

## Tvorba biomasy a primární produkce v lesních ekosystémech



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

---

---

---

---

---

---

---

---

## Osnova

- Biomasa
- Primární produkce
- Fotosyntéza respirace
- Radiacní bilance
- Tok energie
- GKZ
- Aplikace v lesnictví

---

---

---

---

---

---

---

---

## Biomasa

Biomasa (fytomasa) – 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 degradacních procesů (dýchání, opadu odumřelých částí, spotřeby herbivory, exudace...).

U živočichů výsledek životních procesů. Jednotkou je hmotnost sušiny (kg) nebo uhlíku nebo množství vázané energie (J) na jednotku plochy nebo jedince. Biomasa celková, nadzemní (S), podzemní (R), poměr R/S, živá, odumřelá..

---

---

---

---

---

---

---

---

### Biomasa - pokračování

Biomasa rostlin je označována jako fytomasa, biomasa dřevin jako dendromasa, mrtvé části - nekromasa.

Je vylišována biomasa jednotlivých funkčních složek ekosystému (rostlin, konzumentu apod.), pater (dřevin, kerového patra, bylinného patra atd.) či částí rostlinných tel (kmenu, větví, listů, kořenu apod.).

---

---

---

---

---

---

---

---

### Biomasa a primární produkce Zeme

- Hodnota akumulace biomasy je v jednotlivých biomech zeme prumerne kolem  $300 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  ( $60 - 600 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).
- V lesnich ekosystémech se projevuje výrazný trend poklesu produkčních ukazatelů od rovníku k pólům.
- V tropických deštných lesích tak NPP dosahuje až hodnoty  $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ .
- V opadavých temperátních lesích se pohybuje NPP v rozmezí  $6 - 25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , s prumerem kolem  $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ .
- V boreálních lesích jsou hodnoty primární produkce  $4 - 20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

### Primární produkce

- Primární produkce – nadzemní i podzemní biomasa vytvorená za jednotku času
  - výsledkem asimilace  $\text{CO}_2$  a rady dalších faktorů (respirace, vodní provoz, biotické vztahy)
- 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 včetně ztrát po odečtení ztrát dýcháním autotrofu,  $P_N = P_G - R$
- Čistá ekosystémová produkce NEP (net ecosystem production) – po odečtení ztrát dýcháním autotrofu a heterotrofní respirace (dekompozice organické hmoty, respirace konzumentů)
- Čistá ekosystémová výměna NEE (net ecosystem exchange) – součet hrubé produkce a respirace ekosystému

---

---

---

---

---

---

---

---

### Základní podmínky primární produkce

- Sluneční energie, FAR
- CO<sub>2</sub>
- Klimatické podmínky – teplota, srážky
- Minerální živiny (N, Mg...)
- LAI (index listové plochy)
- Efektivita fotosyntézy
- Stáří společenstva (sukcese)
- Herbivorie, mykorrhiza, disturbance

---

---

---

---

---

---

---

---

### Kritické faktory omezující primární produkci

- nedostatek fotosynteticky aktivní radiace (FAR - jedná se o světelné spektrum vhodné pro fotosyntézu)
- vysoká koncentrace CO<sub>2</sub>
- nedostatek vody (potenciální evapotranspirace vyšší než srážky - aridní klima)
- krátká délka fotosyntetického období
- nedostatek minerálních zdrojů

---

---

---

---

---

---

---

---

### Fotosyntéza, tok energie

- Spouštěcím mechanismem toku energie v ekosystému 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
- CO<sub>2</sub> vstupuje difuzí prouduchy
- Význam karboxylacních enzymů
- Mení se světelná energie na chemickou energii
- Chemická energie se ukládá do vazeb organických látek
- Jednosměrný tok energie, postupná ztráta energie (dýchání, teplotní ztráty)

---

---

---

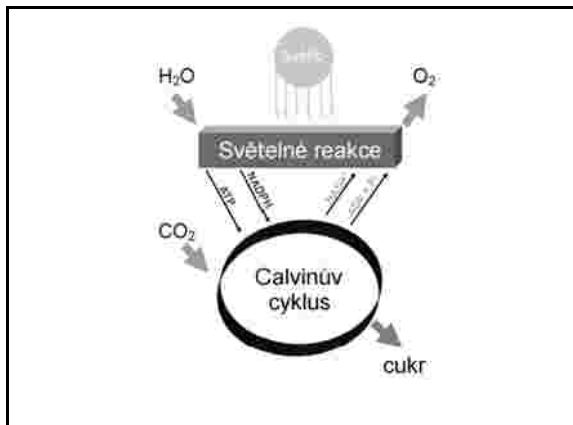
---

---

---

---

---




---



---



---



---



---



---



---

### Na čem závisí fotosyntéza?

- světlo (záření, ozáření) – kvalita (400 – 700 nm);
- velikost listové plochy (LAI)
- koncentrace  $CO_2$  – rostliny přizpůsobeny malé koncentraci (0,03%) velkou listovou plochou, zvýšení koncentrace (do 0,4%)  $\Rightarrow$  zvýšení fotosyntézy
- teplota – Gaussova krivka, optimum 25 - 30°C, u  $C_4$ -rostlin je vyšší
- voda – nutná pro fotolýzu, vliv na otevírání průduchu  $\Rightarrow$  příjem  $CO_2$

---



---



---



---



---



---



---

### Další faktory ovlivňující fotosyntézu

- množství a kvalita chloroplastu
- množství chlorofylu (karotenoidu)- obsah chlorofylu (a+b) – 0,2-0,6 g.m<sup>2</sup> listové plochy, odpovídá 0,5-2,0 % sušiny listu
- množství a vodivost průduchu
- minerální živiny – ovlivňují vytváření morfologické a anatomické struktury rostliny a průběh fyziologických procesů, podílejí se na stavbě chloroplastu, kde jsou součástí jednotlivých struktur a složkou enzymů
- stáří – výrazný endogenní faktor

---



---



---



---



---



---



---

### Sluneční záření („světlo“)

- Průměrná hustota ozáření během dne = solární konstanta -  $1,38 \text{ kJ.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Vlnová délka = 280-3000nm (max. okolo 470nm)
- 51% dopadá na povrch Země
- Země pohlcuje 47% ze sluneční konstanty
- Ultrafialové záření (UV) 290-380 nm – 9% (pohlčeno ionosférou a ozonosférou)
- Viditelné záření (FAR) fotosynteticky aktivní záření 380-750 nm – 45%, schopnost fotosynteticky aktivních pigmentů – napr. chlorofyl pohlcovat a využívat v syntéze organických látek
- Infracervené záření (IR) – nad 750 nm (absorbováno vodními párami, CO<sub>2</sub> prachem) – 46%
- Reflektance (všechna spektra, závisí na postavení listu, zelené listy 10-20%)
- Absorpce (všechna spektra, včetně FAR)
- 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%).
- Transmise (10-40%, závisí na složení listových pigmentů, tloušťce listu..)
- Heliofity, heliosciofity, sciofity

---

---

---

---

---

---

---

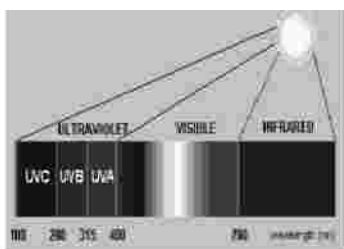
---

---

---

### Spektrální složení světla

- UV (7%) – 290-380 nm
- FAR (47%) – 400-720 nm
- IR (46%) – nad 750 nm




---

---

---

---

---

---

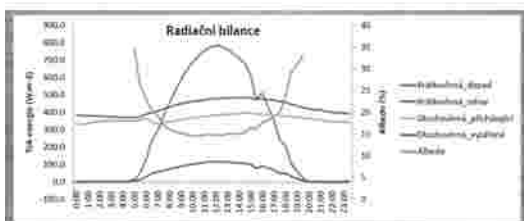
---

---

---

---

### Radiční 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<sup>-1</sup>). 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.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Skleníkový efekt

- Oteplování zemské atmosféry vlivem rostoucího množství  $\text{CO}_2$  a jiných skleníkových plynů v atmosféře.
- Část dlouhovlnného vyzařování zeme prochází atmosférou, částecne je pohlcováno a odráženo na molekulách skleníkových plynů a oblačnosti zpět do atmosféry v podobě tepelného (infracerveného) záření. Uvolňuje se teplo a dochází k ohřívání především zemského povrchu a atmosférického vzduchu (troposféry).
- Přírodní skleníkový efekt je dejem prospěšným, avšak skleníkový efekt, jak jej známe v dnešní době nepříznive ovlivňuje přírodní cirkulační deje a oteplování atmosféry.
- Důsledkem jsou změny produkčních procesu, výskyt a roširování expanzivních druhů, změna přírodní vegetační pásmitosti, narušení ekosystému

---

---

---

---

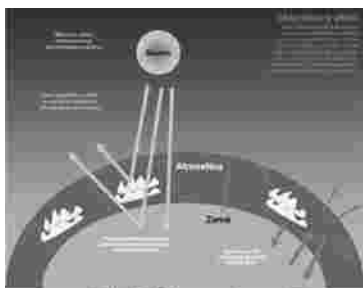
---

---

---

---

Princip skleníkového efektu. Zdroj: Le Treut a kol. 2007. (prevzato Marek et al. 2011)




---

---

---

---

---

---

---

---

## Oxid uhlicitý

- $\text{CO}_2$  jako aktivátor a substrát fotosyntézy, vliv na fotorespiraci, dýchání a vodivost pruduchu

Dva kroky:

1.  $\text{CO}_2$  - aktivátor enzymu RUBISCO Calvinova cyklu (karboxylace). Navázání na molekulu inaktivního enzymu a kationtu Mg, za vzniku aktivovaného komplexu
2.  $\text{CO}_2$  - substrát karboxylace - enzymatická reakce s primárním akceptorem RuBP (ribulóza-1,5-bifosfát)
3. Formování primárních produktu CC-triázafosfátu

Rozdílná reakce fotosyntézy (fotosyntetická aklimace - aklimacní deprese f.) na zvýšený vliv  $\text{CO}_2$ . Vliv druhu, minerální výživy, délky působení...

---

---

---

---

---

---

---

---

## CO<sub>2</sub>

- Koncentrace CO<sub>2</sub> - cca 370 ppm mmol/mol vzduchu (vzrůstající tendence 1ppm/rok) – spalování fosilních paliv, skleníkový plyn, zvyšování teploty v důsledku pohlcování dlouhovlnného vyzařování Země, globální oteplování
- Produkt pudního dýchání
- Produkt dýchání makroorganismu (1/3 CO<sub>2</sub> využitelného ve fotosyntéze)
- Rozpuštěn ve vodě, součást biomasy, sedimenty, uvolnen zpět do ovzduší

---

---

---

---

---

---

---

---

## Evapotranspirace

Evapotranspirace je souhrnný výpar z rostlin (transpirace) a z ostatních povrchu (evaporace). Význam spočívá v aktivní schopnosti rostlin aktivně ovlivňovat množství odparené vody a tím ovlivňovat své okolí. Transpirace probíhá prostřednictvím proudu, kterých je na listech rostlin 100 až několik set na mm čtvereční. Každý proudek je zvlášť regulován, z tohoto pohledu funguje vegetace jako velmi účinné klimatizační zařízení, reagující na jakoukoli změnu okolního prostředí.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Fotosyntéza - C<sub>3</sub>-rostliny

- sekundární procesy realizují Calvinovým cyklem
- většina známých rostlin a ras (řepa, slunečnice, obiloviny) – většina rostlin na zemi
- rostliny mírného pásu
- menší přírůstek biomasy – téměř polovinu produktu fotosyntézy prodýchají
- akceptorem CO<sub>2</sub> je ribulóza -1,5-bifosfát
- prvním stabilním meziproduktem asimilace je triuhlíkatý 3-fosfoglycerát ⇒ C<sub>3</sub>-rostliny

---

---

---

---

---

---

---

---

### Fotosyntéza C<sub>4</sub>-rostliny

- hlavně rostliny tropu a subtropu (kukurice, ananas, agáve, cukrová trtina, proso) – asi jen 18 %
- vyšší nároky na příjem CO<sub>2</sub>, potřebují hodně slunečního záření, jiná stavba listu
- prvním akceptorem CO<sub>2</sub> je fosfoenolpyruvát
- prvotními produkty jsou maláty, asparáty a oxalacetáty
- teprve CO<sub>2</sub> z prvotních produktů přenášen na ribulóza - 1,5-bifosfát, pak stejně jako u Calvinova cyklu
- dvojitě prostorově oddělená karboxylace (2 typy chloroplastu)
- větší přírůstek biomasy, protože mají nižší fotorespiraci

---

---

---

---

---

---

---

---

### Fotosyntéza CAM-rostliny

- sukulentní rostliny (pouštní, tučnolisté)
- musí šetřit vodou ⇒ prouduchy otevírají v noci ⇒ přijímají CO<sub>2</sub> a fixují ho do malátu
- malát skladují ve vakuolách
- ve dne z malátu uvolňují CO<sub>2</sub> ⇒ vstupuje do Calvinova cyklu
- dvojitě časově oddělená karboxylace

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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<sub>2</sub> fotosyntézy=CO<sub>2</sub> respirace)

---

---

---

---

---

---

---

---



### Fotorespirace

- Významný obranný mechanismus spočívající v oxygenázové aktivitě enzymu Rubisco (ochrana před fotoinhibičním poškozením)

---

---

---

---

---

---

---

---

### LAI - listová pokrývnost

- Vyjadruje plochu asimilacních orgánů nad určitou plochou porostu.
- Je označována LAI (leaf area index - index listové plochy, listová pokrývnost)
- $LAI = \frac{\text{plocha listu}}{\text{plocha povrchu pudy}}$
- Velicinu je možné stanovit pro jednotlivé vrstvy, patra a etáže ekosystému
- Stinné a slunné listoví

---

---

---

---

---

---

---

---

### LAI v lesních porostech

- ekosystém lužního lesa - 4,6 pro stromové patro, 2,6 pro patro keřové a ještě 3,0 pro patro bylinné
- stredoevropské bukové lesy - 6,6
- tropický deštný les - 11,4
- stepní společenstva - 3,5 – 4,0
- lucní porosty - 3 - 6
- smrková mlazina - až 14

---

---

---

---

---

---

---

---

### LAI a produktivita

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

---

---

---

---

---

---

---

---

### Význam fotosyntézy

- udržuje život na Zemi
  - přeměna světelné energie na chemickou
  - produkce organických látek
  - produkce kyslíku
  - udržuje koncentraci  $\text{CO}_2$  v atmosféře
- existuje více než 2 miliardy let (sinice)
- vytvořila energetické suroviny

---

---

---

---

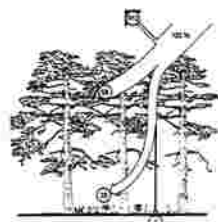
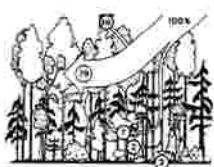
---

---

---

---

### Distribuce světla v lesním ekosystému



Attenuation of radiation in various stands of plants. Top left: A broad leaf species mixed forest (Klasičková 1967); top right: a thin pine forest (Cervinka 1977); below left: a meadow (Hříbřík 1959) and below right: a meadow field (Hříbřík et al. 1964). If canopy reflection: Mass of the radiation penetrating below, the higher stands is absorbed and scattered in the upper third, whereas in stands with narrow, erect leaves the radiation is more evenly distributed.

---

---

---

---

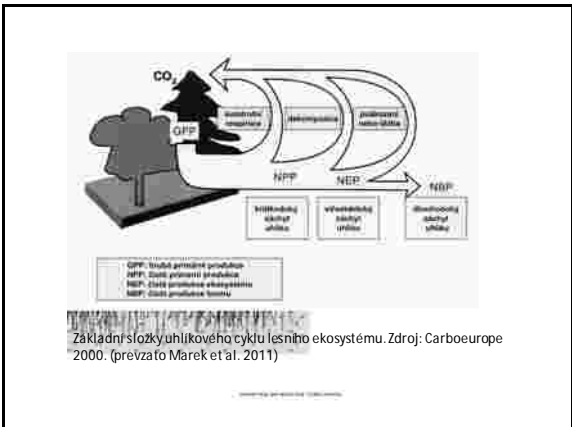
---

---

---

---






---

---

---

---

---

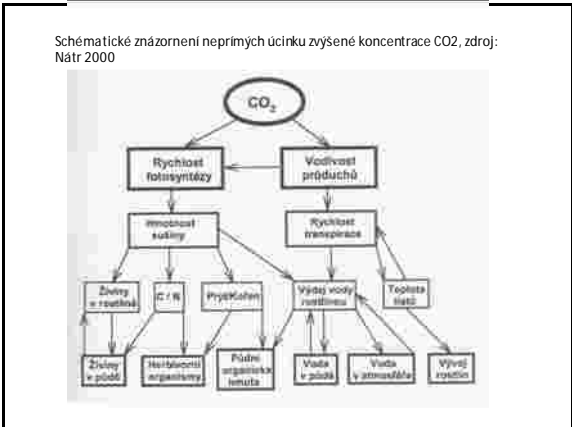
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

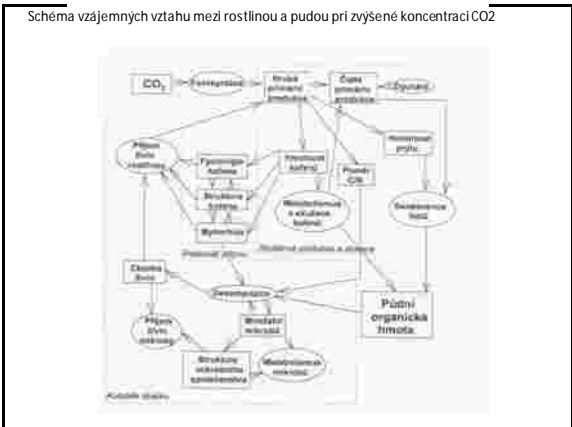
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Merení toku energie a látek

- Primé merení pomocí techniky vířivé kovariance (EC, z angl. Eddy Covariance).
- Metoda EC využívá rychlé a kontinuálně měřící analyzátořy plynu (okamžitě 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 vířů vzduchu, stanovení její vertikální složky a s ní spojenými přenosy látek, a to vše s frekvencí 21 měření za sekundu.
- Výsledná průměrná výměna plynu mezi ekosystémem a atmosférou je potom kalkulována statistickou kovarianční metodou pro půlhodinové periody. V případě CO<sub>2</sub> se jedná o čistou ekosystémovou výměnu uhlíku (NEE), v případě vodních par o evapotranspiraci ekosystému.



#### Výměna CO<sub>2</sub> a energie mezi ekosystémem a atmosférou

Princip použití eddy-kovarianční techniky pro stanovení toku energie (zjevné a latentní teplo) a látek (CO<sub>2</sub>, a vodní pára) mezi suchozemským ekosystémem a přízemní vrstvou atmosféry. Upraveno dle Burba a Anderson 2005. (převzato Marek et al. 2011)




---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

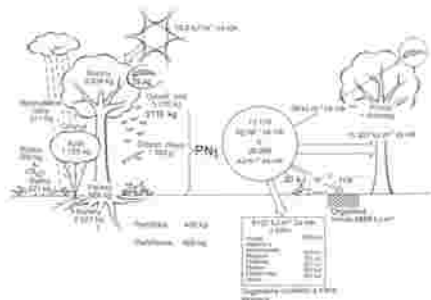
---

---

---



### Cistá primární produktivita a její využití (prírůst, sekundární produktivita)




---

---

---

---

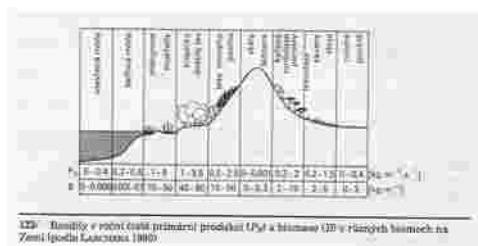
---

---

---

---

### Primární produkce a biomasa biomu na Zemi




---

---

---

---

---

---

---

---

### Biomasa a primární produkce Zeme

| Biom                       | Plocha mil.km <sup>2</sup> | PN t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> | Biomasa t.ha <sup>-1</sup> |
|----------------------------|----------------------------|--|----------------------------|
| 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. km <sup>2</sup> | PNt.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> | Biomasa t.ha <sup>-1</sup> |
|----------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|
| Tundra a alpské hole       | 9,5                         | 2,2                                     | 13,7                       |
| Kerové poušče a polopoušče | 21,0                        | 1,4                                     | 7,9                        |
| Poušče                     | 9,0                         | 0,1                                     | 0,9                        |
| Ledovce                    | 15,5                        | 0,0                                     | 0,0                        |
| Jezera a reky              | 2,0                         | 4,0                                     | 0,2                        |
| Mokřady                    |                             |   |                            |
| temperátní                 | 0,5                         | 25,0                                    | 75,0                       |
| tropické                   | 1,5                         | 40,0                                    | 150,0                      |
| Rašelinišče                | 1,5                         | 10,0                                    | 50,0                       |
| Agroekosystémy             | 16,0                        | 9,4                                     | 4,1                        |
| Urbanizované plochy        | 2,0                         | 5,0                                     | 40,0                       |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Doporučená literatura

- J. Slavíková – Ekologie rostlin, SPN Praha, 1986  
D. Dykyjová a kol. – Metodystudia ekosystému, Academia Praha, 1989  
J. Kuřihavý a kol. – Ekologie lesa I, II, MZLU Brno 2003, 2006  
I. Michal – Ekologická stabilita, MŽP Praha 1992  
L. Nátr – Koncentrace CO<sub>2</sub> a rostliny, ISV, Praha 2000  
L. Nátr – Fotosyntetická produkce a výživa lidstva, ISV, Praha 2002  
M.V.Marek a kol. Uhlík v ekosystémech České republiky v menším 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.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Otázky

- Význam rostlinné složky ekosystému
- Biomasa, primární produkce, definice, význam, měření, jednotky, příklady
- Základní podmínky tvorby biomasy
- Energetický cyklus v lesních ekosystémech
- GKZ

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---