

EKOSYSTÉM

Ekosystém = funkční ekologická jednotka, ve které dochází k interakcím mezi mezi biologickými, fyzikálními a chemickými složkami prostředí.

Tento pojem je zaměřen na komplexní vzájemné vztahy mezi rostlinami, živočichy a abiotickými faktory jejich habitatu.

Koncepce ekosystému je mnohem širší než koncepce společenstva.

ES je základní strukturální a funkční celek biocenózy a jejího prostředí.

Je zde trvalá výměna hmoty a energie mezi živou hmotou a neživou součástí přírody.

ES je základní funkční jednotka přírody.

Příklady: les, vřesoviště, skalnatá step, tůň, řeka, jezero, moře

Hranice ES = geomorfologie, typ vegetace

ES = **suchozemské versus vodní**

Jednotlivé ES se liší:

- biologickou diverzitou
- stavbou a strukturou živých a neživých složek
- rychlostí koloběhu látek a toku energií

EKOSYSTÉM

Z historie studia ES:

19. stol. = mnoho poznatků o **taxonomii a systematice** ⇒ vznikají systémy organismů

2 směry ve vývoji ekologie ⇒ poznání, že rostliny a živočichové vytvářejí přirozená seskupení s dobře rozlišitelnými členy; vznikají pokusy a klasifikaci biologických společenstev

⇒ poznání, že organismy jsou přímo i nepřímo spojeny potravními vztahy; (např. člověk byl lovcem i kořistí)

Vzniká **systémový přístup ke studiu** = studium vzájemně se ovlivňujících populací jako jednoho systému, jako souboru částí.

Koncepce determinismu: na úrovni souborů více druhů (multispecies) platí stejná pravidla jako na úrovni organismu = individua.

Příklady: Není nutno znát podrobně anatomii slona a přesto je možné popsat jeho vztah k prostředí. Naproti tomu, podrobné znalosti jednotlivých travin, hmyzu, myši a ještěrek nám nemusí říci nic o prérii jako celku !

Rozvoj studia biologických společenstev !

(2 rozdílné koncepce)

F.E. Clements (1916, 1936) = typologie rostlinných společenstev podle typu klimatu, společenstva považoval za jakýsi superorganismus. Systém jako celek má vlastnosti, které nelze odvodit od vlastností jeho částí.

H.A. Gleason (1926, 1939) = systém jako celek má vlastnosti, které jsou výsledkem, souhrnem, interakcí mezi jeho částmi.

EKOSYSTÉM

Charles Elton (1927) = koncepce, že biologická společenstva jsou organizována podle vzájemných potravních vztahů jejich členů. Zavedení pojmu potravní řetězec (food chain).
(„Velké ryby požívají malé ryby, malé ryby požívají vodní hmyz se živí rostlinami a bahnem“ – čínské přísloví)

A.G. Tansley (1935) = navrhl pojem **EKOSYSTÉM** a definoval jej jako všechny živočichy a rostliny a jejich fyzikální interakce na určitém prostoru.

(Současná moderní ekologie chápe ES spíše jako jednotku toku energie, uhlíku či dalších biogenních prvků).

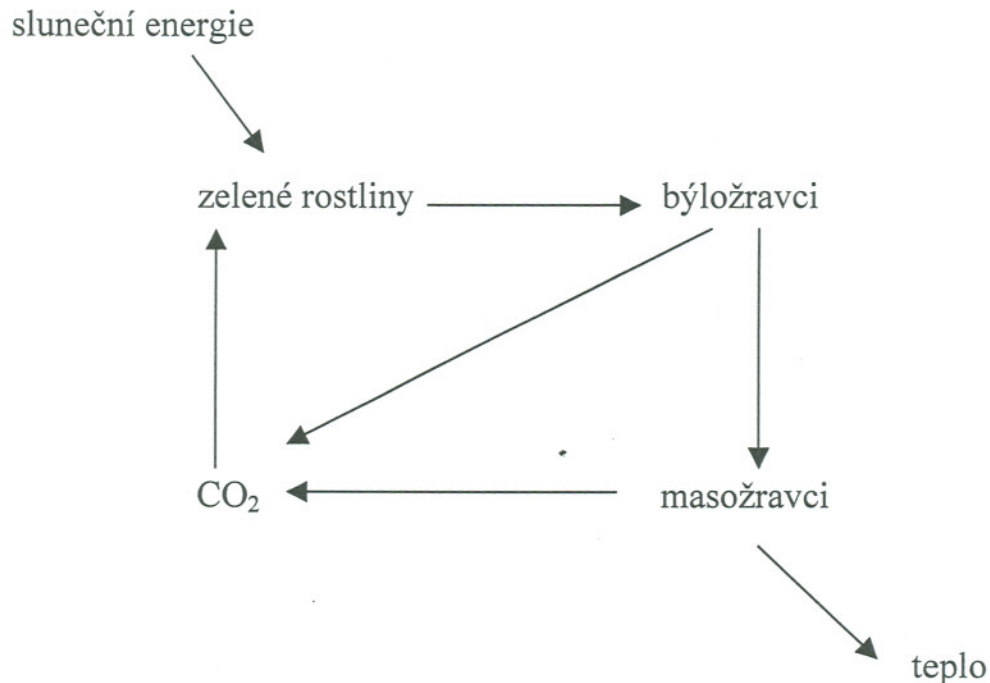
A.J.Lotka (1925) = považoval populace společenstva za termodynamické systémy. V principu to znamenalo, že každý systém může být znázorněn jako soustava rovnic vyjadřujících zákonitosti transformace hmoty mezi částmi tohoto systému.

(Například tato transformace zahrnuje asimilaci CO₂ do organických uhlovodíků zelenými rostlinami a spotřebu rostlin býložravci a živočichů masožravci)

Lotka věřil, že velikost systému a míra je transformace může být determinována principy termodynamiky, ve smyslu, že větší a rychlejší stroj spotřebuje více paliva, než stroj menší a pomalejší, a že stroj účinnější má nižší spotřebu, než stroj méně účinný. Ekosystém považoval za součást „světového stroje“ odpovědného za transformaci světelné energie dopadající na povrch Země.

EKOSYSTÉM

Lotkův diagram ekosystému



Raymond Lindeman (1942) = zpopularizoval myšlenku, že ekosystém je systém transformující energii, myšlenkově propojil koncepcce Eltona, Tansleyho a Lotky = ES je členěn na trofické stupně: ⇒ primární producenti, býložravci a masožravci.

Eugene P. Odum (1953) = pozornost na studium energetiky ekosystémů, energie a její transformace a toky byla rozhodující při studiu ekosystému.

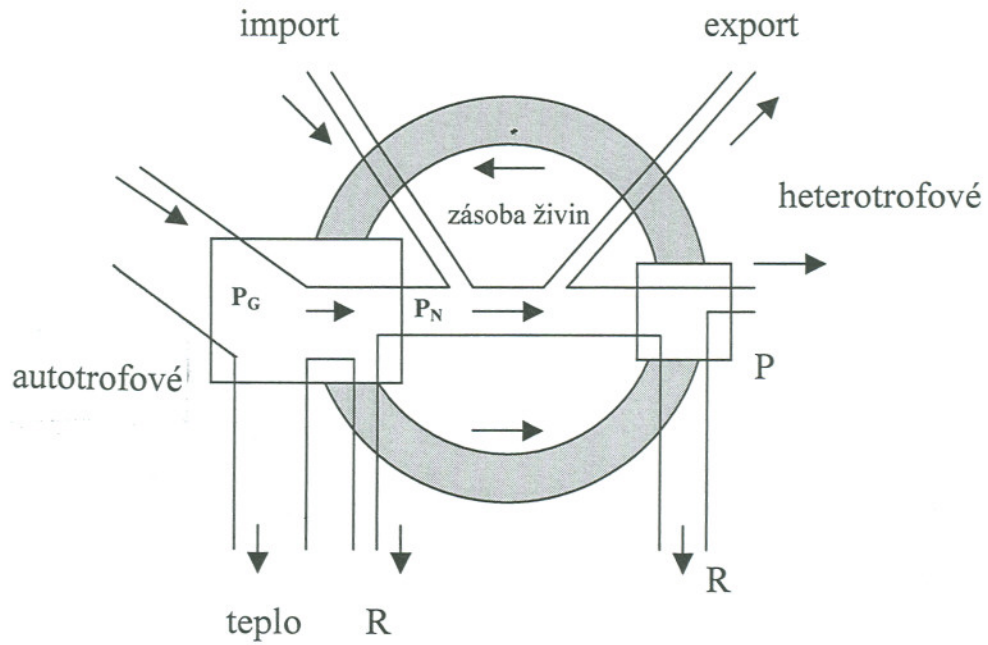
1960 –1970 = systémový přístup ke studiu ekosystémů, matematické modelování.

G.C. Weinberg (1975) = ekosystémy jsou příliš komplexní, aby je bylo možné studovat pomocí systémů diferenciálních rovnic (tj. Lotka)

T.F.H. Allen a T.B. Starr (1982) = navrhuji hierarchické studium ekosystémů.

EKOSYSTÉM

Odumův diagram ekosystému



P_G = hrubá produkce autotrofních organismů

P_N = čistá produkce autotrofní organismů

P = produkce heterotrofních organismů

R = respirace

EKOSYSTÉM

Struktura a funkce ekosystému

- biotop
- producenti
- konzumenti
- destruenti

Biotop = souhrn všech neživých součástí přírody, prostředí biocenózy (geol. podklad, půda, vodní a klimatický režim aj.) Souhrn všech edafických, hydrických a klimatických složek prostředí = ekotop.

Producenti = autotrofní organismy = zelené rostliny, chemotrofní bakterie, nitrifikační, železité, metanové aj. bakterie.

- primární produkce organické hmoty
- zdroj potravy pro heterotrofy

Konzumenti = heterotrofní makrokozumenti = živočichové a nezelené rostliny

Destruenti = heterotrofní mikrokozumenti (saprofágové) = bakterie, plísně, houby.

- rozklad organické hmoty
- uvolnění minerálních živin

Základní funkce ES je koloběh a jednosměrný tok energie !

Zákony termodynamiky:

1. zákon termodynamiky = zákon zachování energie:

Množství energie, které do systému vstupuje je stejné jako to, které ze systému vystupuje.

2. zákon termodynamiky = zákon o transformaci energie:

Při přeměně energie z jedné její formy na druhou se část energie degraduje na neuspořádanou formu a uvolňuje se jako teplo.

EKOSYSTÉM

Produktivita versus biomasa

Produktivita = míra s jakou je na jednotku plochy nebo objemu produkována rostlinami biomasa.

Biomasa = celkové množství živé hmoty na určitém prostoru v daném čase.

?

Jaký je poměr P a B v různých typech ekosystémů ?

Příklady: lesy = 0.042 kg / rok
jiné typy terestrických ES = 0.29
vodní ES = 17.0

Všechna biotická společenstva závisí na zdrojích energie !

U většiny terestrických společenstev je tímto zdrojem fotosyntéza.

Autochtonní produkce = organická hmota a energie se generuje v prostoru osídleném daným společenstvem.

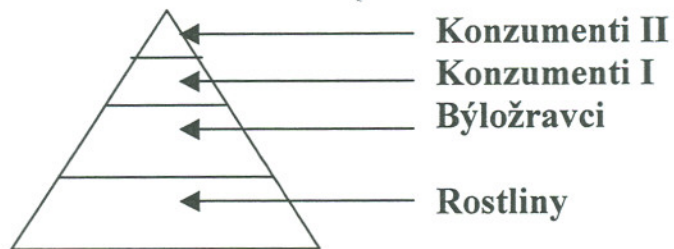
Allochtonní produkce = organická hmota a energie přichází do daného systému zvenku (např. vodní ES, přenos větrem)

Význam těchto dvou typů zdrojů závisí na velikosti společenstev.

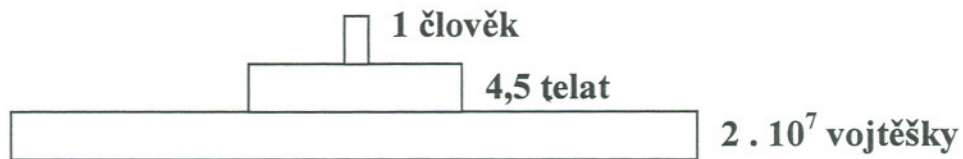
Příklady: malá vodní tělesa, oceány, brakické vody, šelf

EKOSYSTÉM

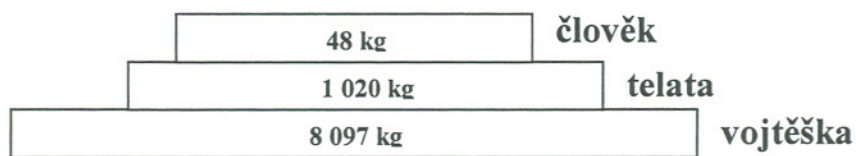
Ekologické pyramidy



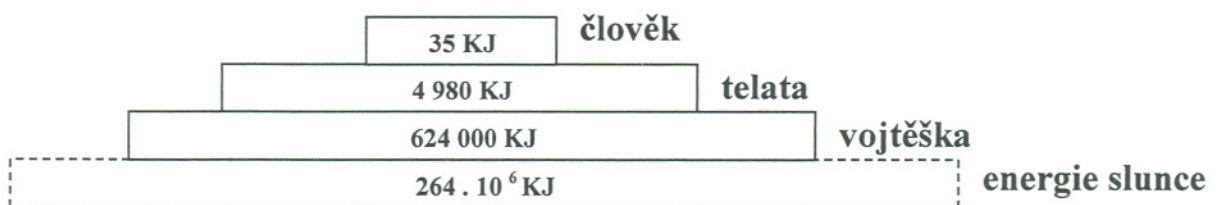
Pyramida početnosti



Pyramida biomasy

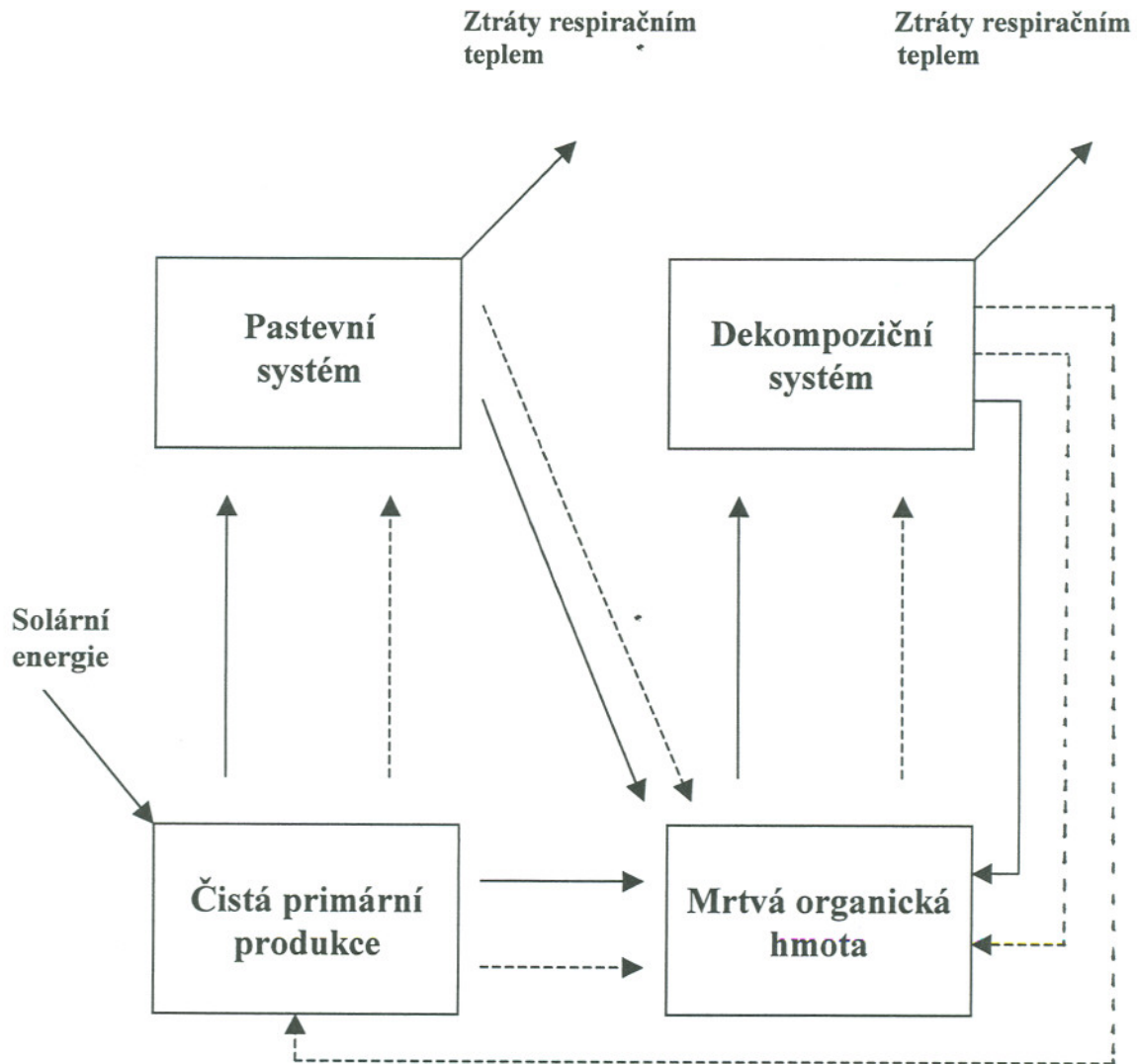


Pyramida energie



EKOSYSTÉM

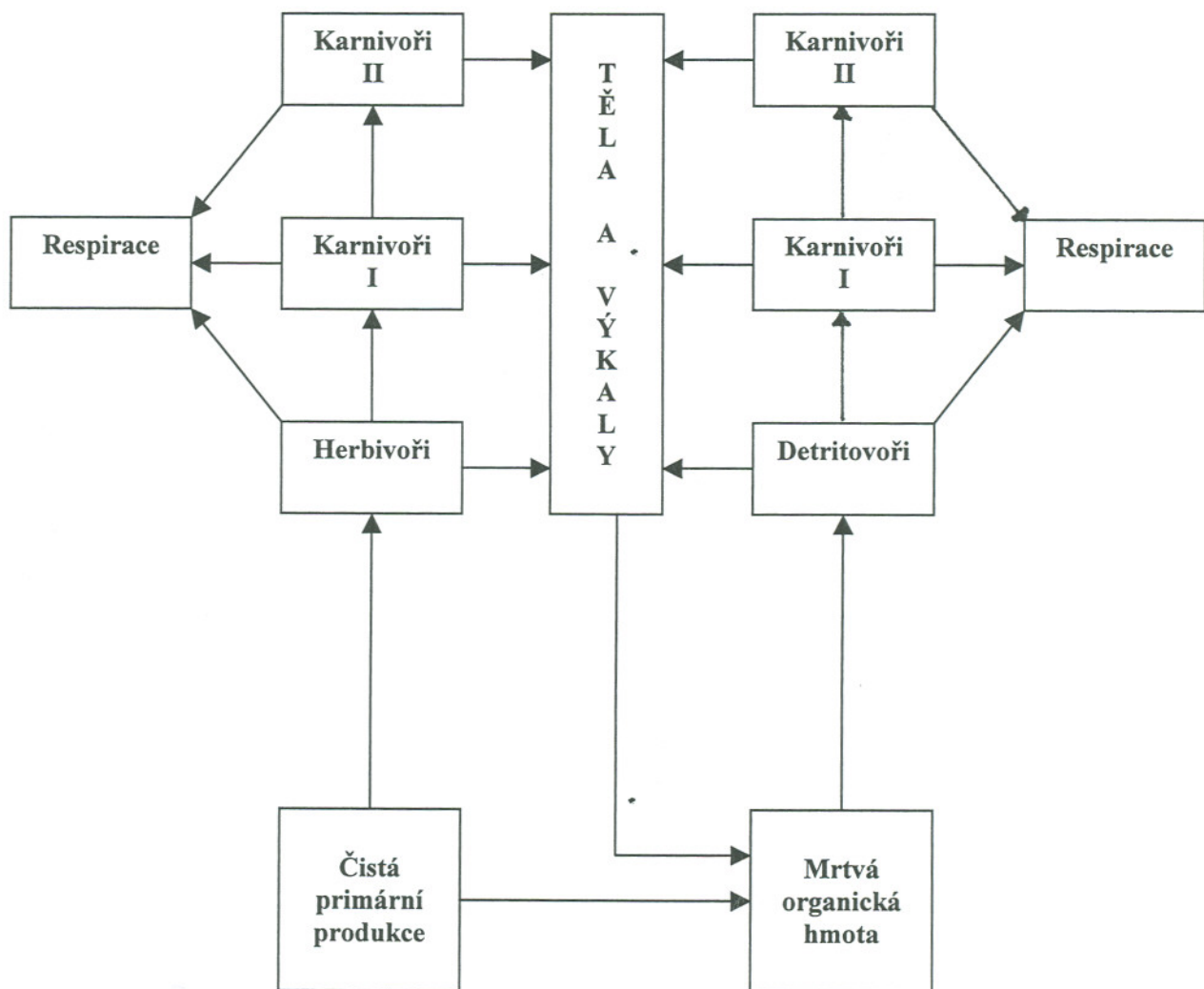
Vztah mezi tokem energie (-----) a cykly živin (- - -)



EKOSYSTÉM

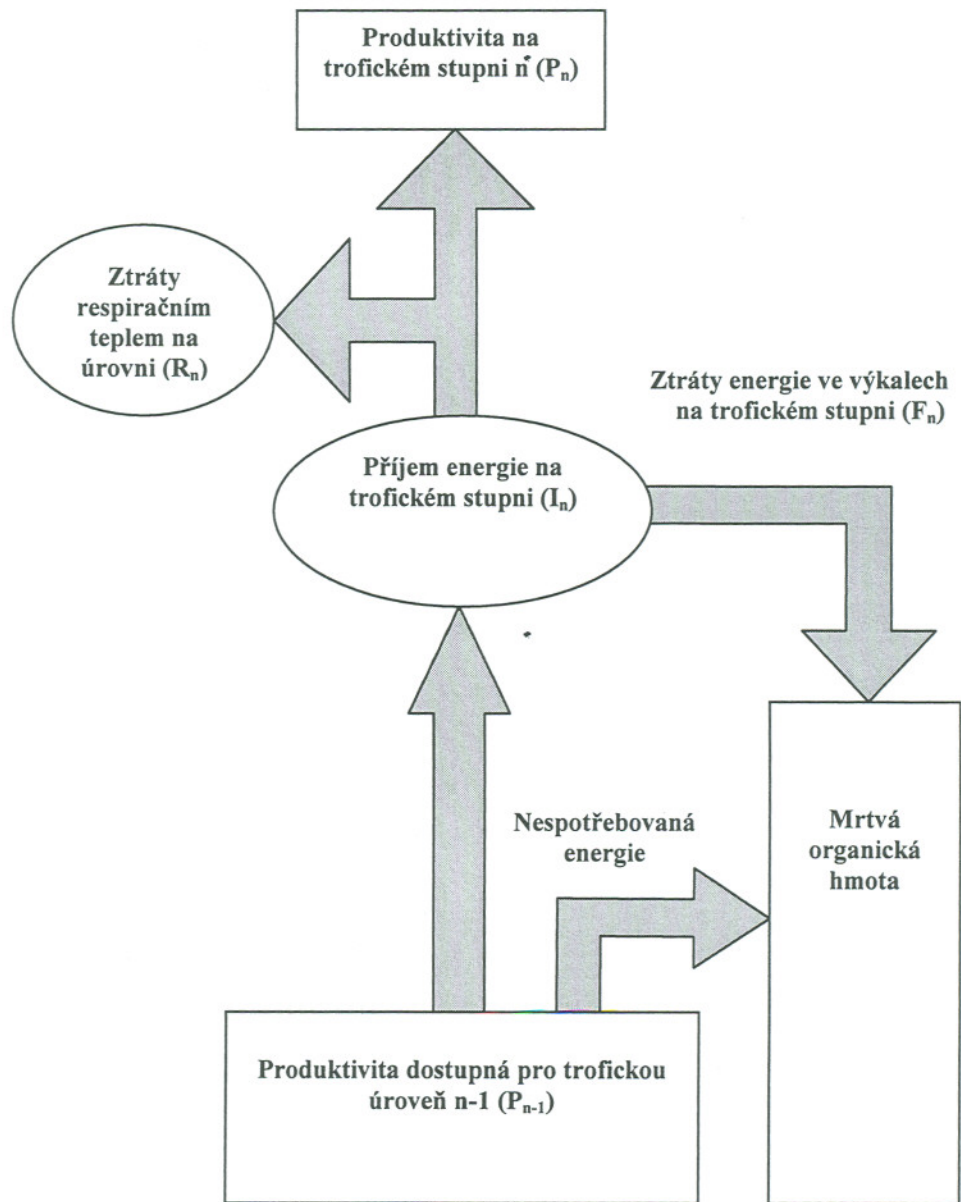
Tok energie společenstvem

Model trofické struktury a toku energie terestrickým společenstvem



EKOSYSTÉM

Tok energie trofickými kompartmenty ES



EKOSYSTÉM

Tok energie společenstvem

Obr.) Model trofické struktury a toku energie terestrickým společenstvem

Význam dekompozičního systému pro energetiku ES !

Příklady:

Travné ES 29% NPP konzumováno herbivory
2 % z tohoto tvoří sekundární produkce

Z každých 100 J NPP jde 55 J do dekompozičního systému a pouze 1 J je využit v pastevním řetězci!

Dekompoziční systémy jsou odpovědné za většinu sekundární produkce !

- Pastevní systém je nejvýznamnější u planktonních společenstev, kde je velká část NPP konzumována v živém stavu a asimilována s vysokou účinností.
- V terestrických systémech je pastevní typ řetězce méně významný díky nízké účinnosti spotřeby a asimilace herbivorů.
- Pastevní systémy téměř neexistují v malých potocích a rybníčcích, kde je nízká primární produkce. Tyto systémy závisí na energii z vnějšku, z terestrického ES.
- Podobně společenstva bentosu hlubin moří rovněž závisí na přísunu energie z horních fotosynteticky aktivních vrstev oceánu.
- Zdrojem energie jsou zde mrtvá těla fytoplanktonu, bakterií, živočichů a výkaly klesající ke dnu ze svrchních společenstev žijících v eufotické zóně.

EKOSYSTÉM

Primární a sekundární produkce

Těla živých organismů na jednotce plochy tvoří biomasu: tj. množství organismů na jednotku plochy (nebo objemu) obvykle vyjádřenou v jednotkách energie ($J \cdot m^{-2}$) nebo sušiny (např. v tunách $\cdot ha^{-1}$).

V případě terestrických společenstev je většina biomasy tvořena vegetací.

Primární produkce společenstva je míra s jakou rostliny, primární producenti, produkuje biomasu na jednotku plochy. Vyjádřena je obvykle v jednotkách energie ($J \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$) nebo v sušině $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$

Celková energie fixovaná fotosyntézou tvoří tzv. hrubou primární produkci (GPP = gross primary productivity).

Část této energie ztrácí společenstvo jako respirační teplo (R).

Rozdíl mezi GPP a R je čistá primární produkce (NPP = net primary productivity) a představuje množství nové biomasy, která je k dispozici heterotrofním konzumentům (baktérie, houby, živočichové).

Míra produkce biomasy heterotrofy se nazývá sekundární produkce.

Trofická struktura společenstva zahrnuje 2 systémy: 1) spásače
2) dekompozitory

Dekompozitoři rozkládají výkaly a mrtvá těla a vracejí hmotu zpět do oběhu ve stavu dostupném primárními producenty.

Výjimky jsou známy pouze tam, kde je organická hmota odnášena ze stanoviště pryč (např. v potocích a řekách) a nebo tam, kde místní abiotické podmínky neumožňují dokončení dekompozičních procesů. Zůstává tak nekompletně zmetabolizovaná energií bohatá hmota jako například uhlí, ropa, rašelina.

EKOSYSTÉM

Primární produkce

Primární produkce = míra s jakou je na jednotku plochy (souš) nebo objemu (oceán) produkována rostlinami nebo chemoautotrofy biomasa.

Množství biomasy lze popsat jako množství chemické energie, sušiny nebo uhlíku.

Primární produkce je prvním článkem jakéhokoliv ekosystému.

Fotosyntéza = proces při kterém je energie světla použita k redukci kyslíčnicku uhličitého (CO₂) na cukry a jiné uhlovodíky a při kterém dochází k uvolňování kyslíku.



Fotosyntéza stojí na začátku všech typů potravních řetězců v ES, je základem života !

Globální čistá primární produkce (NPP):

- na pevnině = 120 · 10⁹ tun sušiny za rok
- v oceánu = 50 · 10⁹ tun za rok

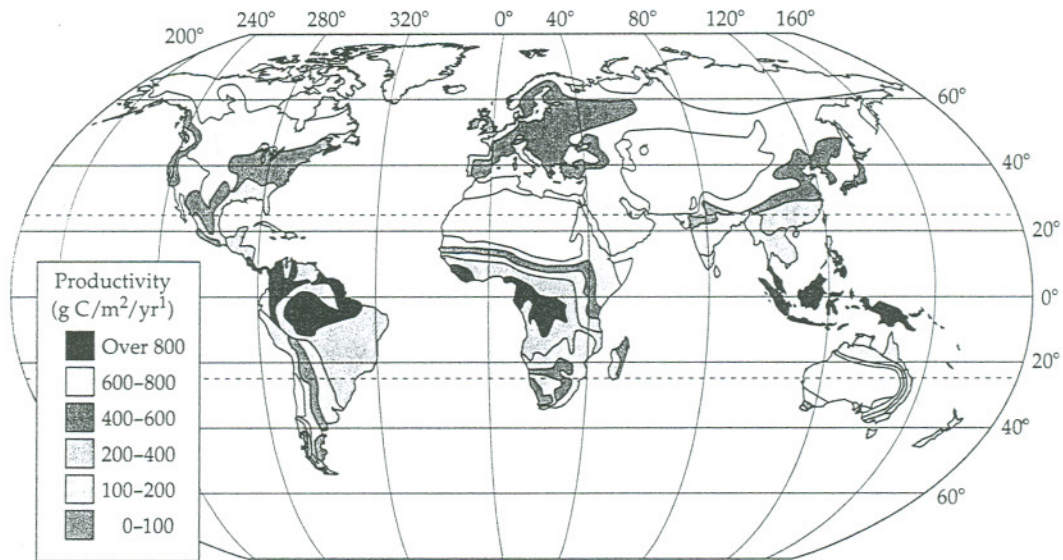
Nerovnoměrná distribuce produkce na Zemi !

30 % povrchu země a 90 % plochy oceánu má produkci menší než 400 g m⁻² rok⁻¹

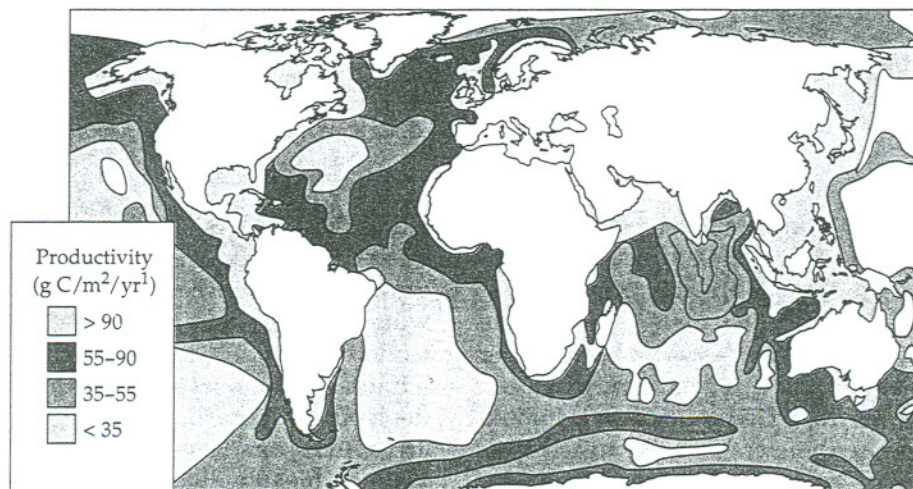
Nejvíce produktivní oblasti: bažiny, ústí řek, korálové útesy, zemědělská půda.

Obecně produkce klesá od rovníku k pólům (ne ale v mořích)

Limitující faktory: souše – teplota a světlo
oceány – koncentrace živin



(a)



(b)

Figure 4.14 Global net primary productivity. (a) Net primary productivity of the land. (b) Net primary productivity of the oceans. (*Ecology: Theory and Application*, by P. Stiling, © 1996. Reprinted by permission of Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.)

be noted that low species diversity does not equate with being biologically unimportant. The tundra is essential to the well-being of animals such as ducks, geese, seals, polar bears, and caribou.

Human activities in the tundra have been limited traditionally to harvesting pelts. Plans to expand oil-drilling operations in tundra regions threaten to be new sources of disturbance and pollution. One facet of the tundra biome that needs to be recognized is that, because of the extremely low growth rates of plants in this biome, biological recovery

from disturbance is extremely slow. For example, the tracks of a vehicle crossing tundra are visible for several decades.

Boreal forest

The boreal forests are the great fir forests of Canada and northern Eurasia. In North America, this vegetation type forms a biome that is defined very clearly by the seasonal expansion and contraction of the arctic and continental polar air masses (Figure

Table 4.1: The net primary productivity (NPP) of biomes (in grams carbon per square meter that is converted into plant matter per year). (*Ecology: Theory and Application*, by P. Stiling, © 1996. Reprinted by permission of Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River NJ.)

Biome	NPP (g C/m ² /yr)
Terrestrial systems	
Tropical rain forest	900
Tropical dry forest	675
Temperate evergreen forest	585
Temperate deciduous forest	540
Boreal forest	360
Tropical grasslands	315
Cultivated land (USA)	290
Chaparral	270
Prairie	225
Tundra	65
Desert	32
Extreme desert	1.5
Aquatic systems	
Swamp	1125
Algal beds and coral reef	900
Estuaries	810
Upwelling zones	225
Continental shelf	162
Open ocean	57

4.15). In the winter months, the cold polar air extends as far south as the Great Lakes, and this defines the southern border of the boreal forest. In the summer, high-pressure systems over the eastern United States prevent the southward movement of the polar air. The cold air forms a front around the latitude of the southern edge of the Hudson Bay. The biomes vary according to the exposure to the polar air. If the region has polar air all the year round, it is tundra; if it receives polar air in the winter and air masses from the south in summer, it is boreal forest.

Thus the boreal forests have very cold winters but relatively warm summers. Trees can survive under such a regime, though they almost all have needles rather than broad leaves. Many trees of the boreal forest look like Christmas trees and not like oak trees because the overall shape of the tree, a cone, is good for shedding snow. Other tree

designs, such as the upward sloping branches of an oak, would trap snow. The sheer weight of snow piled on such branches would cause them to break. Damaged trees are poor competitors; hence the only growth form that will work under these conditions is one that does not accumulate snow. The few broad-leaved trees that do grow in the boreal forests, such as birch, aspen, and poplar, do not form large spreading crowns like those of oak or beech trees.

Another factor in adaptive morphology is leaf shape. Why do most of the trees in a boreal forest have needles rather than leaves? A leaf is a solar panel, the collector of energy for conversion by photosynthesis. The evolution of needles reflects a balance between energy expenditure to make a new leaf and the need to withstand cold. To defy damaging frosts, the leaf must be strong and rich in lignin. The lignin stiffens the cell wall and helps the cell

EKOSYSTÉM

Sekundární produkce

Sekundární produkce = je míra s jakou individuální populace nebo jiné ekologické jednotky náležející do téže trofické úrovně, akumulují biomasu nebo energii tím, že produkují nové somatické a/nebo reprodukční tkáně.

Je to produkce heterotrofních organismů, kde tito jsou začlenění do pastevních nebo dekompozičních potravních vztahů.

Velikost míry sekundární produkce je určující pro počet trofických úrovní a odtud pro délku potravních řetězců a tím i strukturu společenstev.

Základní schéma:

primární producenti:

rostliny

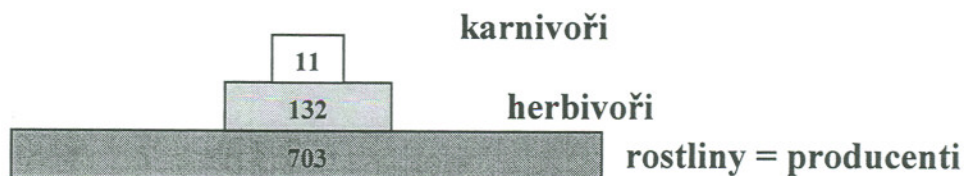
sekundární producenti:

byložravci

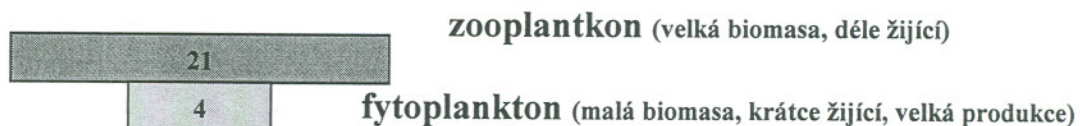
karnivoři

Tento vztah určuje základní strukturu všech typů společenstevch.

Pyramidová struktura společenstva:



Inverzní pyramida:



EKOSYSTÉM

Potravní síť

Jednou ze základních charakteristik ekosystému je různý počet rozmanitých druhů v kterémkoliv trofickém stupni.

Obecně lze říci, že každý trofický stupeň je obsazen mnoha různými druhy, avšak jen některé z nich na každém stupni dominují.

Vzniká tak široký komplex vztahů mezi členy téhož trofického stupně i mezi členy různých trofických stupňů. Výsledkem těchto vztahů je potravní řetězec:

fytoplankton \Rightarrow copepoda \Rightarrow ryba \Rightarrow tuleň

Šipky ukazují směr, ve kterém v řetězci postupuje potrava. V daném ekosystému však existuje mnoho potravních řetězců mezi konkrétními druhy, které se mohou vzájemně kombinovat. Výsledkem je vznik potravních sítí (viz. obr.)

Proč je Země zelená ?

Aneb „top-down“ versus „bottom-up“ kontrola

Hairston (1968) \Rightarrow Zelená Země = paradox !!!
Vše přece mohou sežrat býložravci !!!

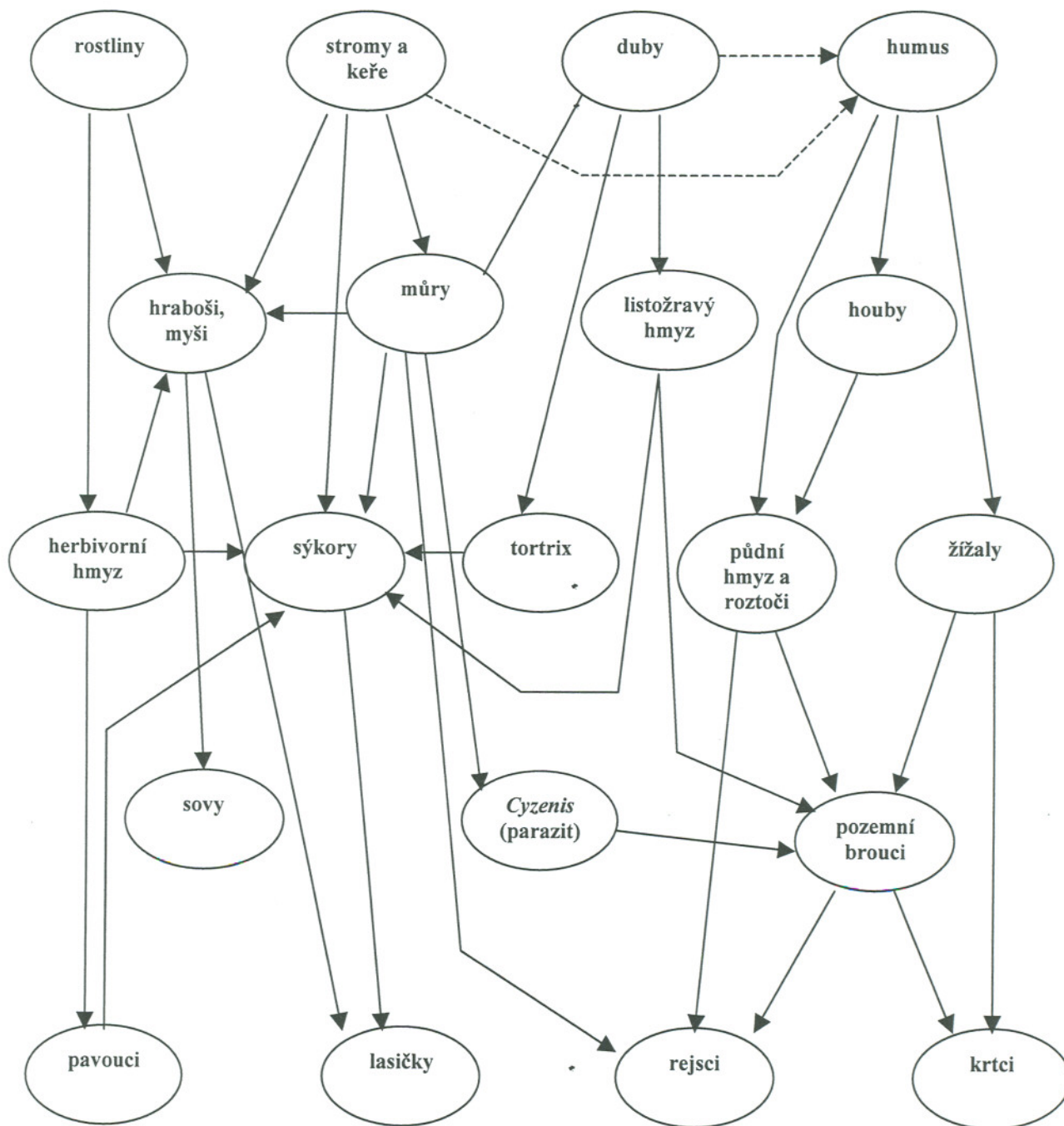
Domníval se, že býložravci jsou kontrolováni predátory (top-down), zatímco ostatní trofické stupně jsou regulovány kompeticí (bottom-up kontrola). Chyba !

Také býložravci jsou regulováni kompeticí (obrana rostlin, specializace atd.).

Rostliny nejsou regulovány energií (mají jí dost), ale prostorem (kompetice). Po úhynu rostliny je tato okamžitě nahrazena novou. Energie dostupná herbivorům tvoří ale jen malou část energie dostupné rostlinám. Země je tedy zelená proto, že býložravci nemohou ovlivnit tok energie rostlinami !!!

EKOSYSTÉM

Schéma potravní sítě



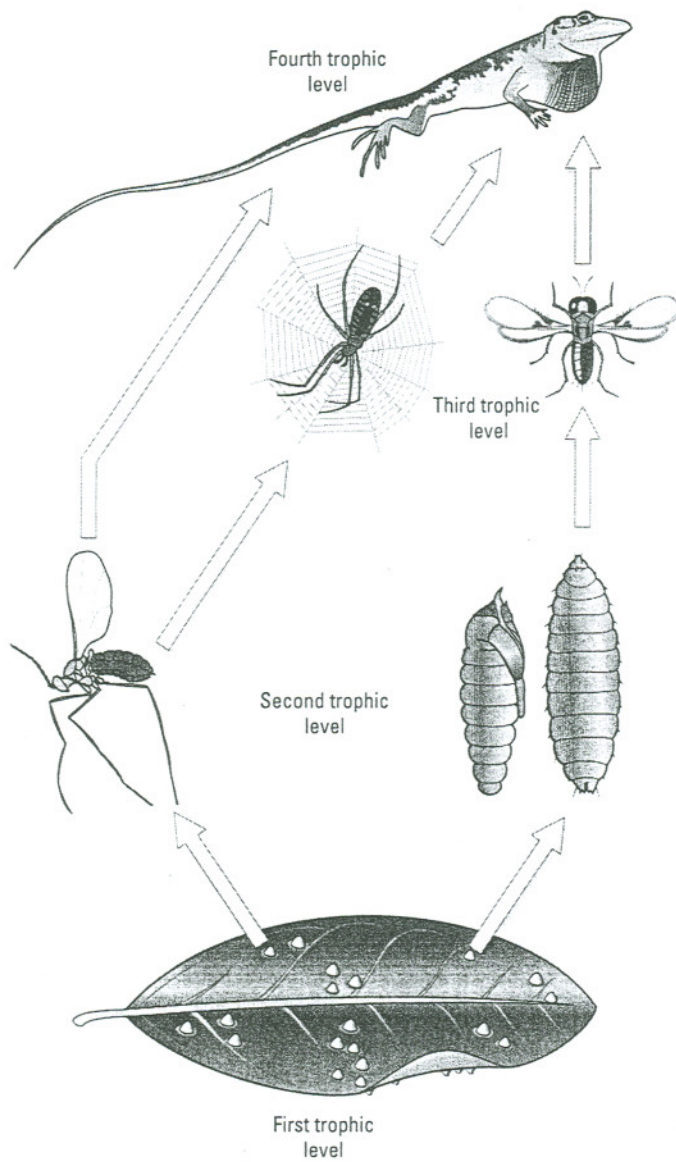


Figure 1.4 A simple food web on small islands in the Bahamas, based on sea grape, *Coccoloba uvifera*, a cecidomyiid gall inducer, with adult, pupa and larva illustrated in the second trophic level, a predatory spider, a parasitoid wasp utilizing larvae in galls and a top predator, an *Anolis* lizard, which feeds on members of the second and third trophic levels. (Based on information in Spiller & Schoener 1990, 1994.)

herbivore, and often the kind of defences that herbivores evolve along with defence against predators. If we consider only chemically mediated interactions in trophic systems, there is a rich variety (Fig. 1.7). Plant families tend to be characterized by a particular kind of chemical defence, such as alkaloids in the potato family (Solanaceae, including potatoes, tomatoes, peppers, ground cherry, etc.), cardiac glycosides in the dogbane and milkweed family (Apocynaceae), mustard oils or

glucosinolates in the Brassicaceae (cabbages, mustards, turnip, cresses, etc.), phenolic glucosides in the willows and poplars (Salicaceae) and tannins in many trees (e.g. Fagaceae, with beech, oak and chestnut; Ulmaceae, with the elms; Juglandaceae, with walnut, hickory, pecan, etc.; Corylaceae, with hazels, hornbeams, birches, and alders). The biodiversity of chemicals in plants is extraordinarily rich. Such phytochemicals often inhibit feeding by some herbivores (interaction 3 in Fig. 1.7), but not all, for some

EKOSYSTÉM

Potravní řetězce

Potravní řetězec = série organismů spojených potravními vztahy. Každý článek řetězce se živí, získává energii, z předchozího stupně a poskytuje potravu a energii článku následujícímu.

Počet článků řetězce je omezen: (např.: primární producent – herbivor – primární karnivor – sekundární karnivor)

Na kterékoliv úrovni potravního řetězce lze rozlišit tři cesty k dalšímu trofickému stupni: dekompozice, parazitismus a predace.

Dekompozice = rozkladný řetězec = těla organismů a jejich části hynou a stávají se zdrojem potravy a energie pro tzv. rozkladače (dekompozitory) - bakterie, houby a detritofágní živočichové

Parazitismus = těla živých organismů jsou využívána jako zdroj během svého života. Parazit je konzument žijící v těsném spojení se svým hostitelem, jehož tkáněmi se živí (např. mšice, tasemnice).

Predace = organismus sloužící jako potrava je usmrcen a poté vcelku nebo po částech pozřen predátorem (konzumentem).

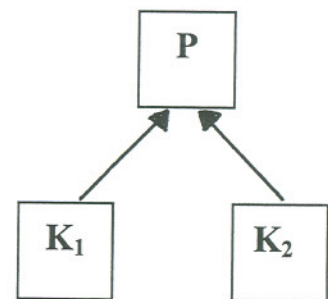
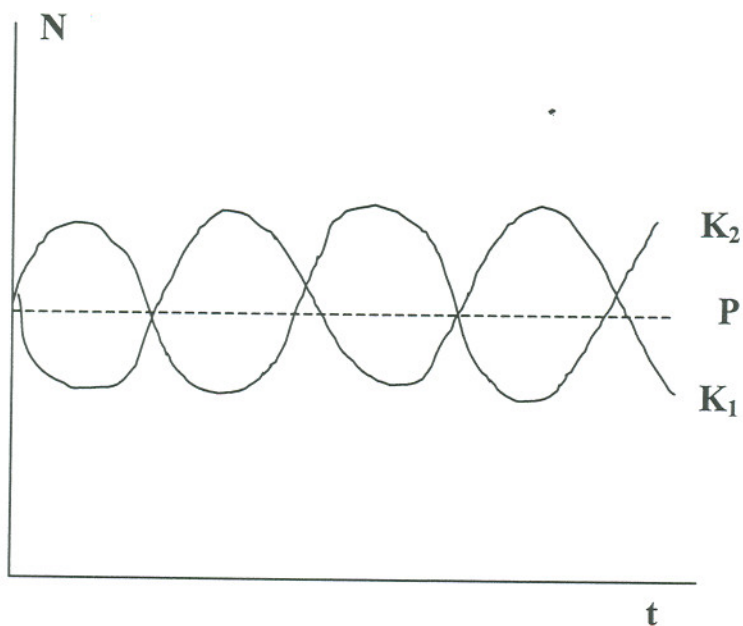
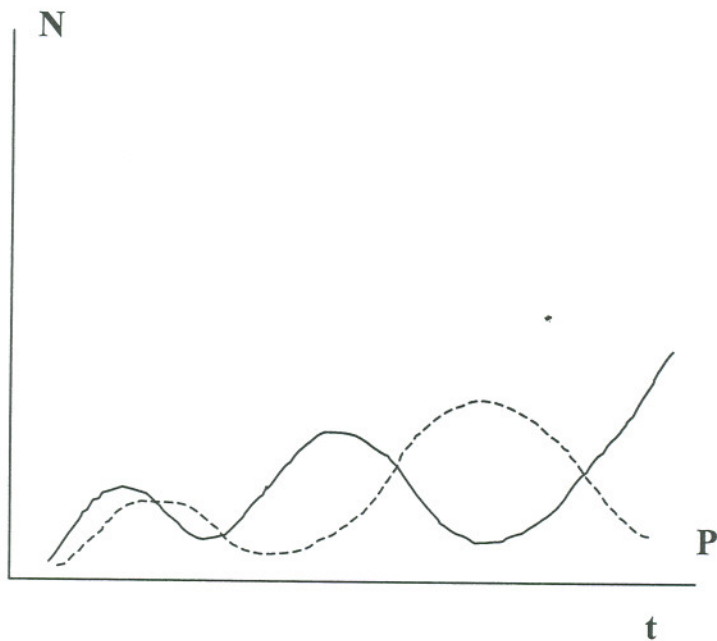
Konzumenti mohou být: (1) **generalisti (polyfágové)** = živí se velmi rozmanitou potravou, čili je to strategie využívající velkou část dostupných zdrojů a (2) **specialisti (monofágové)** = živí se velmi úzce specializovanou potravou, čili je to strategie využívající jen velmi malou část dostupných zdrojů.

EKOSYSTÉM

Trofická struktura a stabilita ES

Těsný vztah mezi trofickou strukturou a stabilitou ES.

Souvislost mezi druhovou diverzitou a stabilitou ES.



EKOSYSTÉM

Trofická struktura a stabilita ES

Generalisti *versus* Specialisti

Úzká specializace limituje kompetici, ale zvyšuje závislost trofickou !

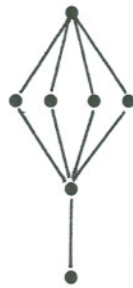
Ekosystém složený z většího počtu generalistů (polyfágů) bude stabilnější, než ES složený ze specialistů (monofágů).

Slunce

Rostliny

Herbivoři

Karnivoři



Slunce

Rostliny

Herbivoři

Karnivoři



EKOSYSTÉM

Ekologická účinnost

Produkce herbivorů je mnohem menší než produkce rostlin ?

Proč ?

- 1) Ne všechny rostliny jsou spaseny, mnoho jich hyne přirozeně a vstupují pak do dekompozičního řetězce.
- 2) Ne všechna biomasa zkonsumovaných rostlin je inkorporována do biomasy konzumenta; zbytek odchází v jeho výkalech do dekompozičního řetězce.
- 3) Ne všechna asimilovaná energie je konvertována do biomasy konzumenta; část je ztracena jako respirační teplo. Je to proto, že konverze energie není 100% (viz. 2. zákon termodynamiky).

Viz. obr.) Tok energie trofickými kompartmenty ES

Vztah mezi hmotou a energií v ES

Energie jednou transformována v teplo již nemůže být v ES využita a je nenávratně ztracena. Neexistuje žádná možnost její recyklace !

Život na Zemi je možný díky každodennímu přísunu solární energie !

Hmota (živiny, prvky) jsou naproti tomu opětovně použitelné. Existují rozdíly v délce jejich zadržení v tělech organismů, ale v podstatě jsou tyto zdroje recyklovatelné (biogeochemické cykly).

Klíčovou roli v této recyklaci proto hrají dekompoziční systémy, které navracejí tyto chemické komponenty (živiny, prvky) zpět do systému.

EKOSYSTÉM

Ekologická účinnost *versus* potravní řetězce

Společenstvo	NPP (kcal.m ⁻² /rok)	Ingesce predátora (kcal.m ⁻² /rok)	Ekologická účinnost (%)	Počet trofických úrovní
otevřený oceán	500	0.1	25	7.1
pobřežní zóny moře	8000	10.0	20	5.1
traviny mírného pásu	2000	1.0	10	4.3
tropické pralesy	8000	10.0	5	3.2

Terestrické potravní řetězce mají zhruba tři trofické úrovně.

Společenstva volného oceánu mají až sedm trofických stupňů !

EKOSYSTÉM

Ekologická účinnost

Ekologická účinnost je výsledkem účinností se kterou organismy využívají svých trofických zdrojů ke tvorbě biomasy dostupné pro vyšší trofický stupeň.

Rozlišujeme tyto typy energetických účinností:

$$(1) \text{ Exploatační účinnost} = \frac{\text{ingesce potravy}}{\text{produkce kořisti}}$$

$$(2) \text{ Asimilační účinnost} = \frac{\text{asimilace}}{\text{ingesce}}$$

$$(3) \text{ Čistá produkční účinnost} = \frac{\text{produkce (růst a reprodukce)}}{\text{asimilace}}$$

$$(4) \text{ Hrubá produkční účinnost} = (2) \times (3) = \frac{\text{produkce}}{\text{ingesce}}$$

$$(5) \text{ Ekologická účinnost} = (1) \times (2) \times (3) = \frac{\text{produkce konzumenta}}{\text{produkce kořisti}}$$

Ekologická účinnost závisí na dvou faktorech:

- 1) Proporci s jakou je konzumovaná energie asimilována (asimilační účinnost).
- 2) Proporci s jakou je asimilovaná energie inkorporována do růstu, zásob a reprodukce (čistá produkční účinnost).

E K O S Y S T É M

Ekologická účinnost *versus* potravní řetězce

Kozlowski (1968) = studie ekologické účinnosti mezi trofickými stupni
srovnávací analýza 5 typů vodních společenstev v Cedar
Bog Lake, USA

- asimilační účinnost ve vyšších trofických stupních roste
- čistá produkční účinnost ve vyšších trofických stupních klesá
- hrubá produkční účinnost ve vyšších trofických stupních klesá
- ekologická účinnost mezi dvěma trofickými stupni ($n/n-1$) je asi 10 %

Dnes víme, že mezi různými trofickými stupni jsou různé míry účinnosti !

- mezi producenty a herbivory = 17 %
- mezi herbivory a konzumenty = 5 %

Co determinuje délku potravního řetězce ?

Průměrnou délku potravního řetězce lze odhadnout z hodnoty čisté primární produkce, průměrné ekologické účinnosti a průměrného toku energie populací vrcholového predátora.

Energie dostupná predátorovi na daném trofickém stupni $[E(n)]$ je rovná součinu čisté primární produkce (NPP) a ekologické účinnosti (Eff):

$$E(n) = NPP \cdot \text{Eff}^{n-1}$$

kde Eff je geometrický průměr účinnosti transferu mezi všemi stupni.

tedy po úpravě:

$$n = 1 + \frac{\log[E(n)] - \log(NPP)}{\log(\text{Eff})}$$

EKOSYSTÉM

Účinnost přenosu primární produkce

Účinnost produkce (PE)

PE = procentuální podíl asimilované energie (A_n) inkorporované do nové biomasy (P_n). Zbytek energie se uvolňuje jako respirační teplo.

$$PE = \frac{P_n}{A_n} \times 100$$

Příklady:

bezobratlí	30-40%	ztrácí málo energie jako teplo
obratlovci - (Ectotermní)	10 %	
obratlovci – (Endotermní)	1-2 %	drobní ještě méně

Obecně lze říci, že PE roste s velikostí endotermních živočichů a klesá s velikostí živočichů ectotermních.

EKOSYSTÉM

Účinnost přenosu primární produkce

Účinnost asimilace (AE)

AE = procentuální podíl energie potravy ve střevě konzumenta trofického stupně (I_n) asimilovaný jeho střevní stěnou (A_n) a tak dostupný pro růst jeho těla nebo konání práce.

$$AE = \frac{A_n}{I_n} \times 100$$

Zbytek energie odchází jako výkaly a vstupuje do dekompozičního řetězce.

Příklady: herbivoři, detritovoři, mikrobivoři 20-50 %
 karnivoři 80 %

Obecně platí, že živočichové využívají špatně rostlinnou potravu (lignin, celulóza), lepší je to u plodů (70%) a listů (50%).

Organická hmota těl živočichů je však mnohem lépe využitelná.

EKOSYSTÉM

Účinnost přenosu primární produkce

Proporce čisté primární produkce závisí na účinnosti přenosu s jakou je energie využívána a s jakou postupuje z jednoho trofického stupně do druhého.

Tato účinnost přenosu energie závisí na těchto třech kategoriích:

- 1) účinnosti spotřeby (CE = consumption efficiency)
- 2) účinnosti asimilace (AE = assimilation efficiency)
- 3) účinnosti produkce (PE = production efficiency)

Účinnost spotřeby (CE)

CE = procentuální podíl celkové produkce přítomné na jednom trofickém stupni (P_{n-1}) a spotřebované na výžším trofickém stupni (I_n).

$$CE = \frac{I_n}{P_{n-1}} \times 100$$

V případě sekundárních konzumentů to je procento produkce herbivorů konzumované karnivory. Zbytek herbivorů hyne bez účasti karnivorů a jejich těla vstupují do dekompozičního řetězce.

CE herbivorů je nízká \Rightarrow rostliny jsou těžko stravitelné
 \Rightarrow nízká denzita herbivorů

Příklad: průměrná CE:

lesní ES	5 %
travný ES	25 %
fytoplankton	50 %
predátoři - obratlovci	50 - 100 % (kořist=obr.)
	5 % (kořist=bezobratlí)
predátoři - bezobratlí	25 % (kořist= bezobratlí)

EKOSYSTÉM

BIOSFÉRA

Biosféra = ekologický systém zahrnující všechny organismy (biota) a jimi oživený prostor zemského povrchu (prostředí).

Z hlediska fyzikálně-chemických vlastností se dělí:

- **Litosféra** – oblast pevného zemského obalu a půdy
- **Hydrosféra** – oblast vod
 - biocyklus slanovodní (marinní)
 - biocyklus sladkovodní (limnický)
- **Atmosféra** – oblast ovzduší
 - troposféra – do 12 km (proudění, počasí)
 - stratosféra – 12-80 km (ozonosféra)
 - ionosféra – 80 – 800 km (elektricky vodivé vrstvy)
 - exosféra – nad 800 km (ionizace, meziplanetární prostor)

Biosféra = mocnost asi 20 km; její hranice jsou dány ekologickou valencí živých systémů. Život rozložen nerovnoměrně.
horní hranice – 8 km v polárních oblastech
18 km v oblasti rovníku

Příklady: bakterie a spóry nižších hub ve výšce 11 km
kondoři ve výšce 7km
vysokohorští savci trvale žijící až v 6 – 7 km

hydrosféra – hlubiny Černého a Baltského moře, norské fjordy-
sirovodíková zóna ⇒ deficit kyslíku ⇒ téměř bez života
příznivé podmínky v mořích – fytoplankton i ve 400 m hloubky
heterotrofové žijí v celém sloupci i na dně oceánských příkopů (11km) – kyslík (difuze, konvekce).

litosféra – oživená, svrchní část – pedosféra
s výjimkou jeskyní a ložisek nafty - do 5 m
žížaly na Urale až 8 m
chodby termitů (Madagaskar) – 25 až 50m

EKOSYSTÉM

BIOGEOCHEMICKÉ CYKLY

Biosféra = největší a téměř nejsamostatnější biologický systém na Zemi.
homeostatický systém = prochází jím koloběh energie a hmoty

každý organismus tvoří = sacharidy, tuky a bílkoviny
20 biogenních prvků
20 dalších prvků (nejsou nezbytné)

ze 40 „základních“ stavebních prvků živých těl pouze 5 tvoří

tzv. makroživiny (C, O, H, N, P) asi 1 % sušiny živých soustav

tzv. mikroživiny (S, Cl, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu) 0,05 – 1,0 %

další prvky (B, Mn, Zn, Si, Co, I a F) méně než 0,05 % sušiny

Koloběh látek v biosféře = 3 typy cyklů:

Hydrologický cyklus (koloběh vody a sloučenin)

Biogeochemické cykly (koloběh chemických prvků s
geologickým prostředím)

2 typy cyklů: zdroj prvků atmosféra (C a N)
zdroj prvků sedimenty (P, S, I)

Příklady:

- koloběh vody
- koloběh kyslíku
- koloběh uhlíku
- koloběh dusíku
- koloběh fosforu
- koloběh síry

EKOSYSTÉM

Hydrologický cyklus

Hydrologický cyklus = výměna vody mezi povrchem zemských a atmosférou prostřednictvím odpařování a srážek.

velký *versus* malý hydrologický cyklus (obr.)

Součet světových atmosférických srážek = $4,46 \cdot 10^{20}$ g. rok⁻¹

Na povrch souše připadá = $0,99 \cdot 10^{20}$ g. rok⁻¹

Ve stádiu vodní páry jen $0,13 \cdot 10^{20}$ g. vodní masy

Rozložení vody na zemském povrchu

Složka zemského povrchu	obsah vody v g. rok ⁻¹
oceány	$250\,000 \cdot 10^{20}$
primární litosféra	$13\,800 \cdot 10^{20}$
sedimentované horniny	$2\,100 \cdot 10^{20}$
polární čepičky a vysokohorské ledovce	$167 \cdot 10^{20}$
cirkulující podzemní vody	$2,50 \cdot 10^{20}$
kontinentální vody	$0,25 \cdot 10^{20}$
vodní pára v atmosféře	$0,13 \cdot 10^{20}$
celkem	$266\,069,88 \cdot 10^{20}$

Srážky a odpar = vliv na strukturu a funkce terestrických ekosystémů.
(viz. obr.)

Malý koloběh vody =
intercepce (zachycení) vody
evapotranspirace (vypařování) vody
infiltrace (vsak) vody
odtok vody

Podstatný vliv vegetace !

EKOSYSTÉM

Hydrologický cyklus

Příklad:

Intercepce různě vydatných srážek dvěma druhy lesních porostů

Porost	Bukový			Dubový		
	5	15	25	5	15	25
Srážky v mm						
Zadrženo korunami (%)	25	16	6	61	37	23
Stéká po kmeni (%)	17	19	24	0	3	8
Proniká korunami (%)	58	65	70	39	60	69
Celkem proniká na zem (%)	75	84	94	39	63	77

Příklady: Vliv transpirace rostlin:

1 kg (v sušině) listů stromu vypaří na vegetační sezónu asi:

smrk	206 l vody
dub	546 l vody
buk	749 l vody

v klimatických našich podmínkách:

lesní ekosystém	20 000 – 50 000 l . ha ⁻¹ . den ⁻¹
travný ekosystém	10 000 – 150 000 l . ha ⁻¹ . den ⁻¹

Hydrologický cyklus *versus* člověk

Městské aglomerace vyspělých zemí: 300 – 1000 l pitné vody na osobu a den

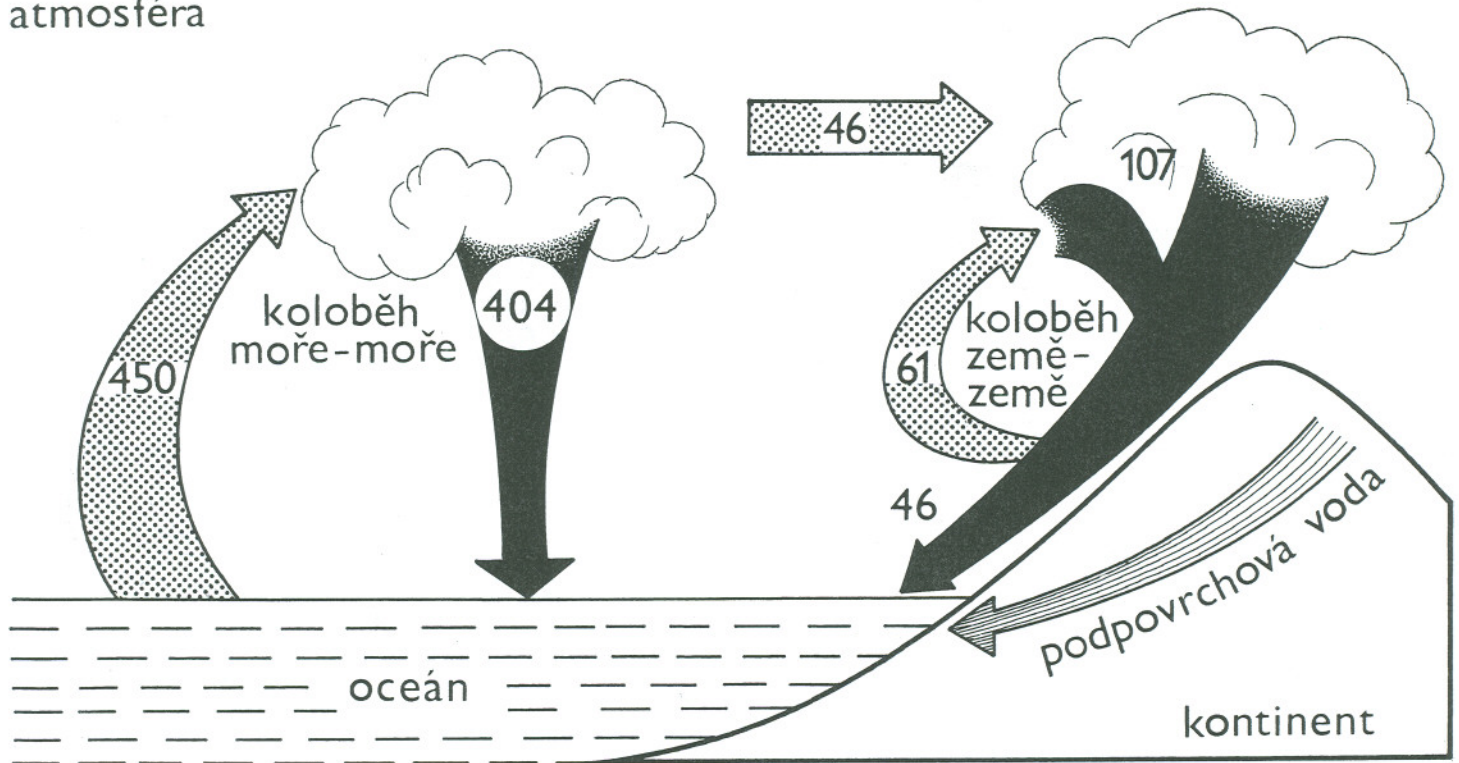
Spotřeba: na 1 kg pšenice = 600 litrů vody !

na 1 kg masa = až 60 000 litrů vody !!

na 1 tunu plastických hmot = až 500 000 litrů vody !!!

Nedostatek vody je hlavní limitující faktor rozvoje zemědělství a průmyslu !

atmosféra



EKOSYSTÉM

KOLOBĚH KYSLÍKU

- Vznik života – 3 miliardy let – plyný obal Země - sopečná činnost –
- (atmosféra: dusík, amoniak, vodík, oxid uhelnatý, metan,
vodní pára aj. Kyslík chyběl).
- Vznik prvních organických molekul – vznik živých soustav – přísun
kyslíku do atmosféry – kyslík byl pro tyto živé organismy toxický !!!
- Evoluce fotosyntetické výživy = růst obsahu kyslíku v ovzduší
- Vznik vyšších forem života s metabolismem založených na oxidačních
procesech – respiraci
- Kyslík se stal základním stavebním prvkem molekul nezbytných pro
život.
- Kyslík v živé hmotě tvoří asi 25 % všech atomů.

Kyslík je uvolňován při fotosyntéze z molekuly vody.

Část kyslíku je vázána v hlubinných mořských sedimentech.

Produkce a spotřeba kyslíku:

Rostlinstvo souše = $2,6 \cdot 10^{11}$ tun O_2 den⁻¹

Fotosyntéza oceánů = $0,6 \cdot 10^{11}$ tun O_2 den⁻¹

Oxidace odumřelých organismů spotřebuje téměř celou produkci kyslíku.

Pro zachování života zůstane jen = $1,55 \cdot 10^9$ tun O_2 rok⁻¹

Spalování fosilních paliv = $2 \cdot 10^{10}$ tun O_2 ročně

Roční spotřeba kyslíku člověkem se blíží spotřebě všech ostatních
organismů, včetně spotřeby na zvětrávání hornin !!!

E K O S Y S T Ě M

K O L O B Ě H U H L Í K U

Uhlík = nejrozšířenější prvek živé hmoty, jeho koloběh je velmi dokonalý.

Je udržován metabolickými procesy v ekosystémech a do prostředí vracen asi stejně rychle a ve stejné fázi v jaké je odčerpáván (atmosférický CO₂).

Koncentrace CO₂ je poměrně stabilní a činí 0,03 – 0,04 %.

Celkové množství CO₂ je asi 700 miliard tun.

Základní schéma koloběhu:

**Atmosférický zásobník (CO₂) ⇒ producenti ⇒ konzumenti ⇒
destruenti ⇒ atmosféra**

**Roční odhad asimilace rostlin 40-90 miliard tun ⇒ polovina pevniny
⇒ polovina oceány**

Dodatkovým zdroj uhlíku (CO₂) jsou oceány. Je zde asi 50 krát více uhlíku než v atmosféře.

Pro koloběh uhlíku je rozhodující vztah mezi plynným CO₂ v atmosféře k CO₂ rozpuštěnému ve vodě. Výměna = prostá difuze přes vodní hladinu = rozdíl v koncentraci.

Atmosférický CO₂

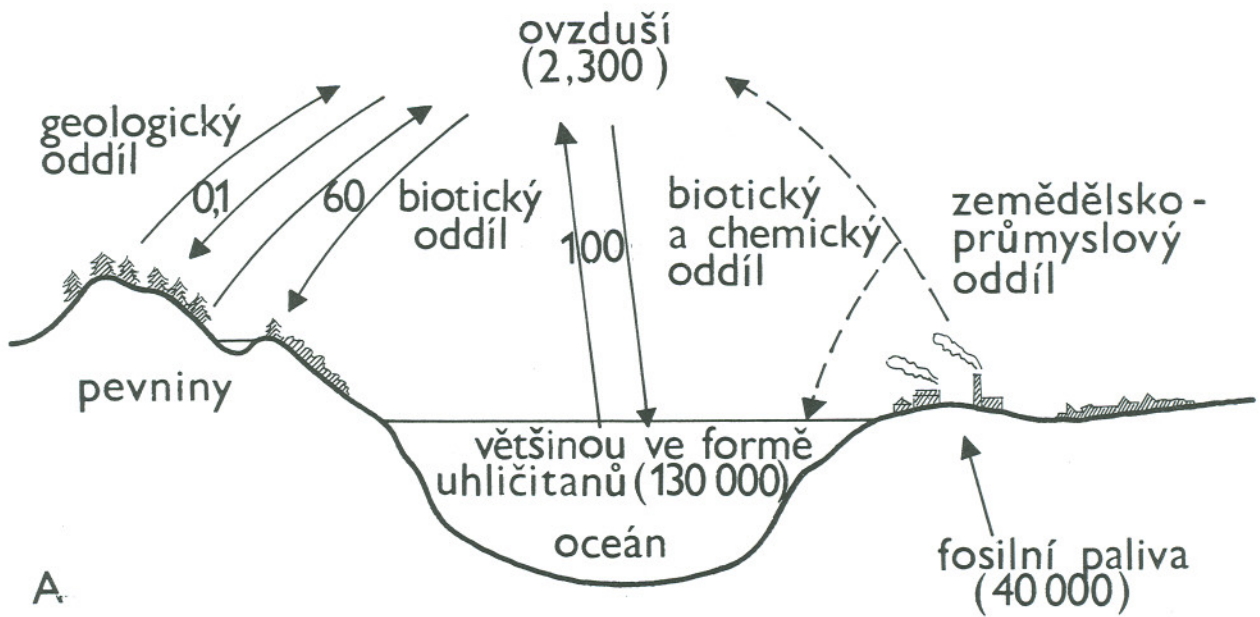
↓ ↑

Rozpustný CO₂ + H₂O ⇌ H₂CO₃ ⇌ H⁺ + HCO₃⁻ ⇌ H⁺ + CO₃²⁻

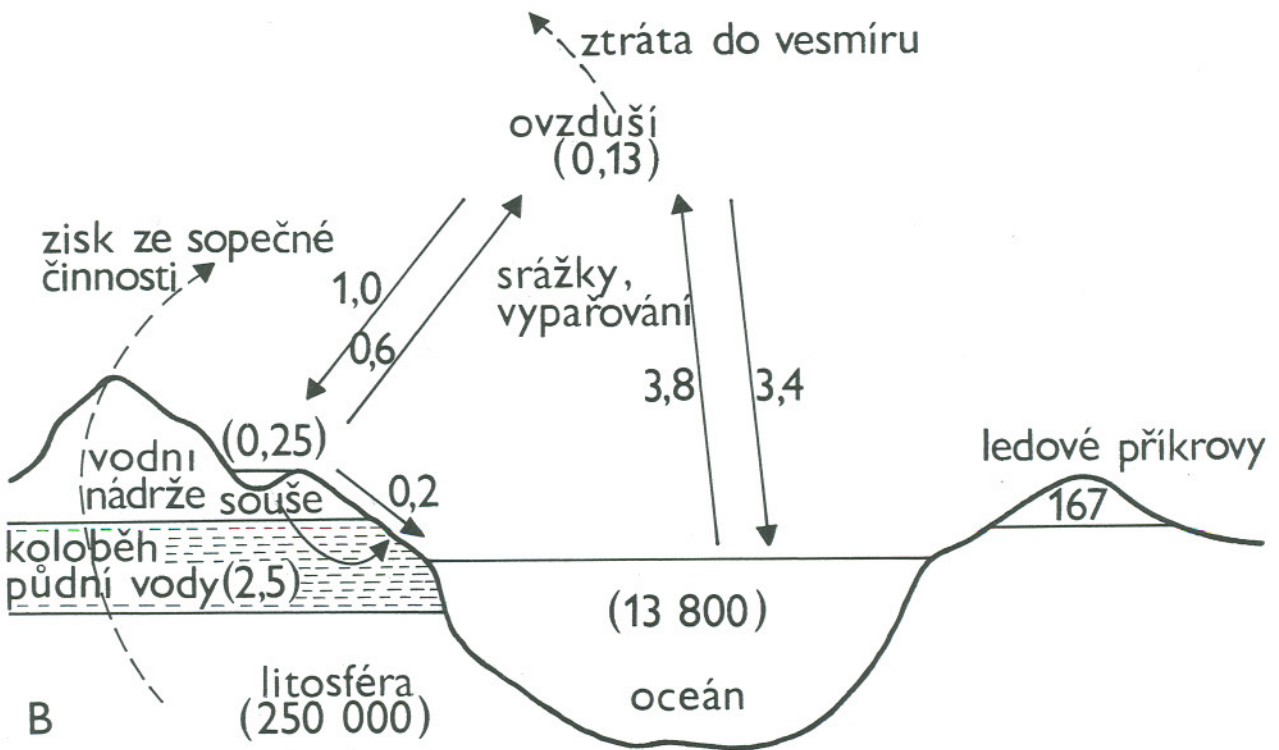
Do vody se CO₂ dostává také srážkami. 1 l dešťové vody = 0,6 mg CO₂

Geologická složka koloběhu = humus, rašelina, fosilní paliva, skořápky, schránky, kostry atd., ukládání uhličitánů v zemské kůře.

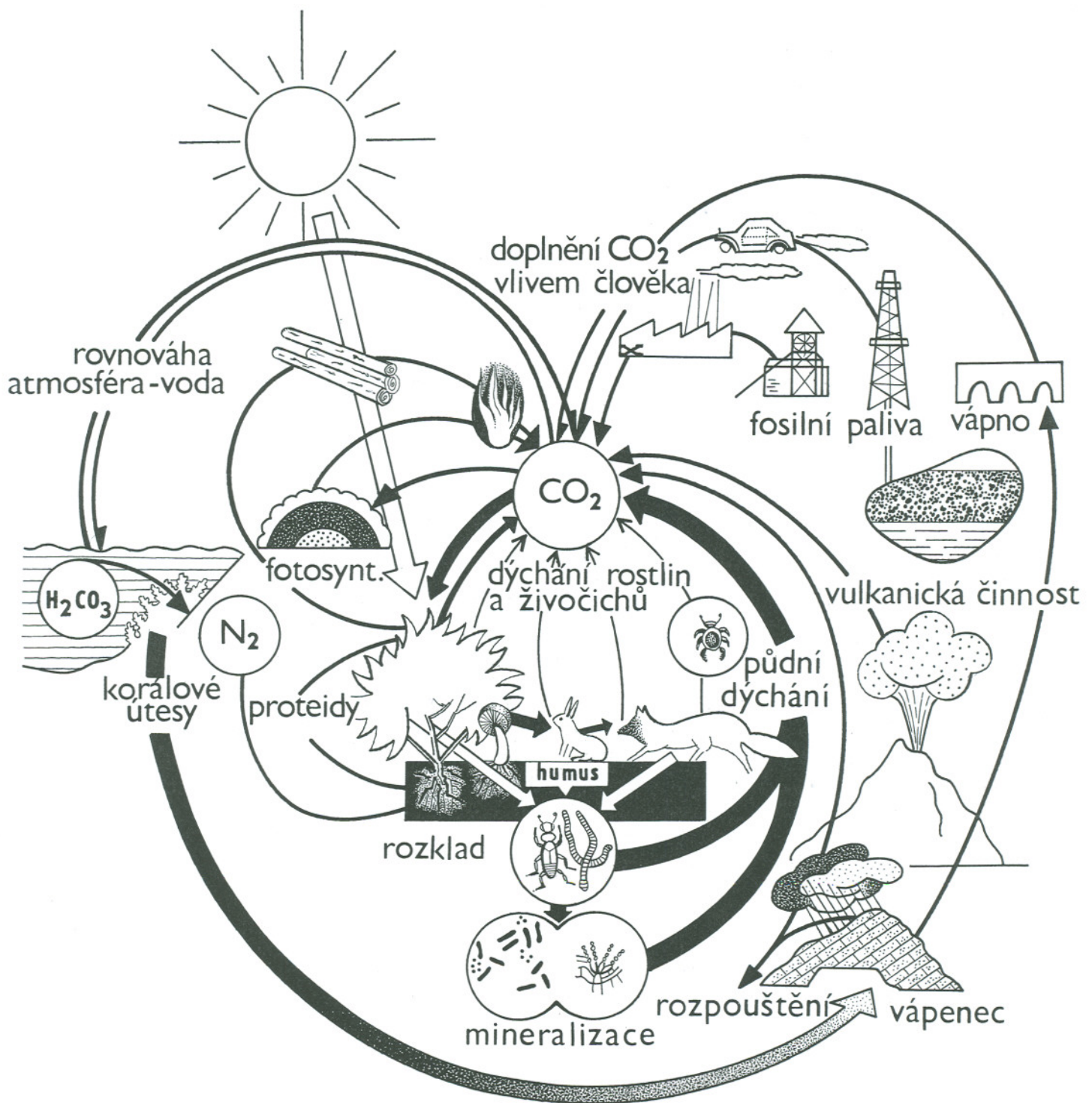
Větrání, spalování a vulkanická činnost = stoupá obsah CO₂ v atmosféře.

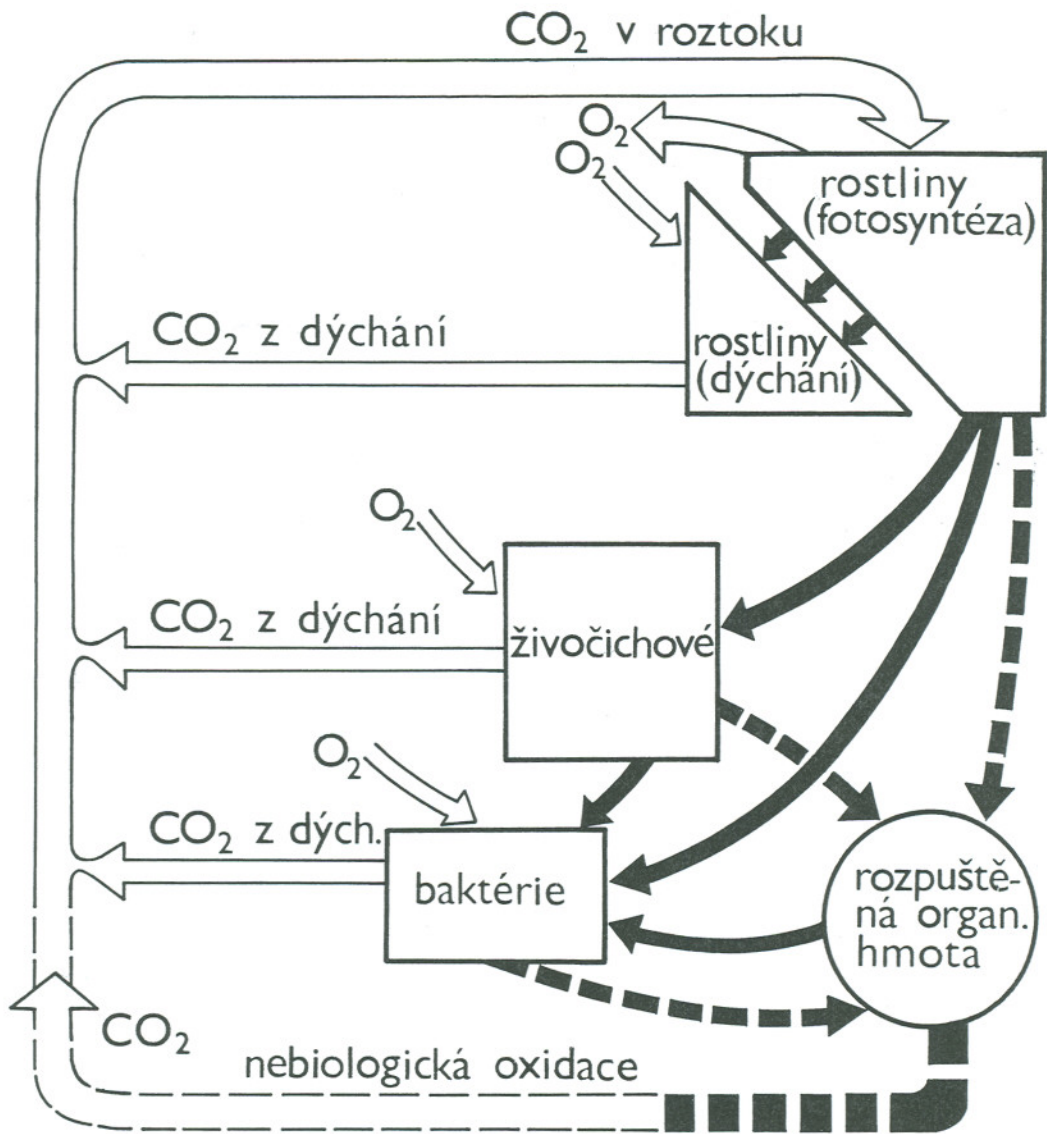


A.



B.





—
org. uhlík

==
anorg. uhlík (hlavně CO_2)

EKOSYSTÉM

KOLOBĚH DUSÍKU

Biogeochemický cyklus dusíku je velmi složitý.

Dusík je nejhojnějším prvkem atmosféry. Pravděpodobně biogenní původ.

Trojná vazba mezi atomy $N_2 \Rightarrow$ dusík se chová jako inertní plyn.

Většina organismů není schopna dusík asimilovat, přesto, že žijí v moři dusíku !

Organismy projímají dusík jako:

anorganické sloučeniny (amoniak, dusitany, dusičnany) nebo v organické sloučeniny (močovina, protein, nukleové kyseliny)

Do biologických procesů dusík vstupuje obvykle nejčastěji v anorganické formě, zpravidla jako dusičnan.

Fixace plynného N_2 : fyzikálně-chemická cesta (elektrochemické a fotochemické procesy vyvolané kosmickým zářením, elektrické výboje; $0,35 \text{ kg NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)
biologická cesta ($1,4 - 7 \text{ kg NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$; ve velmi úrodných krajích až $200 \text{ kg NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)

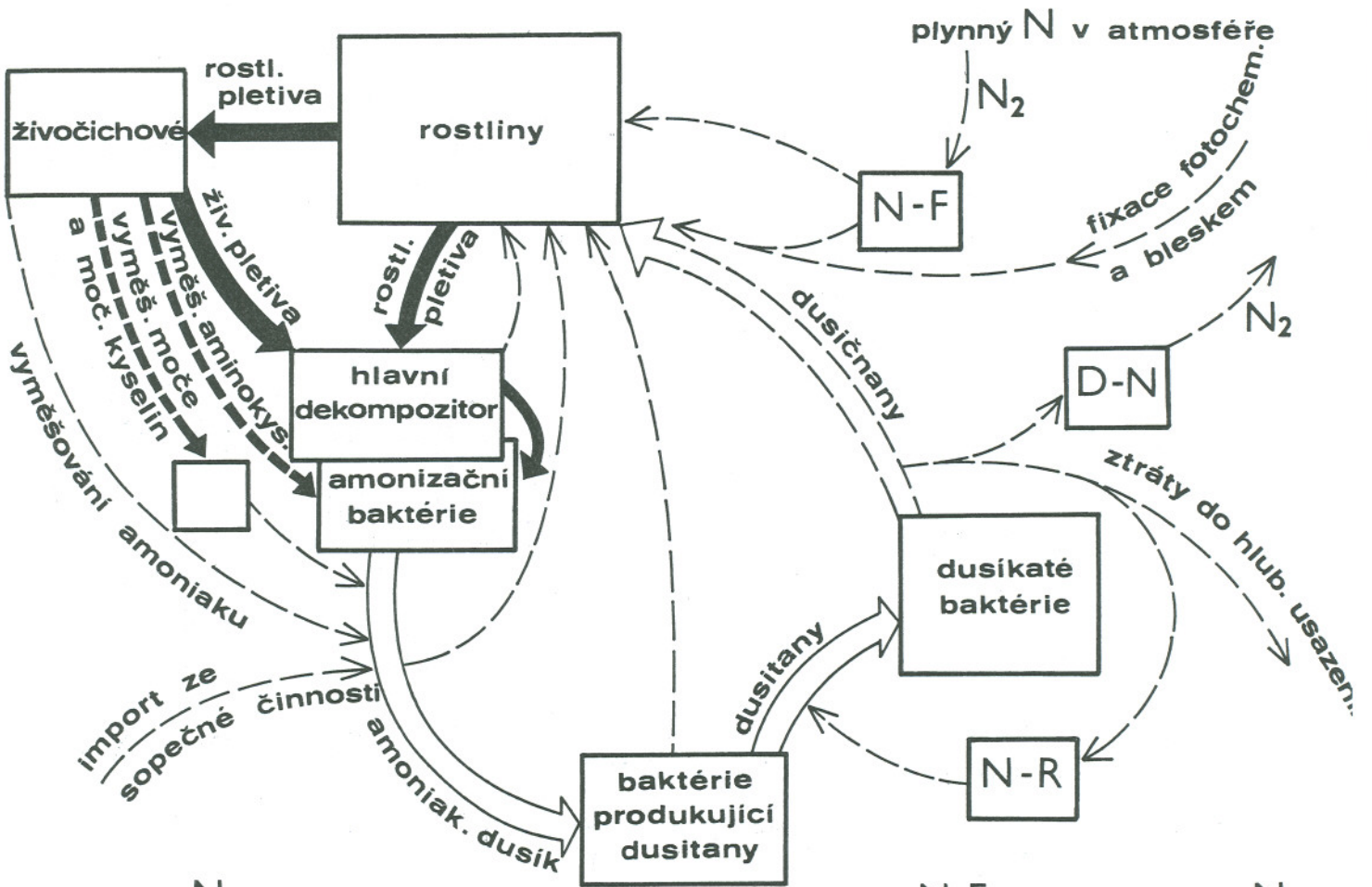
Biologická fixace dusíku je proces energeticky náročný.

Dvě ekologické skupiny organismů:

- 1) symbiotičtí vazači dusíku (kořenové bakterie rodu *Rhizobium*, symbionti *Fabaceae* – hrách, jetel, fazol; 175 miliónu tun dusíku ročně)
- 2) volně žijící vazači dusíku (v půdě a ve vodních ES, bakterie rodu *Azotobacter*, *Clostridium* – anaerobní; autotrofní organismy = sinice a *Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon*)

Procesy nitrifikace versus denitrifikace (*Pseudomonas*).

Vliv člověka: zemědělská hnojiva (ptačí trus)
průmyslová fixace atmosférického dusíku (40 mil t/rok)
emise oxidů dusíku při spalování fosilních paliv
eutrofizace povrchových a podzemních vod



organ. N —————
 anorgan. N = = = = =
 bakt. pout. N - - - - -

N-F bakt. poutající N
 D-N bakt. denitrifikační
 N-R bakt. redukující NO_3

EKOSYSTÉM

KOLOBĚH FOSFORU

Fosfor = limitují pro produkční procesy v ekosystémech.

Je cyklus je sedimentační a je poměrně jednoduchý.

Zdrojem jsou: sedimenty a horniny (litosféra) = nerozpustné fosforečnany vápníku, hořčíku, hliníku a železa.

Uvolnění fosforu = větrání hornin a katabolismus organismů.

Do ES vstupují jako rozpuštěné ortofosforečnany (fosforečnan železitý).

Je asimilován primárními producenty = vázán do biomasy = prostupuje do trofického řetězce.

Po uhynu organismů = dekompozice vrací se do oběhu a vázán v sedimentech.

Metabolismus organismů = fosfor se dostává do ES v rozpuštěné nebo koloidní formě (excrementy, výkaly) přijatelné pro rostliny.

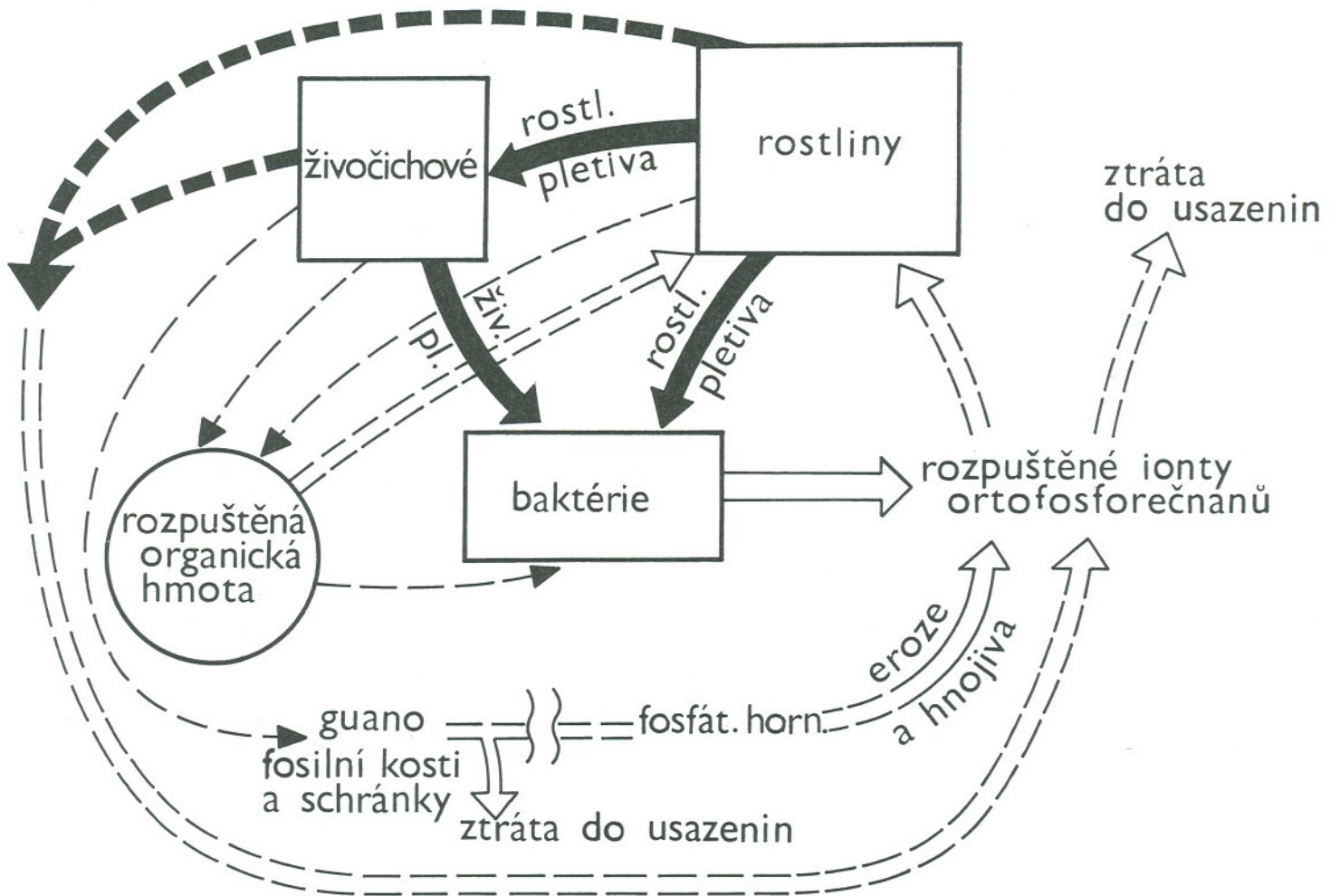
Fosfor je sedimentován na dně moří.

Recyklace „atmosférickou cestou“ = ptáci (guano), rybolov,
těžba mořských surovin

Zpět je tak získáno asi 60 tisíc tun fosforu ročně.

Vliv člověka: výroba hnojiv a fosfátů
rychlá těžba zásob fosforu (15mil tun ročně)

zásoby fosforu = 16 miliard tun fosforu



mechanické a autolytické uvolňování fosforečnanů

— org. fosfor

roztl. živiny } anorg. fosf.

EKOSYSTÉM

KOLOBĚH SÍRY

Zdroj síry pro autotrofy = anorganické sírany (redukce a vazba do bílkovin, aminokyselion)

Rezervoár síry = zemské kůra, půda; méně atmosféra

Cyklus síry probíhá mezi geosférou, atmosférou a hydrosférou.

Ve většině kontinentálních vod jsou siranové ionty velmi běžné.

Koloběh síry = součást produkčních procesů.

Síra není limitním faktorem.

Na koloběhu síry se podílí: zvětrávání
 sopečná činnost
 sedimentace
 dešť
 produkce a dekompozice živé hmoty

Biologická složka koloběhu = řada specializovaných mikroorganismů:
Aspergillus, Neurospora - mineralizace biologicky vázané síry
V anaerobních podmínkách = *Escherichia* a *Proteus* = redukce org. sloučenin až na sirovodík

Vliv člověka: spalování fosilních paliv (oxid siřičitý); ročně 100 miliónů tun
 vznik kyselých dešťů = okyselování půd a vod
 velmi negativní vliv na ES

