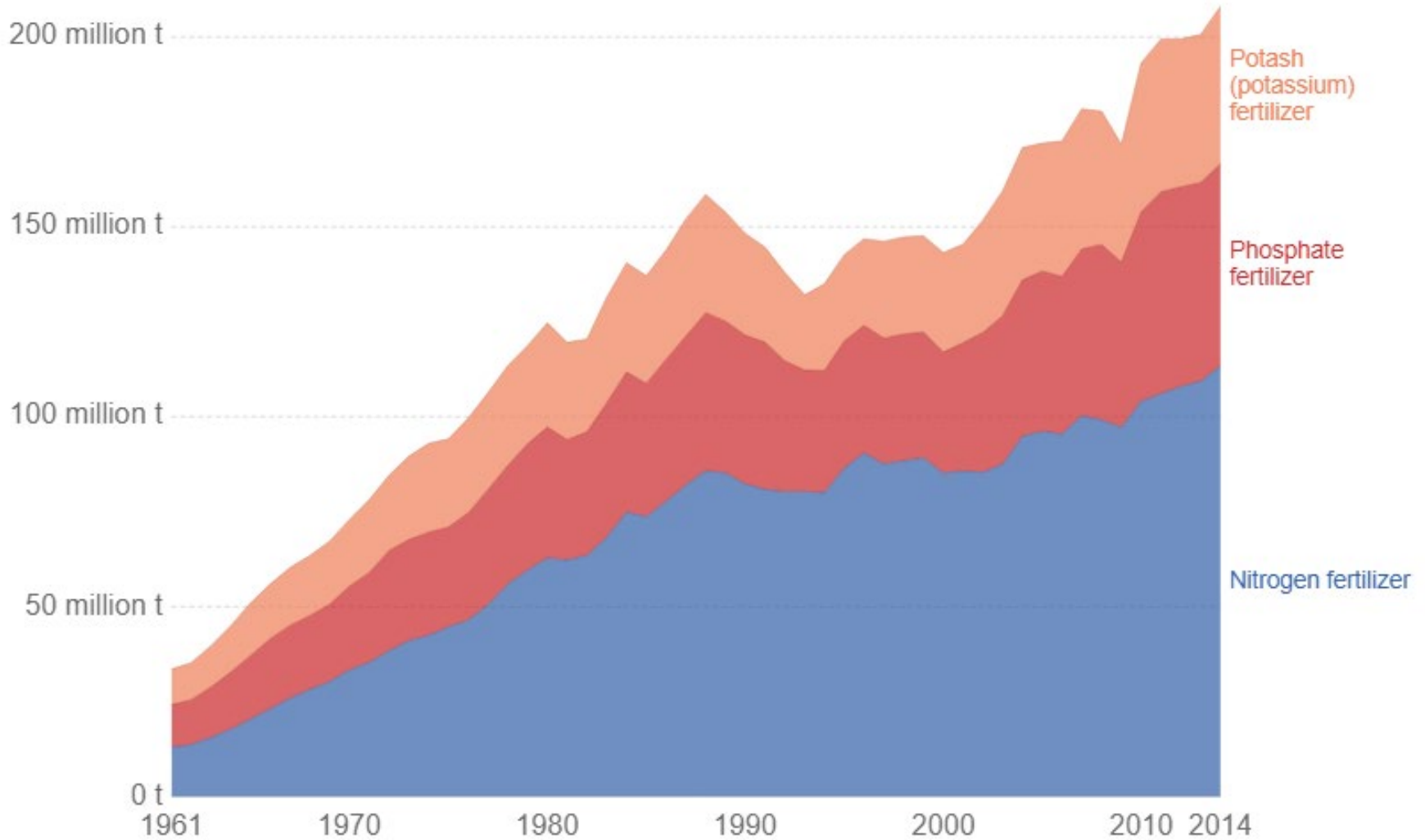
- Sloučeniny P nejsou na rozdíl od cyklu C, N a S ve vzduchu
- P cyklus je nejpomalejší z cyklů
- Nejvíce P je v horninách, a oceánském sedimentu

Vliv člověka:

- zvýšené hnojení - odtok z půdy a eutrofizace vod (80% používaných P hnojiv je ze sedimentů)
- odtok odpadních vod bohatých na P)
- používání změkčovadel
- odstraňování P z odpadních vod chemickou precipitací obtížné – intenzivní výzkum zaměřený na biologické odstraňování P
- Při zachování současné produkce P hnojiv -zásoby na 93- 290 let (pozor odhady nepřesné)

Total fertilizer production by nutrient, World

Total fertilizer production by nutrient type (nitrogen, phosphate and potash/potassium), measured in tonnes per year.



Source: UN Food and Agricultural Organization (FAO)

OurWorldInData.org/fertilizer-and-pesticides/ • CC BY