

Tvorba biomasy a primární produkce v lesních ekosystémech



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Osnova

- Základná podmínky tvorby biomasy
- Biomasa
- Primární produkce
- Fotosyntéza, respirace
- Radiační bilance
- Tok energie
- GKZ
- Aplikace v lesnictví

Základní podmínky primární produkce

- Autotrofní organismy
- Sluneční energie, FAR (ozářenost)
- CO₂
- Voda
- Minerální živiny

Autotrofní organismy

- Zelené rostliny
- Některé mikroorganismy (baktérie, sinice, řasy..)
- Význam producentů (potravní pyramida, potravní řetězce)
- Rostliny využijí pouze 1% dopadajícího slunečního záření
- Každá další trofická úroveň využije 10% energie předchozí úrovně (ztráty tepla, dýchání, transpirace)

Tok energie - fotosyntéza

- Spouštěcím mechanismem toku energie je **sluneční záření** a jeho vazba autotrofními rostlinami v procesu **fotosyntézy**
- $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{E} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$
- Organické látky vznikají z jednoduchých anorganických látek – vody a oxidu uhličitého
CO₂ vstupuje difuzí průduchy, význam vody-výpar
- Význam karboxylačních enzymů (RUBISCO)
- Mění se světelná energie na chemickou energii
- Chemická energie se ukládá do vazeb organických látek
- Jednosměrný tok energie, postupná ztráta energie (dýchání, teplotní ztráty)
- Efektivita fotosyntézy – množství energie fixované v biomase rostlin/množství dopadající sluneční energie na zemi (0,16%)

Energetická bilance lesa

STROM O PRŮMĚRU KORUNY 10 m
VYDÁ TRANSPIRACÍ (VÝPAREM)
400 l VODY ZA DEN

DO VODNÍ PÁRY SE VÁŽE
280 kWh SLUNEČNÍ ENERGIE

FOTOSYNTÉZOU
SE VÁŽOU
2 - 4 kWh

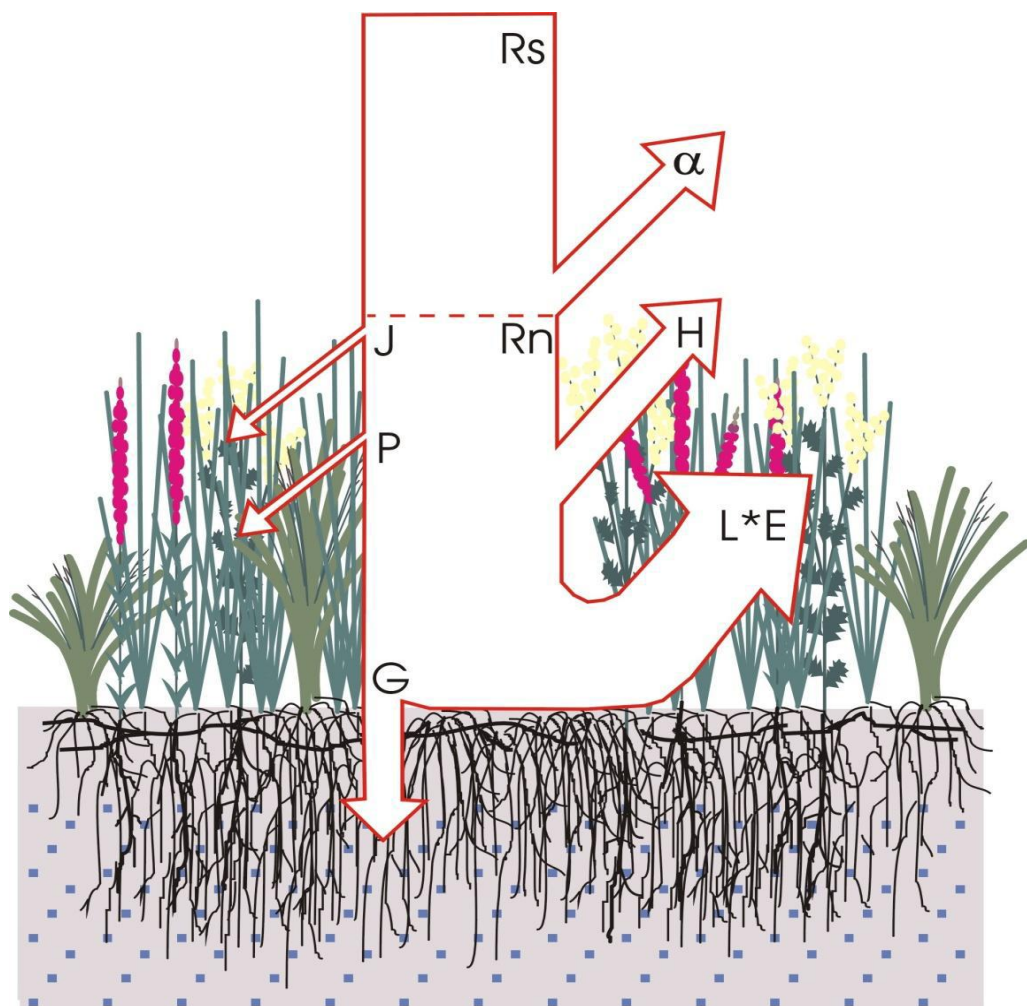
- TO JE MÉNĚ
NEŽ 1 % DOPADAJÍCÍ
SLUNEČNÍ ENERGIE

NA PRŮMĚT KORUNY STROMU
80 m² DOPADNE ZA DEN
450 kWh SLUNEČNÍ ENERGIE

ODRAZEM,
PŘEMĚNOU
NA TEPLA
A TOKEM
TEPLA DO PŮDY
SE SPOTŘEBUJE
160 kWh



Radiační a tepelná bilance ekosystému



$$R_n = R_s(1-\alpha) + R_L$$

$$R_n = J + P + G + H + LE$$

$$R_n = G + H + LE$$

R_n – čistá radiace

R_s – krátkovlnné záření

R_L – dlouhovlnné záření

α – albedo

J – tepelný požitek pro růst

P – fotosyntéza

G – tok tepla do půdy

H – zjevné teplo

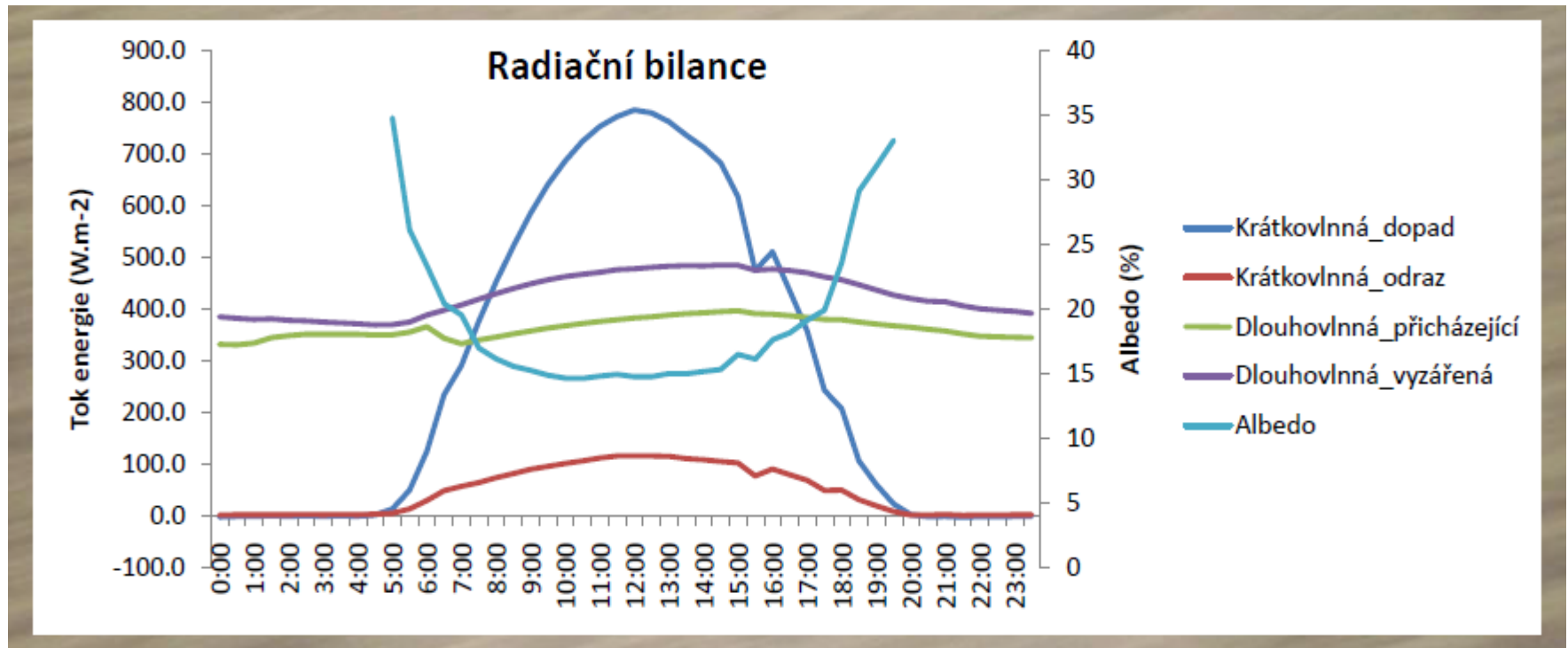
L – latentní teplo pro evaporaci

E – množství výparu

Sluneční záření („světlo“)

- Průměrná hustota ozáření během dne = solární konstanta - $1,38 \text{ kJ} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
tj. 1373 W/m^2 , zemský povrch cca polovina, skleníkový efekt planety (Kadrnožka, 2008), 51% dopadá na povrch Země, 47% ze sluneční konstanty pohlceno zemským povrchem
- Vlnová délka = 280-3000nm (max. okolo 470nm)
- **Ultrafialové záření (UV)** 290-380 nm – 9% (pohlceno ionosférou a ozonosférou)
- **Viditelné záření, fotosynteticky aktivní záření(FAR)** = 380-750 nm – 45%, schopnost fotosynteticky aktivních pigmentů – např. chlorofyl, pohlcovat a využívat v syntéze organických látek
- **Infračervené záření (IR)** = nad 750 nm (absorbováno vodními párami, CO₂ prachem) – 46%
- **Reflektance - odrazivost** (všechna spektra, závisí na postavení listů, zelené listy 10-20%)
- **Absorpce** (všechna spektra, včetně FAR)
- **Transmise** (10-40 %, závisí na složení listových pigmentů, tloušťce listů..)
- **Velké ztráty sluneční energie** ve formě tepla, fotosyntézou je využíváno 1-2 % z celkové energie a z FAR je to 0,5-3% (často 0,1-0,3%).
- Heliofyty, heliosciofyty, sciofyty

Radiační bilance



Mezi aktivním povrchem a atmosférou dochází kromě výměny krátkovlnné radiace též k výměně dlouhovlnné radiace. Množství dlouhovlnné radiace vyzařované atmosférou a povrchem se mění se čtvrtou mocninou teploty atmosféry a povrchu → **Stefan - Boltzmanův zákon**.

Zjevné teplo je ta část z dopadající energie, která je zodpovědná za ohřev prostředí

Latentní teplo výparu – skládá se ze dvou složek, z evapotranspirace a skupenského tepla výparu vody (ca 2,5 kJ.g⁻¹). Při přeměně vody dochází ke spotřebě energie, která se uvolní při kondenzaci, to znamená, že při výparu se prostředí ochlazuje (vliv lesa).

Poměr mezi zjevným a latentním teplem nazýváme **Bowenův poměr (β)**. Tento poměr nabývá na významu při řešení otázky vlivu tepla na živé systémy.

Na čem dále závisí fotosyntéza?

- **koncentrace CO₂** – rostliny přizpůsobeny malé koncentraci (0,03%) velkou listovou plochou, zvýšení koncentrace (do 0,4%) ⇒ zvýšení fotosyntézy
- **teplota** – optimum 25 - 30°C, u C₄-rostlin je vyšší
- **voda** – nutná pro fotolýzu, vliv na otevírání průduchů ⇒ příjem CO₂
- **minerální živiny** – ovlivňují vytváření morfologické a anatomické struktury rostliny a průběh fyziologických procesů, podílejí se na stavbě chloroplastů, kde jsou součástí jednotlivých struktur a složkou enzymů

(Evapo)transpirace

- souhrnný výpar z rostlin (transpirace) a z ostatních povrchů (evaporace)
- význam spočívá v aktivní schopnosti rostlin aktivně ovlivňovat množství odpařené vody v souvislosti s příjmem CO₂ a tím ovlivňovat své okolí.
- transpirace probíhá prostřednictvím průduchů, kterých je na listech rostlin 100 až několik set na mm čtvereční. Každý průduch je zvlášť regulován, z tohoto pohledu funguje vegetace jako **velmi účinné klimatizační zařízení**, reagující na jakoukoli změnu okolního prostředí
- **evapotranspirace aktuální, potenciální**

Další faktory ovlivňující fotosyntézu

- **velikost listové plochy (LAI)** – u smrku např. na 1ha 22 ha listové plochy
- **množství a kvalita plastidů - chloroplastů**
- **množství chlorofylu (karotenoidů)**- obsaženy v plastidech buněk, obsah chlorofylu (a+b) – 0,2-0,6 g.m² listové plochy tj. 0,5-2,0 % sušiny listu
- **Přeměna škrobu** vzniklého v průběhu dne na jednoduché cukry – buňky, biomasa
- **množství a vodivost průduchů**
- **stáří** – výrazný endogenní faktor

Oxid uhličitý

- **Produkt půdního dýchání a dýchání makroorganismů** (1/3 CO₂ využitelného ve fotosyntéze). Rozpuštěn ve vodě, součást biomasy, půdy a sedimentů, uvolňován zpět do ovzduší
- Současná **koncentrace CO₂ v ovzduší** v roce 2010 - cca 390 ppm (μ mol/mol vzduchu) = 0,03 – 0,04%, v půdě 10 x více, v daleké minulosti až 30%, postupný vliv zelených rostlin na snižování
- V polovině 18. století 270-280 ppm, za posledních 650 000 let nikdy nepřesáhla 310 ppm
- Vzrůstající tendence **1ppm/rok** v roce 1970-1979, **1,9 ppm** 2000-2006.
- Antropogenní vliv - spalování fosilních paliv, odlesňování...
- **Skleníkový plyn**, zvyšování teploty v důsledku pohlcování dlouhovlnného vyzařování Země, krátkovlnné záření prostupné, **oteplování povrchové vrstvy atmosféry a oceánů**
- *Historický vývoj koncentrací CO₂ – viz obrázky v příloze*

CO₂/Fotosyntéza

- **CO₂ jako aktivátor** a substrát fotosyntézy, vliv na fotorespiraci, dýchání a vodivost průduchů
- **Fixace CO₂ samovolnou difuzí** – průduch, mezibuněčné prostory, buňka, cytoplasma, **chloroplast**, stroma – přeměna. Primární a sekundární fáze fotosyntézy

Jednotlivé kroky:

1. - CO₂ - aktivátor enzymu RUBISCO Calvinova cyklu (**karbamylyace**).
Navázání na molekulu inaktivního enzymu a kationtu Mg , za vzniku aktivovaného komplexu
2. CO₂ – substrát (**karboxylace**) – enzymatická reakce s primárním akceptorem RuBP (ribulóza-1.5-bifosfát)
3. Formování primárních produktů přes **přenos elektronů na NADPH** (nikotinamidadeninnukleotidfosfát a ATP adenositrifosfát tzv. univerzální „energetické platidlo“)

Fotosyntéza - C₃-rostliny

- **většina známých rostlin a řas** – rostliny mírného pásu
- prvním stabilním meziproduktem asimilace je tříuhlíkatý 3-fosfoglycerát \Rightarrow C₃-rostlin
- sekundární procesy realizují Calvinovým cyklem
- akceptorem CO₂ je ribulóza -1,5-bifosfát
- menší přírůstek biomasy – téměř polovinu produktů fotosyntézy prodýchají

Fotosyntéza C₄-rostliny

- hlavně **rostliny tropů a subtropů** (kukuřice, ananas, agáve, cukrová třtina, proso) – asi jen 18 %
- vyšší nároky na příjem CO₂, potřebují hodně slunečního záření, jiná stavba listu
- prvotním akceptorem CO₂ je **fosfoenolpyruvát**
- prvotními **produkty jsou maláty, asparáty a oxalacetáty**
- teprve CO₂ z prvotních produktů přenášen na ribulóza - 1,5-bifosfát, pak stejně jako u Calvinova cyklu
- dvojí prostorově oddělená karboxylace (**2 typy chloroplastů**)
- větší přírůstek biomasy, protože mají nižší **fotorespiraci**

Fotosyntéza CAM-rostliny

- **sukulentní rostliny** (pouštní, tučnolisté)
- musí šetřit vodou \Rightarrow průduchy otevírají v noci \Rightarrow přijímají CO_2 a fixují ho do malátu
- malát skladují ve vakuolách
- ve dne z malátu uvolňují CO_2 \Rightarrow vstupuje do Calvinova cyklu
- dvojí časově oddělená karboxylace

Fotosyntetická aklimace

- Rozdílná reakce fotosyntézy (**fotosyntetická aklimace** – aklimační deprese f.) **na zvýšenou koncentraci CO₂**.
Vliv druhu, minerální výživy, délky působení...)

Respirace

- Dýchání živých organismů
- Respirace (**aerobní**)
- $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + E$
- Respirace (**anaerobní**)
- $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + CO_2 + E$
- **Kompenzační bod fotosyntézy**(CO_2 fotosyntézy= CO_2 respirace)

LAI - listová pokrývnost

- **Vyjadřuje plochu asimilačních orgánů nad určitou plochou porostu.**
- Je označována LAI (leaf area index - index listové plochy, listová pokrývnost)
- **$LAI = \frac{\text{plocha listů}}{\text{plocha povrchu půdy}}$**
- Veličinu je možné stanovit pro jednotlivé vrstvy, patra a etáže ekosystémů
- Stinné a slunné listoví - (jiná efektivita fotosyntézy, př. smrk, buk)

LAI v lesních porostech

- ekosystém lužního lesa 4 - 6 pro stromové patro, 2 - 3 pro patro keřové a 3,0 pro patro bylinné
- středoevropské bukové lesy – 6 -7
- tropický deštný les 11 - 30
- stepní společenstva 3,5 – 4
- luční porosty 3 - 6
- zapojené smrkové porosty 14 - 22

Význam fotosyntézy

- udržuje život na Zemi
 - **přeměna světelné energie** na chemickou
 - **produkce organických látek** (biomasa 1ha=energie 8t hnědého uhlí)
 - **produkce kyslíku** (1ha lesa/10tkyslíku =potřeba cca 40 lidí)
 - **udržuje koncentraci CO₂ v atmosféře** (ročně akumuluje 15t CO₂ = produkce auta za 90 tis.km) a ukládání uhlíku v ekosystémech
 - **udržuje vlhkostní režim krajiny** – evapotranspirace (1ha lesa=40 000l vody ve formě vodní páry)
- existuje více než 2 miliardy let (sinice)
- vytvořila energetické suroviny

Globální změna klimatu

- Dlouhodobá odchylka klimatických parametrů Země, např. teplot, srážek, rychlosti větru od dlouhodobých průměrů a trendů charakteristických do začátku 20. století – antropické vlivy
- Výsledkem je oteplování zemské atmosféry vlivem rostoucího množství CO₂ (47%) a jiných skleníkových plynů (metan 27%, freony, oxidy dusíku, CO, vodní páry) v atmosféře – **princip skleníkového efektu**.
- Část **dlouhovlnného vyzařování země** prochází atmosférou, částečně je pohlcováno a **odráženo na molekulách skleníkových plynů a oblačnosti zpět** do atmosféry v podobě **tepelného (infračerveného)** záření. Uvolňuje se teplo a dochází k ohřívání především zemského povrchu a atmosférického vzduchu (troposféry).
- Přírodní skleníkový efekt je dějem prospěšným, avšak skleníkový efekt **nepříznivě ovlivňuje přírodní cirkulační děje** a oteplování atmosféry.
- **Důsledkem jsou změny produkčních procesů, výskyt a rozšiřování expanzivních druhů**, změna přírodní vegetační pásmitosti, narušení ekosystémů
- Podrobně viz HC dne 16.10.2012 v AV Centrum výzkumu globální změny

Biomasa

- **Biomasa** – hmotnost sušiny organické hmoty vyprodukované rostlinami nebo živočichy **v určitém časovém okamžiku na jednotce plochy (v rostlinné ekologii včetně opadu a odumřelých částí).**
- U **rostlin** výsledek produkčních procesů (fotosyntézy, chemosyntézy) a degradačních procesů (dýchání)
- U **živočichů** výsledek životních procesů (konzumenti, predátoři, herbivoři, destruenti).
- Jednotkou je **hmotnost sušiny organické hmoty resp. uhlíku (kg)** nebo **množství vázané energie (J)** na jednotku plochy nebo jedince.
- Výsledek: např. biomasa celková, nadzemní , podzemní , poměr nadzemní/podzemní, živá, odumřelá..
- **Biomasa rostlin** je označována jako fytomasa, biomasa dřevin jako dendromasa, mrtvé části – nekromasa...

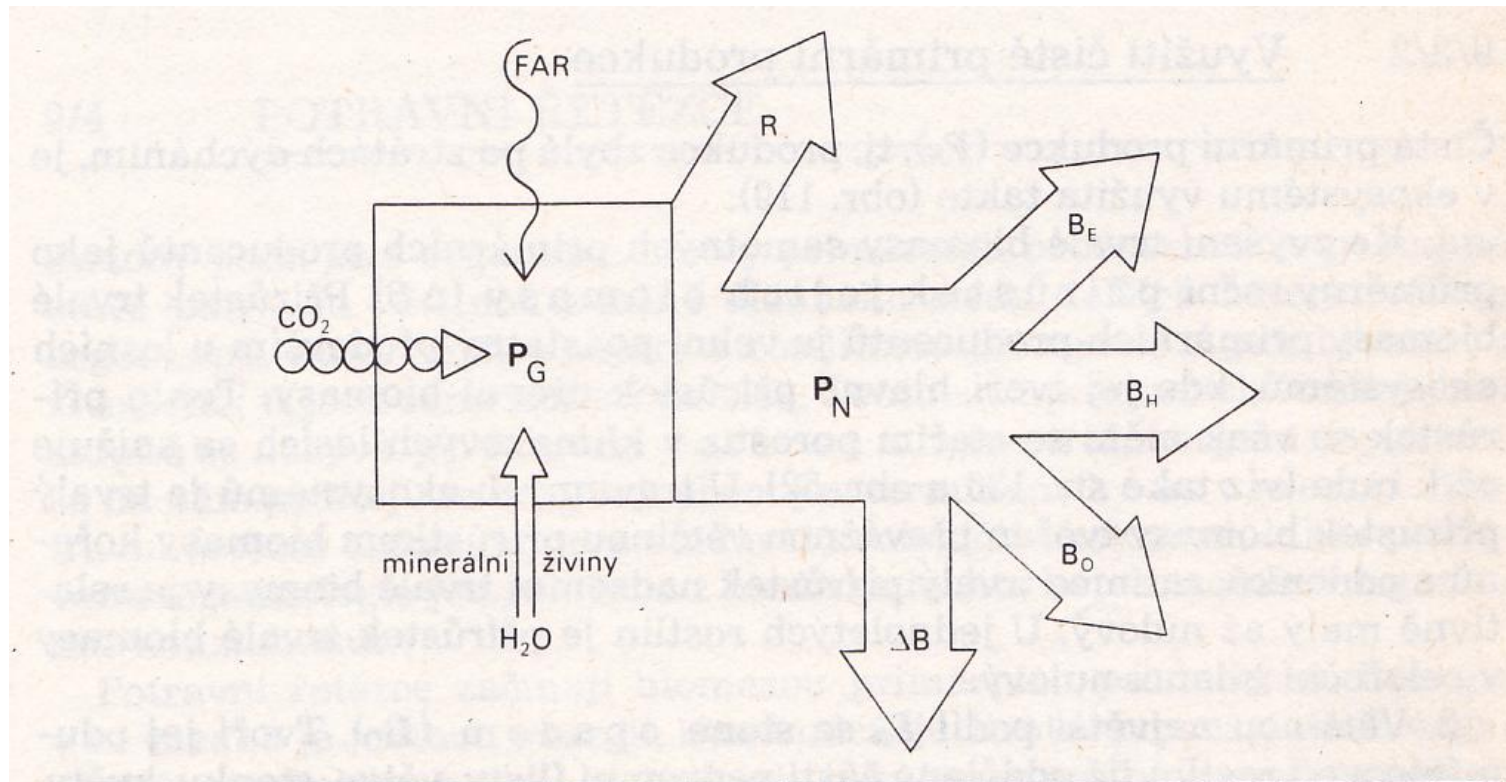
Rostlinná biomasa Země

- Je vylišována **biomasa jednotlivých biomů, ekosystémů funkčních složek ekosystémů** (rostlin, konzumentů apod.), pater (dřevin, keřového patra, bylinného patra atd.) či **částí rostlinných těl** (kmenů, větví, listí, kořenů).
- Množství biomasy je v jednotlivých biomech Země průměrně kolem $300 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (60 - $600 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).
- V lesních ekosystémech se projevuje výrazný trend **poklesu tvorby biomasy od rovníku k pólům**.
- Součást služeb ekosystémů
- Příklady viz.: Duvigneaud, P.: (1988)
Valentini, R.: (2003)
Nátr, L. (2011)
Dykyjová a kol. (1989)

Primární produkce

- **Primární produkce** – nadzemní i podzemní biomasa vytvořená za jednotku času. Nejčastěji vyjádřená v kg C/ha/čas
- **Hrubá (brutto) produkce** GPP (*gross primary production*) – teoretická hodnota, zahrnuje aktuální biomasu i ztráty dýcháním (R), opadem, okusem, těžbou apod.
- **Čistá (netto) produkce** NPP (*net primary production*) – čistý přírůstek sušiny (uhlíku) rostliny nebo porostu po odečtení ztrát dýcháním autotrofů a přičtením ztrát opadem, odumřením, konzumací..
- **Efektivita využití radiace** RUE (*radiation use efficiency*) – množství sušiny vyprodukované na jednotku absorbované energie slunečního záření
- **Čistá ekosystémová produkce** NEP (*net ecosystem production*) – biomasa (energie) po odečtení ztrát dýcháním autotrofů a heterotrofů (dekompozice organické hmoty, respirace konzumentů), denní bilance může být i záporná (zataženo, noc..)
- **Čistá ekosystémová výměna** NEE (*net ecosystem exchange*) – okamžitá výměna, rozdíl mezi asimilací a respirací autotrofů a heterotrofů.

Produkce primárních producentů a její další využití



119/ Produkce primárních producentů a její další využití: P_G hrubá primární produkce, P_N čistá primární produkce, R úbytek biomasy dýcháním rostlin, B_E export biomasy (těžba, sklizeň), B_H biomasa zkonsumovaná herbivory, B_O opad, ΔB přírůstek trvalé biomasy primárních producentů. FAR fotosynteticky aktivní záření (orig.)

Kritické faktory omezující primární produkci

- nedostatek fotosynteticky aktivní radiace (FAR –
- světelné spektrum vhodné pro fotosyntézu
- vysoká koncentrace CO₂
- nedostatek vody (potenciální evapotranspirace vyšší než srážky - aridní klima)
- krátká délka fotosyntetického období
- nedostatek minerálních zdrojů

Voda a minerální živiny ve vztahu k primární produkci

- voda (vodní bilance lesa)
- minerální živiny, biogeochemické koloběhy

Bude předmětem samostatné přednášky

Zjišťování NEE

- Přímé měření pomocí techniky **vířivé kovariance** (EC, z angl. *Eddy Covariance*).
- Metoda EC využívá rychlé a kontinuálně měřící analyzátory plynů (**okamžité koncentrace sledovaných látek v ovzduší**) a **pohyb vzduchu** je zjišťován ultrazvukovým anemometrem, který je schopen zaznamenat proudění vzduchu **v horizontálním i vertikálním směru**.
- V podstatě se jedná o **souběžné měření rychlosti a směru jednotlivých vírů vzduchu**, stanovení její vertikální složky a s ní spojenými přenosy látek, a to vše s vysokou frekvencí měření za sekundu.
- Výsledná průměrná výměna plynů mezi ekosystémem a atmosférou je potom kalkulována statistickou kovarianční metodou pro půlhodinové periody. V případě CO₂ se jedná o čistou **ekosystémovou výměnu uhlíku (NEE)**, v případě vodních par o **evapotranspiraci ekosystému**.
- *Podrobnosti v rámci HC v AV ČR 16.10.2013*

LAI a produktivita

- Korelace LAI a produktivita vegetace – jen do určitého bodu
- optimální LAI pro produkci – bylinná společenstva 4–6, travinná společenstva 8–10, les 5 – 22
- měření LAI rostlin – stanovení planimetrem, gravimetricky, skenerem
- měření LAI porostů pomocí dálkového průzkumu Země, poměr *near infra-red/red* záření ($0.7\text{--}1.1\ \mu\text{m}/0.6\text{--}0.7\ \mu\text{m}$)

Produktivita biomů

- V tropických deštných lesích tak NPP dosahuje až hodnoty $35 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$.
- V opadavých temperátních lesích se pohybuje NPP v rozmezí $6 - 25 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$, s průměrem kolem $12 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$
- V boreálních lesích jsou hodnoty primární produkce $4 - 20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$

Alokace a výměna uhlíku

- Ekosystém jako biologická pumpa atmosférického uhlíku
- Koloběh uhlíku, uhlíková bilance, sequestrace uhlíku, alokace uhlíku do biomasy a půdy
- Bilance (výměna, koloběh) uhlíku mezi úložišti (sinky) a zdroji
- Temperátní ekosystém (les) jako významný redepozitor uhlíku
- V porovnání s oceány jsou lesy menším úložištěm
- Roční toky (výměna) uhlíku mezi povrchem terestrických ekosystémů a atmosférou jsou srovnatelné s výměnou mezi oceány a atmosférou
- Důležitá je rovnováha mezi ukládáním uhlíku a jeho výdejem do atmosféry
- Uhlík vázaný v biomase lesů ČR cca 95 t C/ha -(biomasa stromů včetně listoví a kořenů) a v půdě cca 62 t C/ha (humusové vrstvě a minerální půdě) (zdroj. Cienciala a kol., in Marek a kol. 2011).

Otázky

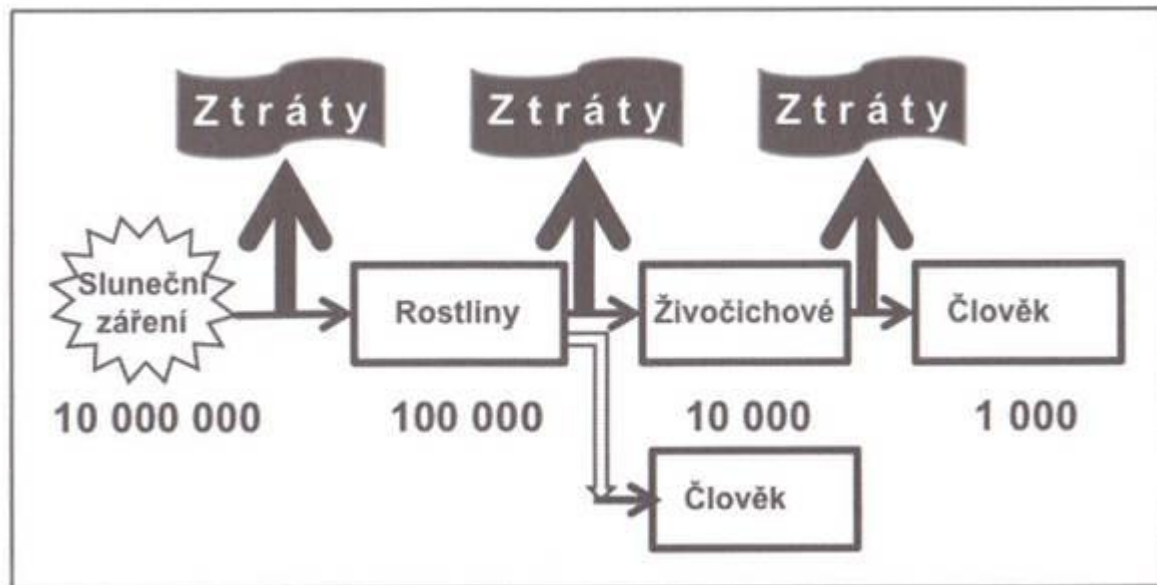
- Význam rostlinné složky ekosystémů
- Primární produkce, biomasa, definice, význam, měření, jednotky, příklady
- Základní podmínky tvorby biomasy
- Energetický cyklus v lesních ekosystémech
- Cyklus a alokace uhlíku v lesních ekosystémech
- GKZ – východiska, principy a hodnocení.

Doporučená literatura

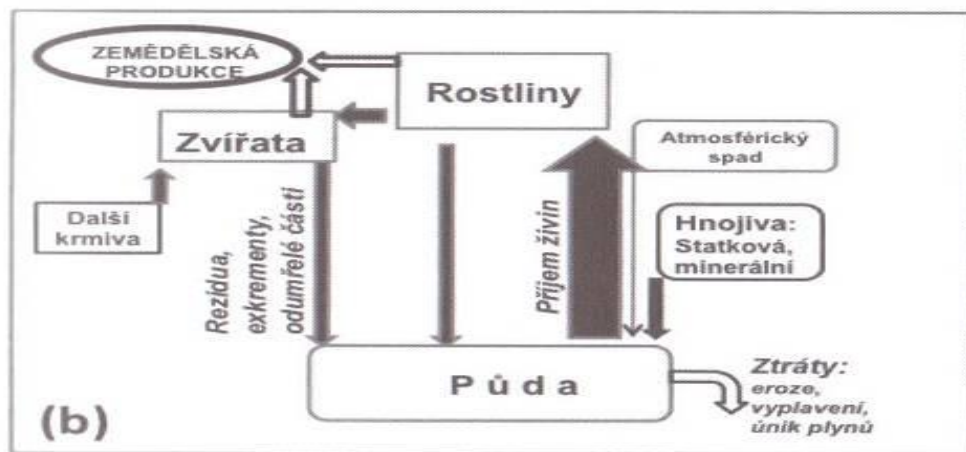
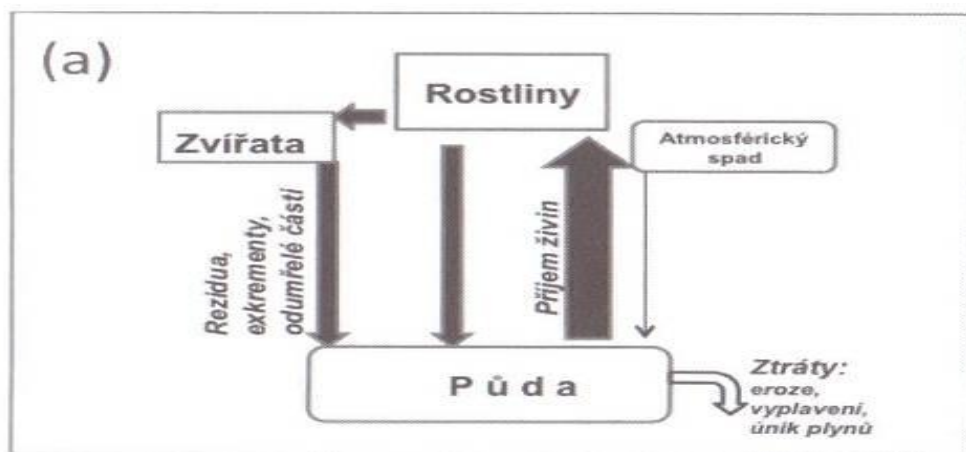
- J. Slavíková :Ekologie rostlin, SPN Praha, 1986
- D. Dykyjová a kol.: Metody studia ekosystémů, Academia Praha, 1989
- J. Kulhavý a kol.: Ekologie lesa I, II , MZLU Brno 2003, 2006
- I. Míchal: Ekologická stabilita, MŽP Praha 1992
- L. Nátr: Koncentrace CO₂ a rostliny, ISV, Praha 2000
- L. Nátr: Příroda nebo člověk, UK Praha. 2011
- M.V. Marek a kol.: Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu
- P. Duvigneaud: Ekologická syntéza, Academia. Praha. 1988. 320 s
- M. Begon, J.L. Harper, C.R. Townsend: Ekologie. Jedinci, populace a
společenstva Universita Palackého Olomouc. 1997. 950 s.
- J. Kadrnožka : Globální oteplování země, VUT v Brně, 2008
- R. Valentini (Ed): Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests,
Springer 2003

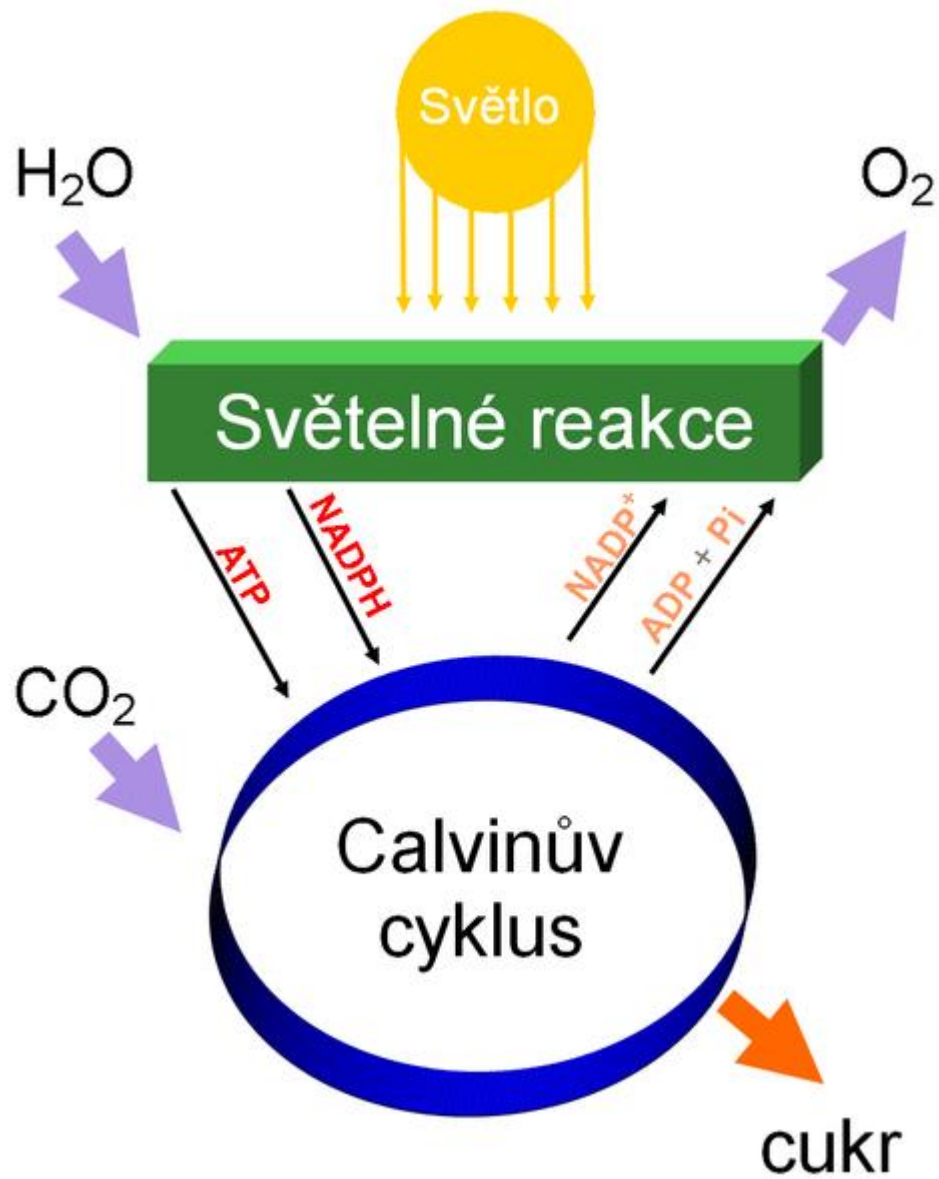
Obrazové a tabulkové přílohy

Znázornění potravní pyramidy a energetických ztrát mezi jednotlivými trofickými úrovněmi



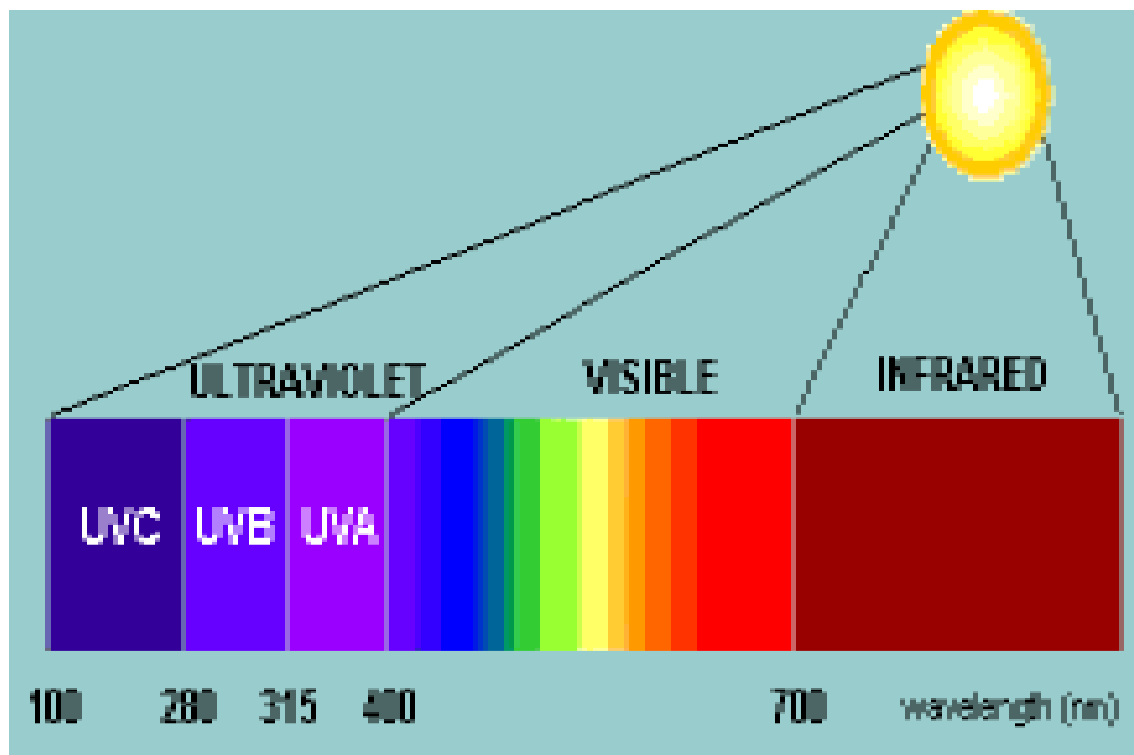
Rozdíly mezi toky minerálních živin mezi přírodním (a) a obhospodařovaným (b) ekosystémem (zemědělské porosty)



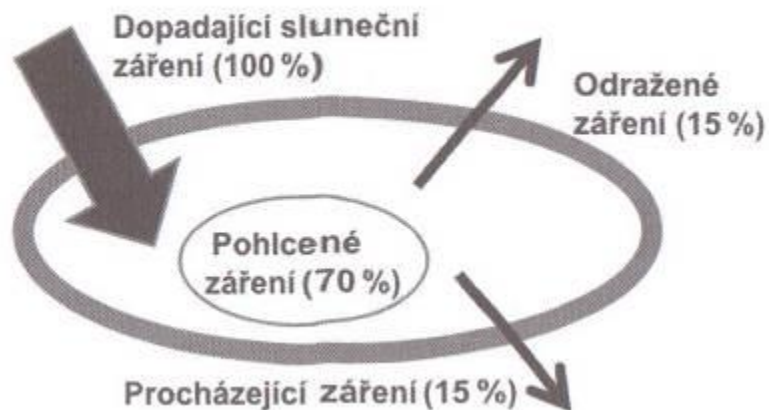


Spektrální složení světla

- UV (7%) – 290-380 nm, škodlivé pro organismy, význam ozonové vrstvy stratosféry, vysoká energie – kvanta fotonů
- **FAR (47%) – 400-720 nm, fotosyntéza, ohřev, stavba listů (slunné, stinné)**
- IR (46%) – nad 750 nm , po absorpci povrchem změna na teplo, nejnižší energie

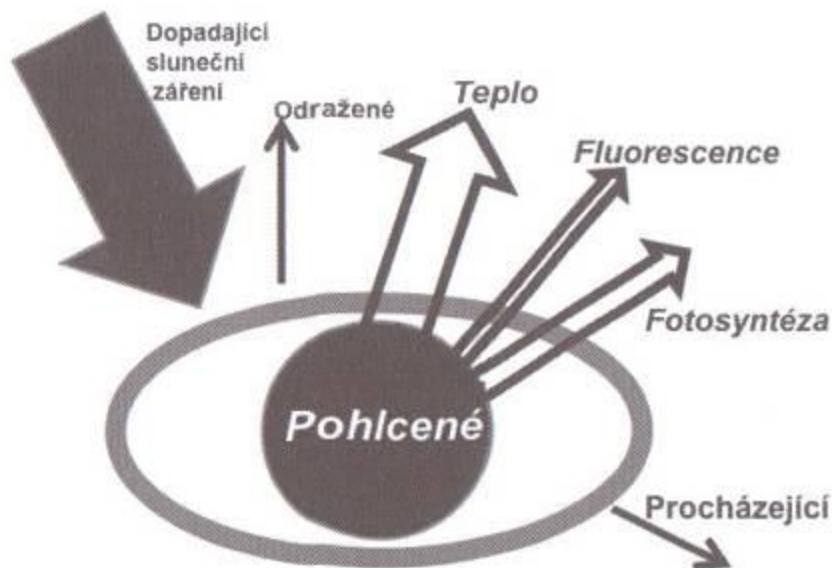


Absorpce, reflexe a transmise slunečního záření listem (a) a využití záření pohlceného chloroplastem ve fotosyntéze a fluorescenci (legenda viz Nátr, 2011 (str. 118))

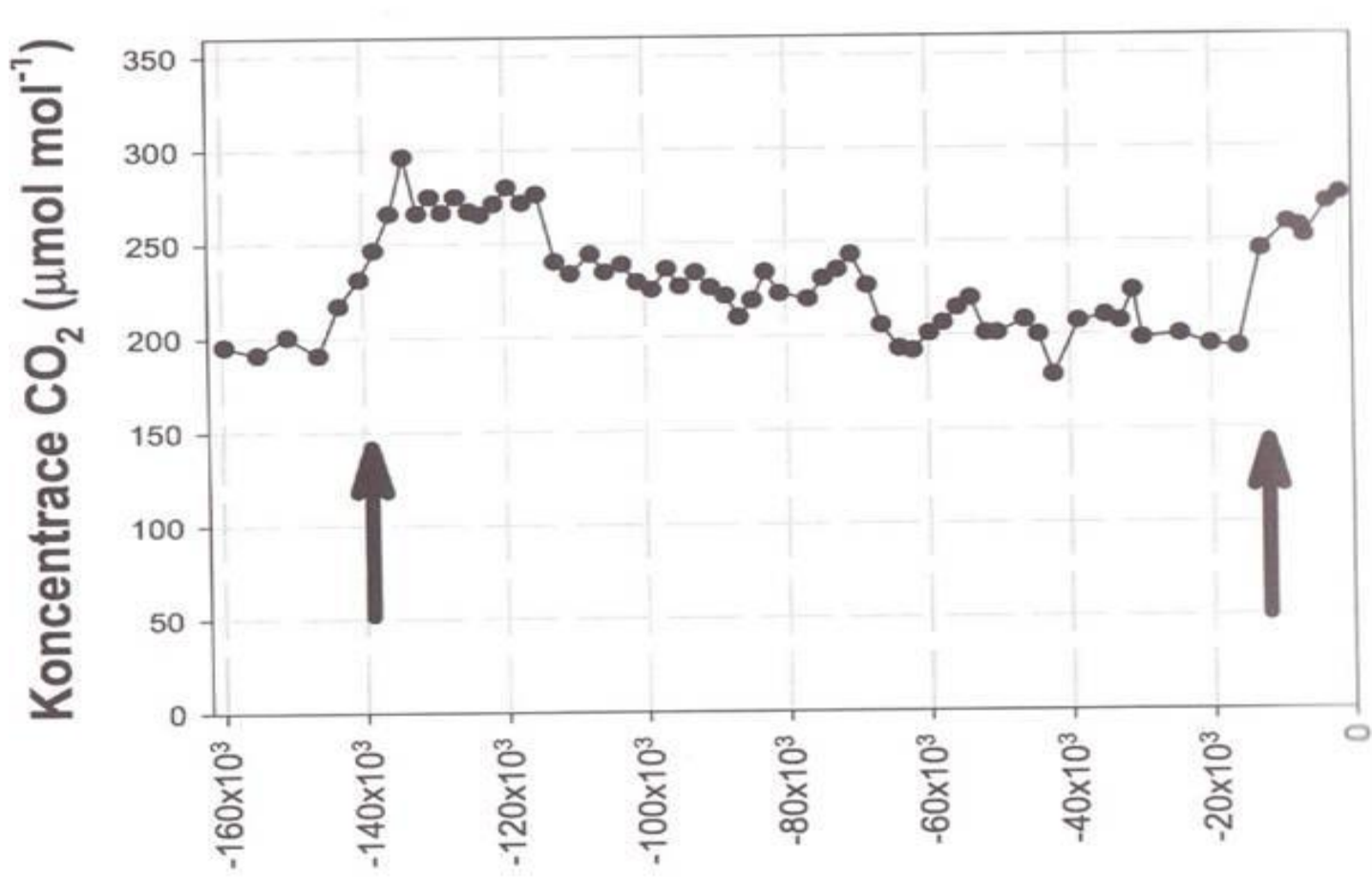


a)

b)

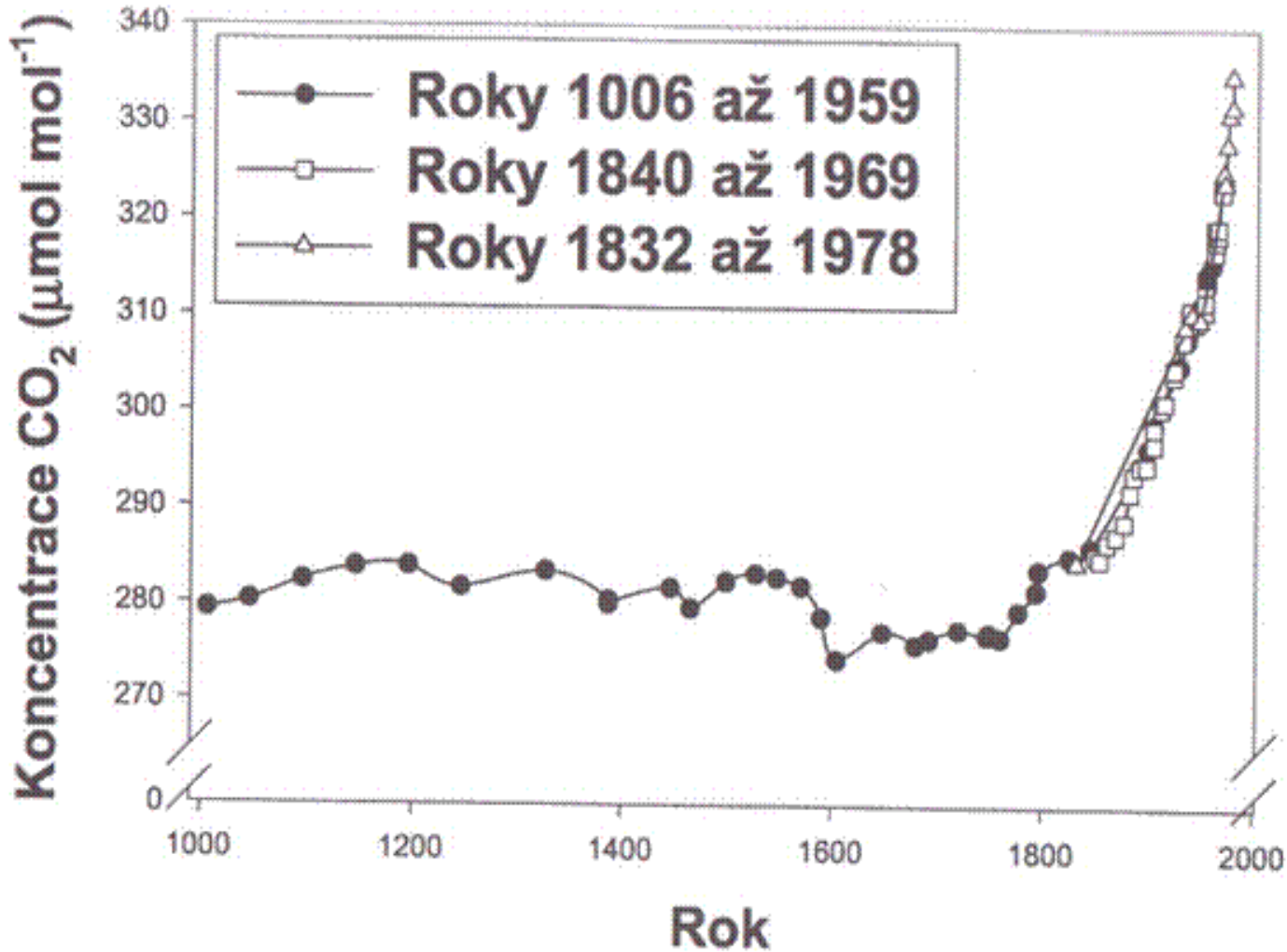


Koncentrace CO₂ v průběhu 160 tis. let

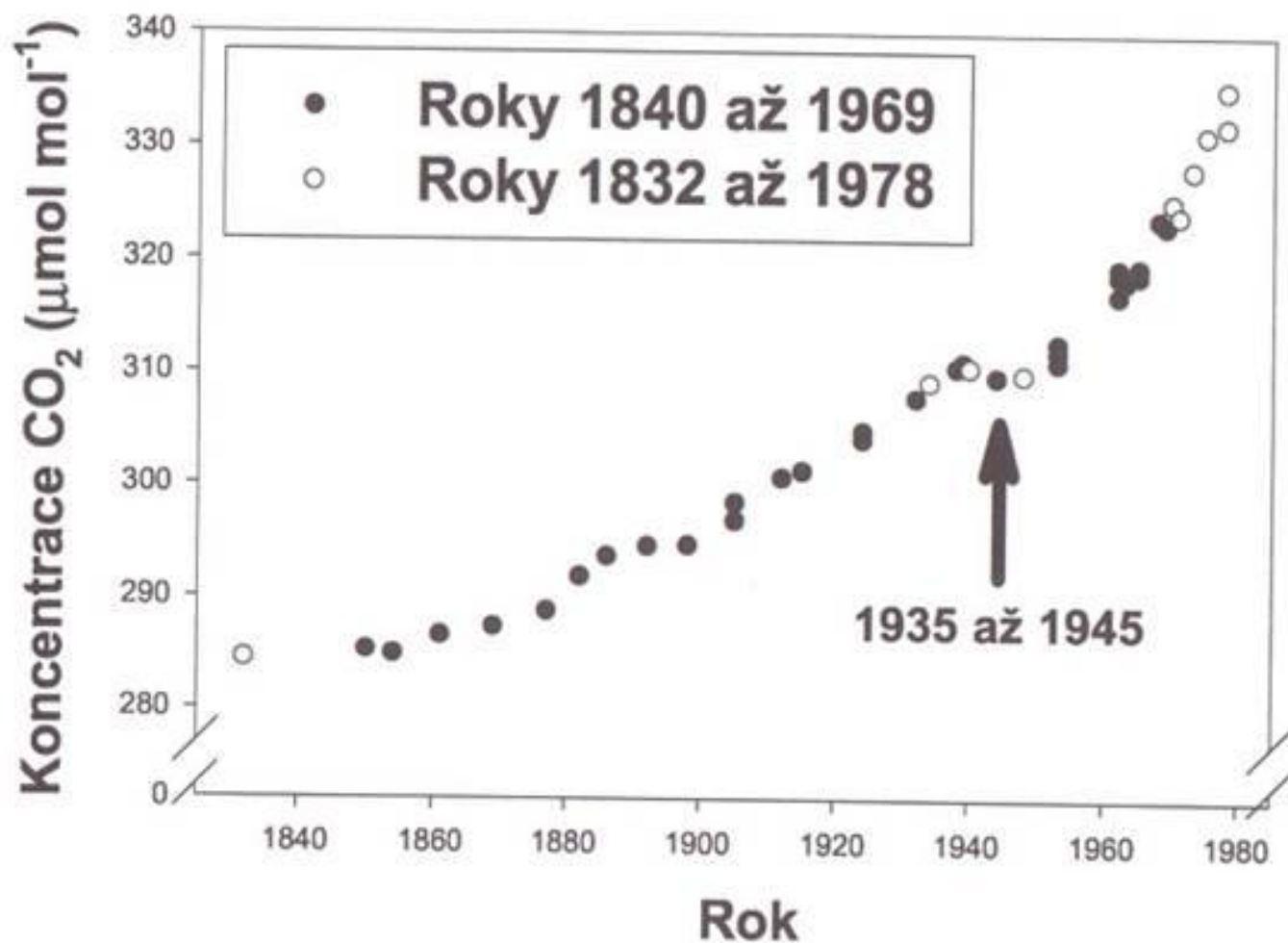


Roky před současností

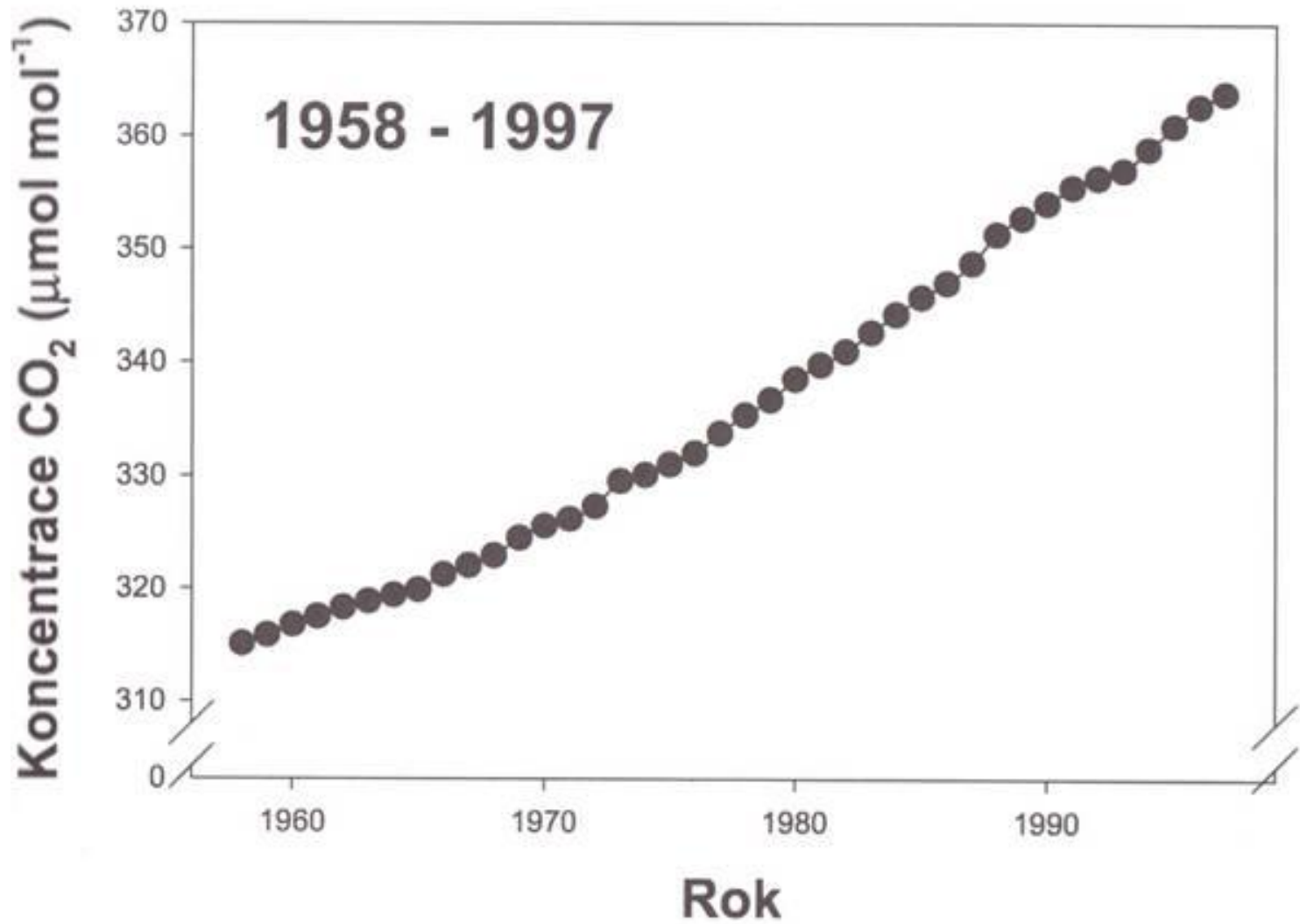
Koncentrace CO₂ v průběhu posledních 1000let



Koncentrace CO₂ v průběhu 1840-1969 a 1832-1978



Průběh koncentrace CO₂ v atmosféře Země (Manua Loa)



Koncentrace CO₂ na 32 lokalitách v letech 1984, 1988 a 1992. Legenda viz tab. 3.3.1 (Nátr, 2000)

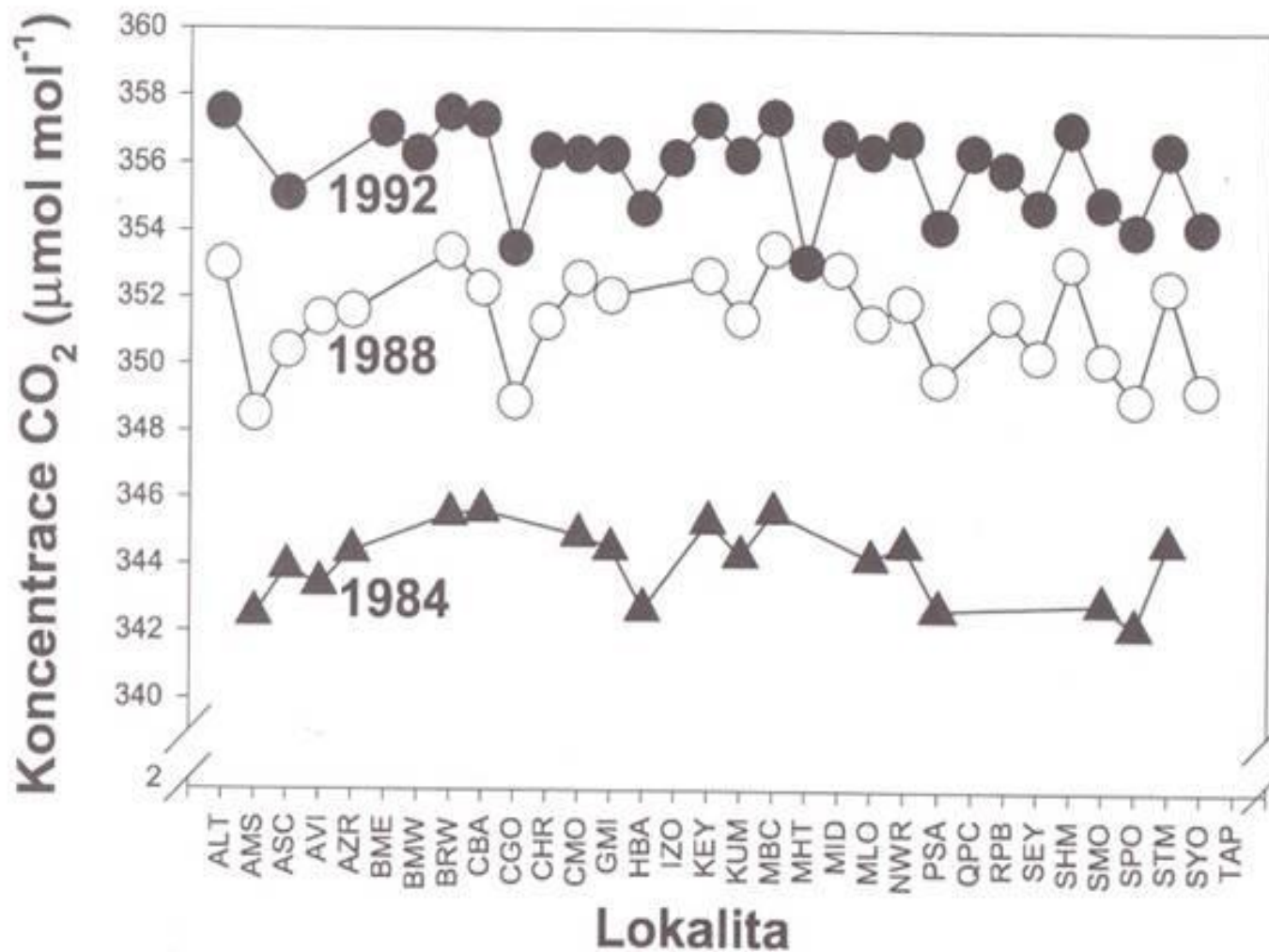
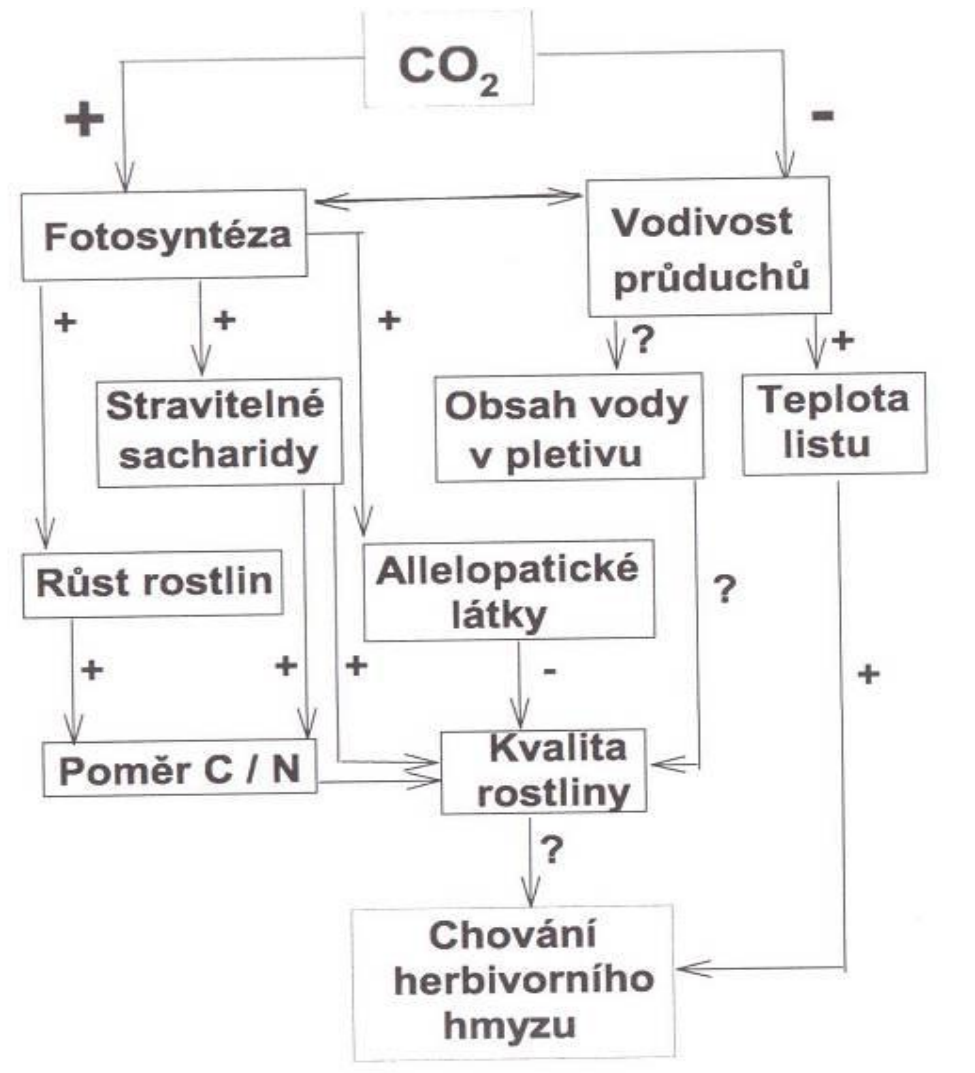
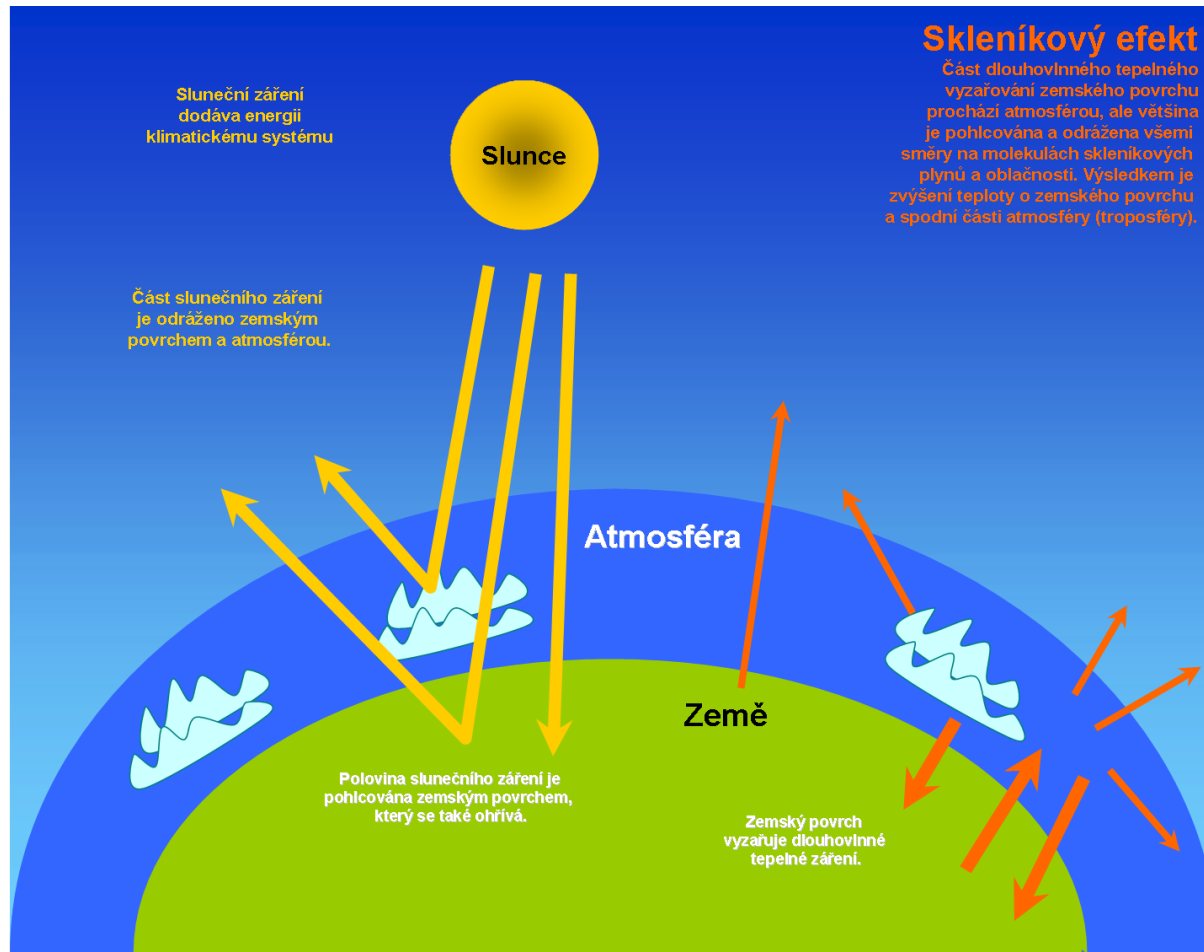


Schéma nepřímých vlivů zvýšené koncentrace CO₂ na chování herbivorního hmyzu



Princip skleníkového efektu

Zdroj: Le Treut *a kol.* 2007. (převzato Marek et al. 2011)

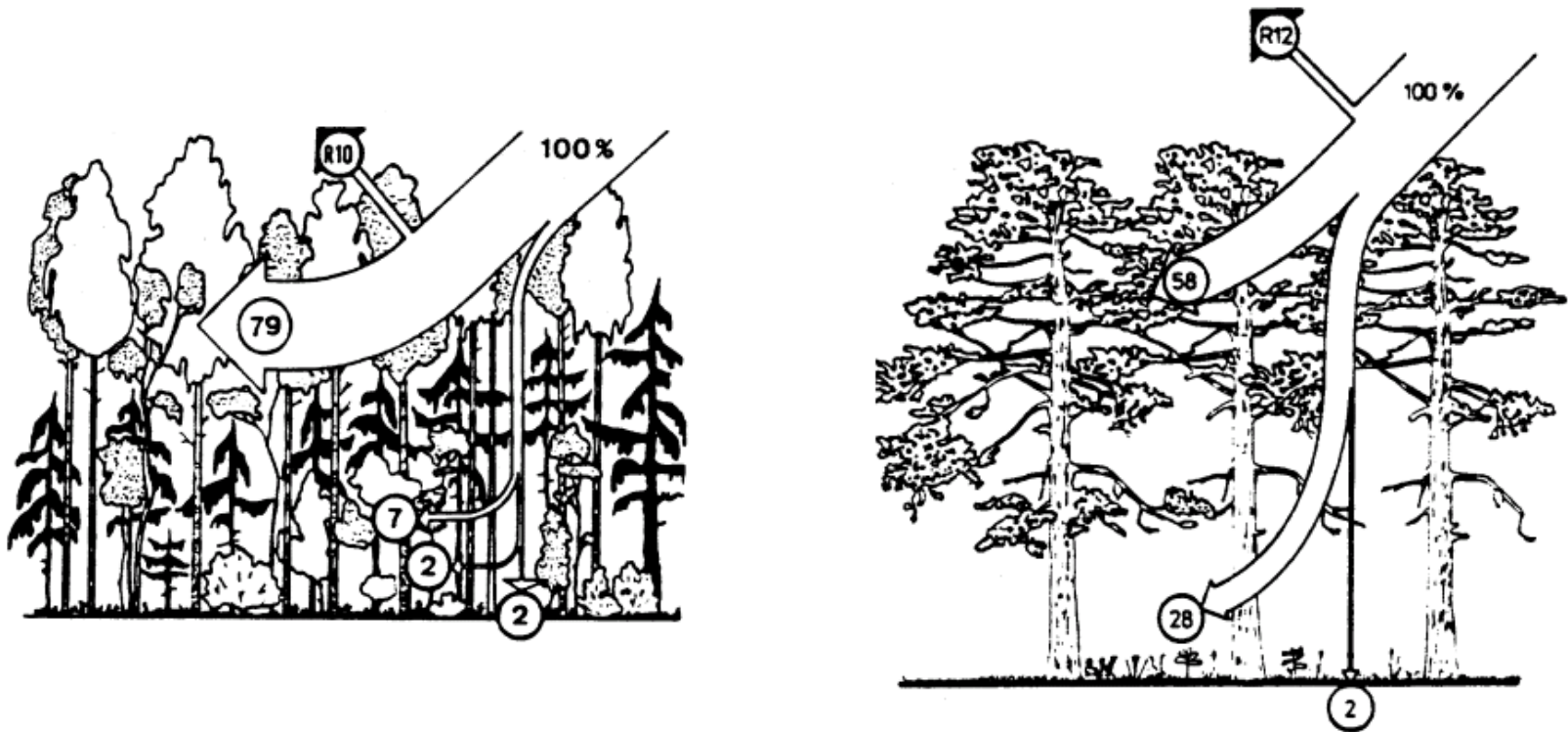


Výměna CO₂ a energie mezi ekosystémem a atmosférou

Princip použití **eddy-kovarianční techniky** pro stanovení toků energie (zjevné a latentní teplo) a látek (CO₂ a vodní pára) mezi suchozemským ekosystémem a přízemní vrstvou atmosféry. Upraveno dle Burba a Anderson 2005. (převzato Marek et al. 2011)



Distribuce světla v lesním ekosystému



Attenuation of radiation in various stands of plants. *Top left* A boreal birch-spruce mixed forest (Kairiukstis 1967); *top right* a thin pine forest (Cernusca 1977); *below left* a sunflower field (Hiroi and Monsi 1966); *below right* a maize field (Allen et al. 1964). R canopy reflectance. Most of the radiation penetrating dense, flat-leaved stands is absorbed and scattered in the upper third, whereas in stands with narrow, erect leaves the radiation is more evenly distributed

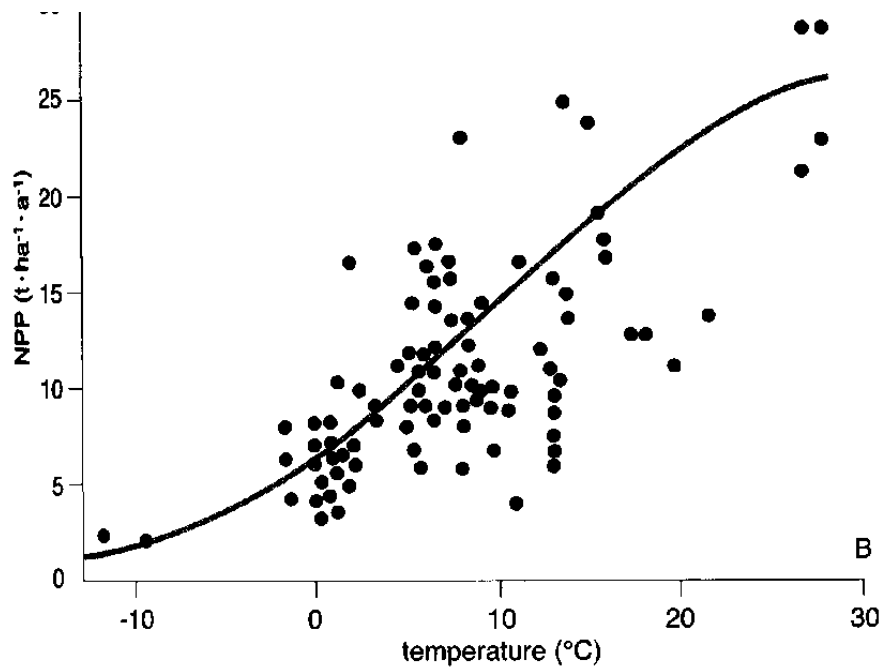
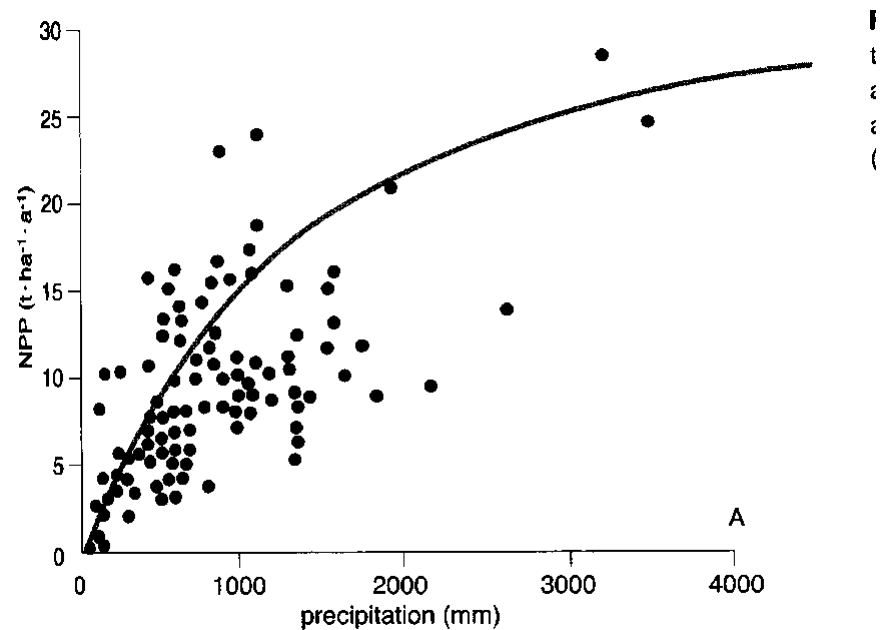
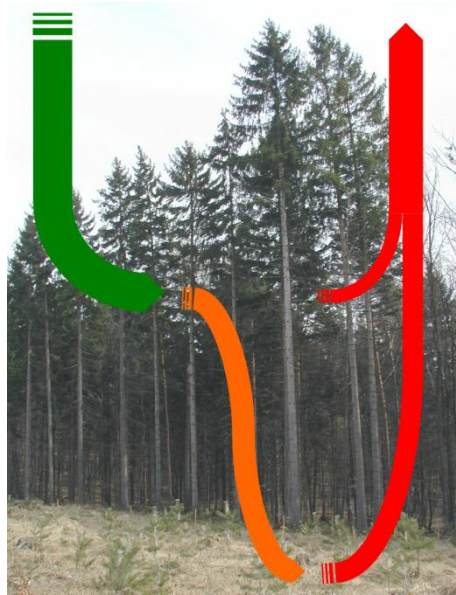
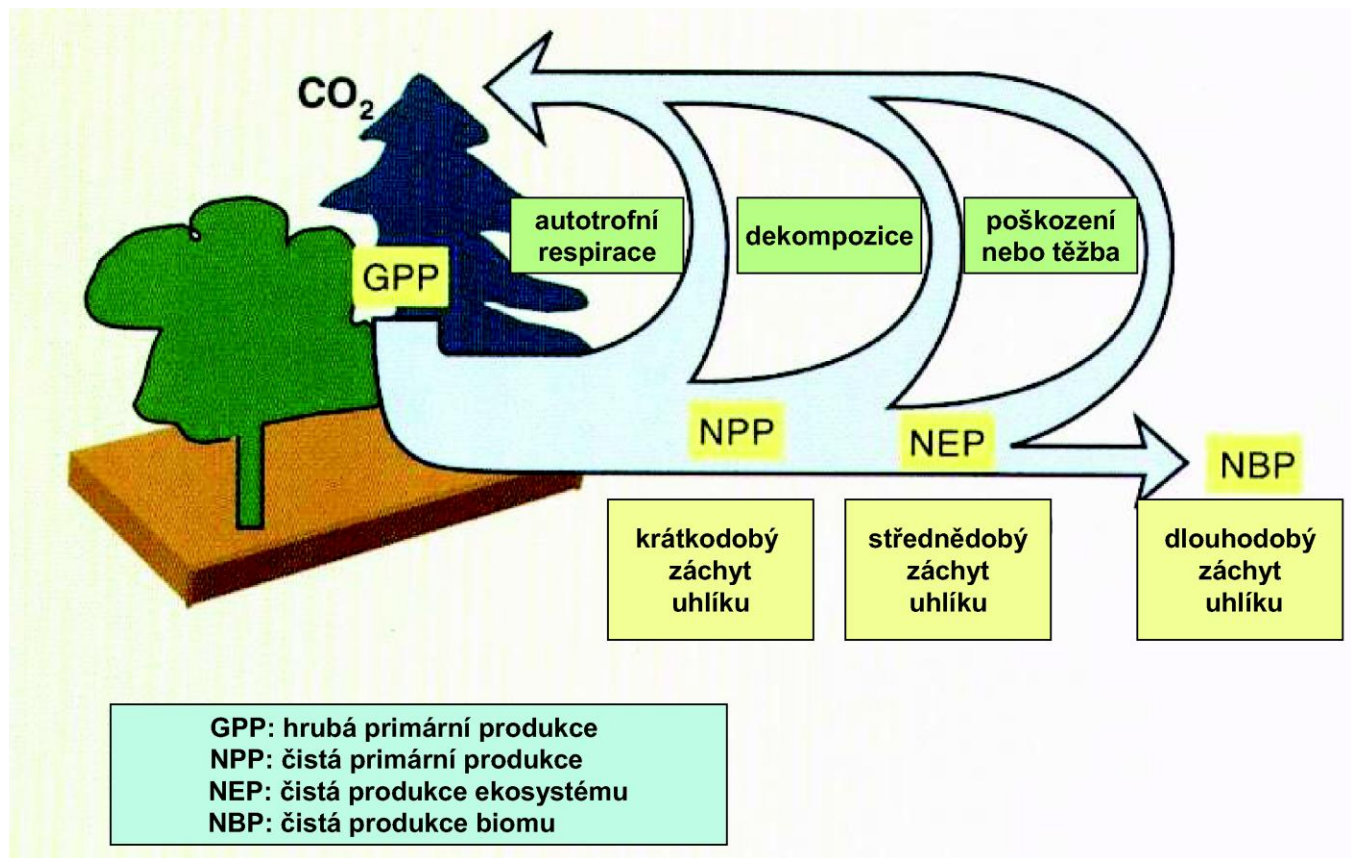


Fig. 59. Net primary production of forests depends on annual precipitation (A) and average annual temperature (B) (from EHLERS 1996)





Základní komponenty a bilance toků uhlíku do lesního porostu (zelená šipka – fotosyntetická fixace) a z lesního porostu (červená šipka – respirace kmenů, půdy, dekompozice, zvětrávání). Oranžová šipka představuje transport uhlíku uvnitř ekosystému. Zdroj: archiv autorů. (převzato Marek et al. 2011)



Základní složky uhlíkového cyklu lesního ekosystému. Zdroj: Carboeurope 2000. (převzato od Marek et al. 2011)

Schématické znázornění nepřímých účinků zvýšené koncentrace CO₂, zdroj: Nátr 2000

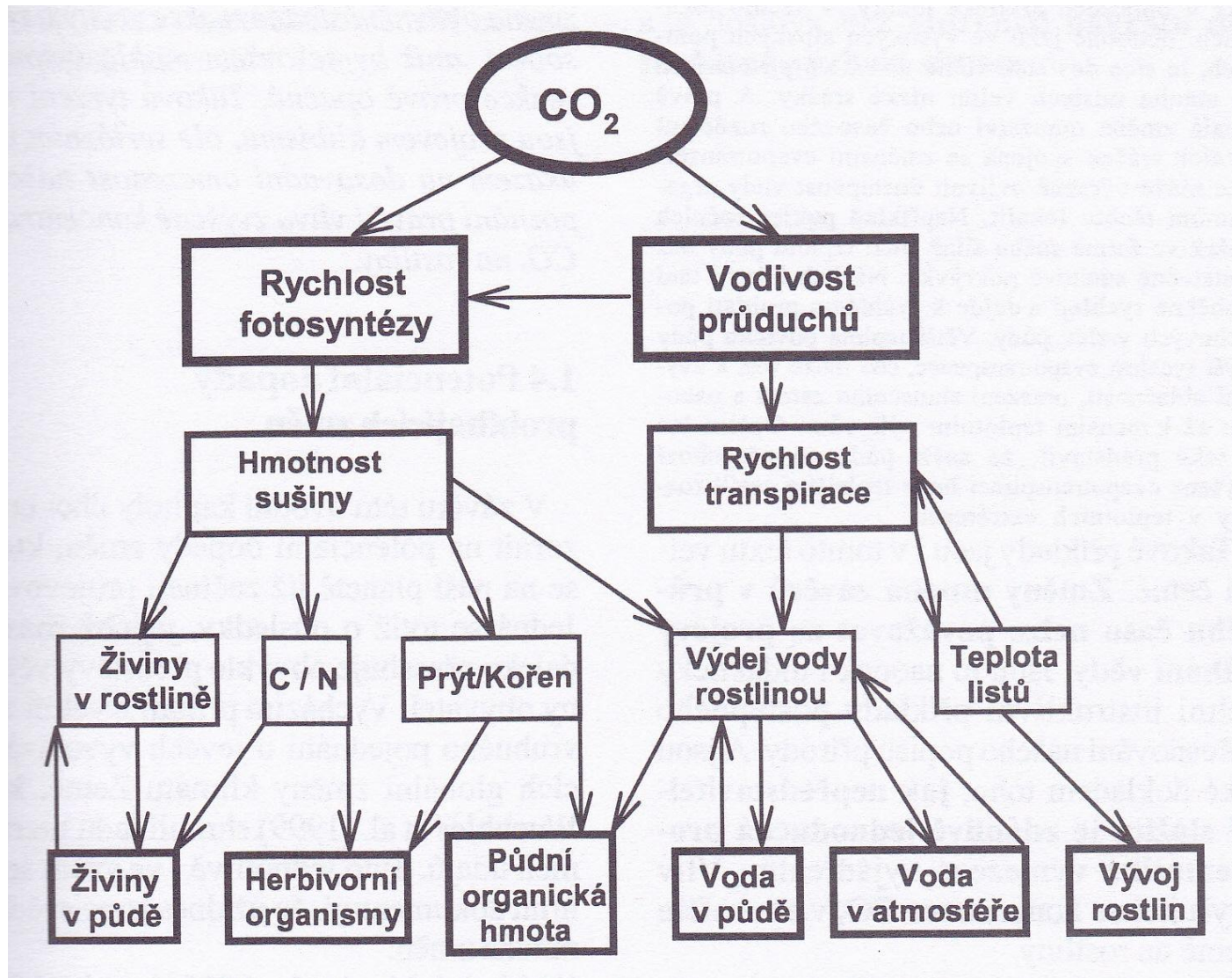
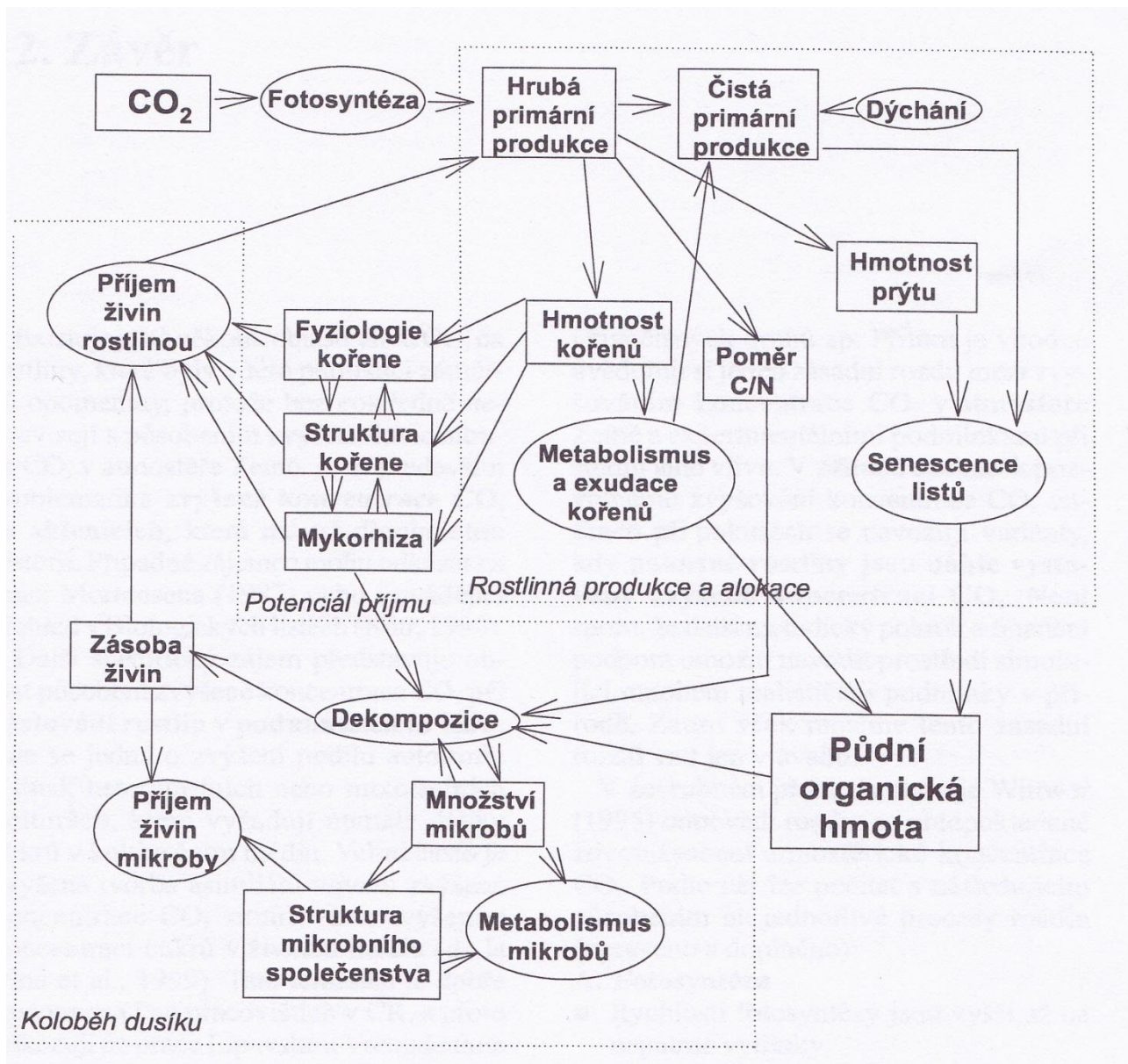
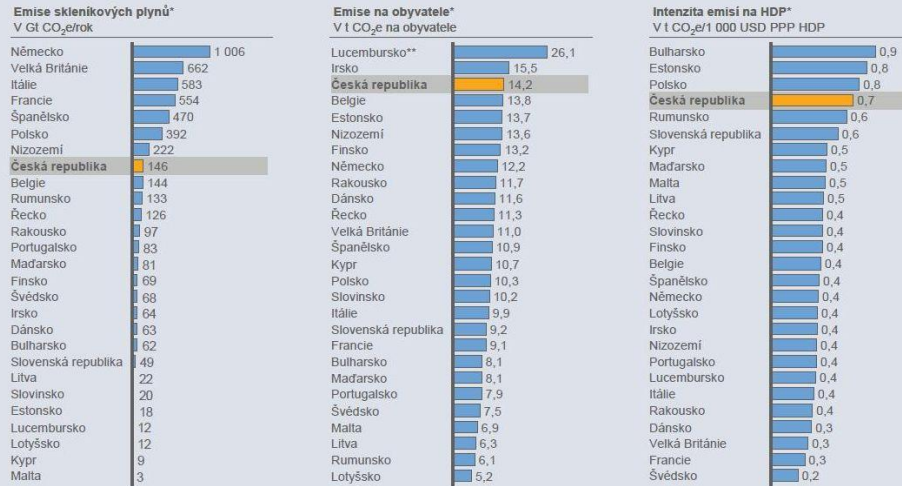


Schéma vzájemných vztahů mezi rostlinou a půdou při zvýšené koncentraci CO₂

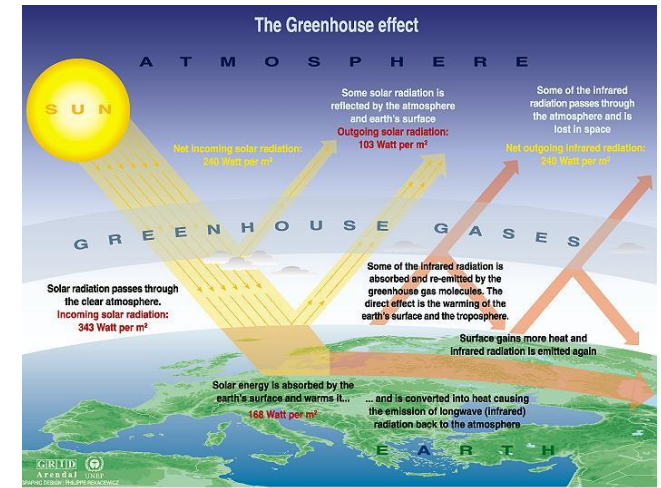


Obrazek 8: Emise skleníkových plynů v členských státech EU

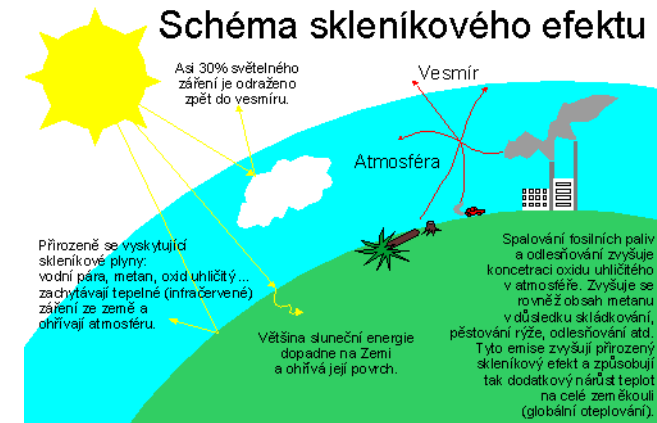
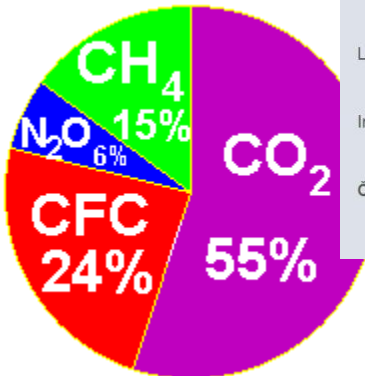
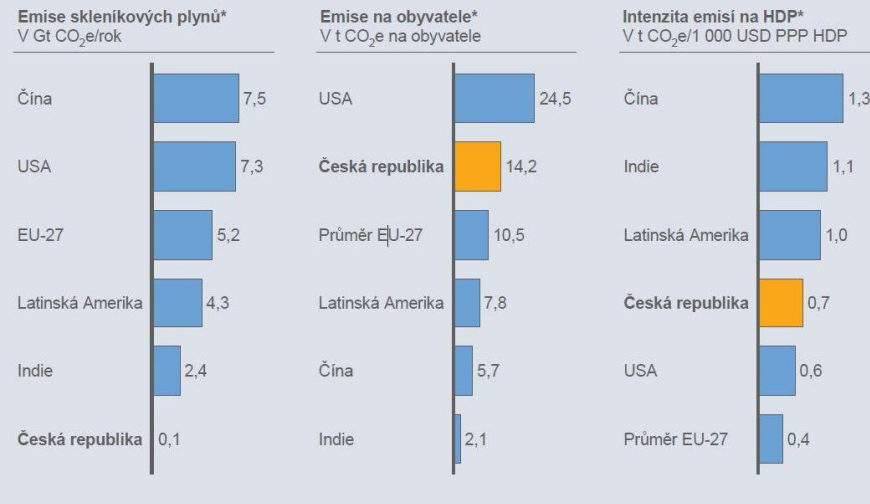


* Bez emisí souvisejících s lesnictvím a změnami využití půdy

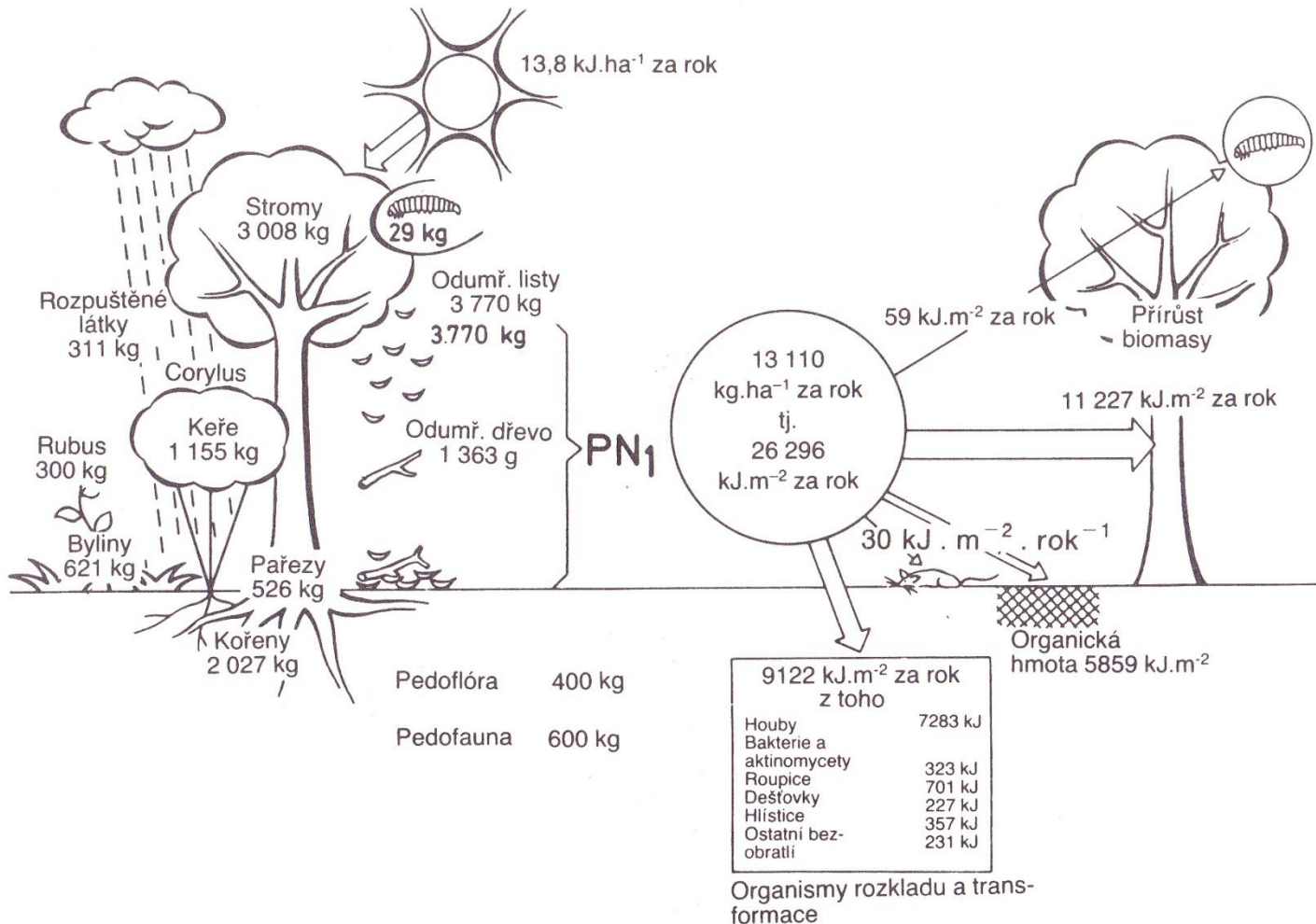
** Vysoké emise na obyvatele způsobené započtením prodeje velkého množství paliva v důsledku nižších cen než v sousedních zemích



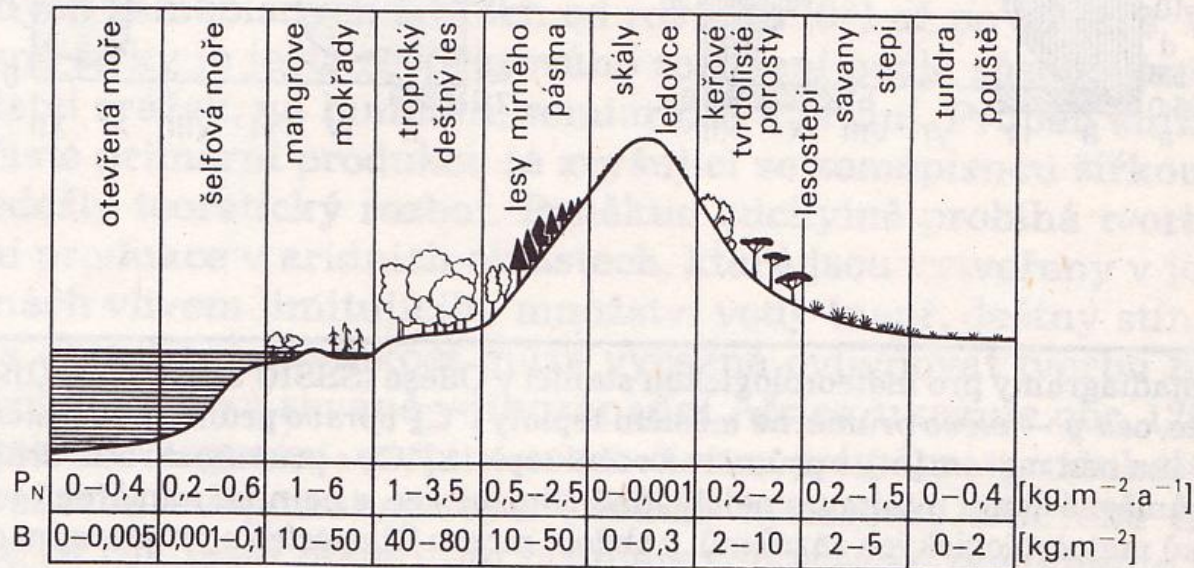
Obrazek 7: Mezinárodní srovnání emisí skleníkových plynů, 2005



Čistá primární produktivita a její využití (přírůst, sekundární produktivita)



Primární produkce a biomasa biomů na Zemi



123/ Rozdíly v roční čisté primární produkci (P_N) a biomase (B) v různých biomech na Zemi (podle LARCHERA 1980)

Biomasa a primární produkce Země

Slavíková, 1986

Biom	Plocha mil.km²	PN t.ha⁻¹.rok⁻¹	Biomasa t.ha⁻¹
Tropický deštný les	10,0	23,0	420,0
Tropický monzunový les	4,5	16,0	250,0
Mangrove	0,3	10,0	300,0
Temperátní stálezelený les	3,0	15,0	300,0
Temperátní opadavý les	3,0	13,0	280,0
Boreální les	9,0	8,0	230,0
Lesní plantáže	1,5	17,5	200,0
Jiná dřevinná společenstva	2,0	15,0	180,0
Chaparral a macchie	2,5	8,0	70,0
Savany	22,5	17,5	65,0
Temp. travinná spol.	12,5	7,8	16,0

Biom	Plocha mil.km²	PN t.ha⁻¹.rok⁻¹	Biomasa t.ha⁻¹
Tundra a alpínské hole	9,5	2,2	13,7
Keřové pouště a polopouště	21,0	1,4	7,9
Pouště	9,0	0,1	0,9
Ledovce	15,5	0,0	0,0
Jezera a řeky	2,0	4,0	0,2
Mokřady			
temperátní	0,5	25,0	75,0
tropické	1,5	40,0	150,0
Rašeliniště	1,5	10,0	50,0
Agroekosystémy	16,0	9,4	4,1
Urbanizované plochy	2,0	5,0	40,0