

Ekofyziologie produkční aktivity



Radek Pokorný



EVROPSKÁ UNIE




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



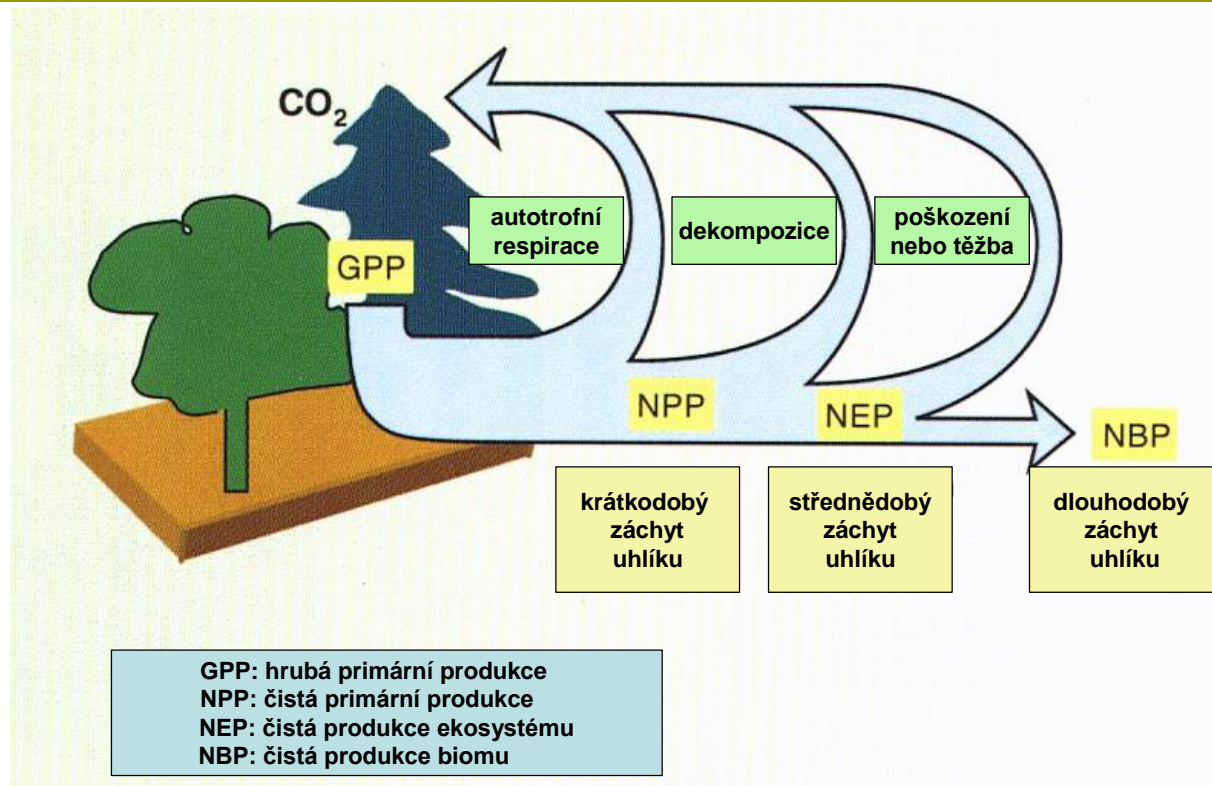
Strom a jeho prostředí
Ekologie
Eko-fyziologie
Produkce

Strom a jeho prostředí

- Růstové prostředí stromu tvoří komplex fyzikálních, chemických a biologických parametrů.
- Fyzikální a chemické parametry zahrnují počasí, klima a půdu-
sluneční záření (intenzita, typ, kvalita), srážky (množství, rozložení,
chemizmus), pohyb a složení větru (rychlost a typ proudění, obsah
pevných nečistot, obsah chem. látek..), struktura a textura půdy,
hloubka půdy, vlhkost, obsah živin, pH, orografie terénu..
- Biologické parametry zahrnují vzájemné vazby a interakce s dalšími
živými organismy (rostliny- stromy, keře, byliny, tráva a živočichové-
zvěř, hmyz, houby, mikroorganismy..)

Kompletní a exaktní kvantifikace parametrů prostředí je téměř nemožná.

Primární produkce



$$GPP = f(A_N \cdot LAI \cdot t)$$
$$NPP = GPP - R$$

*tvorba biomasy
ukládání biomasy
stanovení biomasy*

PRODUKCE

zásoba biomasy (g/m^2 nebo t/ha) - celkové množství sušiny
v daném okamžiku

produkce společenstva = množství sušiny vytvořené vegetačním pokryvem
na jednotku povrchu půdy

velikost produkce závisí na-

- rychlosti asimilace CO_2
- velikostí asimilačních povrchů (LAI)
- kvalitou asimilačních povrchů
- mírou absorpce sluneční radiace
- délkou světelné periody
- délkou vegetační sezóny

Bio-produkční funkce lesa

Produkce lesa - souhrn objemů veškerého vyprodukovaného biologického materiálu lesem za celé období života, vymezeného obmýtím (100-120 let)

členění z hlediska společenské potřeby

- primární - tvorba dřevní hmoty na pni
- sekundární - tvorba ostatní stromové biomasy (větve, kořeny, kůra, listy)
- terciální - tvorba (nebo působení) dalších produktů rostlinné či živočišné povahy

produkce závisí na komplexu ekologických faktorů proměnlivých v čase
/kvantitativní či kvalitativní nadbytek nebo nedostatek faktorů/



produkční schopnost organismu závisí na jeho ekologické toleranci
/hranice maxima - minima/



na antropogenních faktorech
/lesnické hospodaření, znečištění prostředí, poškozování porostů/

Faktory produkce

- **ekologické** - režim: světelný, tepelný, vodní, kyslíku, CO₂, minerálních živin
- **lesnicko-hospodářské** - druhová, věková a prostorová struktura (skladba) porostů
(vlivy porostní směsi, zakládání, pěstování a ochrany lesů)
 - formy hospodaření (narušení ekologických režimů)
 - technologie hospodaření (narušování a degradace půdy a porostu)
- **antropogenní**
 - změny v ovzduší a klimatu
 - změny v půdě (mechanické, chemické, fyzikální)
 - změny vodního režimu
 - ostatní (těžební činnost, rekreace apod.)

Potenciální produktivita - souhrn všech ekologických podmínek a faktorů určujících maximální produkční možnosti stanoviště za ideální přirozené skladby, maximálně produktivních rostlinných společenstev

Skutečná produktivita - reálné produkční schopnosti stanoviště, ovlivněné antropogenními vlivy, celospolečenskými potřebami a skladbou umělých rostlinných společenstev a kultur

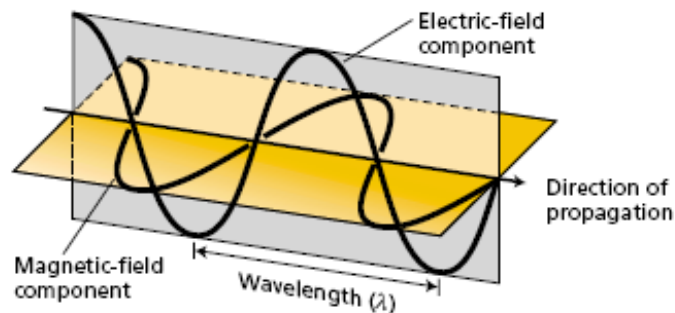
Produkční potenciál lesa - maximální produkční schopnost lesních dřevin na daném stanovišti, v souladu s celospolečenskými potřebami a podmínkami.

Produkční efekt lesa - míra (stupeň) využití produkčního potenciálu lesa na daném stanovišti. Klesá s nevhodnou druhovou, věkovou a prostorovou strukturou porostů, s použitím nevhodných metod hospodaření a s mírou degradace lesního prostředí lidskou činností

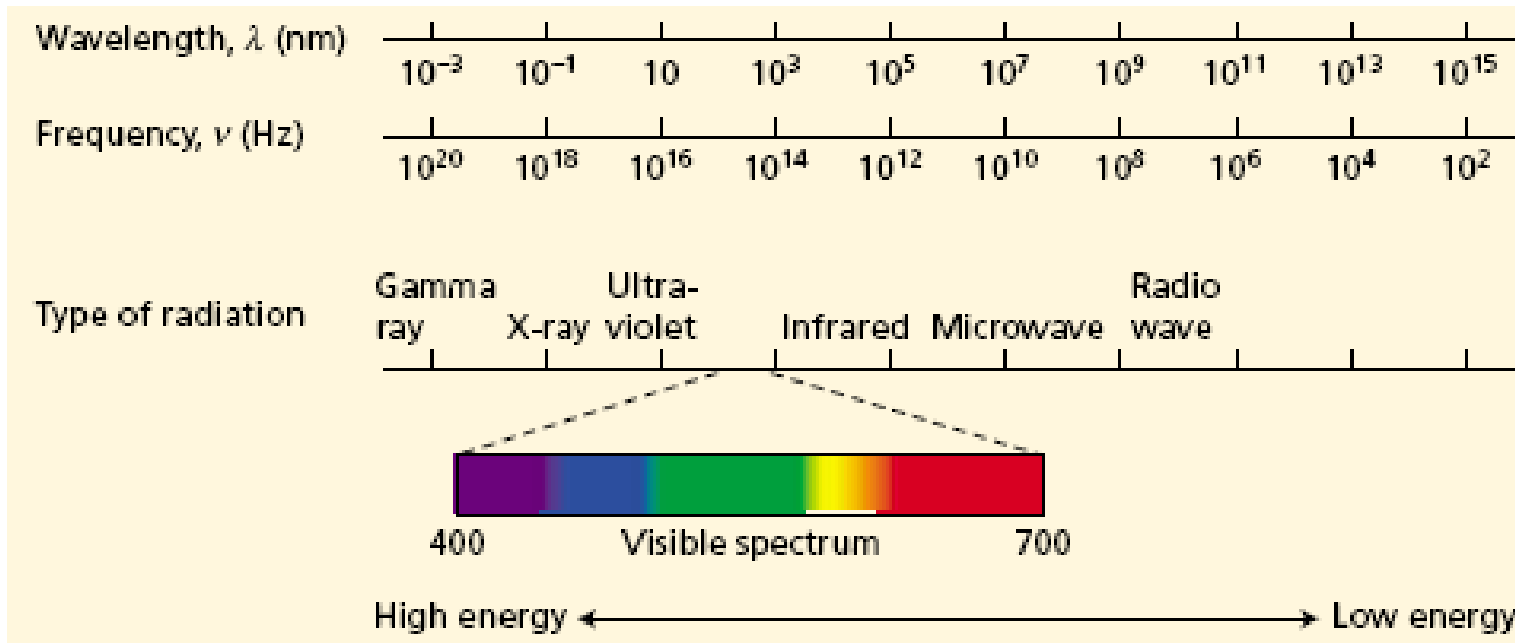
Produkční potenciál dřeviny - maximální produkční schopnost dřeviny v jejím optimálním prostředí

Produkční efekt dřeviny - skutečná produkční možnost dřeviny na daném stanovišti

Sluneční záření



Světlo je elektromagnetické vlnění sestávající z oscilující elektrické a magnetické složky, které jsou vzájemně kolmé a také s ohledem na směr šíření. Světlo se šíří rychlostí $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$. Je charakterizováno vlnovou délkou (λ) a frekvencí (ν)



nepřímo
úměrné

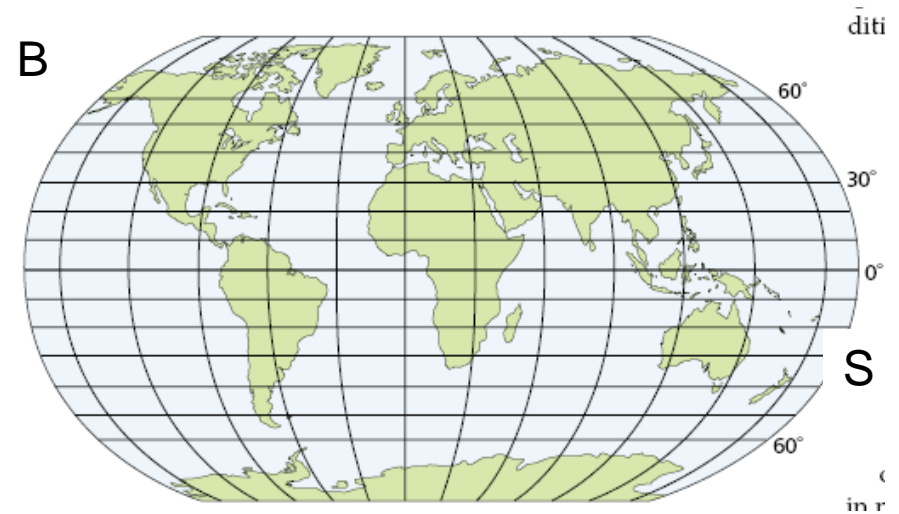
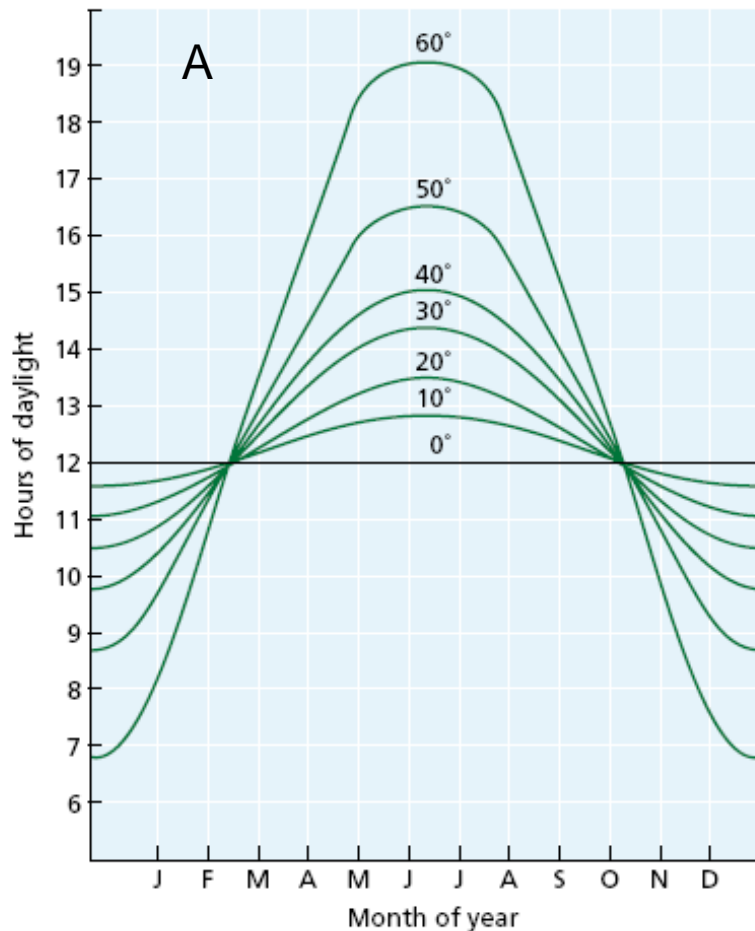
Světlo a rostliny

- světlo je tradičně charakterizováno intenzitou
 - $\mu\text{mol}(\text{fotonů}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - fotosynteticky aktivní záření (FAR; ca 400-700 nm)
- pro fyziologii rostlin, a zejména fotosyntézu, je ale významná i
 - **kvalita** (spektrální složení)
 - poměr UV : FAR : NIR
 - **geometrické složení (typ)**
 - přímé x difúzní světlo
 - **časová variabilita**
 - dynamický světelný režim



Sluneční záření a délka dne, fotoperioda

- fotokybernetický účinek

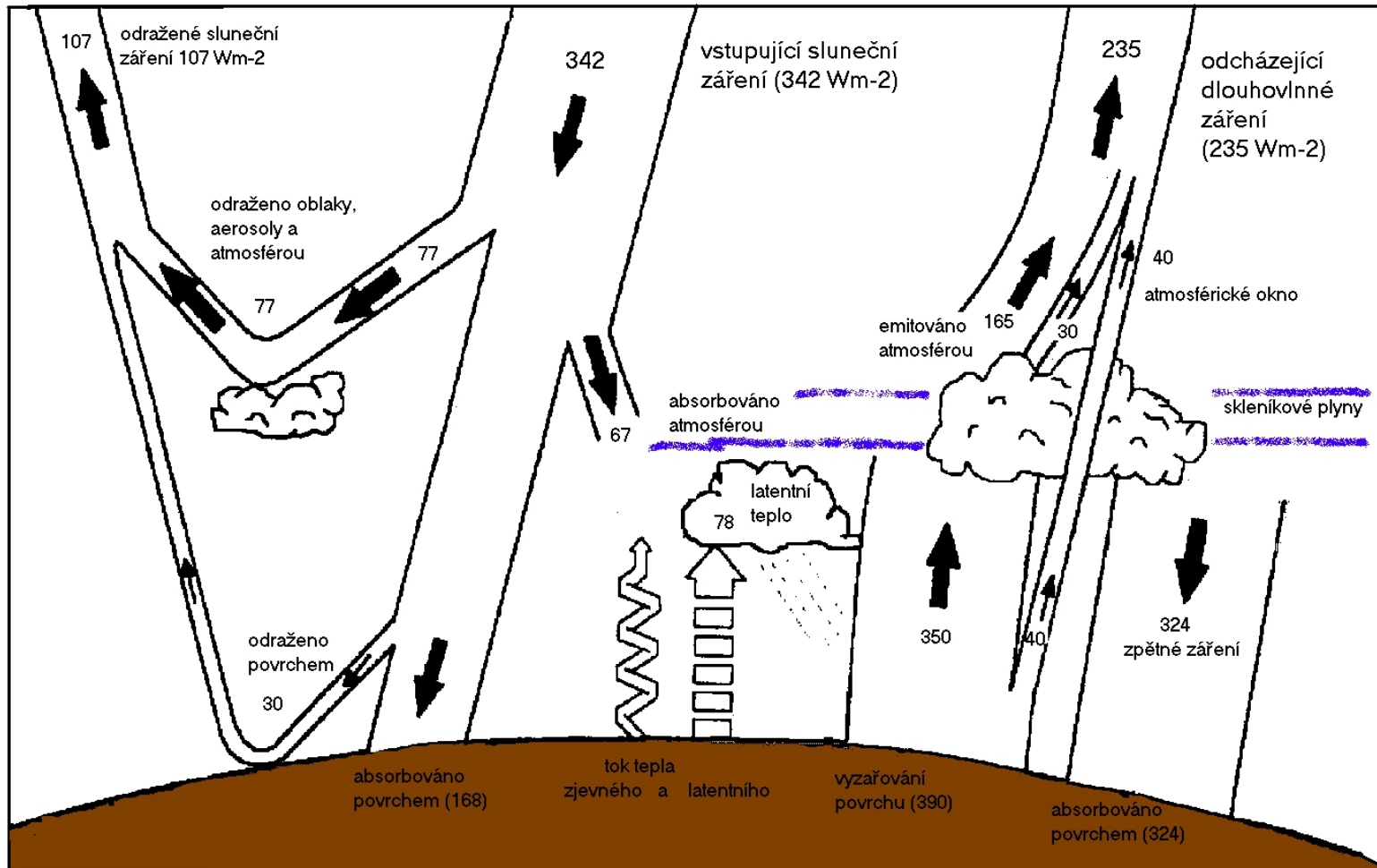


- (A) Vliv zeměpisné šířky v různých částech roku na délku dne.
(B) Globální mapa zobrazující zeměpisné souřadnice.

Fototropismus, tvarové- morfologické změny, provokace růstu (epikormie..), kvetení..

Sluneční záření

Schéma působení Slunce - Země, solární konstanta ($1369 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)



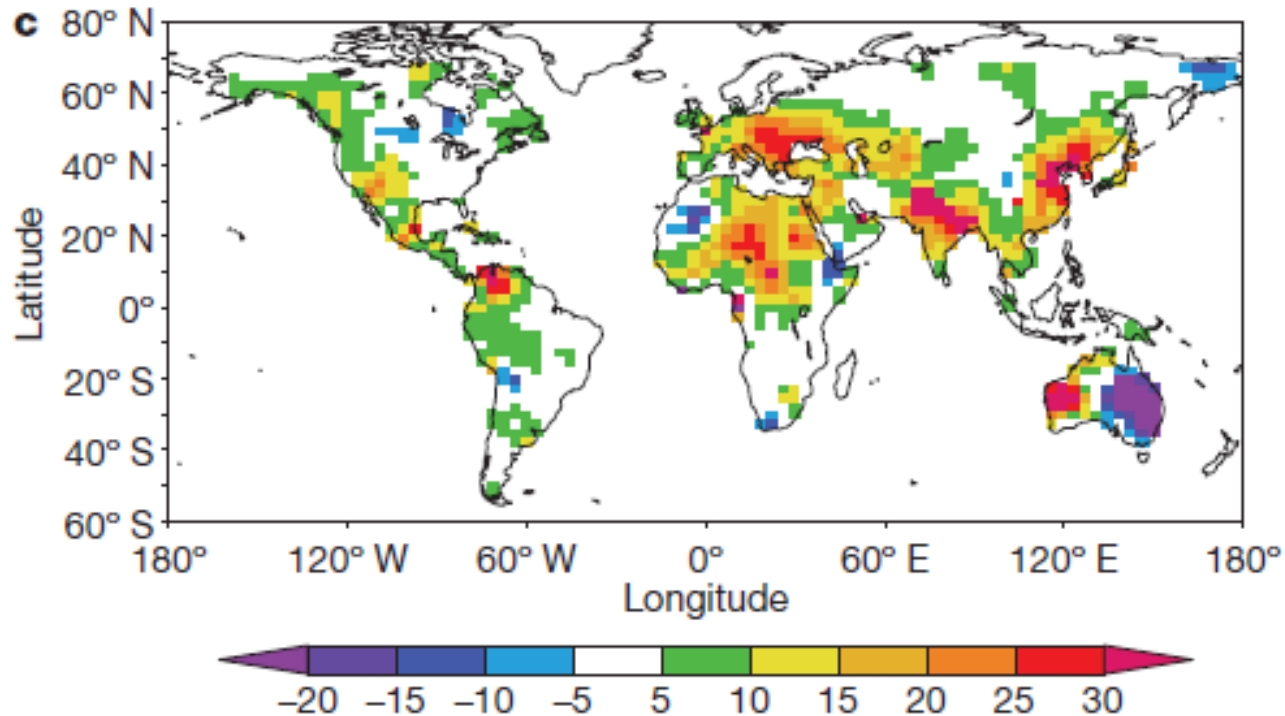
Změny v dopadající radiaci

- od 60. let minulého století redukce intenzity slunečního záření o $0.51 \pm 0.05 \text{ W m}^{-2}$ za rok
 - tj. přibližně 2.7 % za jednu dekádu
 - *stmívací (dimming) effect*
- příčiny globálního stmívání
 - nárůst polutantů (prach, aerosoly)
 - nárůst koncentrace vodní páry
 - oblačnost \approx nárůst teploty
 - sopečná činnost
 - stratosférický „geoengineering“
- nárůst podílu difúzního záření



- Stanhill G, Cohen S (2001) *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 255–278.
- Wild M (2009) *Journal of Geophysical Research*, 114, D00D16, doi:10.1029/2008JD011470.
- Berry ZC, Smith WK (2012) *Agricultural and Forest Meteorology*, 162, 27-34.

Změna zastoupení difúzního záření



- procentuelní změna (barevná škála)
 - podílu difúzního záření v letech 1950 až 1980

/Merkado L.M. et al.: Nature 458: 1014-1018, 2009./

Vliv změny podílu přímé/ difúzní záření na ekosystémy?

- exploze vulkánu Mount Pinatubo
 - Filipíny, Manila (1991)
 - 20 Gtun SO₂
 - pokles globální teploty o 0.5°C
 - nárůst podílu difúzního záření o 50%

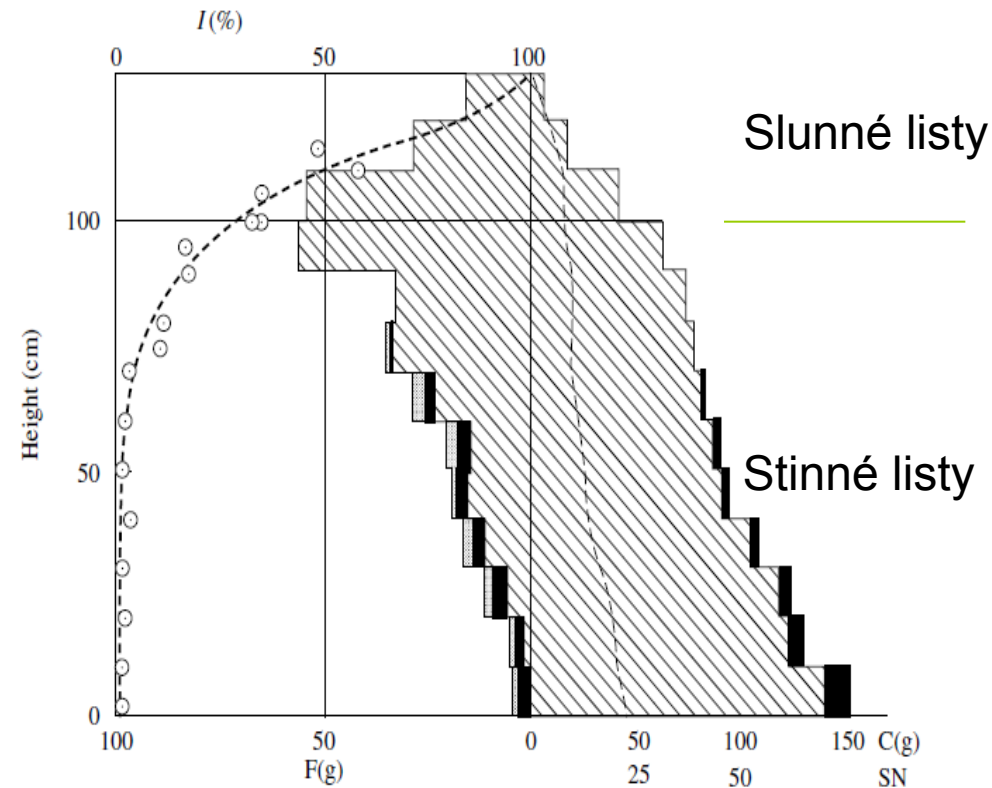
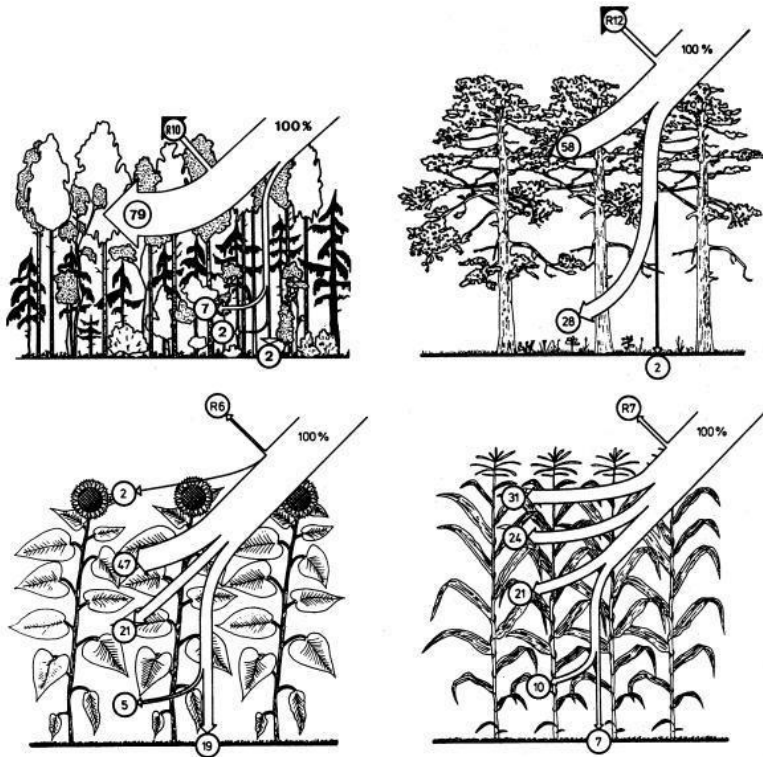
- atmosférická koncentrace CO₂
 - pomalý nárůst v letech 1992 a 1993
 - v ekosystémech uloženo až 2Gt(C) rok⁻¹
 - nárůst produkce biomasy lesů v oblasti tropů



- Farquhar GD Roderick ML (2003) *Science* 299: 1997–1998, 2003.
- Gu LH, Baldocchi DD, Wofsy SC et al. (2003) *Science*, 299, 2035–2038.

Radiační bilance

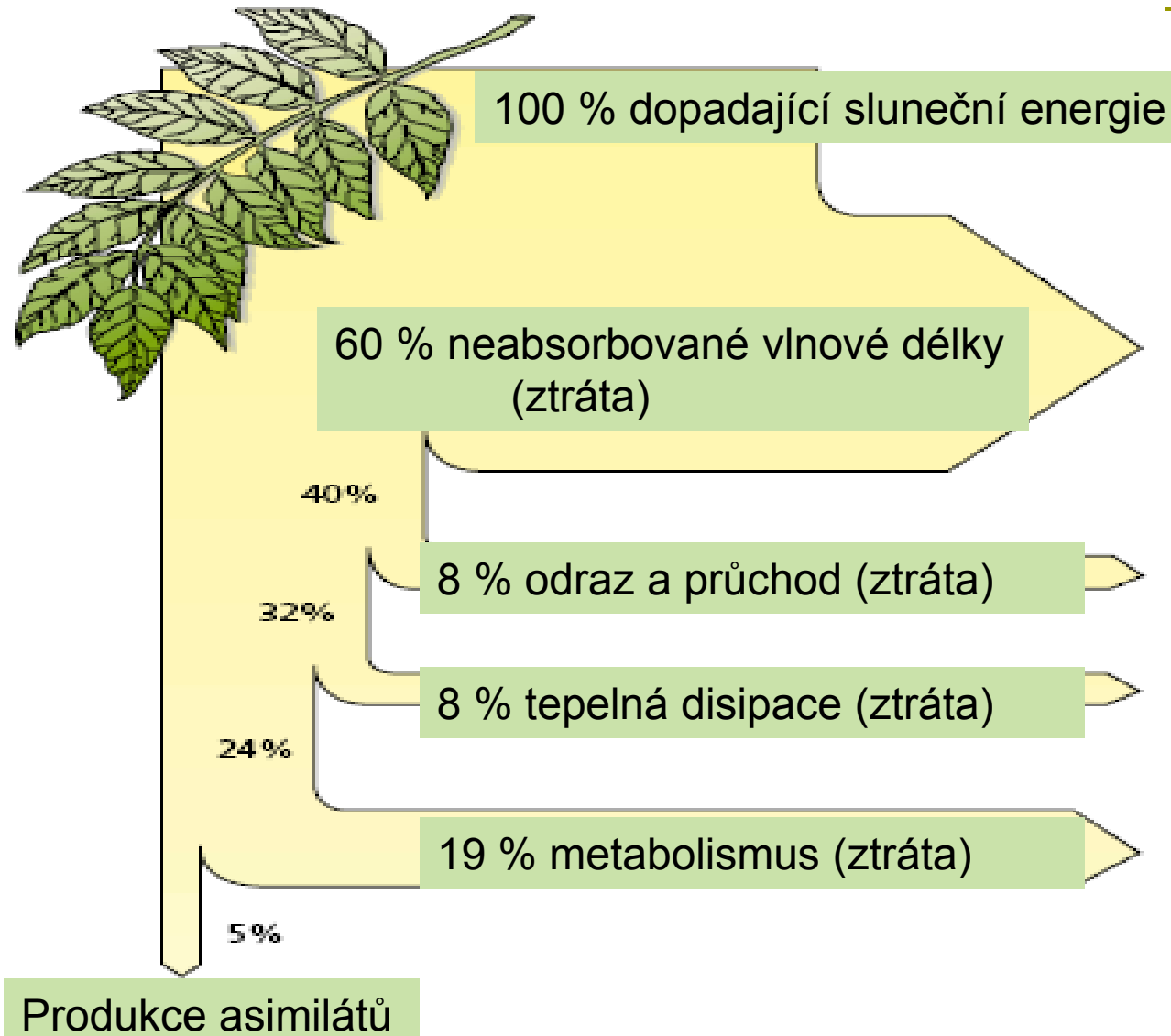
Monsi et Sakei (2005) *Annals of Botany* 95: 549–567



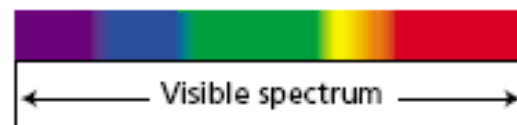
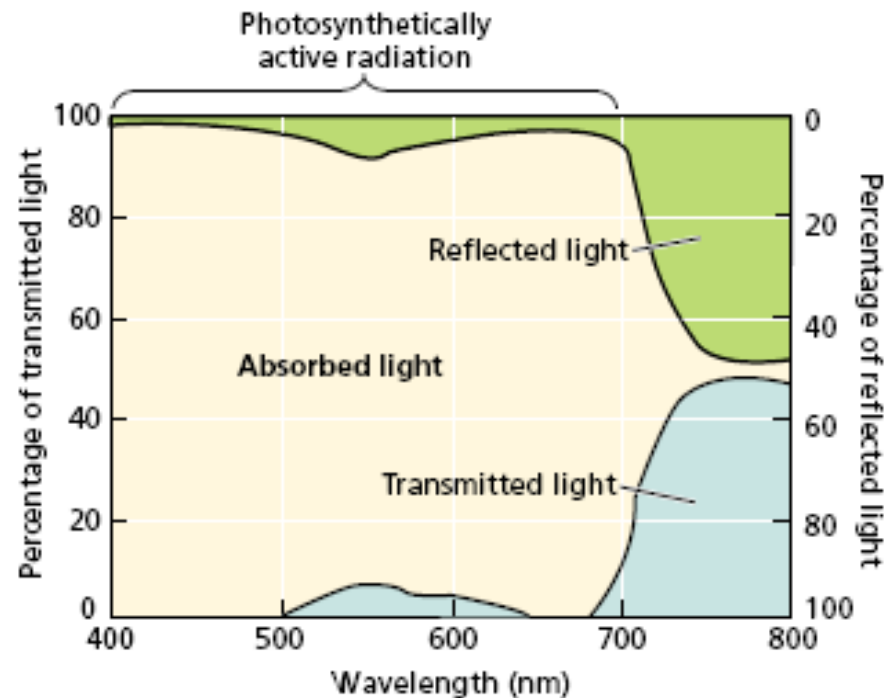
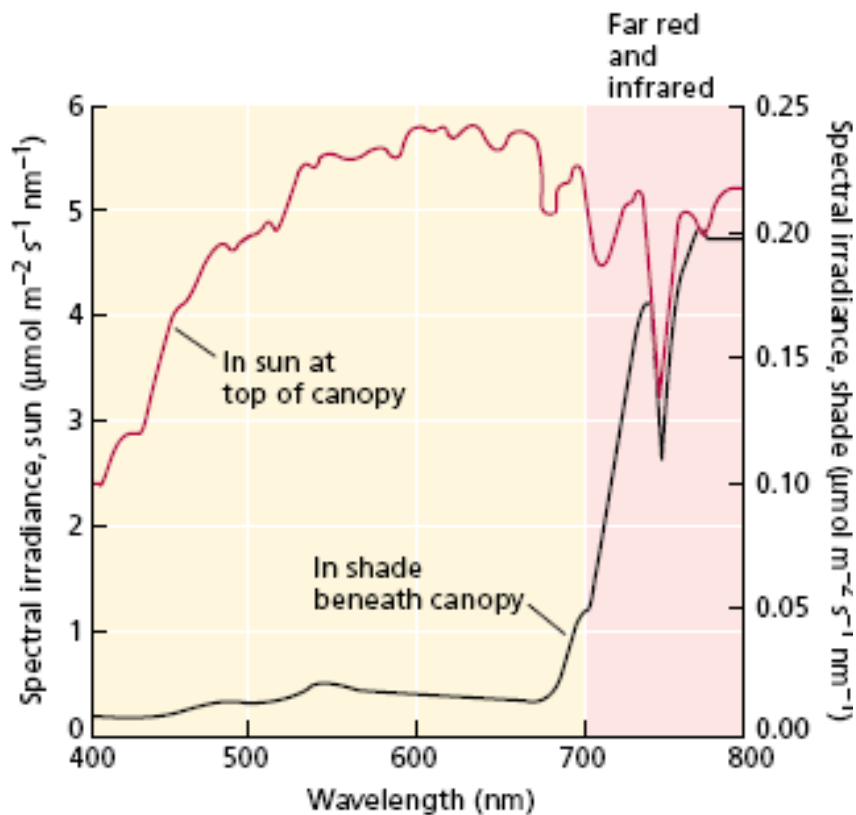
- DOPAD
- ODRAZ
- ABSORBCE
- PRŮCHOD
(TRANSMISE)

$$I = I_0 e^{-k * LAI}$$

Využití sluneční energie listem



Spektrální složení sluneční radiace v oblasti FAR-NIR vs porost - list

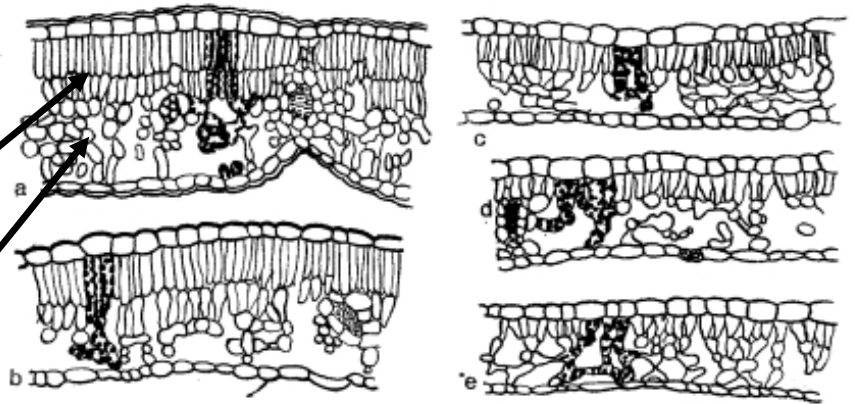


- ↓ UV:FAR
- ↓ R:NIR
- ↓ B:R

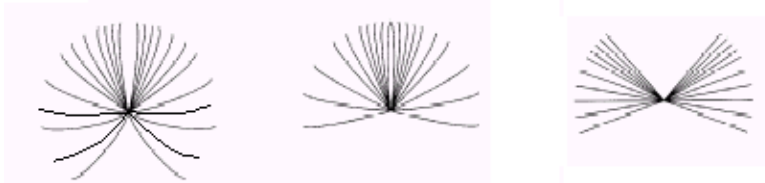
Slunný vs stinný list

palisádový parenchym

houbový parenchym

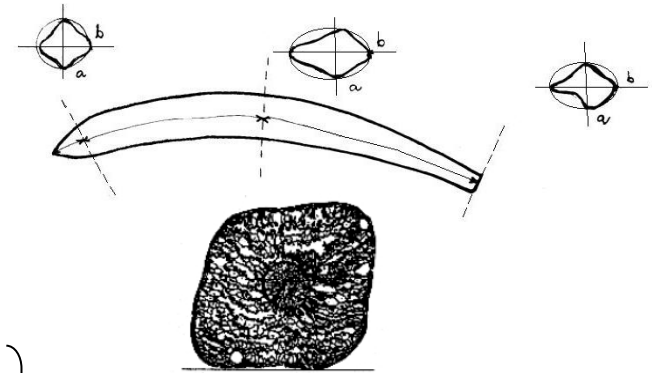


Příčné průřezy listů *Corylus avellana* L. (*Betulaceae*), vyrostlých za různého osvětlení podle polohy na keři: z obvodu koruny: a — na jižní straně, b — na severní straně; z vnitřa koruny; c — při 1/20, d — při 1/33, e — 1/50 plného denního světla. (Podle H. Hesselmana).



Stinné listy mají:

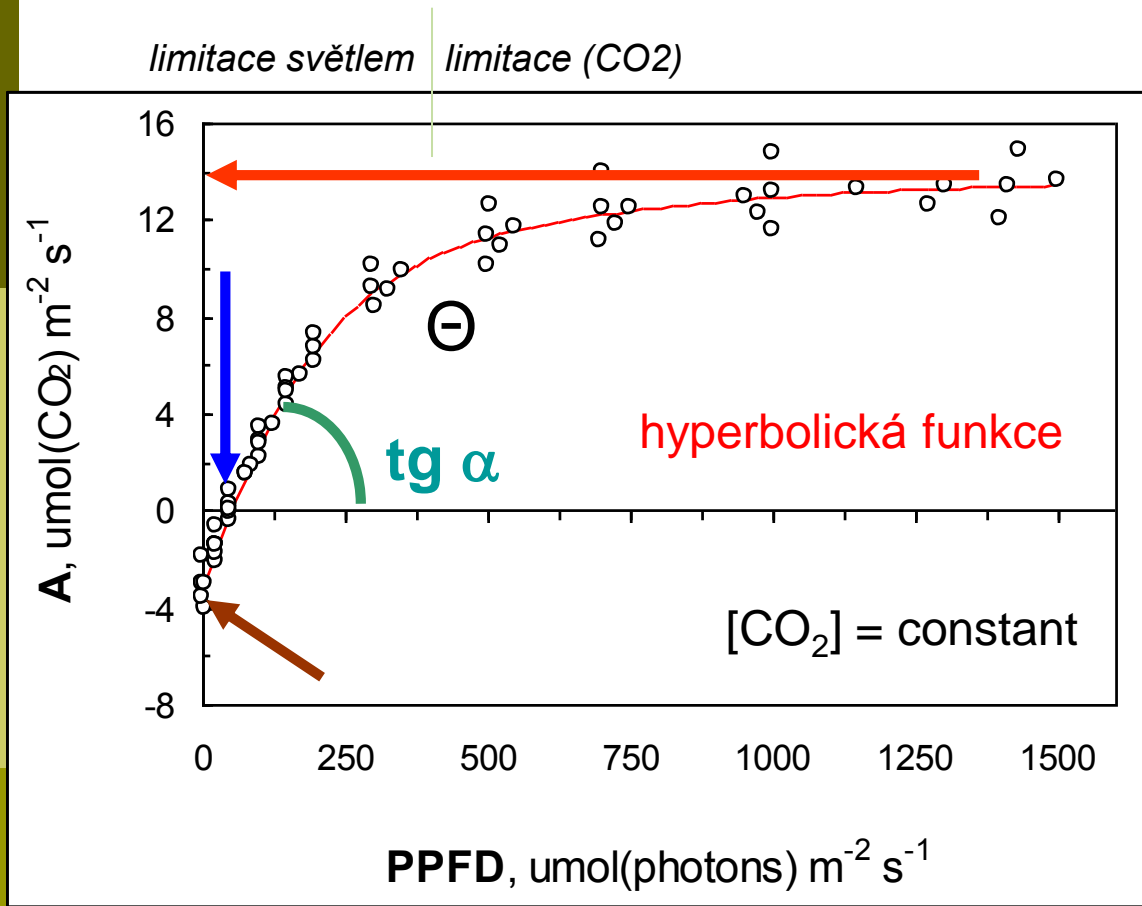
- tenčí s větší listovou plochou (vyšší specifická listová plocha – SLA; $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
- nižší počet větších stomat na jednotku listové plochy
- velké chloroplasty s větší plochou tylakoidních membrán
- vyšší počet náhodně orientovaných gran
- vyšší obsah chlorofylů a karotenoidů na jednotku sušiny ($\text{mg g}_{\text{DW}}^{-1}$)
 - nižší poměr Chl a/b, vyšší poměr Chls/Cars
- efektivnější absorpce všesměrového difúzního záření
- nižší mesofylovou vodivost
- nižší obsah dusíku – nižší obsah Rubisco
 - nižší maximální rychlosti asimilace CO_2



investice do syntézy a udržení bílkovinných struktur primární fáze fotosyntézy

Asimilace CO₂ je závislá na světle

fotoenergetický účinek



R_D – temnotní respirace
 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Γ_I – kompenzační
 ozáření
 $\mu\text{mol}(\text{photon}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

AQE ($\text{tg } \alpha$) – zdánlivá
 kvantová účinnost
 $\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ mol}^{-1}$
 $^1(\text{photons})$

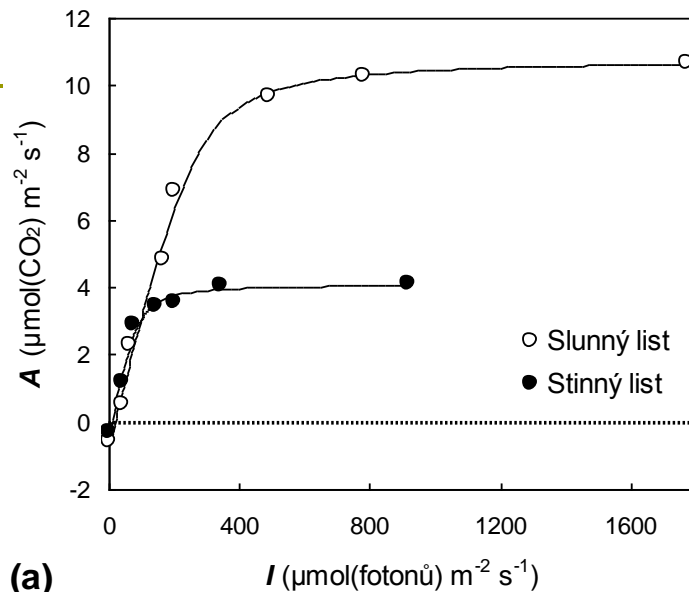
Θ – zakřivení (0 – 1)

A_{max} – světlem
 saturovaná rychlost
 asimilace CO₂
 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

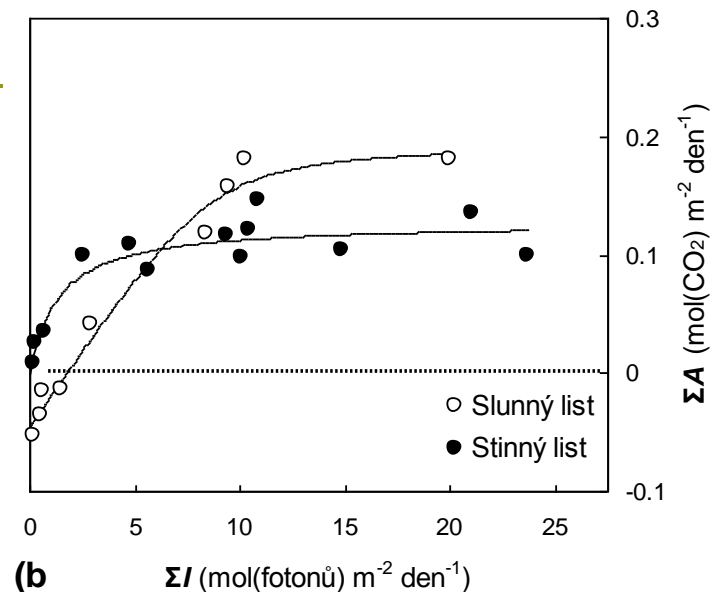
$$A = \frac{\text{AQE} \cdot I + A_{\max} - \sqrt{(\text{AQE} \cdot I + A_{\max})^2 - 4 \cdot \text{AQE} \cdot I \cdot \Theta \cdot A_{\max}}}{2 \cdot \Theta} - R_D$$

Funkční rozdíly

Sims et Pearcy (1994) *Plant, Cell and Environment*, 17, 881–887.



(a)



(b)

Listy/rostliny aklimované na stín:

- ❑ nižší mitochondriální respiraci (R_D)
- ❑ nižší kompenzační ozáření (Γ_1)
- ❑ vyšší kvantovou účinnost (AQE)
- ❑ nižší světlem saturevanou rychlost asimilace CO₂ (A_{max})

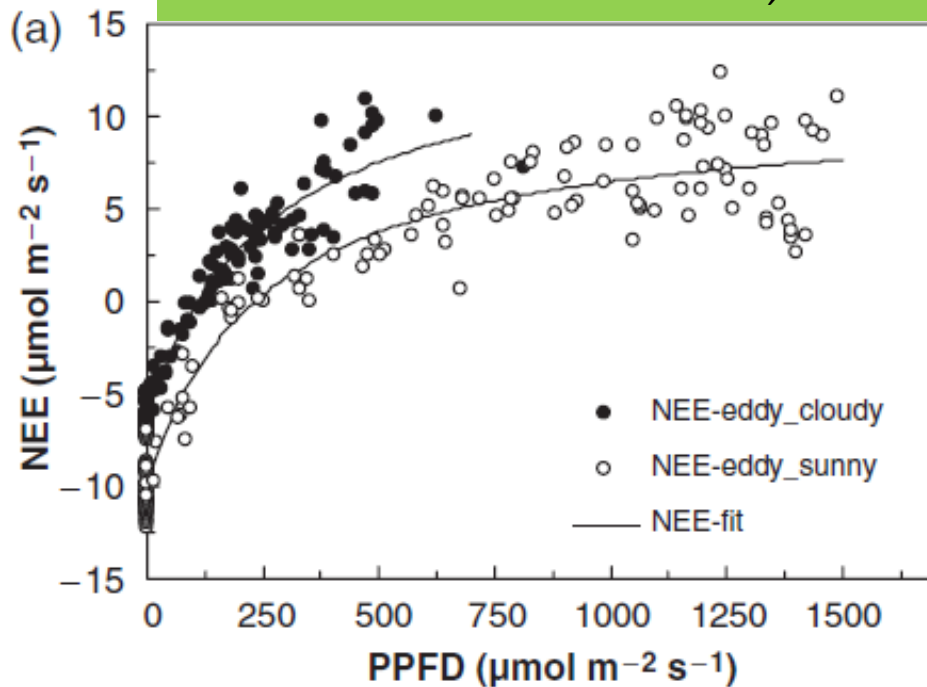
Listy/rostliny aklimované na stín:

- vyšší suma asimilovaného CO₂ (ΣA) při nižším denním úhrnu radiace (ΣI)
- efektivnější využívání dynamického světelného režimu
 - rychlejší indukce, pomalejší deaktivace fotosyntézy

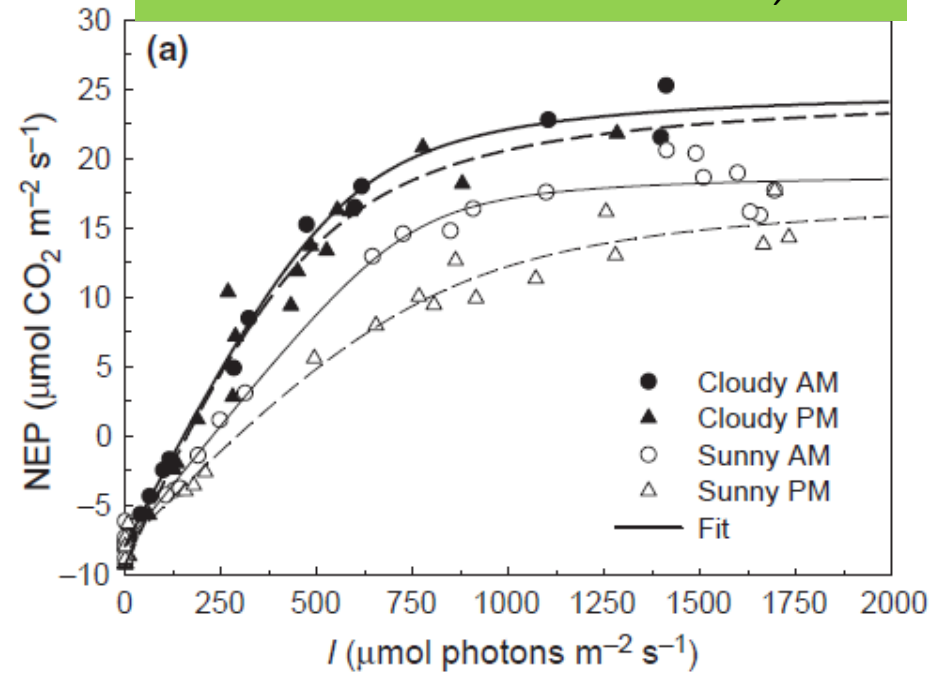
Asimilace porostů závisí na struktuře porostu a poměru slunných/stinných listů

Srovnání slunných x oblačných dnů

Urban O. et al.: GCB 13: 157-168, 2007



Urban O. et al.: Func.Ecol. 26: 46-55, 2012

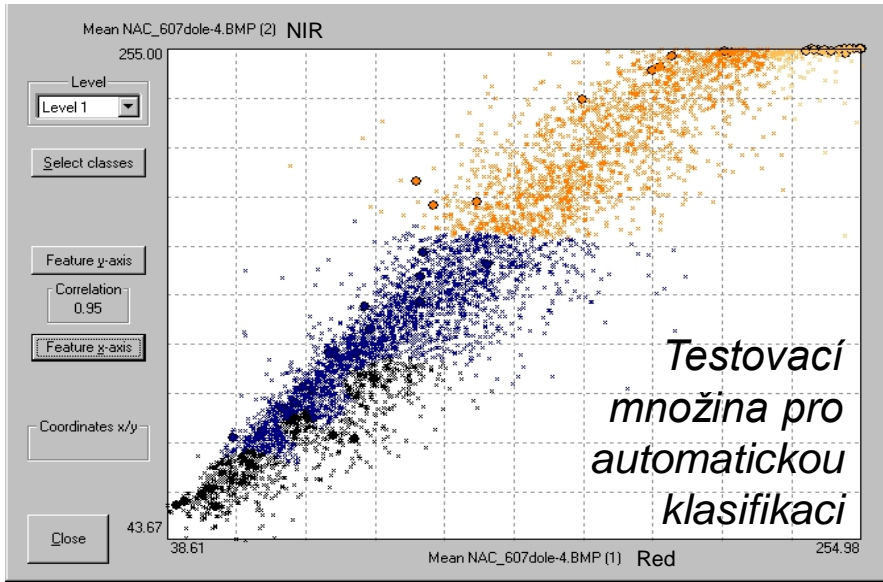


- oblačné dny - převládající difúzní záření ($DI > 0.8$), nižší VPD, T_a , změna spektrálního složení dopadající sluneční radiace, rovnoměrnější pronikání difúzní radiace do porostu
- NEE byla relativně vyšší v porovnání se slunnými dny,
 - NEE byla vyšší až o 150% při ozáření $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,
 - AQE vyšší o 20%,
 - Γ_1 nižší o 50% \Rightarrow **lepší využití nízkých intenzit slunečního záření.**
- hysterezní odezva asimilační křivky ve slunných dnech

Shrnutí

- za podmínek difúzního záření je vyšší efektivita asimilaci CO₂ (jehličnaté i listnaté porosty)
- příčiny
 - (1) příhodnější mikroklimatické podmínky za oblačných dnů
 - pokles teploty vede k poklesu respirace,
 - nižší vodní sytostní deficit k vyšší stomatální vodivosti,
 - efekt modrého světla
 - (2) efektivní průnik difúzní sluneční radiace do spodních pater porostu a homogennější distribuce světla mezi listy.
- větší část listové plochy porostu se stává aktivním sinkem CO₂ s kladnou uhlíkovou bilancí
- za jasných dnů se produkční aktivita přesouvá do středních či spodních částí korunové vrstvy
 - možný výskyt deprese fotosyntézy v horních patrech v důsledku uzavření průduchů

Klasifikace osluněných a zastíněných jehlic barevného snímku

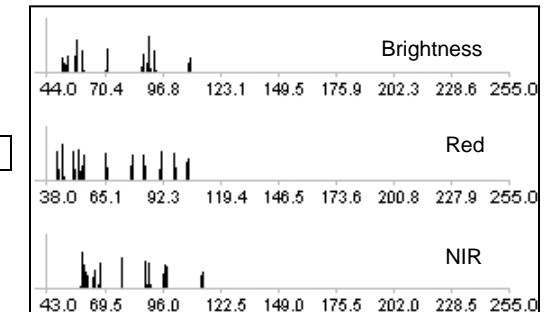
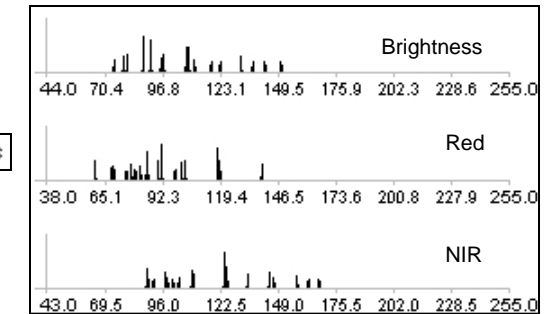
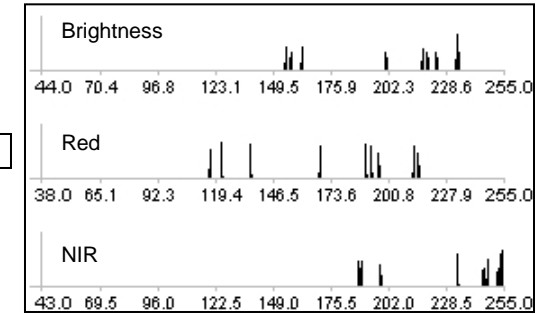
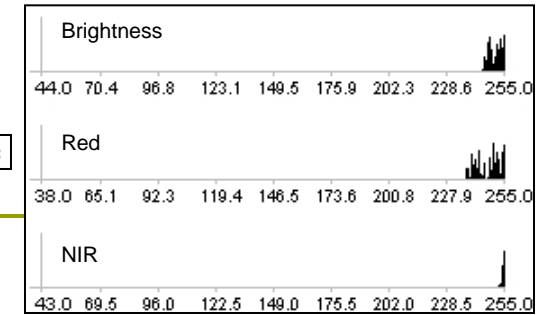


● high sunlit needles

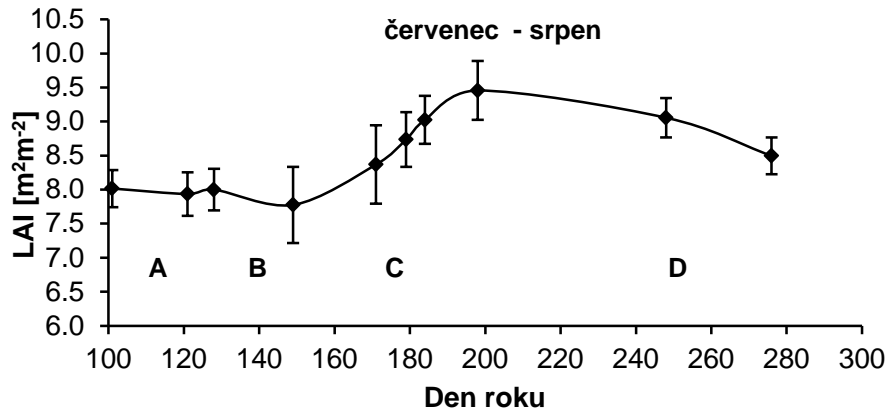
● low sunlit needles

● shadowed needles

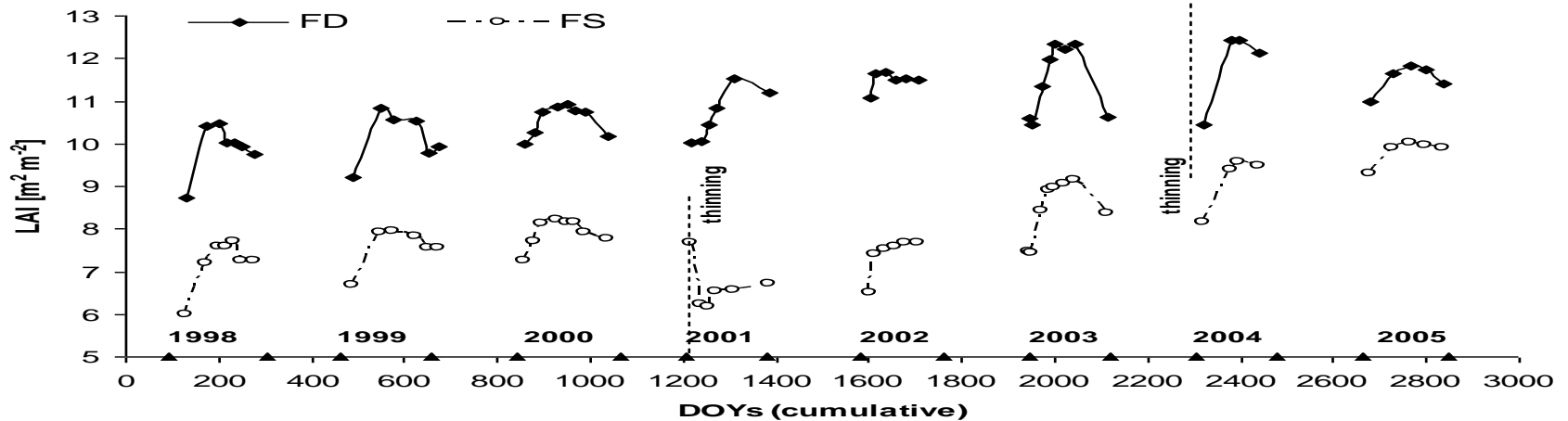
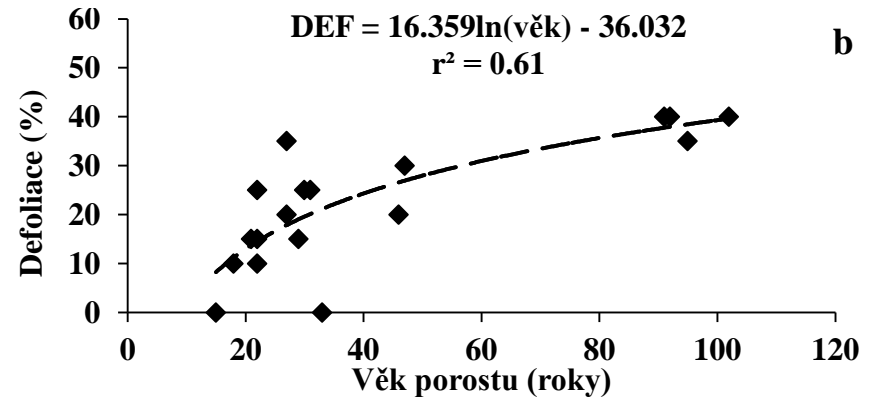
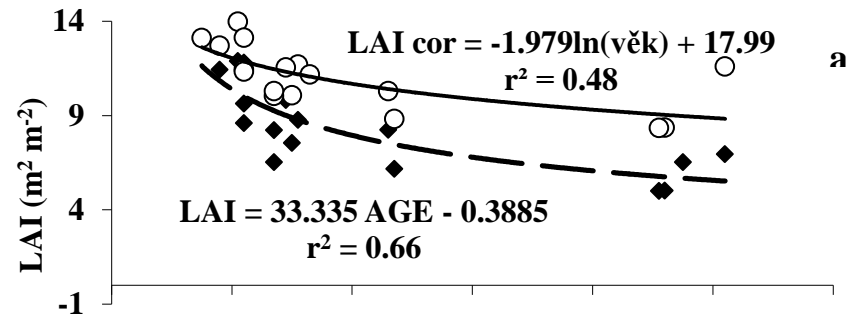
● deep shadow



Vývoj LAI (mladého SM) porostu v čase

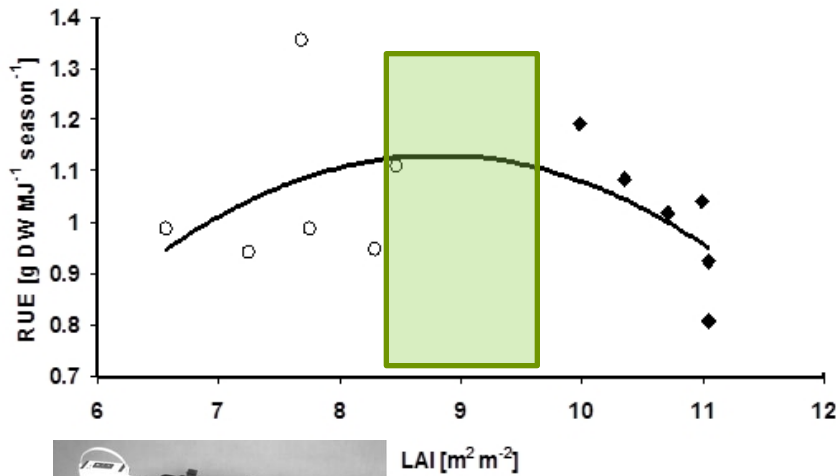
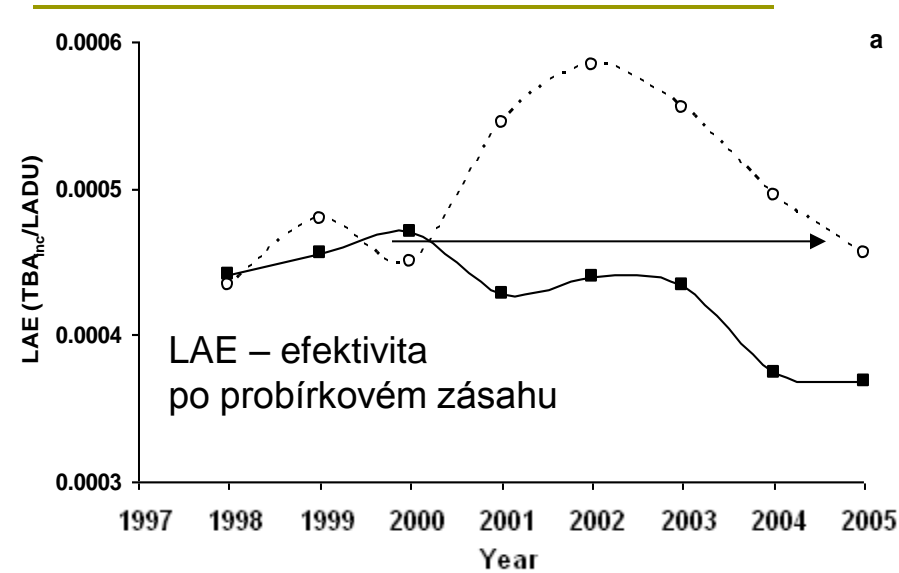
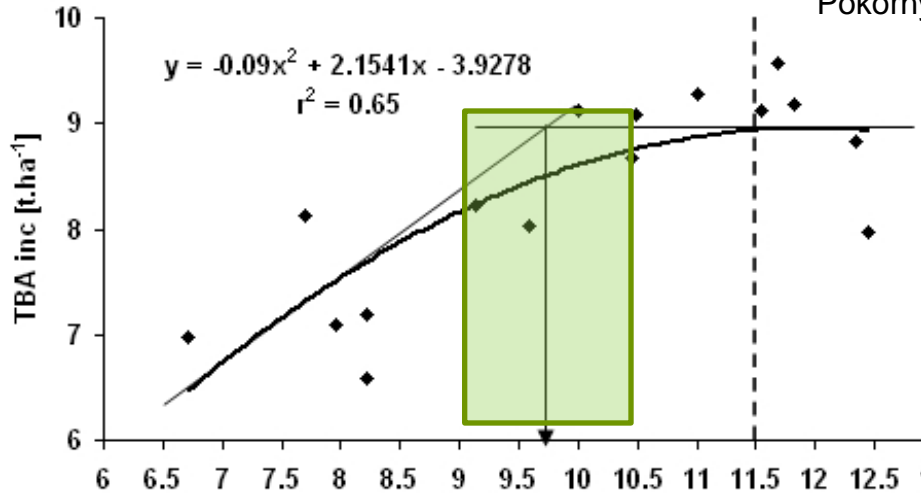


- A – dormance
- B – rašení pupenů
- C – rychlý rozvoj letorostů a listoví
- D – maximální LAI a opad



OPTIMÁLNÍ LAI _mladý smrkový porost

Pokorny et al. Eur. J. For. Res. 127 (5): 359-367, 2008



LAI [m² m⁻²]



LAI-2200
Plant Canopy Analyzer



Instruction Manual

LI-COR
Biosciences



Radiation use efficiency (RUE)

$$RUE = \Delta B / APAR \text{ resp. } \Delta B = \varepsilon \cdot APAR$$

Monteith (1977)

□ Měření sluneční radiace

- globální (celkové; Q)
- přímé (I)
 - svazek rovnoběžných paprsků
 - prochází atmosférou neovlivněno
- difúzní (rozptýlené; D)
 - záření všesměrové (izotropní)
 - molekulární (Rayleigh)
 - aerosolový (Mie)
- difúzní index; $DI = D/Q$
 - jasný, bezoblačný den: 0.2 – 0.3
 - zatažený, oblačný den: 0.9 – 1.0



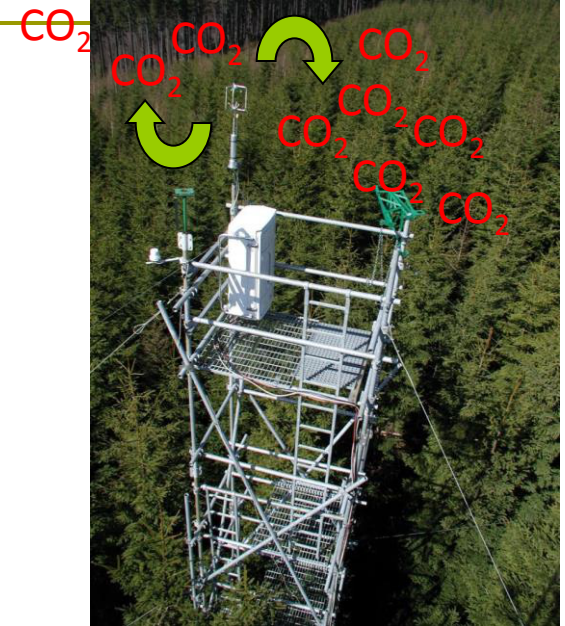
Metody studia uhlíkového cyklu

Úroveň listů (části ekosystému)



komorová měření

Úroveň ekosystému



- gazometrické techniky - přesné, kontinuální měření **výměny plynů** (CO_2 , H_2O) mezi rostlinou/ekosystémem a okolní atmosférou
- změny koncentrace H_2O a CO_2 **na vstupu a výstupu** z asimilační komory se stanovují pomocí infračervené analýzy plynů (**IRGA**)
 - Lambert-Beerův zákon; $a_l = 1 - \exp(-l \cdot M \cdot k_l)$
- eddy-kovarianční technika (vířivá kovariance)
 - dostatečné proudění vzduchu pro vytvoření turbulentního proudění
 - sonický anemometr – pohyb vzduchu ve 3D

Fyziologické procesy x morfologie x prostředí

- Fotosyntéza
- Respirace
- Transpirace

Morfologické a fyziologické vlastnosti rostlin

- LAI, distribuce..
- Struktura pletiv
- Chemické složení
- Průduchová vodivost
- Odpor transportních drah
- Enzymy množství/ aktivita
- Barvivo složení/množství
-

Tok energie a látek

Geo-biologické funkční návaznosti

Prostředí

– stanovištní podmínky

Půda + mikro/klimatické parametry

- Sluneční záření
- Teplota
- Vítr
- Dostupnost vody
- Dostupnost živin
-

/postaveno na fyzikálních, chemických a biologických pravidlech/

Adaptace dřevin ke slunečnímu záření

- dřeviny stinné
 - tis, jedle, buk
- dřeviny polostinné
 - smrk, vejmutovka, douglaska, habr, jilm, lípa, javor klen
- dřeviny slunné
 - modřín, borovice, bříza, akát, osika, jeřáb, javor klen

Teplota- teplotní adaptace

Přímé ovlivnění ekofyziologických procesů

Nepřímé ovlivnění sezónnosti cyklů/period (termoperiodicita, efektivní teploty..).

Pro každou rostlinu (i její jednotlivé části) existují kardinální teploty pro kontrolu růstu a vývoje resp. existence: **minimální, maximální, optimální**

▣ pro alpské druhy je minimální teplota pro fungování fyziologických procesů blízko 0° C, maximum 20° až 30° C s optimem ca 10° C

▣ pro rostliny mírného pásma je to min 4° C, max 41° C a optimum 25° až 30° C

▣ protropické rostliny je min 10° C, max 50° C a optimum 30° až 35° C

Některé druhy dřevin tolerují extrémny (modřín, limba, bříza), naopak jiné vyžadují vyrovnané teplotní podmínky (jedle, tis, buk).

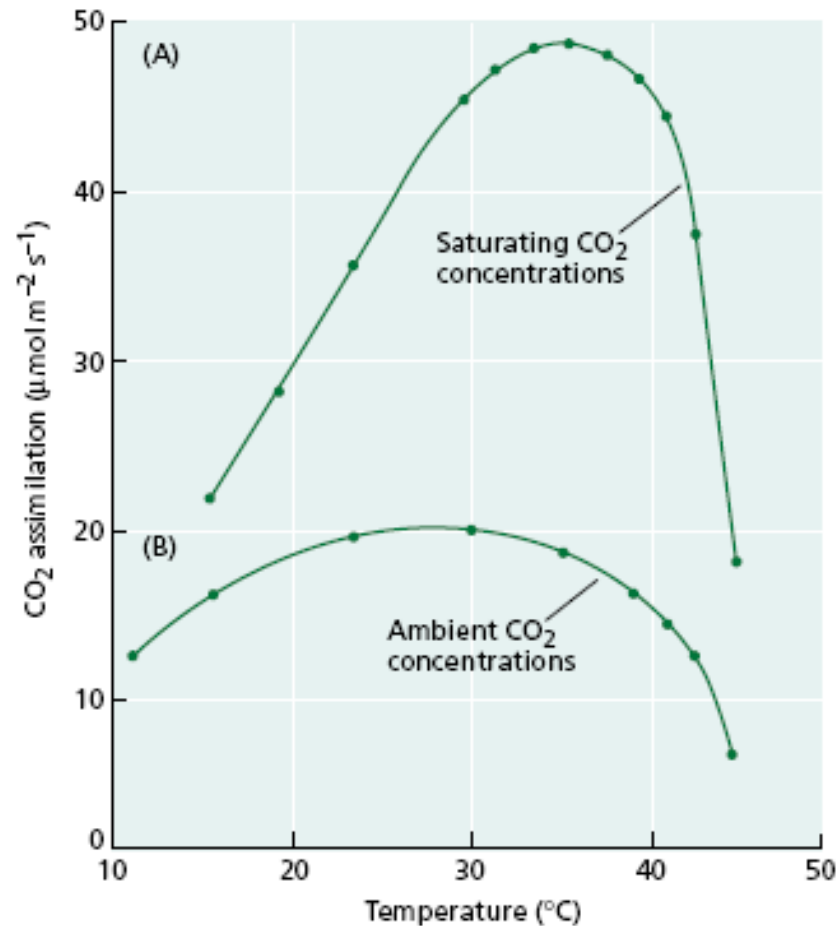
Dřeviny lze z pohledu „tepelných požadavků“ rozdělit na:

Vysoké požadavky na teplotu- kaštan jedlý a jírovec maďal, dub, lípy, habr, javor mléč

Nízké nároky na teplotu- smrk, borovice, bříza, jeřáb

Fyziologické procesy a teplota

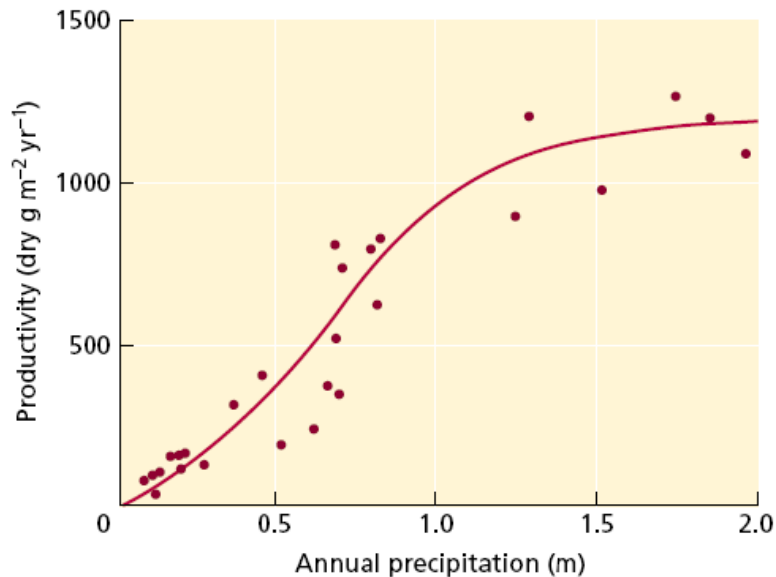
- Fotosyntéza
- Respirace
- Transpirace



(Berry and Björkman 1980.)

Odolnost vůči mrazu:
Koncentrace protoplasmy
Dehydratace
Dělení vakuol

Vlhkost



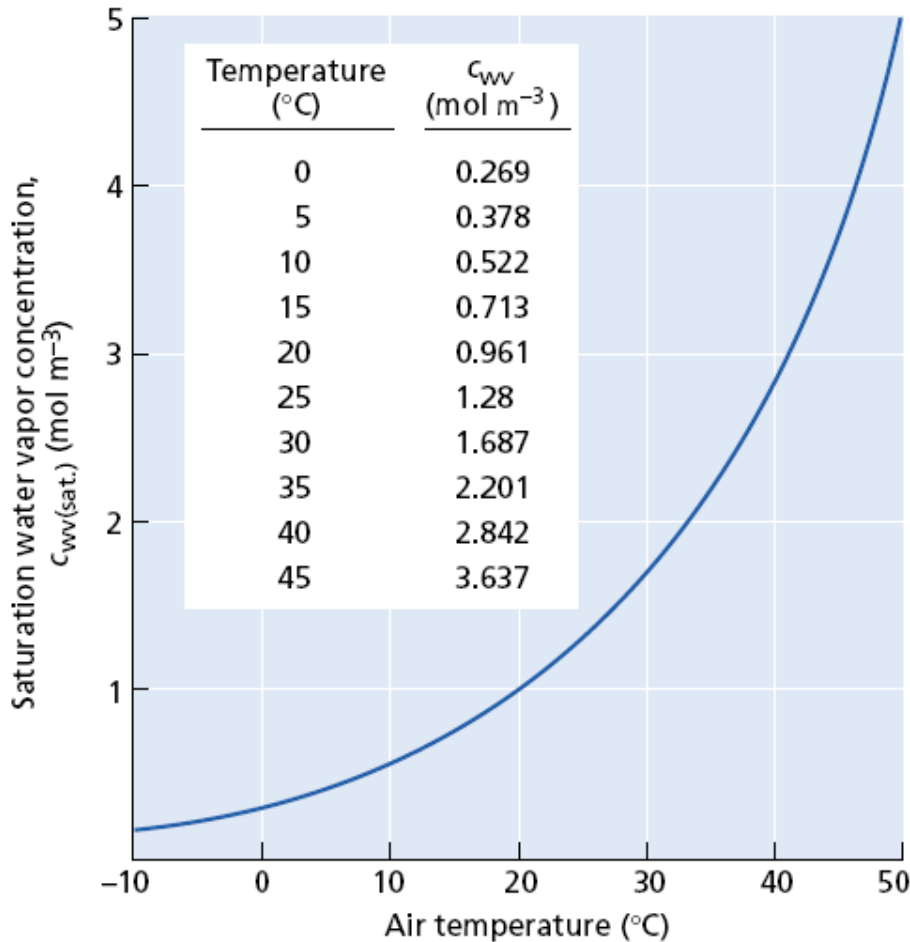
Produkce různých ekosystémů je funkcí množství srážek (After Whittaker 1970).

Zanedbatelné požadavky - borovice, akát, bříza, jalovec

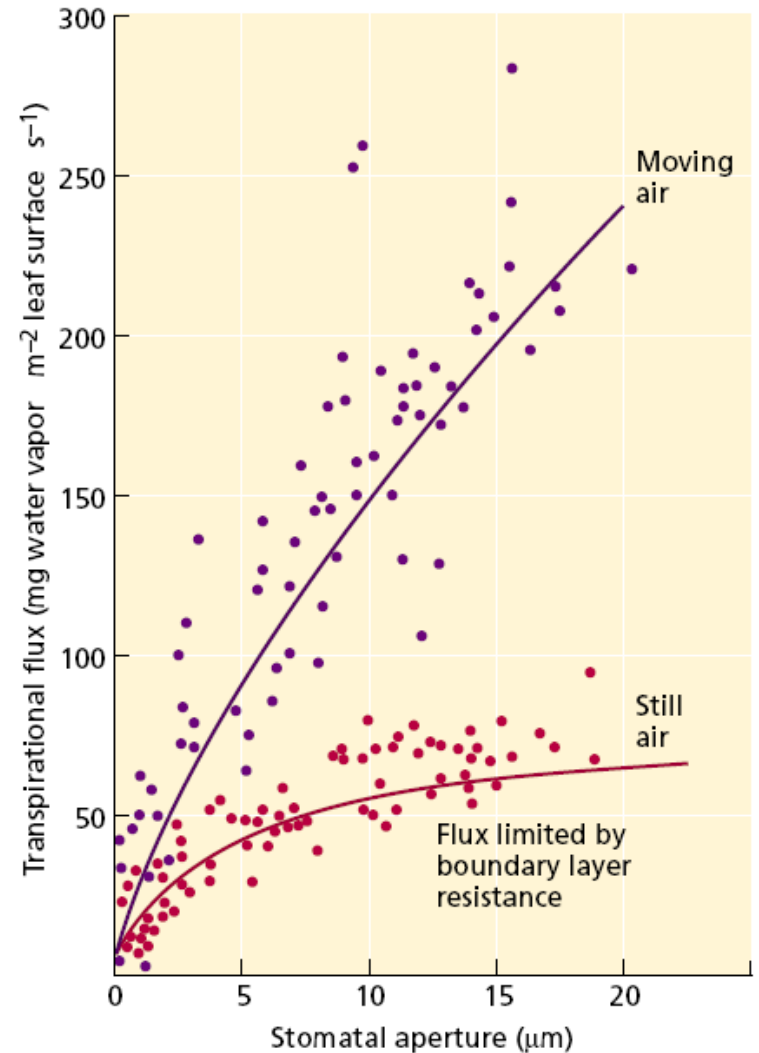
Vysoké nároky - topol, vrba, olše, jasan

Střední nároky - ostatní

Avšak olše šedá se může přizpůsobit i velmi suchým stanovištím, i když zde má nižší vzrůst, podobně jasan na vápencových půdách. Obecně lze říci, že všechny dřeviny rostou lépe na čerstvých stanovištích s určitým stupněm vlhkosti, což platí i pro borovici nebo osiku.



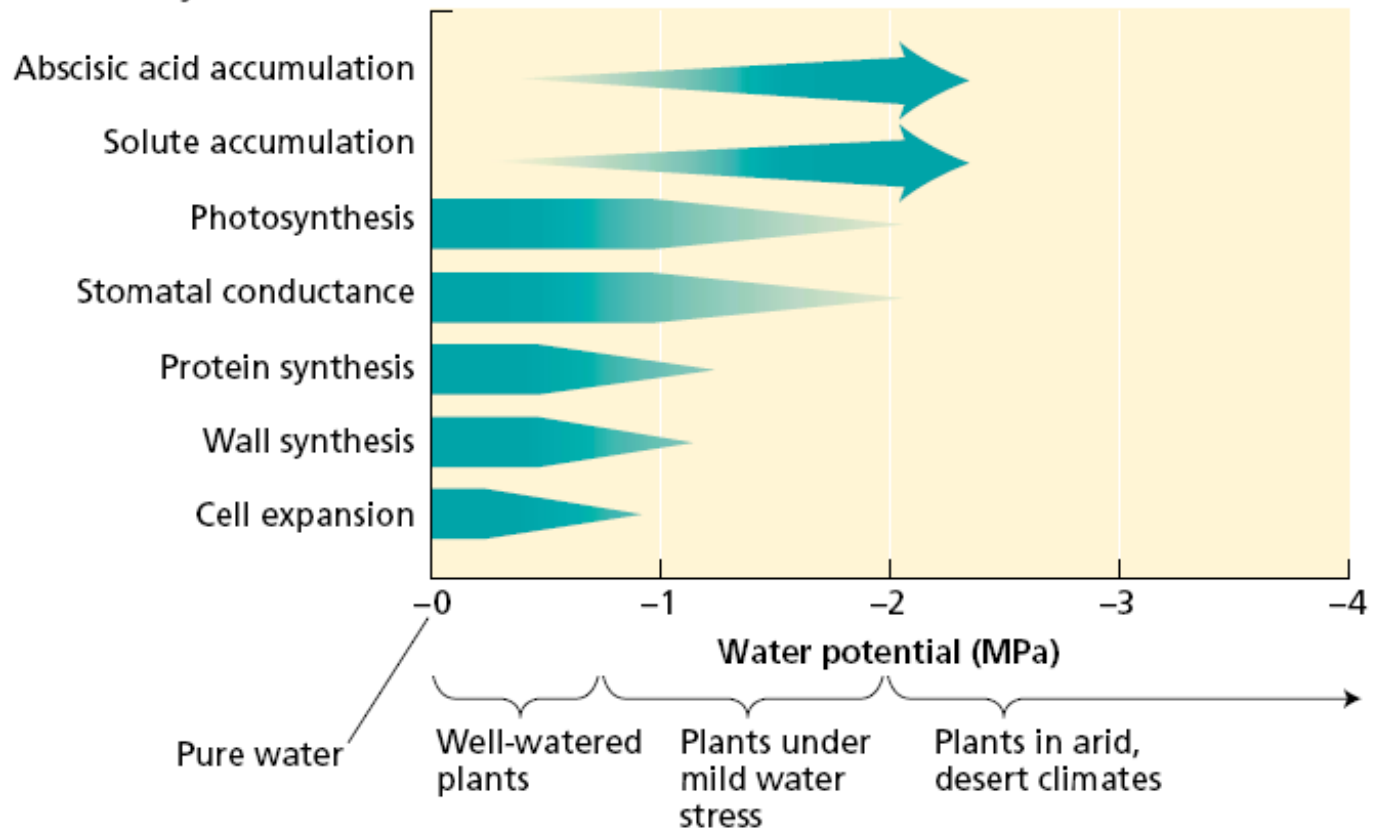
Koncentrace (nasycenost) vodní páry ve vzduchu
Je funkcí teploty vzduchu.



Vztah mezi transpirací a proděním vzduchu. V bezvětrí je větší hraniční vrstva, průduchy jsou méně kontrolovány... (Bange 1953.)

Pohyb vody rostlinou řízen rozdílem potenciálů

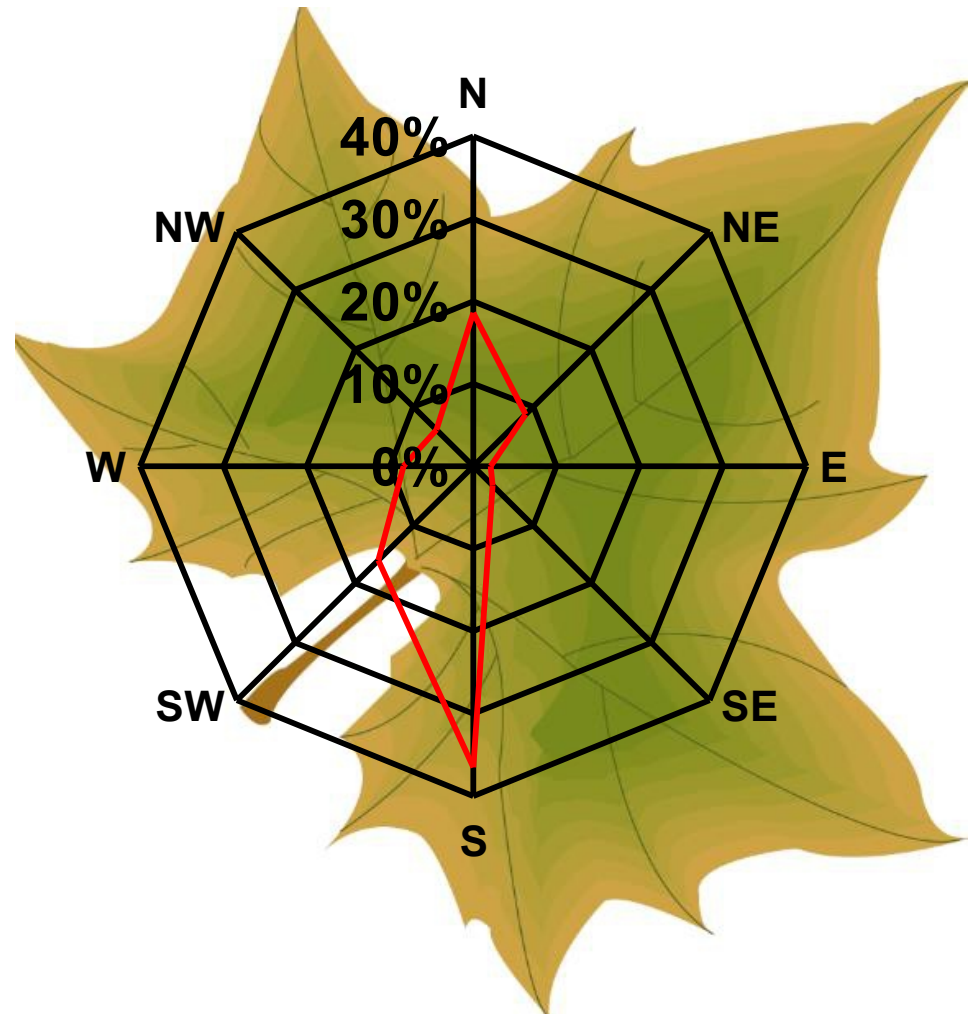
Physiological changes
due to dehydration:



Citlivost různých fyziologických procesů ke změnám vodního potenciálu (dle Hsiao 1979.)

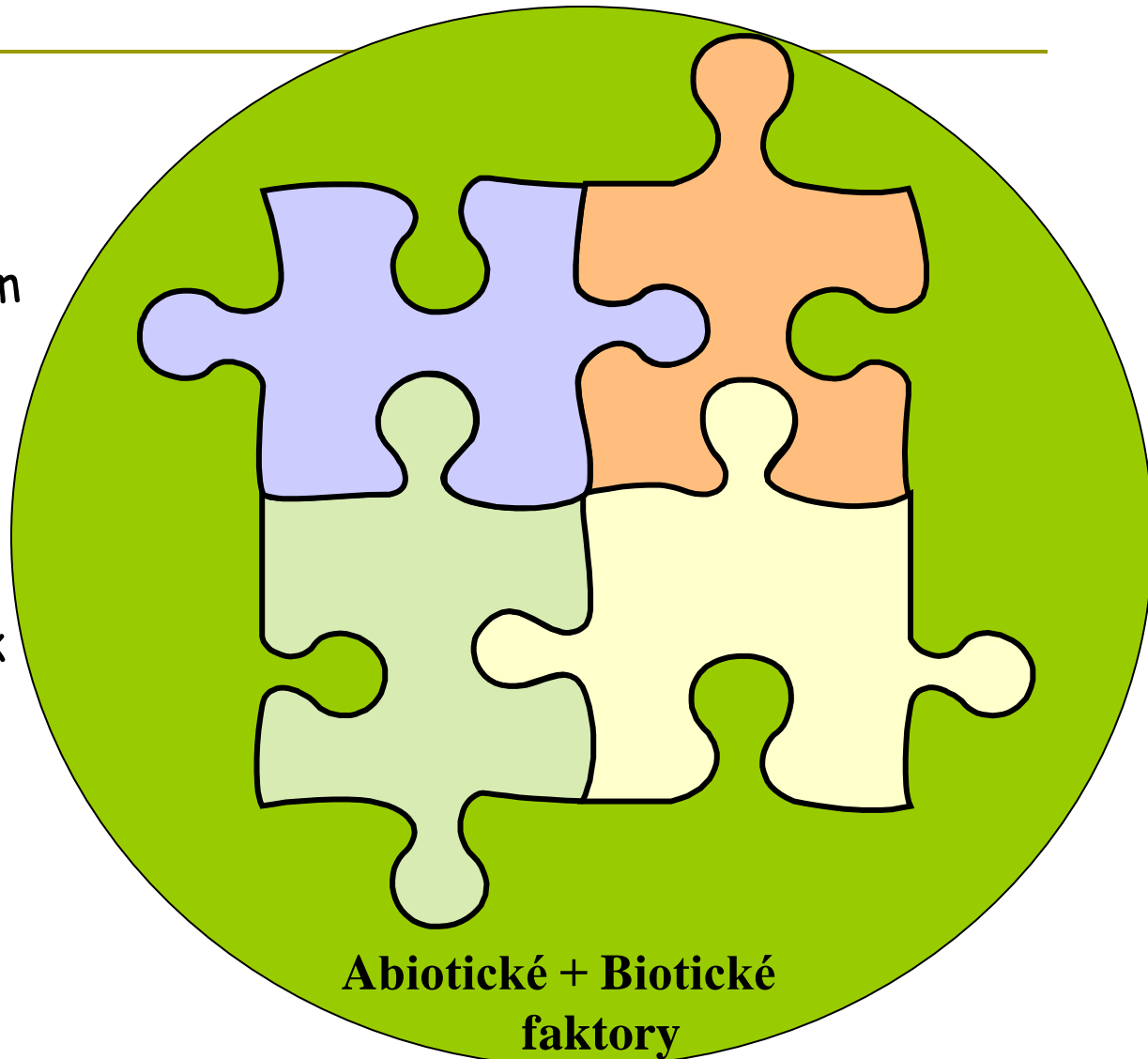
Vítr

- Směr
- Rychlost
- Typ proudění
- Vlhkost
- Teplotní zvrstvení
- Tlak
- Množství unášených nečistot
- Obsah chem. Látek
- ...



Vice-versa působení - Strom v prostředí

- 1) tepelný režim
- 2) vlhkostní režim
- 3) meliorační význam
- 4) kvalita ovzduší
- 5) proudění vzduchu
- 6) hluchnost
- 7) hygienický účinek
- 8) radioaktivita



Dynamika růstu

- rychlerostoucí – topoly, vrby, olše, osika
 - středně rychle rostoucí – smrk, javor babyka, douglaska v mládí
 - pomalu rostoucí – habr, dub, tis
-

V ý š k o v ý p ř í r ů s t - výška dřeviny závisí na druhu dřeviny i na stanovištních podmínkách :

- do cca 20 m : tis
- 20 – 25 m : habr, olše šedá, limba
- 25 – 30 m : dub, buk, jasan, lípy, javory, jilm, topoly, olše lepkavá, bříza
- 30 – 50 m : smrk, jedle, modřín, borovice, douglaska

Nástup reproduktivního věku :

10 – 20 let : dřeviny rychlerostoucí, topoly, osika, olše, bříza, borovice, akát, modřín
20 – 30 let : středně rychle rostoucí - lípy, habr, javory
30 – 40 let : pomaleji rostoucí - dub, jasan, jilm, smrk
40 – 50 let : pomalu rostoucí -buk
50 – 70 let : “ - jedle

Každoročně plodí : bříza, olše, habr, jeřáb, osika, jíva (průkopnické dřeviny)
po 1 – 2 letech : jilm, javory, jasan, lípa
po 3 – 4 letech : borovice, smrk, jedle
po 5 – 6 letech : dub (v teplejších oblastech i po 2 letech, posun na sever-až 7 let)
po 6 – 8 letech : buk

Děkuji za pozornost

