

# EKOFYZIOLOGIE LESNÍCH DŘEVIN

Část I.

Michal V. Marek



Ústav systémové biologie  
a ekologie

AKADEMIE VĚD  
ČESKÉ REPUBLIKY







# Co to vlastně rostlinná fyziologie je?

Tento obor se dá definovat jako studium toho, jak rostliny **FUNGUJÍ** ve smyslu:

- rostlinného růstu
- metabolismu
- reprodukce.

Je nasnadě, že fyziologie rostlin je nadstavbovým oborem, který musí vycházet z určitých metodických přístupů jiných vědních disciplín, především biochemie, organická chemie, biofyziky a molekulární biologie.

Z tohoto výčtu by se mohlo zdát, že fyziologii rostlin jako vědní obor prostě nelze přesně definovat. Čím se tedy **fyziologie rostlin odlišuje od již zmíněných disciplín?** Odlišuje se tím, že **formuluje své vlastní otázky**. Formulace otázek pak vede k jejich řešení za použití konkrétních metod.

*Např. otázky chování ekosystémů, či dokonce globálního ekosystému, jsou řešeny především metodou matematického modelování, a přesto nemůžeme říci, že je to matematika. Totéž platí i pro rostlinnou fyziologii. Je zřejmé, že současný důraz kladený na molekulární biologii má svůj důsledek ve vlastní rostlinné fyziologii při šlechtění nových druhů rostlin se zcela novými, záměrně vyvo-lanými vlastnostmi. Přitom jsou to opět rostliny se svými fyziologickými procesy, které reagují na vnější prostředí prostřednictvím fyziologických procesů. Fyziologie rostlin zde tedy nachází své jednoznačné uplatnění.*

Za nedílnou součást rostlinné fyziologie je nutné považovat i poměrně rozsáhlý obor zabývající se tím, jak rostliny a tedy i výše uvedené důležité životní projevy reagují na své vlastní vnější prostředí. Tato část fyziologie rostlin se v poslední době definuje jako **ekofyziologie rostlin**.

# Proč jsou rostliny tak velice důležité pro biosféru Země?

- **Rostliny společně s řasami a sinicemi patří k autotrofům.**

To znamená, že v řetězci toku energie a látek stojí na počátku. Patří tedy do skupiny primárních producentů.

*Je to dáno tím, že jedině rostliny a ostatní autotrofové jsou schopny z látek anorganických a energeticky chudých vytvářet látky organické a energeticky bohaté. Přičemž pro tvorbu těchto látek využívají v naprosté většině vnějšího energetického zdroje.*

- **Vyšší rostliny využívají energii elektromagnetického záření.**

Znamená to tedy, že rostliny - primární producenti zemského ekosystému, vlastně fungují jako zcela unikátní kolektory solární energie a zachycenou energii konvertují do energie chemických vazeb. Tato energie chemických vazeb je pak uschována v organických a energeticky bohatých látkách.

- **Rostliny se dále vyznačují tím, že jsou to organismy nepohyblivé.**

To se na první pohled, v porovnání s ostatními organismy, musí zdát jako značná nevýhoda, ale ve skutečnosti je tomu právě naopak. Tato nepohyblivost způsobuje, že rostlina je silně vázána ke svému substrátu. Tato vazba k substrátu je zprostředkována speciální morfologickou strukturou zvanou kořeny, které umožňují, že rostlina je schopna aktivní výměny iontů a jiných látek mezi svým tělem a půdním prostředím a je schopna tyto prvky minerální výživy z půdy získávat. To je samozřejmě velice důležité pro její existenci a právě proto, aby mohla vytvořit tento speciální systém kořenů, musí být rostlina nepohyblivá.





# Hlavní faktory prostředí rostlin ovlivňující jejich vitalitu

**I. Elektromagnetické záření**

**II. Teplo**

**III. Vlhkost**

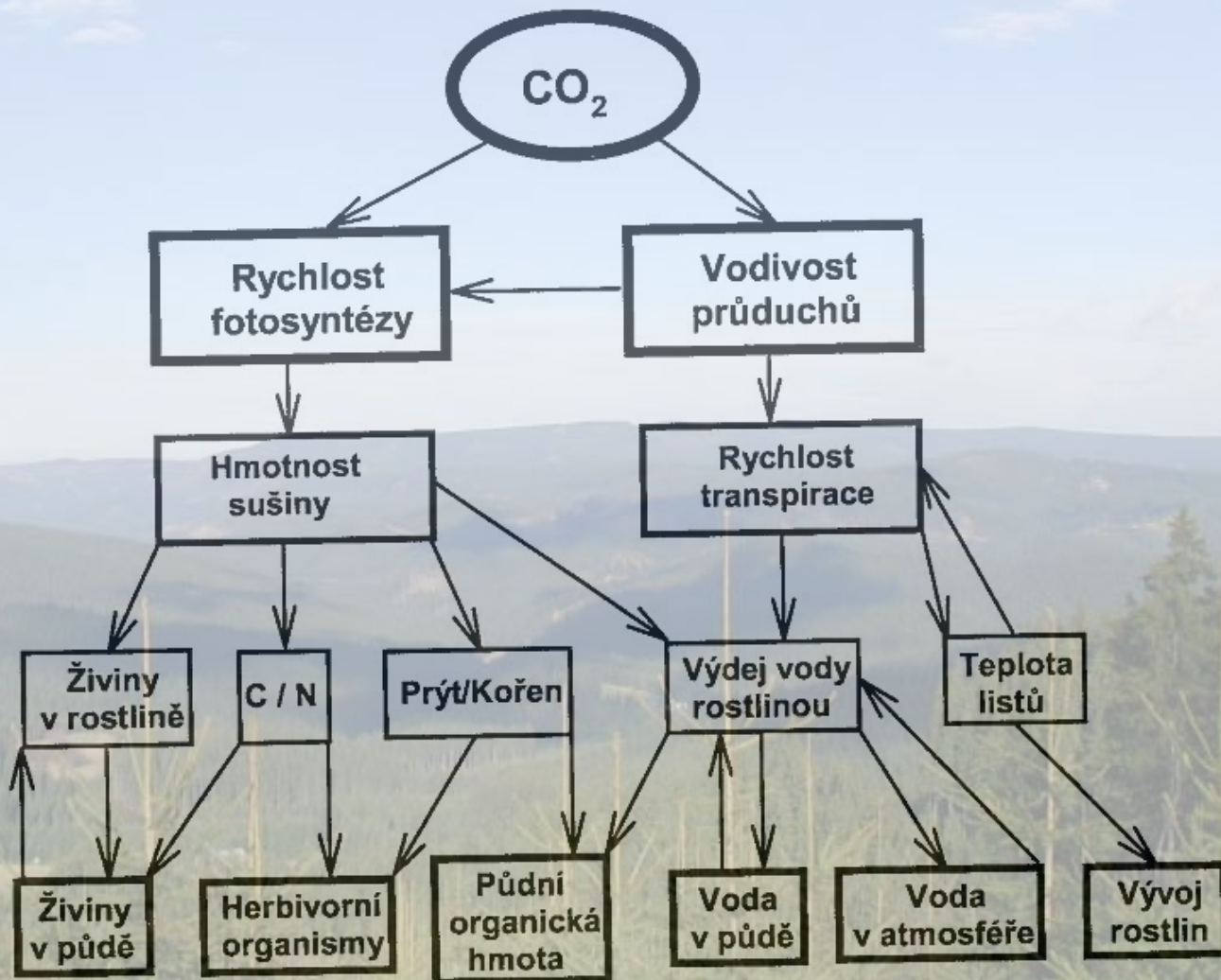
**IV. Proudění vzduchu**

**V. Minerální výživa**

**VI. Biotičtí činitelé**

**VII. Antropogenní vlivy**

# Komplexnost působení vnějšího prostředí rostlin PŘÍKLAD CO<sub>2</sub>

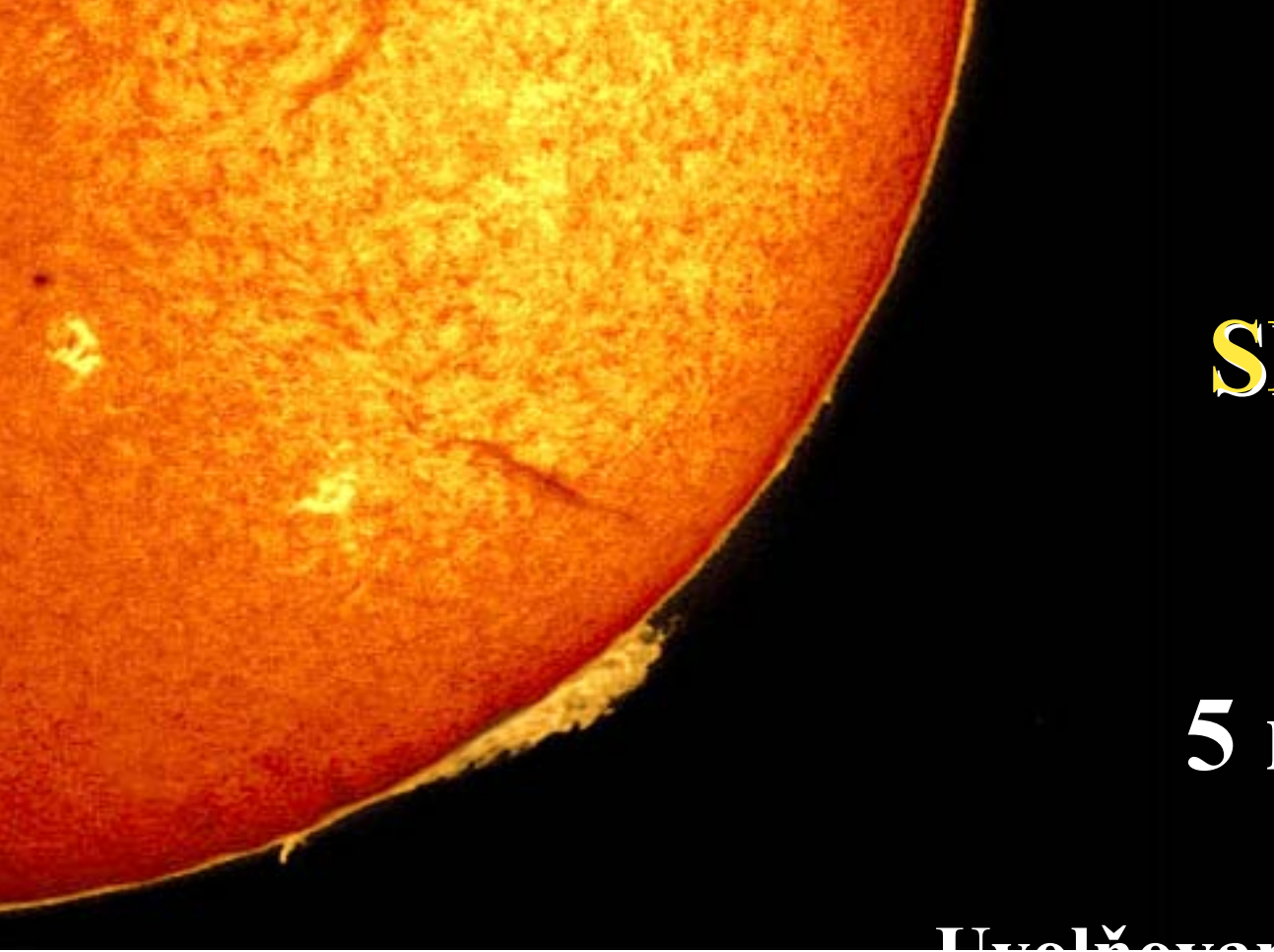


# RADIAČNÍ REŽIM ROSTLINNÉHO POROSTU

**Sluneční záření** - nejdůležitější bioklimatický a vegetační faktor

**Sluneční záření** - základní zdroj energie pro zelené rostliny a řídicím prvkem ostatních mikroklimatických faktorů, které se uplatňují v porostním klimatu





# SLUNCE

5

Uvelřover

# SLUNCE

- základním a prvotním zdrojem energie pro procesy v atmosféře i na aktivním povrchu je sluneční záření

- Slunce je tvořeno z 74% vodíkem, 23% heliem a 3% tvoří ostatní plyny

- zdrojem energie slunečního záření je termonukleární přeměna vodíku na helium tzv.

**proton-protonový cyklus**

- kolem slunečního tělesa je sluneční atmosféra, jejíž součástí je tzv. **fotosféra** - fotosféra má rozsah asi 300-500 km a vyzařuje do kosmického prostoru všesměrné záření, které odpovídá záření černého tělesa o povrchové teplotě 5700-6000 K
- ve fotosféře se vyskytují tzv. **sluneční skvrny** (tzn. tmavší, chladnější místa o teplotě asi 4500 K)
- zářivý výkon Slunce je asi  $3.35-4.00 \times 10^{26} \text{ W}\cdot\text{s}^{-1}$
- **sluneční záření** je elmg. záření s nestejnou intenzitou, které má rozsah vlnových délek  $10^{-1} \text{ nm}$  -  $1 \text{ m}$  (98% energie je přítom ve spektrálním rozmezí **150 - 4000 nm**, a tudíž bývá sluneční záření označováno jako **krátkovlnné záření**)

- **tok zářivé energie Slunce** dopadající kolmo na jednotku plochy horní hranice atmosféry Země za jednotku času při střední vzdálenosti Země od Slunce se nazývá

### **sluneční ozáření (irradiance)**

- sluneční ozáření má proměnlivou hodnotu díky tomu, že Země obíhá kolem Slunce po elipse a nikoliv po kružnici (tzv. excentricita zemské dráhy)

- její hodnota leží v rozmezí  $1353 - 1390 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , průměrná hodnota

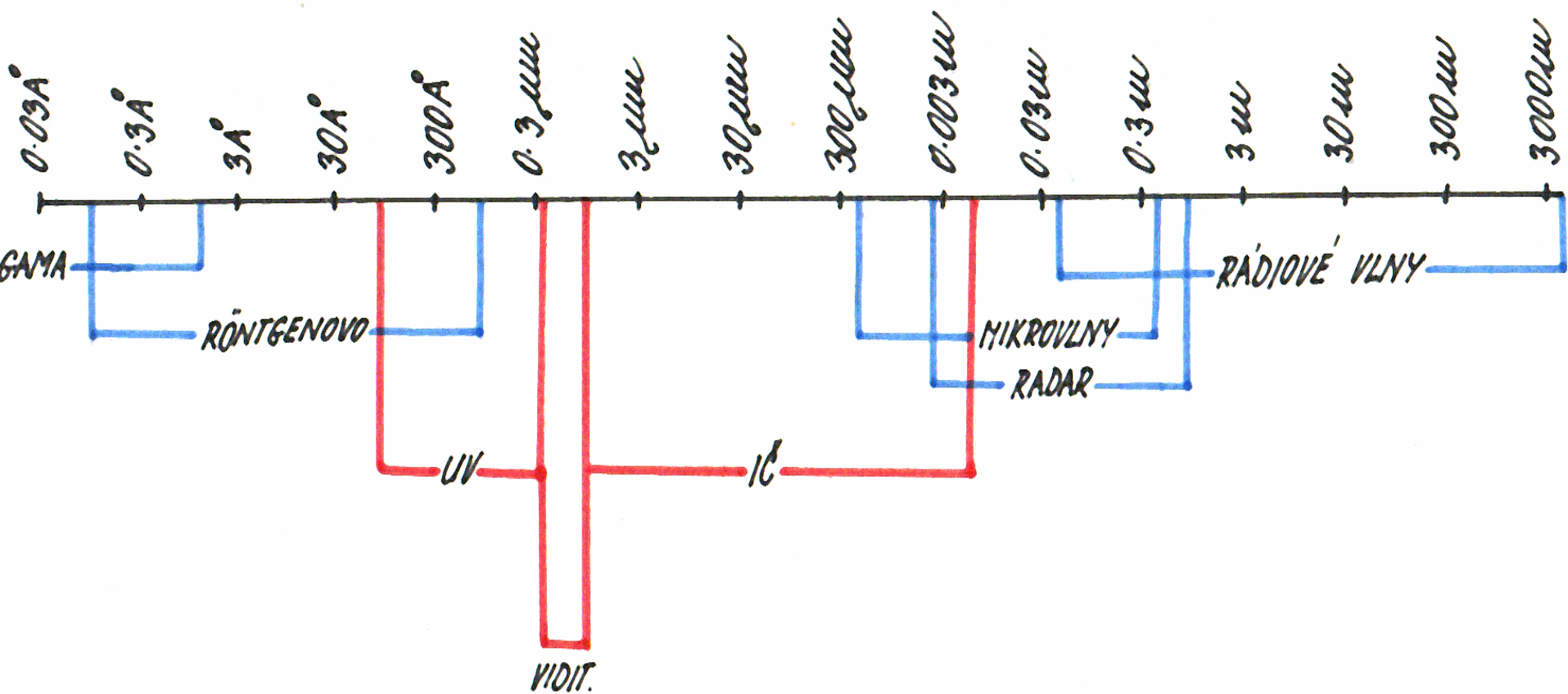
činí  **$1368.31 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \pm 0.05\%$**

# JEDNOTKY:

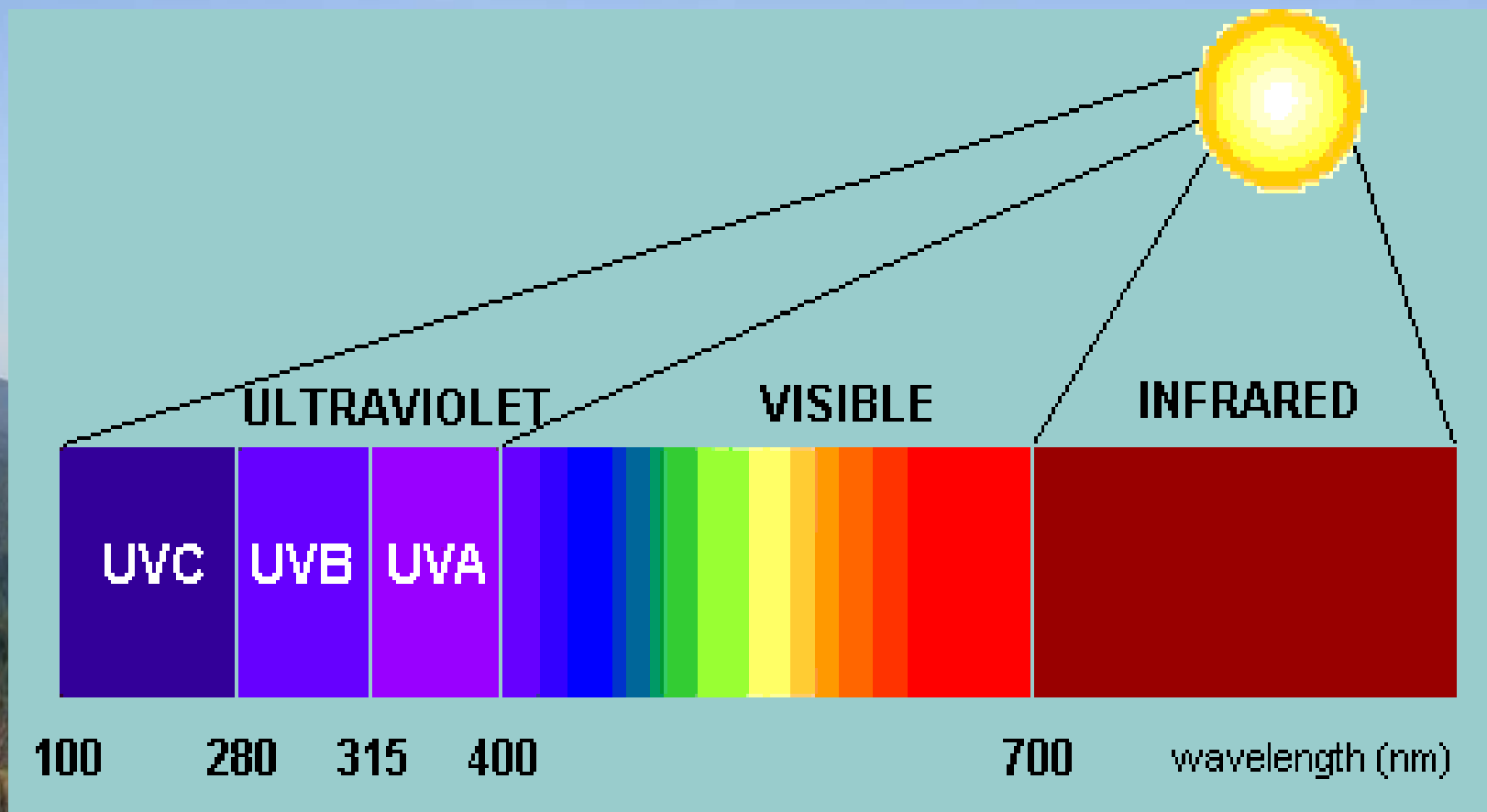
- energie záření se vyjadřuje v **J**
- energetický výkon se vyjadřuje ve **W**
- osvětlení se vyjadřuje v **lux**
- hustota toku zářivé energie dopadající na jednotku plochy se vyjadřuje ve **W.m<sup>-2</sup>**
- suma zářivé energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času se vyjadřuje v **J.m<sup>-2</sup>** (tj. **W.s<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>**)
- pro fyziologické účely se používá jednotka **mol** (dříve **E**), přičemž 1 mol = počet fotonů, které jsou nutné k vytvoření 1 molu uhlohydrátů (1 mol =  $6 \times 10^{23}$  fotonů)  
převod:  $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1} * 0.2231667 = \text{W.m}^{-2}$



# SPEKTRUM ELEKTROMAGNETICKEHO ZÁŘENÍ



# Spektrální složení slunečního záření





<b>(nm)</b>	<b>(barva)</b>
<b>400-430</b>	<b>fialová</b>
<b>450-485</b>	<b>modrá</b>
<b>515-520</b>	<b>zelená</b>
<b>575-590</b>	<b>žlutá</b>
<b>590-620</b>	<b>oranžová</b>
<b>620-700</b>	<b>červená</b>

# VLASTNOSTI SLUNEČNÍHO (KRÁTKOVLNNÉHO) ZÁŘENÍ:

- při průchodu kosmickým prostorem je ovlivňováno velmi málo
- množství slunečního záření dopadající na horní hranici atmosféry je periodicky proměnlivé (v důsledku excentricity zemské dráhy)
- **spektrální složení** slunečního záření:
  - ultrafialové záření
  - viditelné záření
  - infračervené záření

# Bilance krátkovlnného záření



100 %

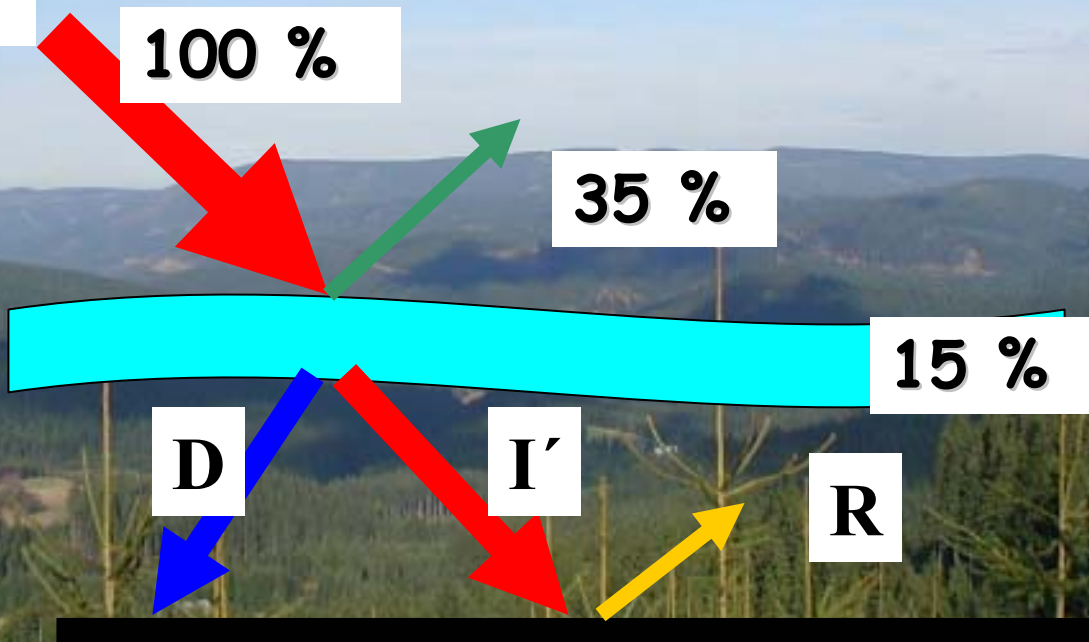
35 %

15 %

**D**

**I'**

**R**



## ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ (180 - 400 nm)

- z velké části je pohlceno v ozonoféře
- na horní hranici atmosféry tvoří asi 5-7% slun. záření
- na zemský povrch dopadá asi 1%
- lidské oko UV-záření nevidí
- dělení:

UV-C (180-280 nm) - zcela pohlceno v atmosféře

UV-B (280-320 nm) - částečně prochází ozonoférou, silný erytemální účinek, v menších dávkách podporuje látkovou výměnu, ničí mikroorganismy

UV-A (320-400 nm) - nejméně pohlcováno ozonoférou, silný erytemální účinek, způsobuje tvorbu provitamínu D, způsobuje fluorescenci látek

# VIDITELNÉ ZÁŘENÍ (400 - 700 nm)

- na horní hranici atmosféry tvoří asi 44-48% slun. záření
- jde o záření, na které reaguje lidské oko (nejcitlivěji v rozmezí 510-610 nm)
- je přirozeným zdrojem světla na Zemi
- jeví se jako světlo bílé, ale skládá se z jednotlivých monochromatických záření
- z hlediska člověka (nebo živočichů) ho označujeme jako **světlo**, z hlediska rostlin jako **FAR**

## FAR spektrální pás: 380-720 nm:

400 - 510 nm první maximum absorpce chlorofylu a a b a karotenoidů; má asimilační účinek a velké formativní účinky na rostliny

510 - 610 nm důležité pro přenos energie do reakčních center fotosystémů; má malé formativní účinky na rostliny

610 - 700 nm druhé maximum absorpce energie chlorofylu a a b, které má velký asimilační účinek a velkou fotoperiodickou aktivitu pro zelené rostliny.

- *při fotosyntetických procesech je využito asi 28% pohlceného slunečního záření*



## **INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ (700 - 3000 nm)**

- na horní hranici atmosféry činí asi 45-49%

- lidské oko IČ nevidí

- dělení:

IČ-A (700-1400 nm) - má morfologické účinky na rostliny (prodlužovací růst)


IČ-B (1400-3000 nm) - tepelné účinky

IČ-C (3000-4000 nm) - tepelné účinky

# Potenciální dopadajícího NIR

$$I_{\text{NIR}} = \{720 \cdot \exp [- 0.06 (P/P_0) \cdot m] - w\} \cdot \cos Q$$

720 - hodnota NIR na horní hranici atmosféry  
0.06 - extiční koeficient NIR pro průchod atmosférou  
w - vodní absorpce NIR  
Cos Q - zenitální úhel Slunce



**dlouhovlnná radiace (3000 - 10000 nm):**

tepelné účinky - významné

fotosyntetické účinky - nevýznamné

fotomorfo-genetické účinky - nevýznamné

# Základní účinky sluneční radiace na rostliny

**FOTOENERGETICKÉ ÚČINKY** - zdroj energie  
Visible -FAR

**FOTOKYBERNETICKÉ ÚČINKY** - přechod vegetativní/generativní fáze  
modré-UV-B a red-NIR

**FOTODESTRUKČNÍ ÚČINKY** - není přímá vlnová specifikace

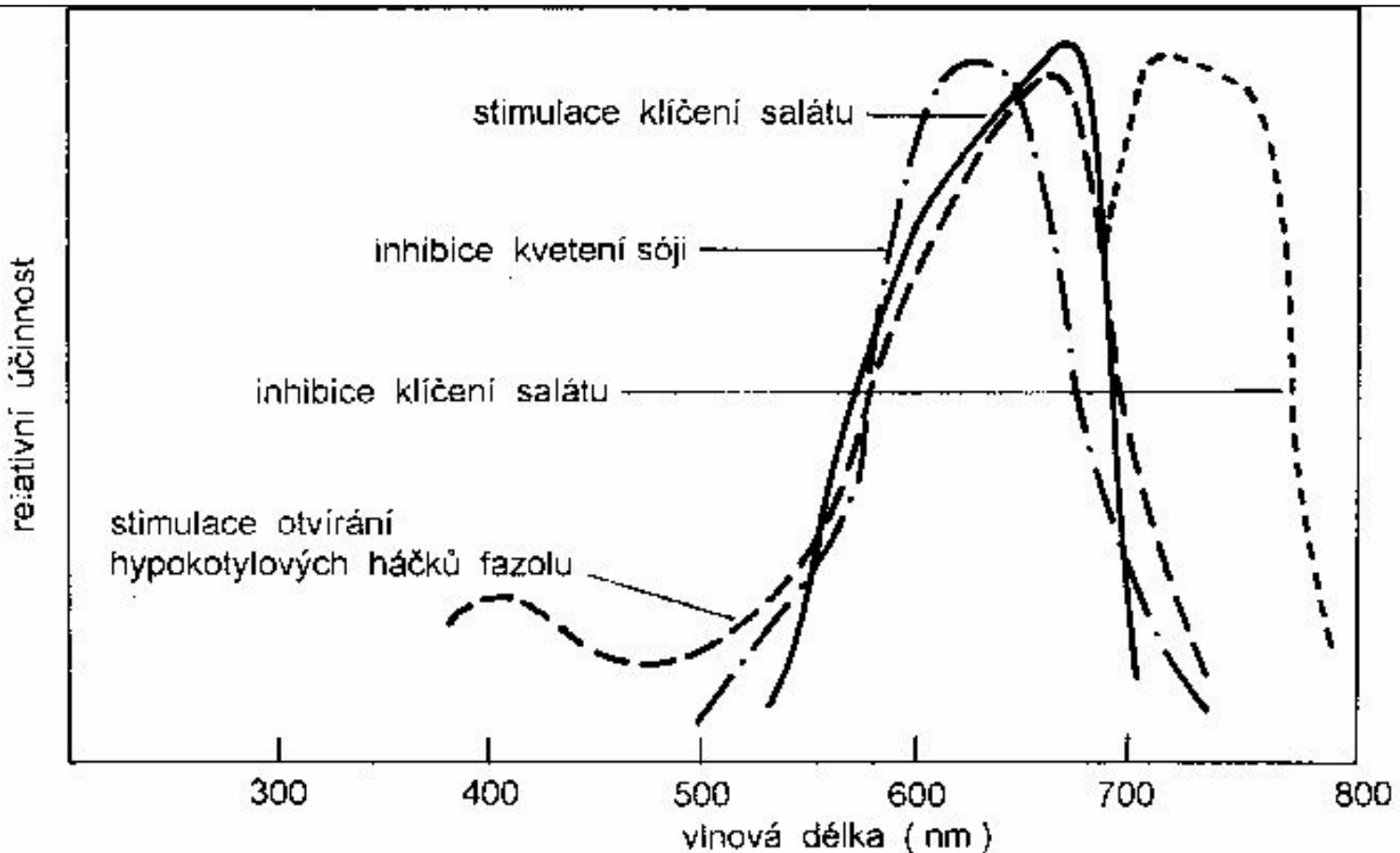
**FOTOTERMICKÉ ÚČINKY** - není přímá vlnová specifikace

# FOTOENERGETICKÉ ÚČINKY

- sluneční záření je podmínkou života pro všechny zelené rostliny, protože je nezbytně nutné pro asimilaci, při které se v listech tvoří z oxidu uhličitého, vody a dalších látek pomocí chlorofylu všechny stavební látky rostlinného těla (fotosyntéza)
- energii pro fotosyntézu dodává sluneční záření vlnových délek 400 - 700 nm, tzv. **fotosynteticky aktivní záření**

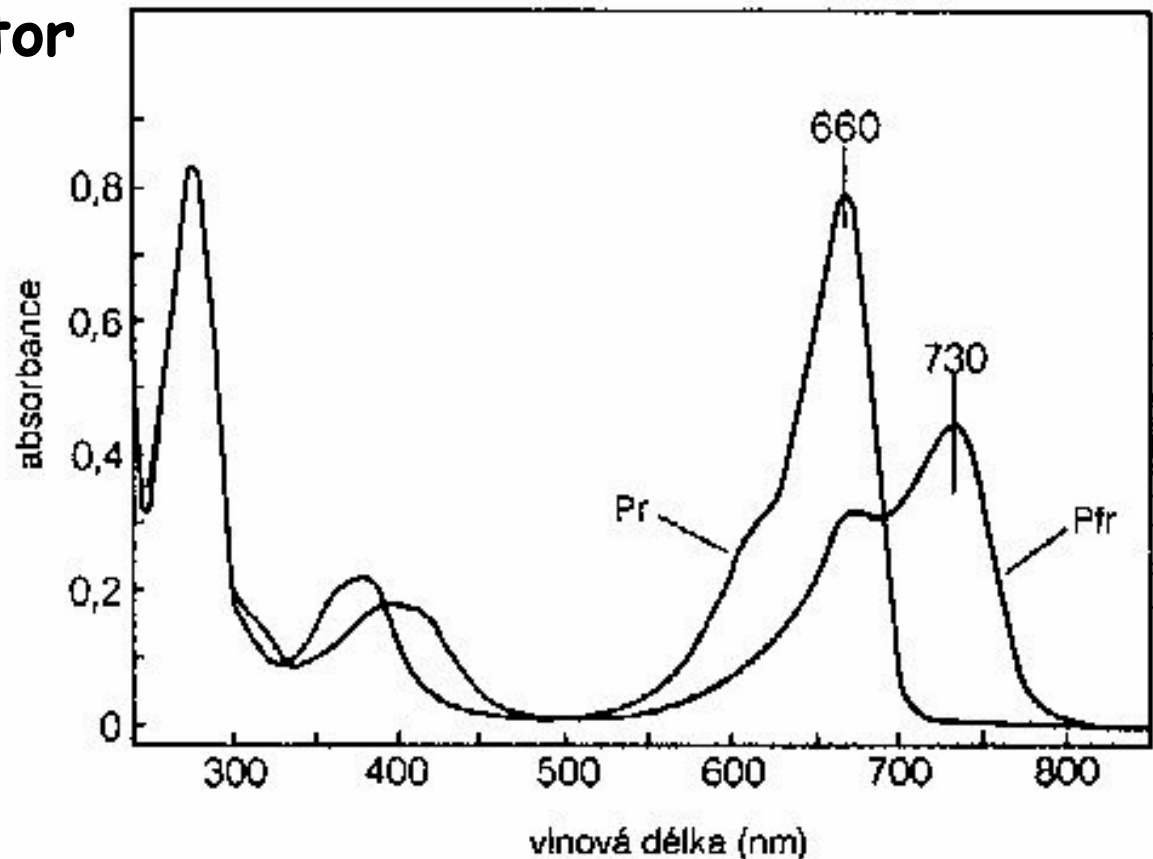
# FOTOKYBERNETICKÉ ÚČINKY

- závisí na vlnové délce (kvalitě) světla
- akční spektrum = závislost odezvy na vlnové délce

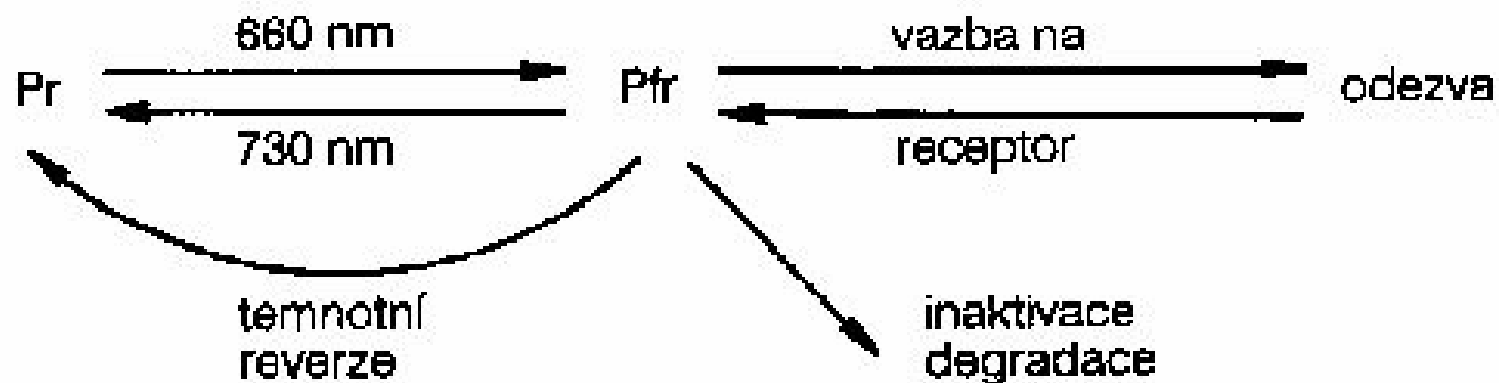


# Receptory záření I. - fytochrom

- receptor červeného záření
- objev - 50.léta Borthwick a kol.
  - stimulace klíčení salátu - I = 660 nm (red, R)
  - zrušení stimulace při I = 730 nm (far-red, FR)
- Závěr
  - existuje 1 receptor
  - 2 odlišné formy
    - Pr (P660)
    - Prf (P730)
  - fytochrom



- vlastnosti
  - fotoreversibilní protein
  - prostetická skupina - tetrapyroly
- 60.léta: 2 typy fytochromu
  - fytochrom I
    - etiolované rostliny
    - dlouho ve tmě
    - $I_{\max} = 666 \text{ nm}$
  - fytochrom II
    - zelené rostliny
    - $I_{\max} = 654 \text{ nm}$

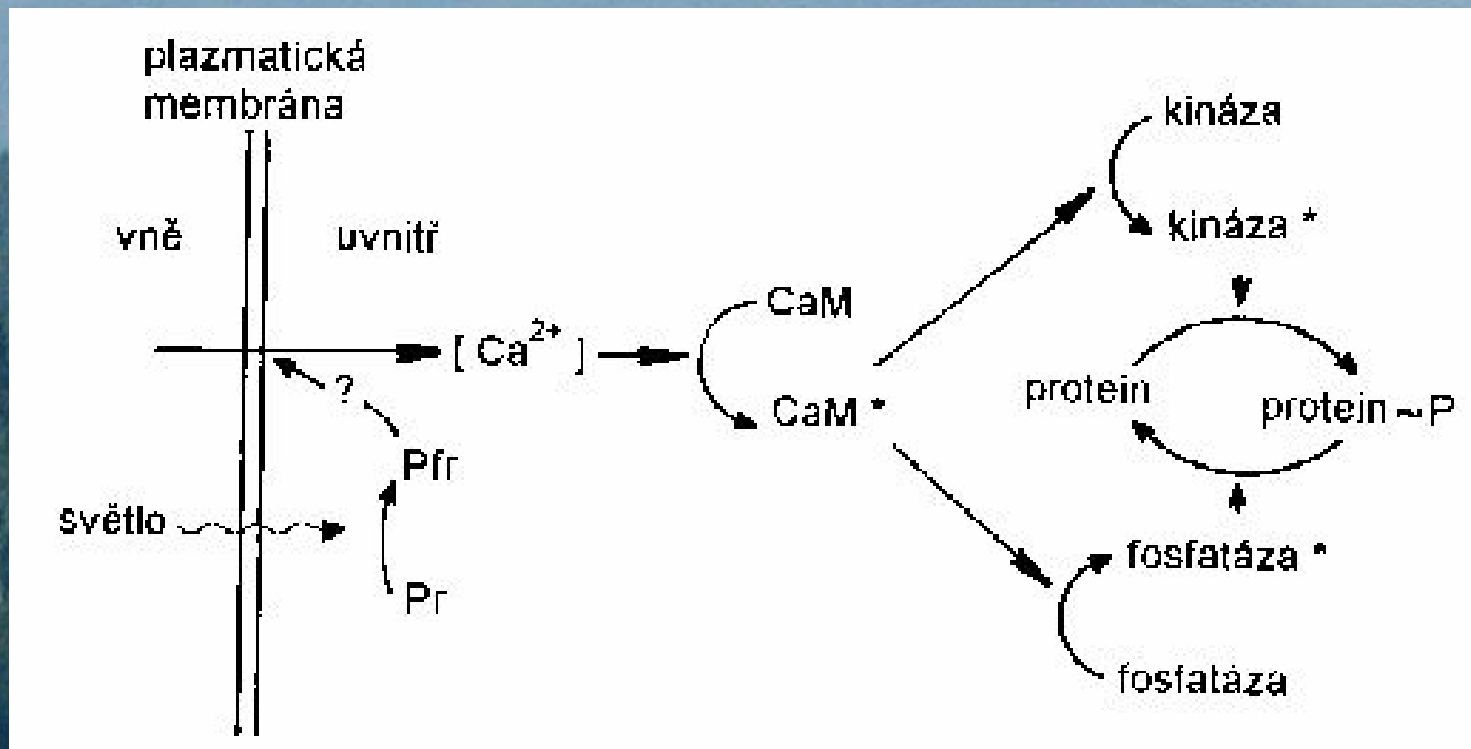


Obr. 9.4 Schematické znázornění metabolických přeměn fytochromu.



# Mechanismus účinku

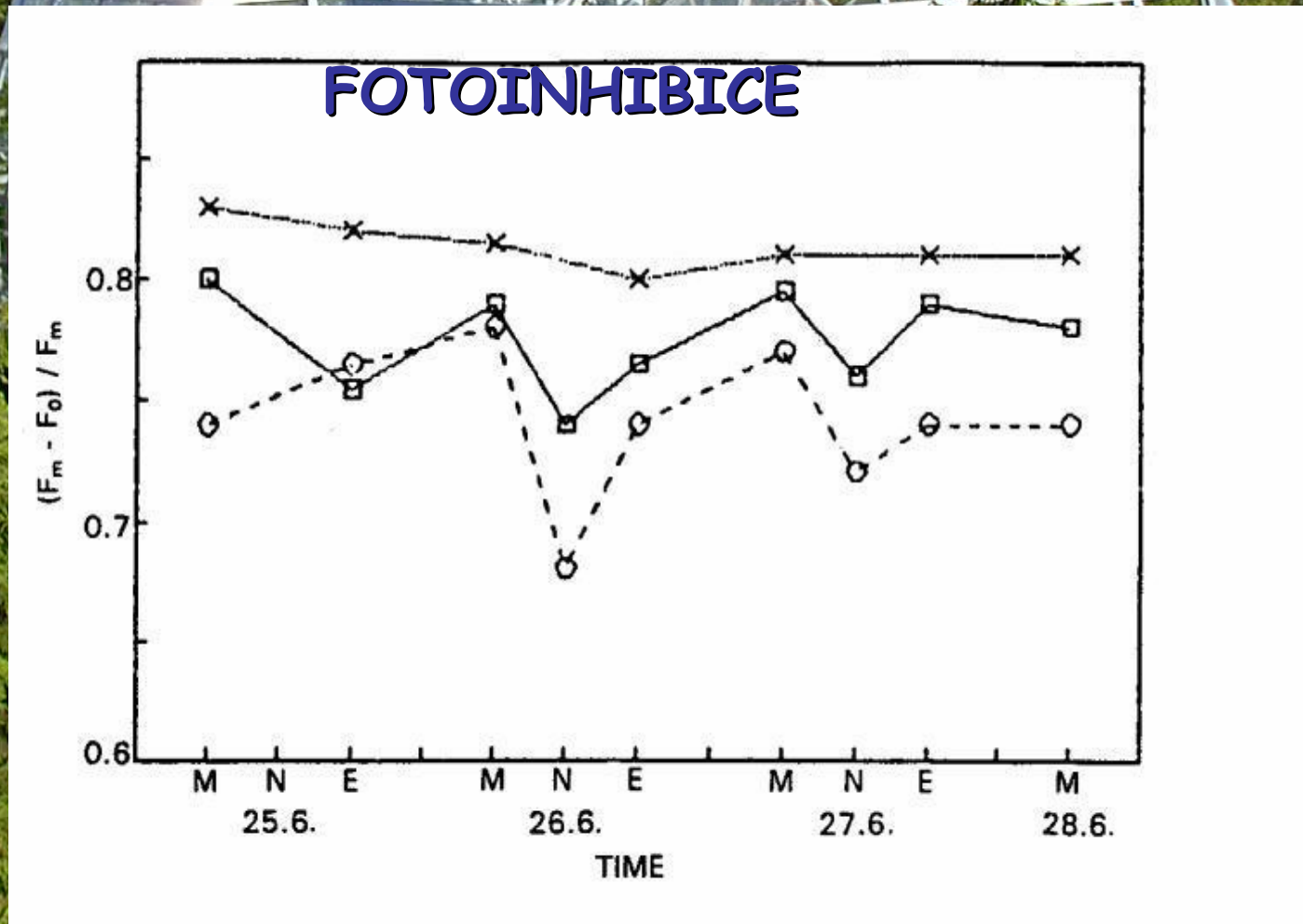
- světlo -- změna struktury
- jak převést do metabolismu?
- $\text{Ca}^{2+}$  ionty
  - důkaz chelátory - vazba  $\text{Ca}^{2+}$
- kalmodulín -- fosforylace proteinů
- Fytochrom = proteinkináza



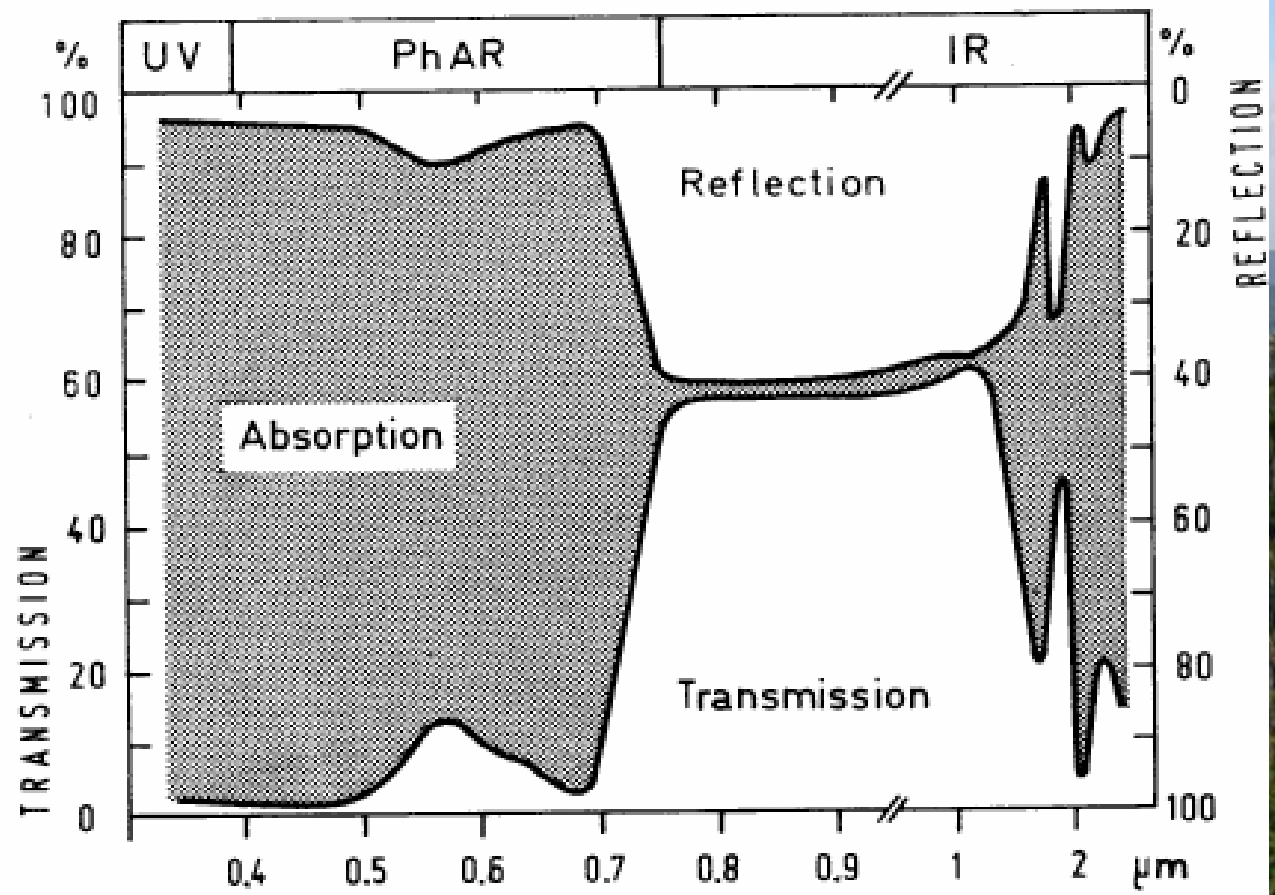
# FOTOTERMICKÉ ÚČINKY

- více než 70% slunečního záření pohlceného rostlinami je přeměno na tepelnou energii a je využíváno pro transpiraci a konvektivní výměnu tepla
- rozložení rostlinných druhů a společenstev na Zemi je výrazně dáno tepelným vlivem
- ten také ovlivňuje růstové projevy každého jedince (např. zahájení růstu, kvetení, ...)

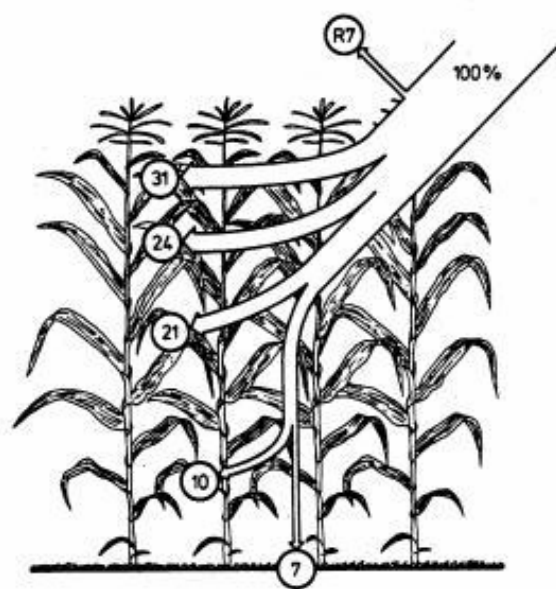
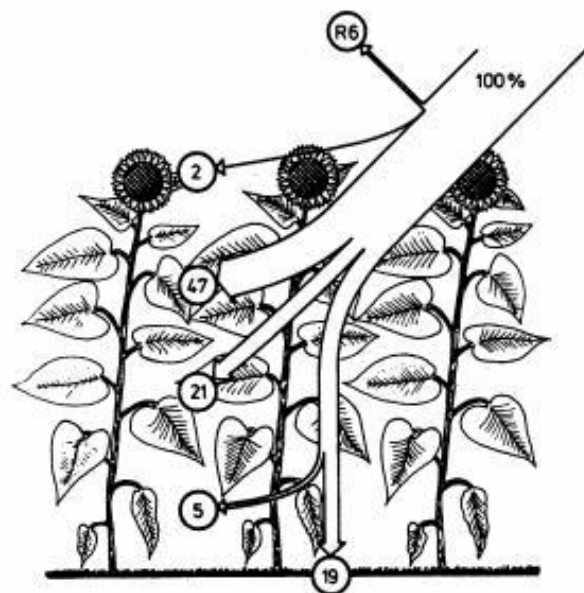
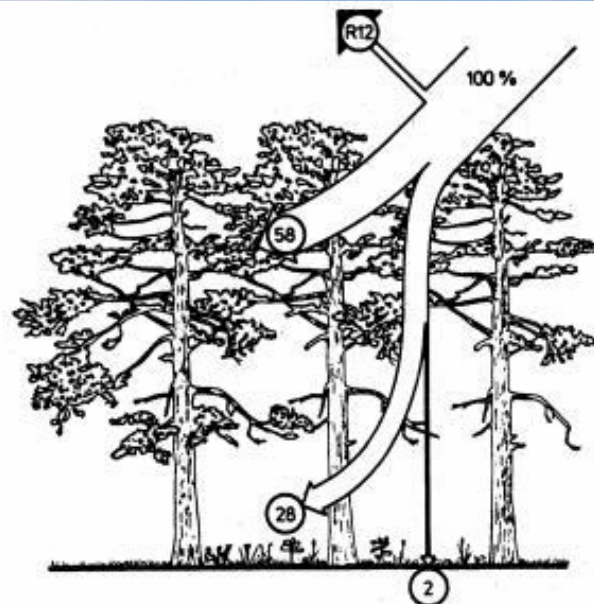
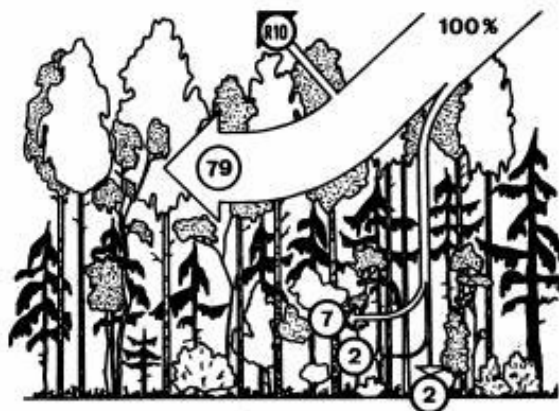
# FOTODESTRUKČNÍ ÚČINKY



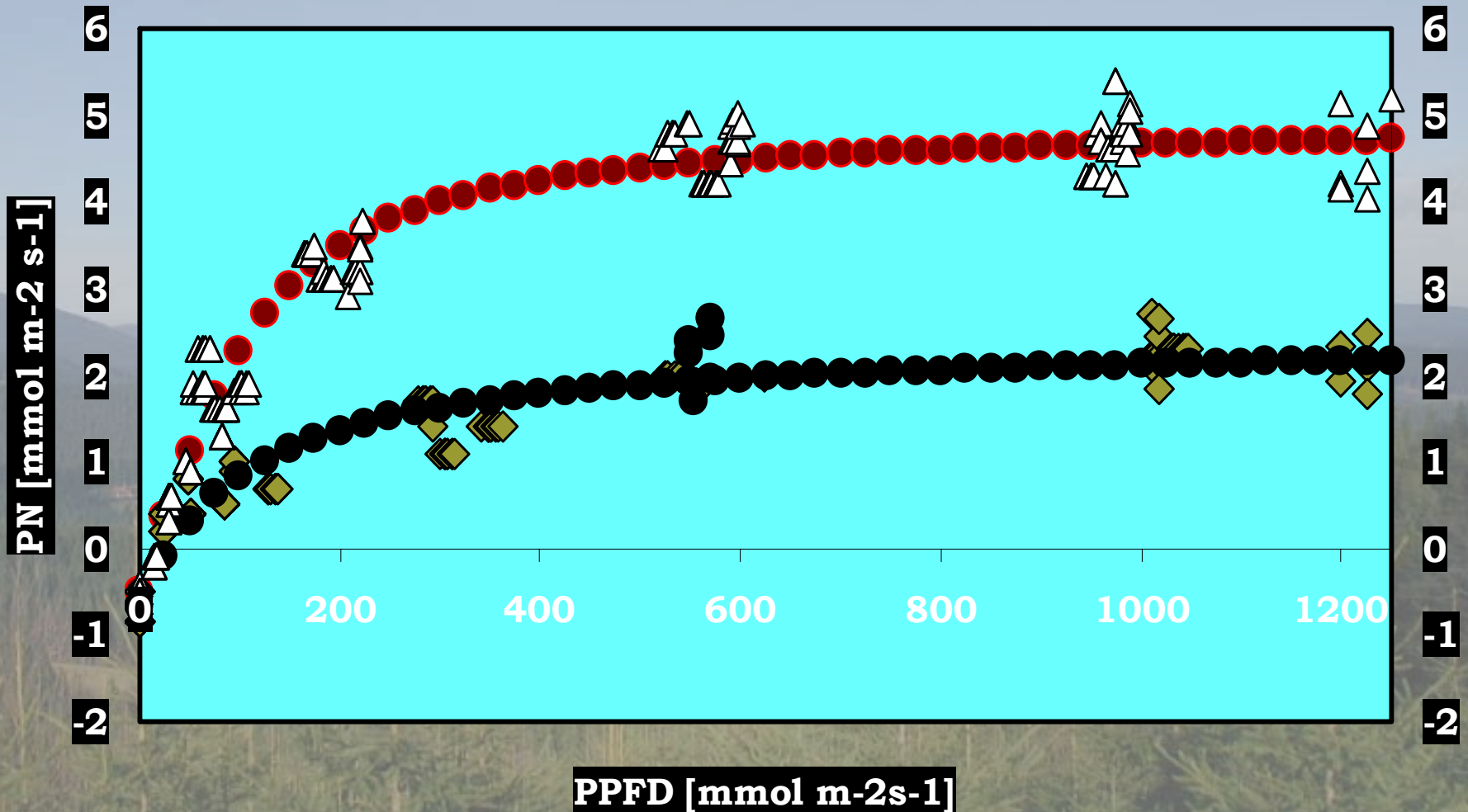
# Základní interakce mezi slunečním zářením a povrchem rostlin



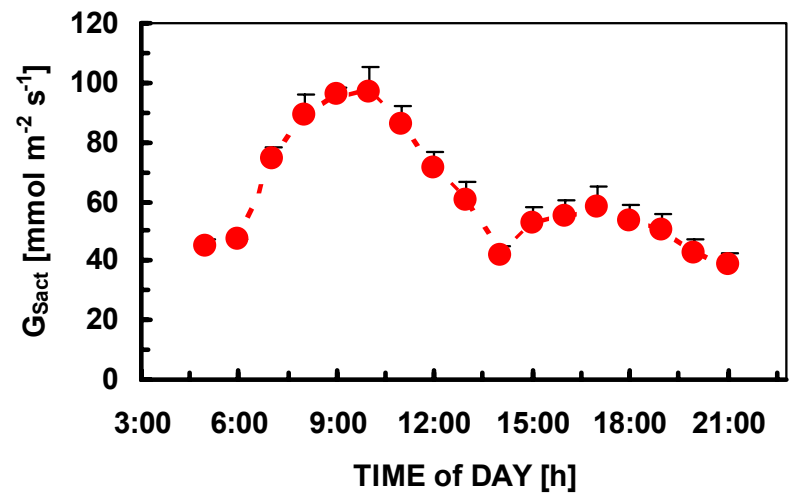
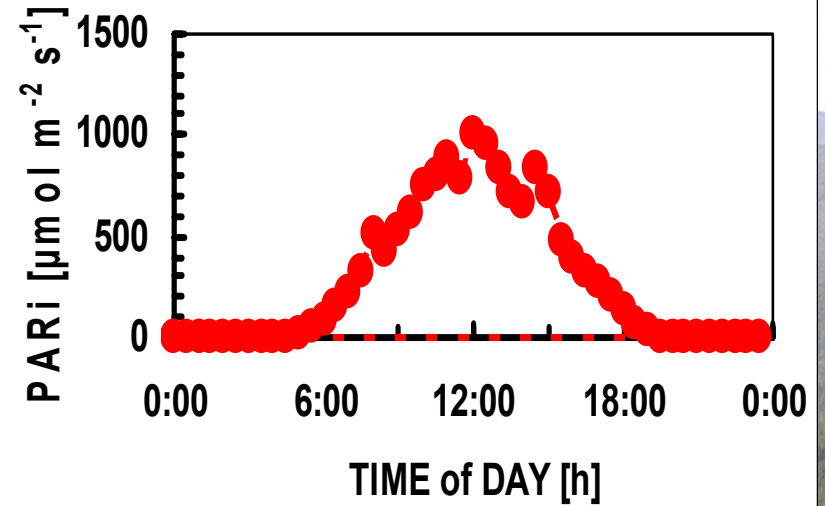
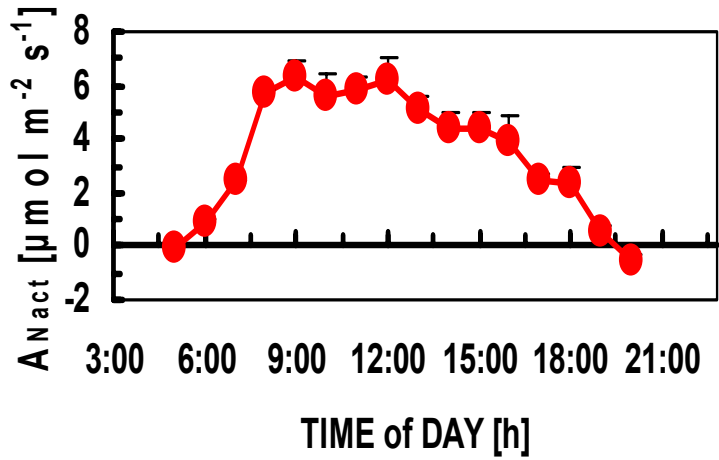
# Bilance sluneční radiace na rozhraní *porost-atmosféra*



# FAR - základní parametr působící na fotosyntetickou asimilaci



# Denní chod asimilace





**PAR 1200**

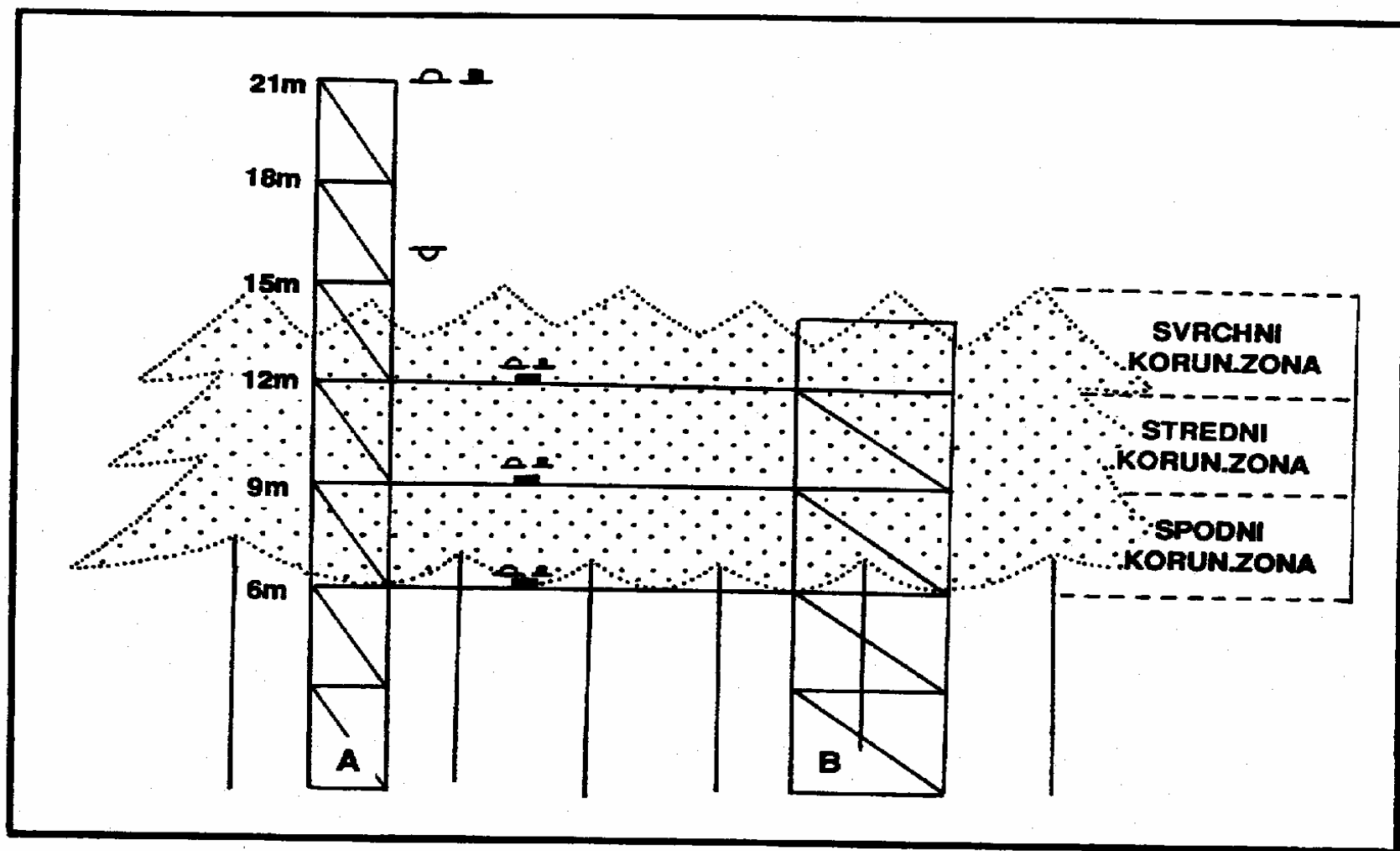
**PAR 740**

**PAR 300**

**Profily fotosynteticky aktivní radiace  
(PAR) v korunové vrstvě**



# Lanovkový systém měření PFAR v lesním porostu

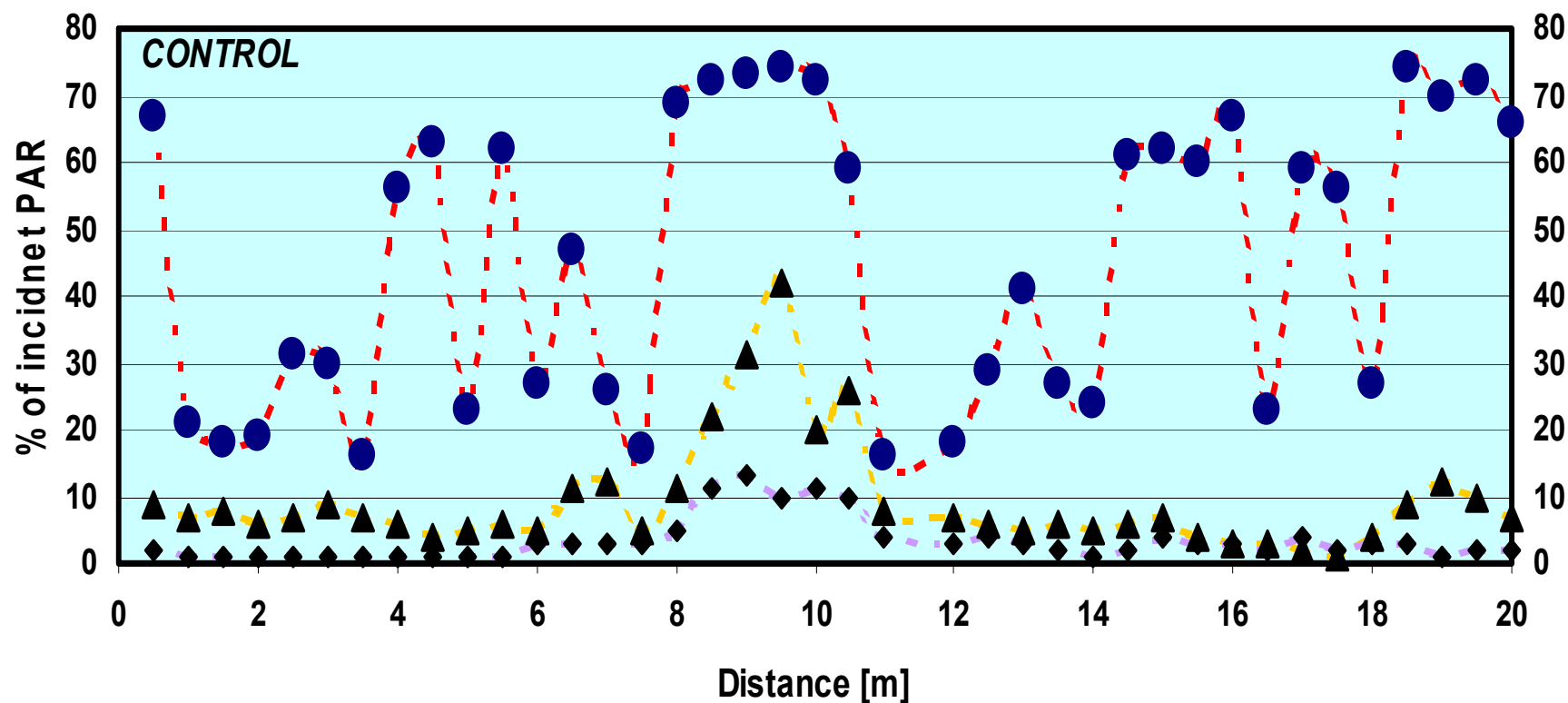




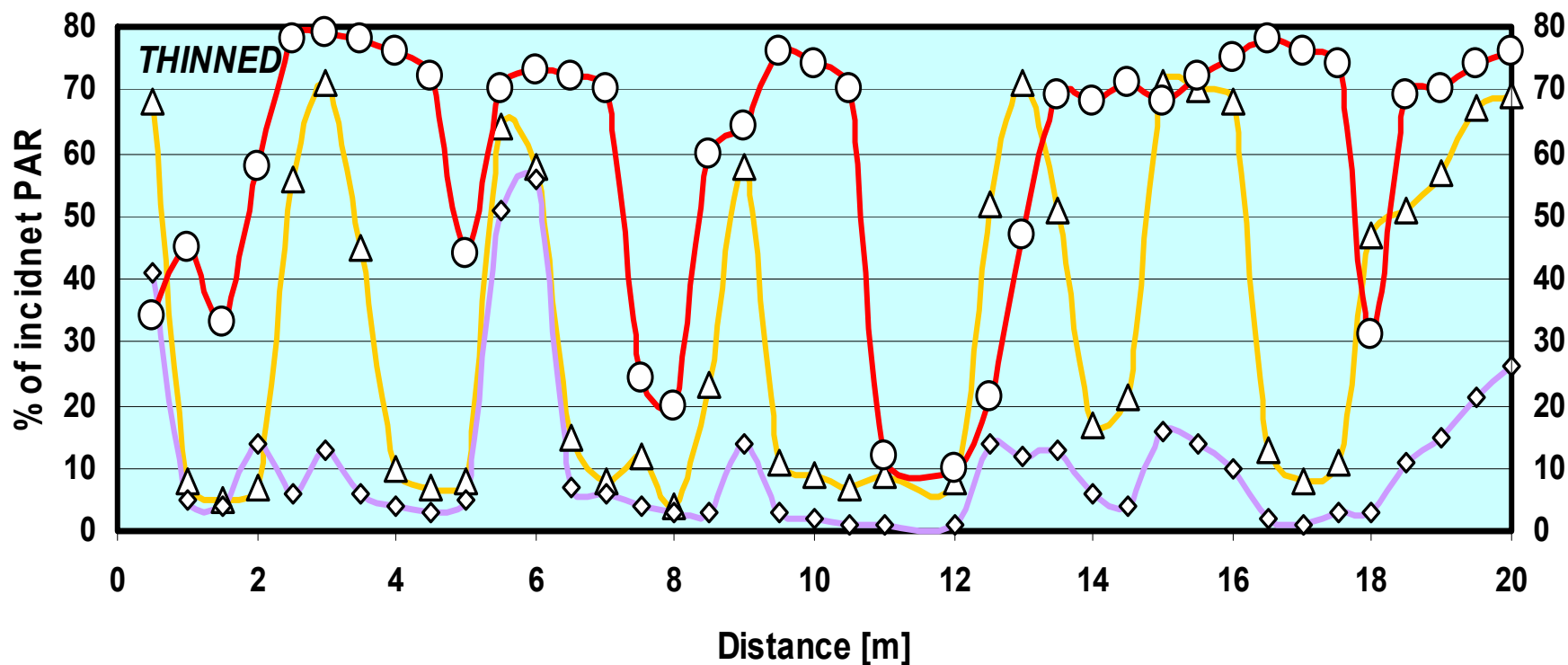
**CANLIN-Lineární integrační FAR čidlo**

# Horizontal PAR profile in the crown layer of a spruce stand

(incoming PAR: 1150 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)



# Horizontal PAR profile in the canopy layer of a spruce stand (incoming PAR: 1150 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)



# CANFIB

system for measurement of spatial variability of PhAR within the tree crown



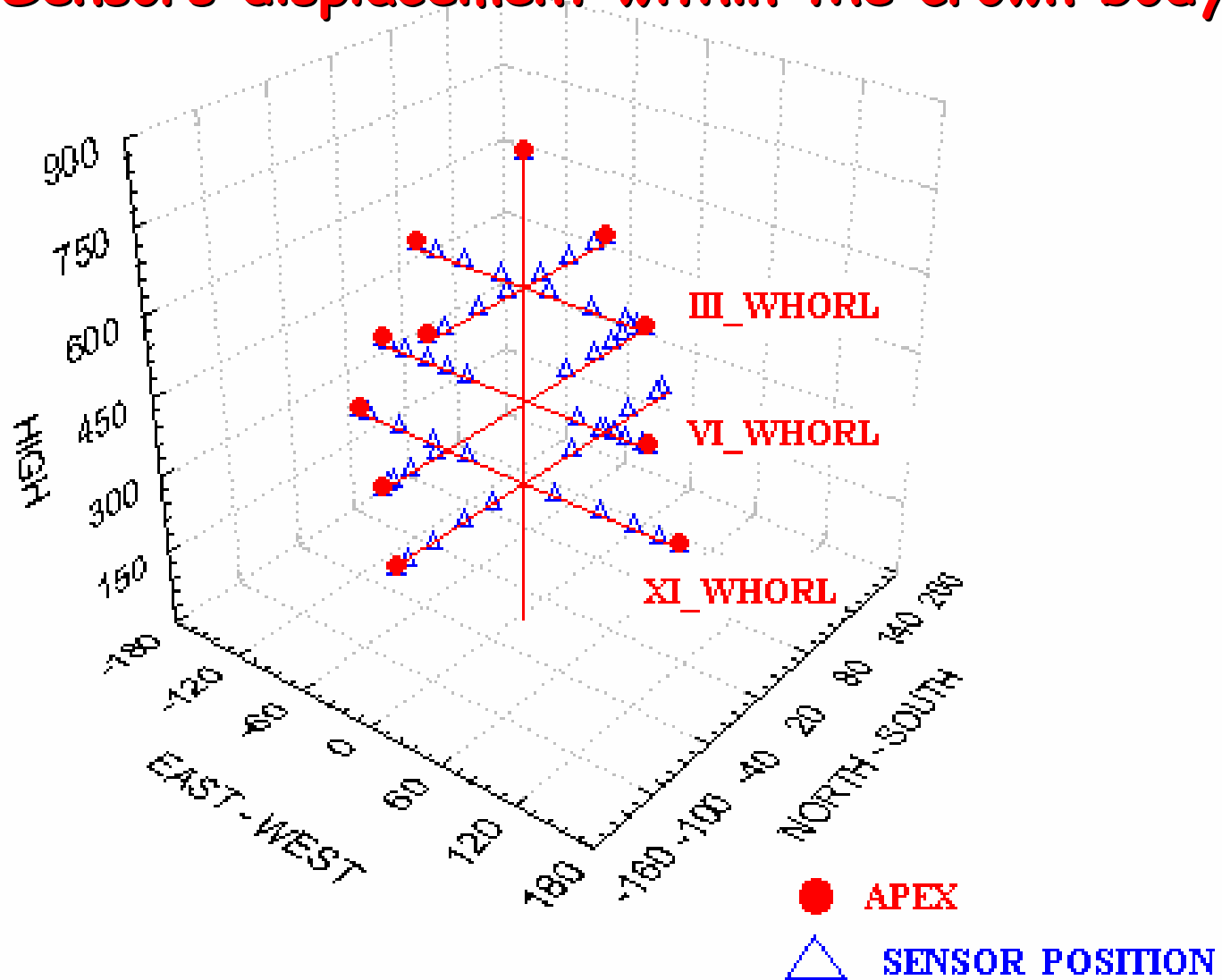
*diffuser*

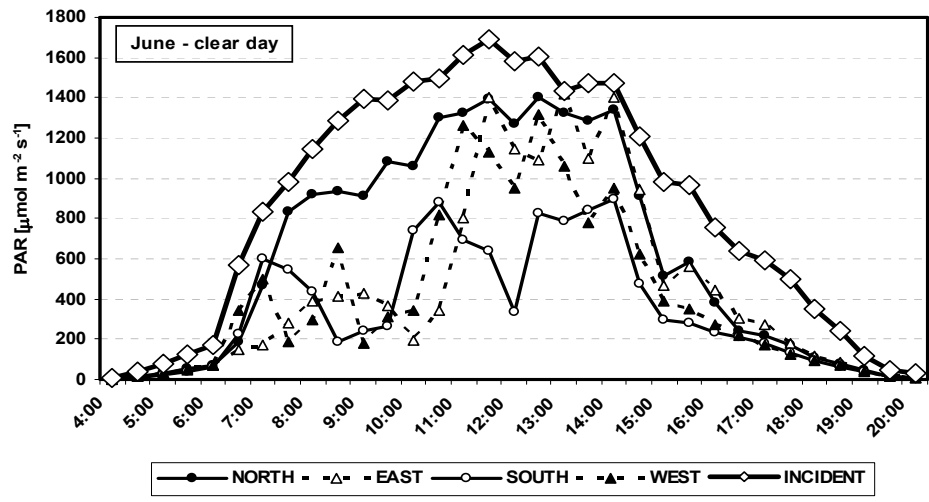
*restrictor*

*optical cable*

*photodiode*

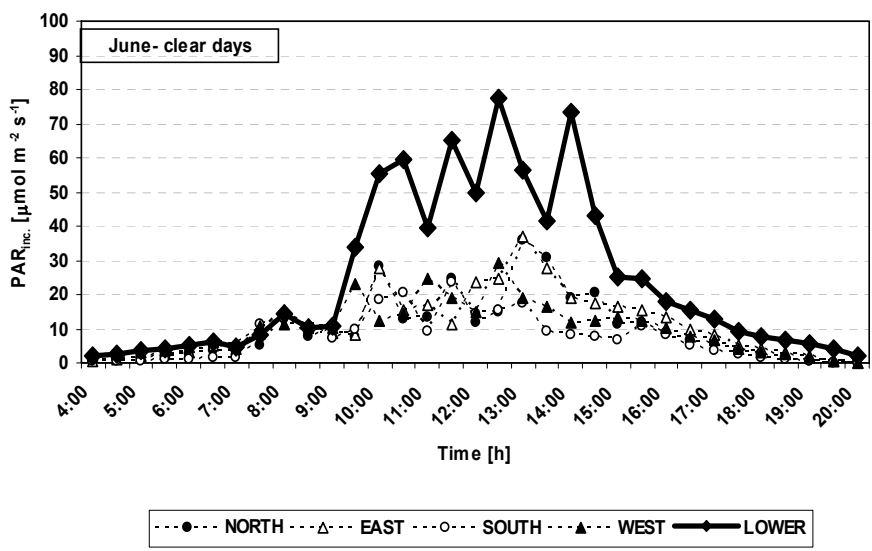
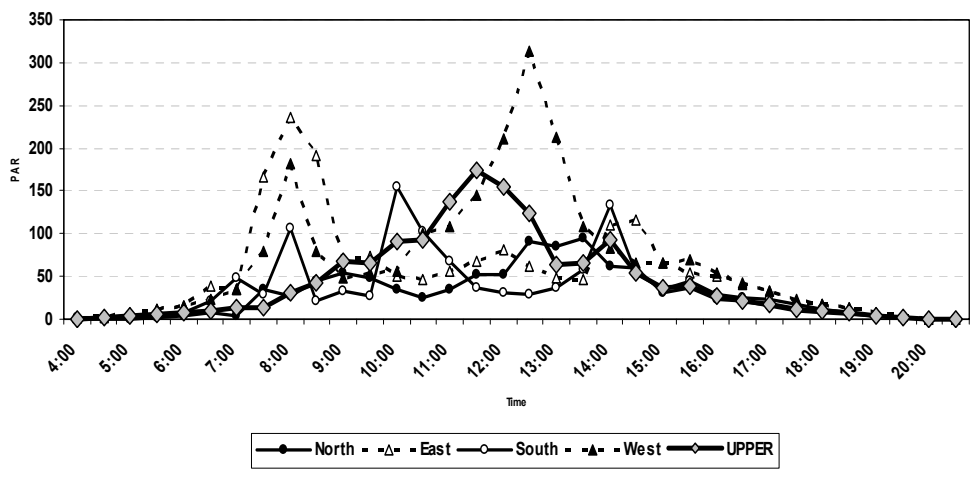
# Sensors displacement within the crown body





**UPPER crown layer - 3rd whorl**

**MIDDLE canopy layer - 6th whorl**

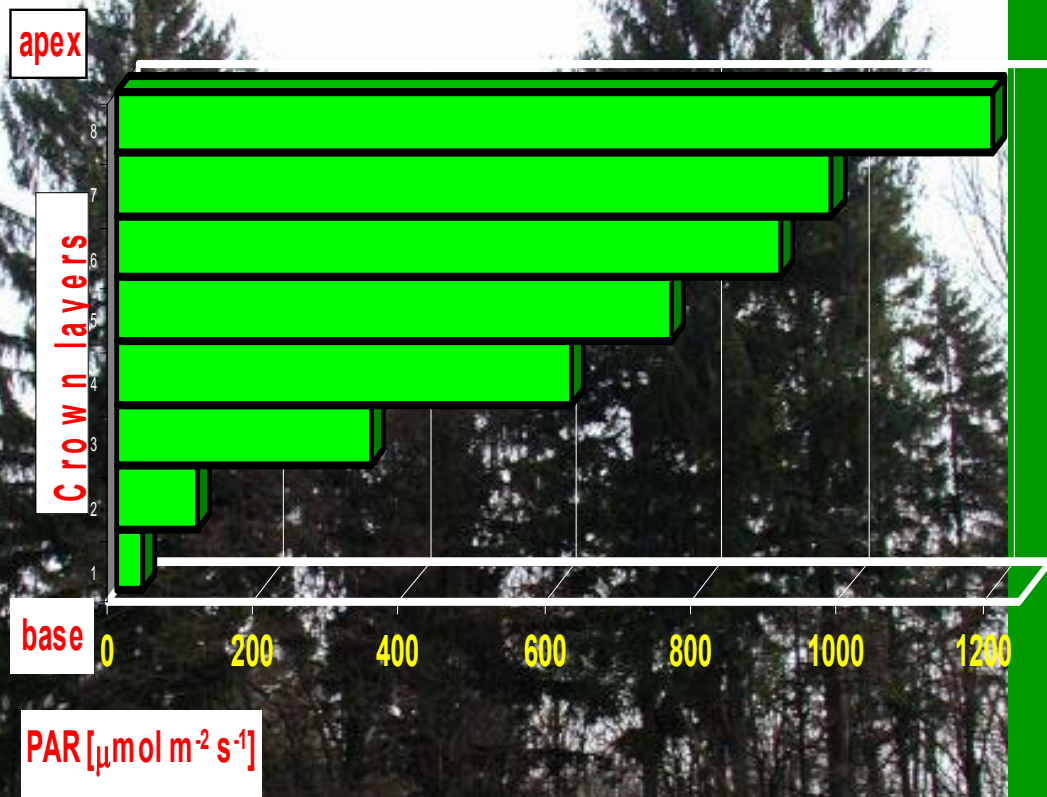


**LOWER canopy layer - 9th whorl**

# ***PENETRACE SLUNEČNÍ RADIACE DO POROSTU***

$$I_z = I_i \cdot \exp(-K \cdot LAI_z)$$





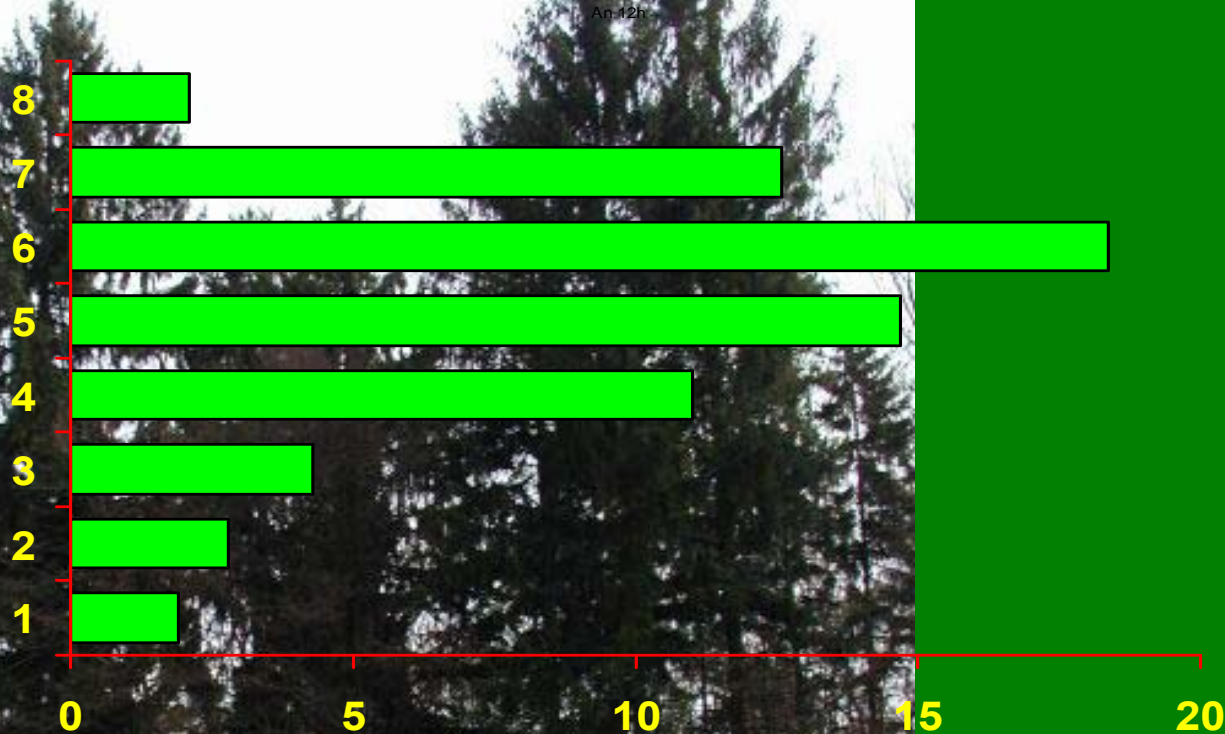
*VERTICAL PhAR PROFILE WITHIN A  
N. SPRUCE CANOPY*

9 a.m.



Rychlost asimilace CO<sub>2</sub>  
přepočtená na listovou  
plochu jednotlivých  
korunových vrstev

12 hod



**Rychlost asimilace CO<sub>2</sub>  
přepočtená na listovou  
plochu jednotlivých  
korunových vrstev**

6 p.m.

An 18h



**Rychlost asimilace CO<sub>2</sub>  
přepočtená na listovou  
plochu jednotlivých  
korunových vrstev**

# PŘÍMÁ A DIFUSNÍ SLUNEČNÍ RADIACE

## SCATTERING

výsledek optických vlastností, ve spodních partiích korunové vrstvy je radiační prostředí více homogenní a stoupá podíl difusní radiace

## ARCHITEKTURA a OPTICKÉ VLASTNOSTI

způsobují spektrální změnu radiace uvnitř korunové vrstvy (redukce modré složky a navýšení červené složky u jehličnanů, listnáče více ubírají červenou složku)

## VERTIKÁLNÍ/ HORIZONTÁLNÍ HETEROGENITA SLUNEČNÍ RADIACE V KORUNOVÉ VRSTVĚ

## ZÁVISLOST FOTOENERGETICKÉHO ÚČINKU

- *na typu radiace úhlu*
- *dopadající FAR a plocha letorostu*

## *STANOVENÍ PŘÍMÉ A DIFUSNÍ SLOŽKY FAR*

Potenciální dopadající FAR:

$$I_{\text{FAR}} = 600 \cdot \exp [ - 0.185 \cdot (P/P_0) \cdot m ] \cdot \cos Q$$

$m=1/\cos Q$  - optická hustota (hmotnost) vzduchu,

$Q$  - zenitální úhel Slunce,

0.185 - extiční koeficient FAR pro průchod atmosférou

$P/P_0$  - poměr aktuálního tlaku ku tlaku při mořské hladině

Potenciální hodnota difusní FAR:

$$I_{FARd} = 0.4 \cdot (600 - I_{FAR}) \cdot \cos Q$$

Potenciální hodnota difusní NIR:

$$I_{NIRd} = 0.6 \cdot (720 - I_{NIR} - w) \cdot \cos Q$$

Hodnoty celkového FAR ( $I_{FART}$ ) a NIR ( $I_{NIRT}$ ) v globální radiaci ( $GR$ ) jsou pak součet přímé a difusní složky

Podíl FAR a NIR v přímé složce sluneční radiace:

$$f_{FAR} = (I_{FARd} / I_{FAR}) \cdot (1 - (A - R/B))$$

$$f_{NIR} = (I_{NIRd} / I_{NIR}) \cdot (1 - (C - R/D))$$

$$A = 0.9, B = 0.7, C = 0.88, D = 0.68, B = GR / (I_{FAR} + I_{NIR})$$

## EFEKT POLOSTÍNU

*Slunce je zdroj s jistým úhlovým radiusem - neostré rozhraní světla a stínu v korunovém prostoru - penumbra effect .*

To výrazně přispívá k radiální bilanci korunového prostoru

## ENERGETICKÁ BILANCE

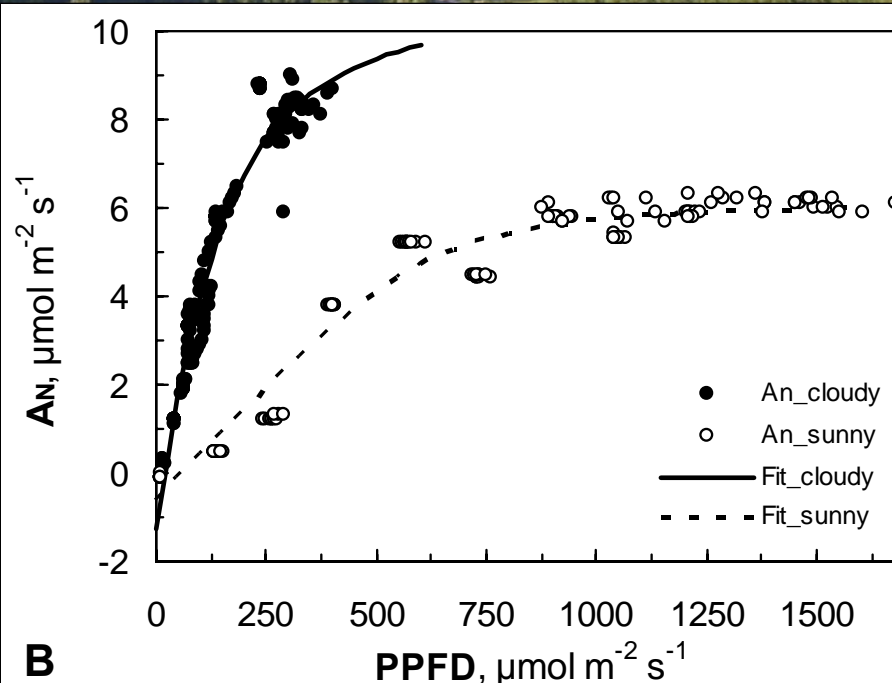
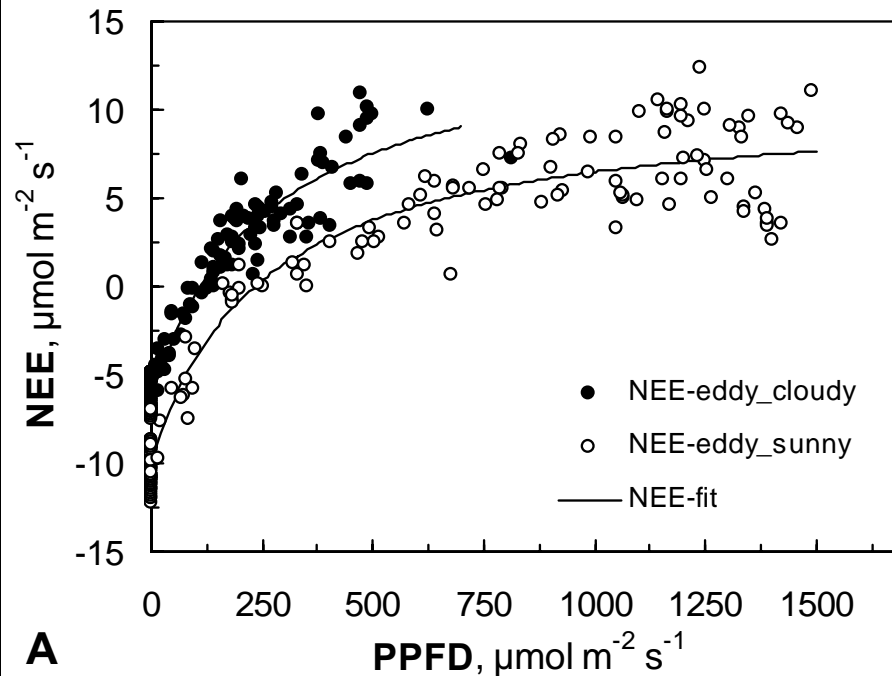
*energetická bilance korunové vrstvy je výsledkem radiálních a disipativních procesů*

*NET radiace:  $f_N = (1 - a) f_{FAR} + f_{NIR}$ ,  
kde  $a$  - albedo (odrazivost, reflekční koeficient) - 0.11*

Hodnota  $a$  klesá s výškou porostu - efekt "drsnosti"

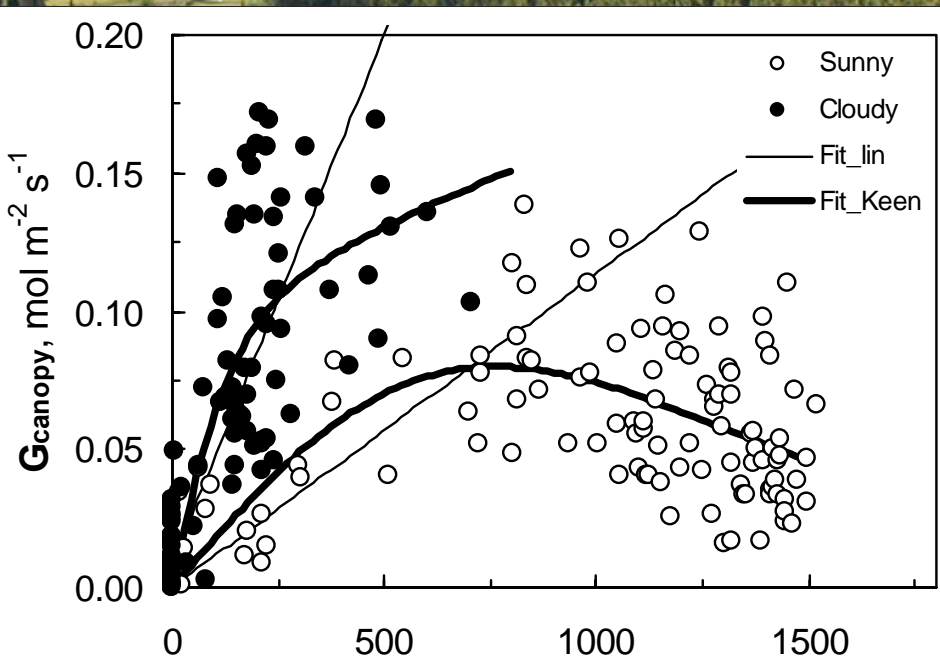
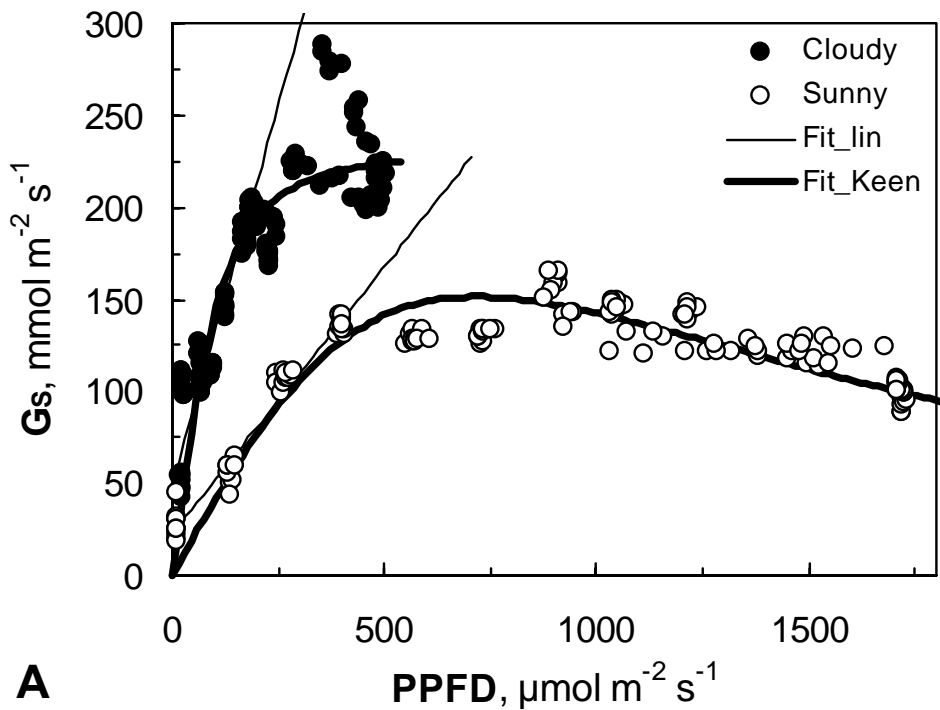


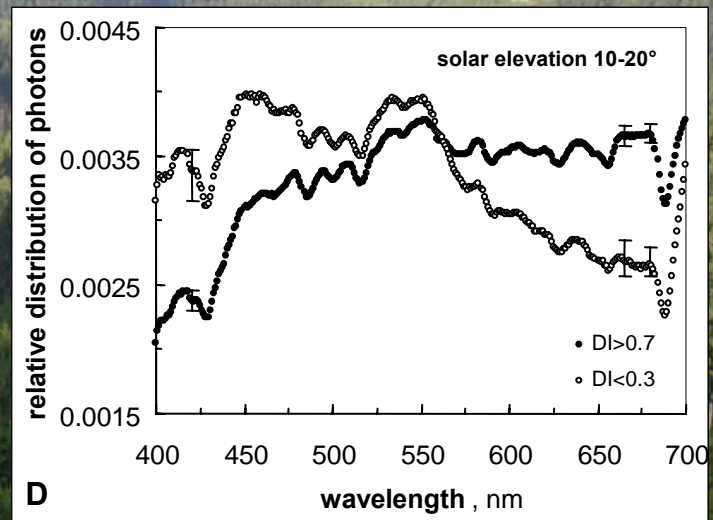
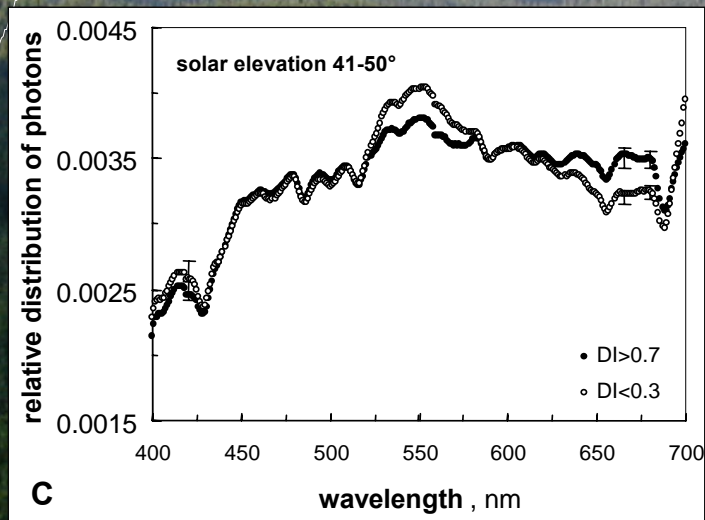
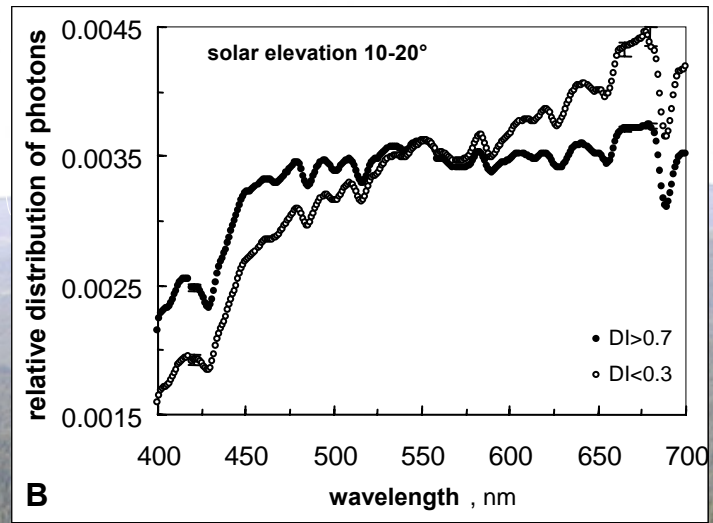
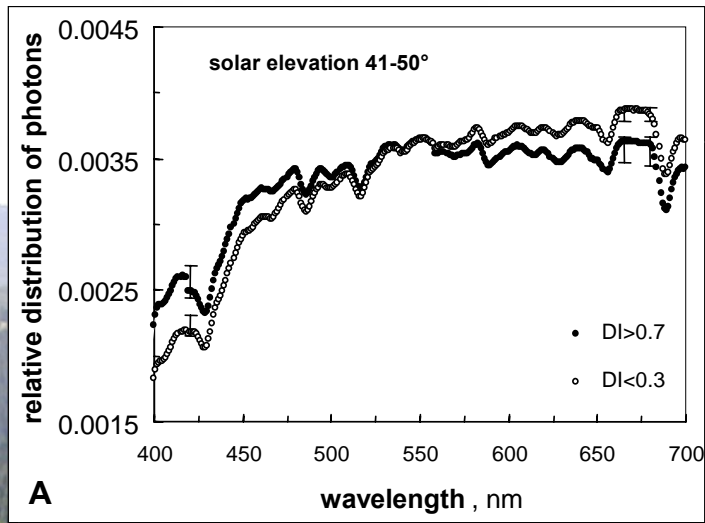
„Net  
Ecosystem  
Exchange“ a  
rychlost  
asimilace  
jehlice a  
korunové  
vrstvy  
smrkového  
porostu  
za situace  
přímého a  
difuzního  
slunečního  
záření



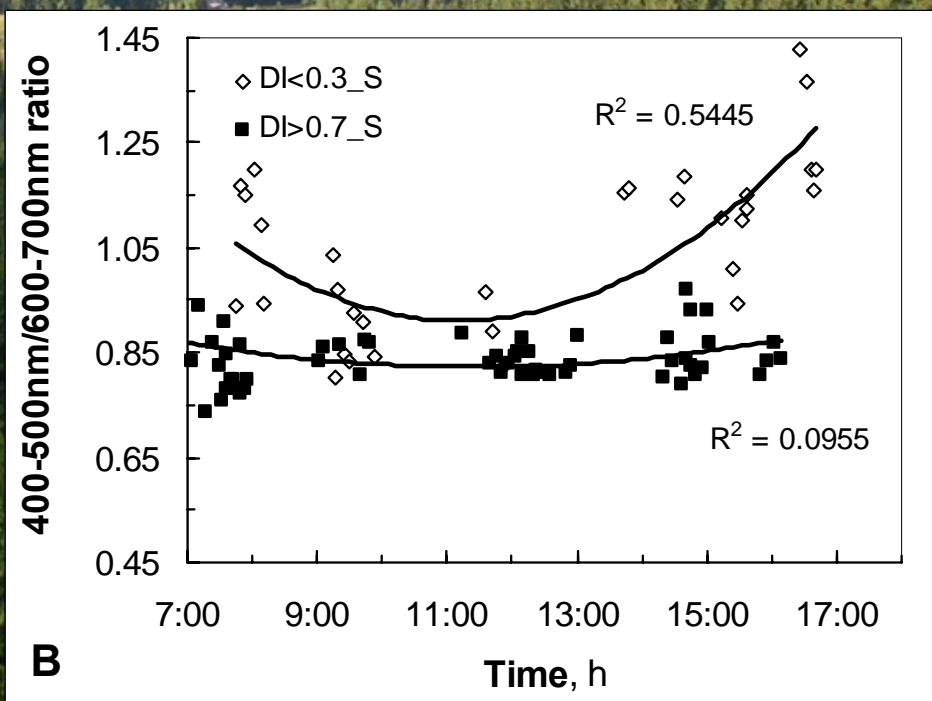
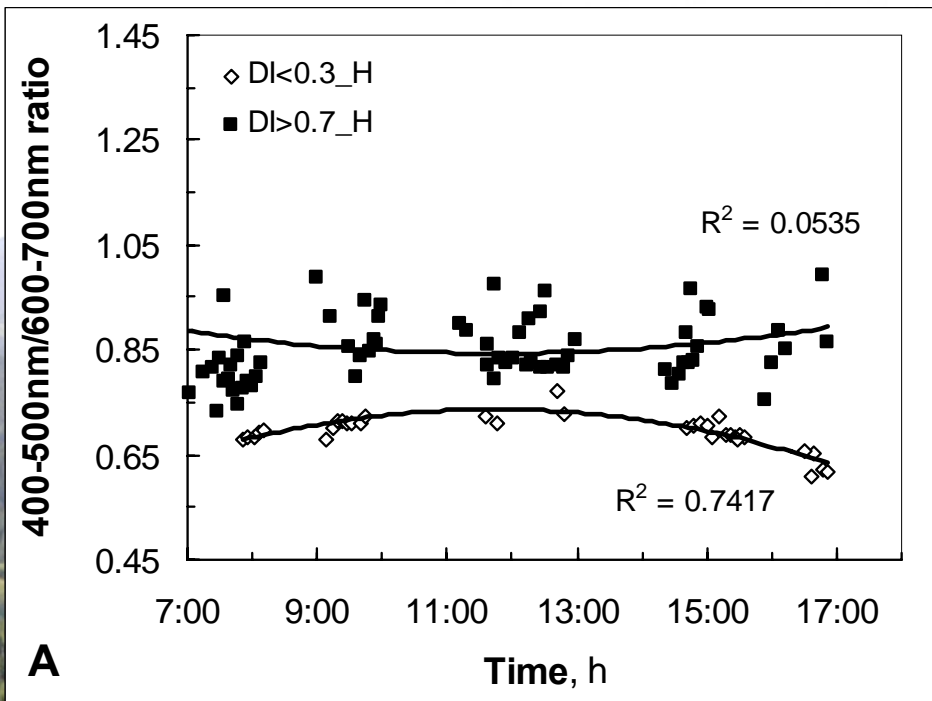
Průduchová  
vodivost  
jehlice a  
korunové  
vrstvy  
smrkového  
porostu

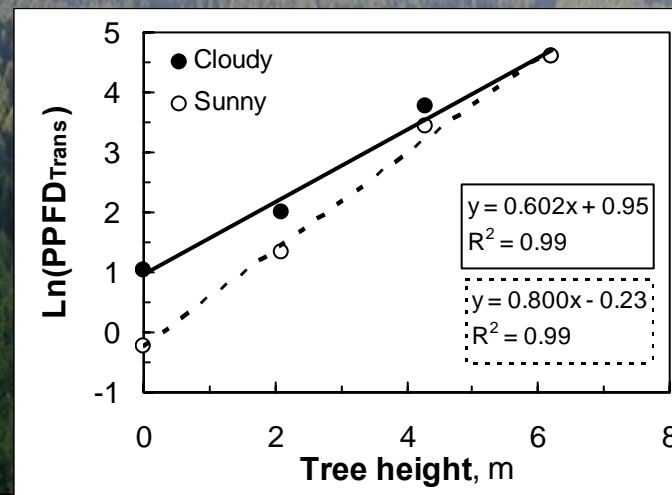
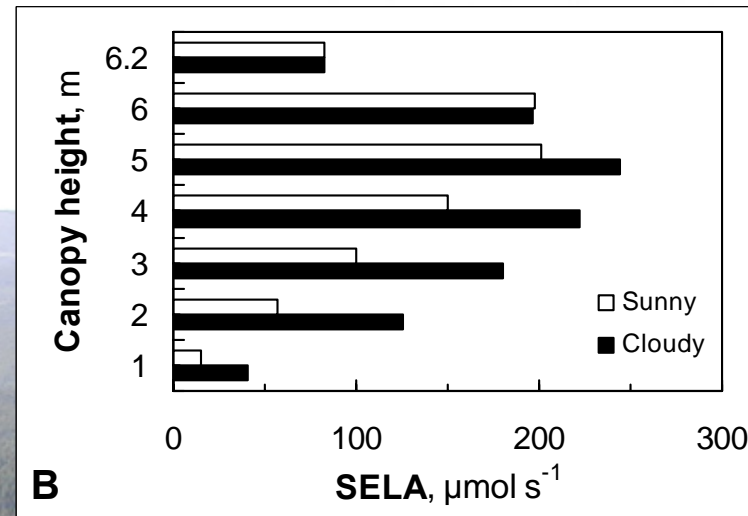
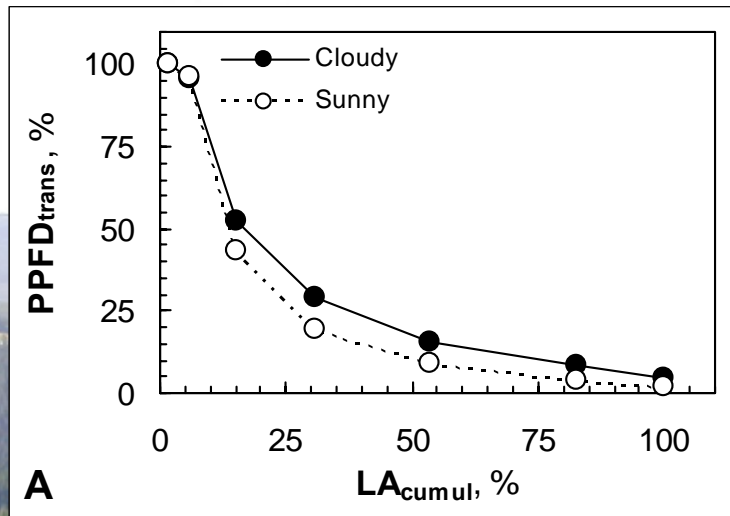
za situace  
přímého a  
difuzního  
slunečního  
záření





Denní chod poměru blue-green to red spectral intervals (400-500nm/600-700nm) , který charakterizuje spektrální složení sluneční radiace v HORNÍ (A) a STŘEDNÍ (C) korunové vrstvě Sm porostu během slunného (DI < 0.3) a zataženého (DI > 0.7) letního dne.





Závislost porostem procházející sluneční radiace (PPFD<sub>trans</sub>) na kumulativní listové ploše (LA<sub>accumul</sub>) stanovená v jasných (empty circles) a zatažených (full circles) dnech (A). Sklony lineární závislosti mezi logarithmic PPFd<sub>trans</sub> a výškou stromů prezentují extinční koeficienty (small graph). Distribuce solární ekvivalentní listové plochy (SELA) ve vertikálním profilu Sm porostu (B).

# MONTEITHOVA HYPOTEZA

*Produkce biomasy je, mimo jiné vlivy, především určena množstvím zachycené sluneční radiace.*

tento vztah je lineární:

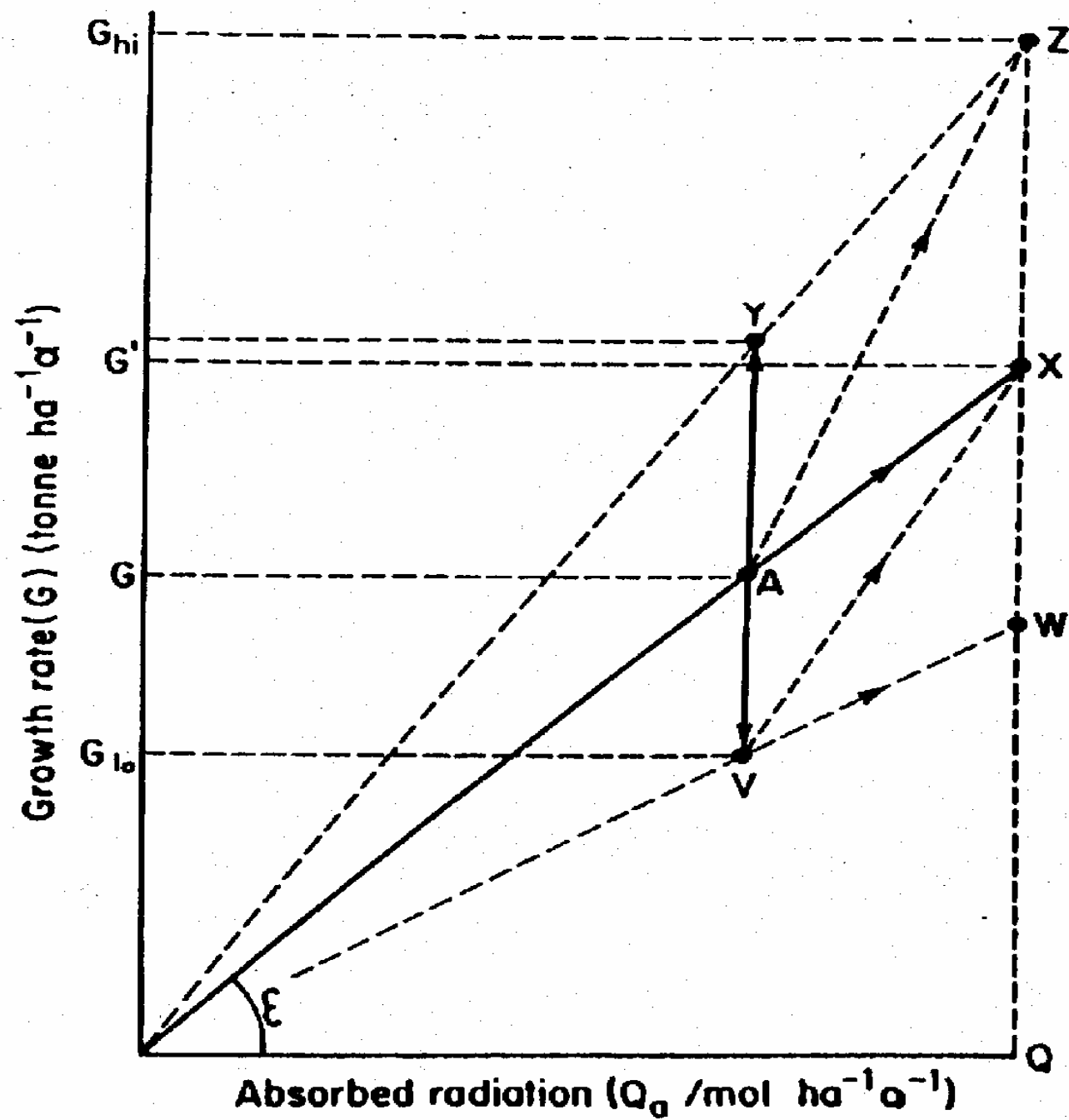
$$DW = e \cdot FAR_{\text{absrob}}$$

$e$  - koeficient efektivnost konverze FAR do biomasy

$e$  -  $b \cdot a$

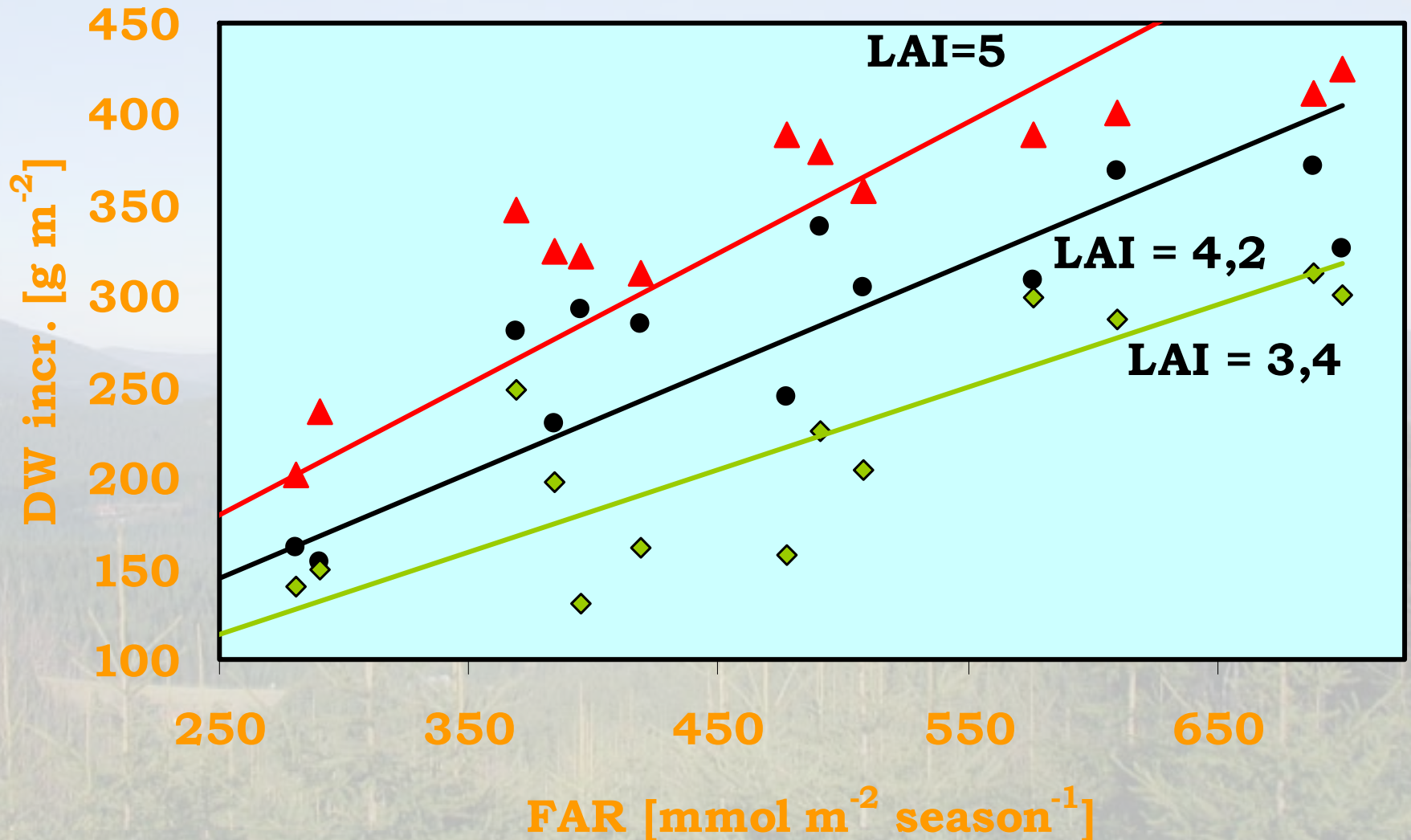
$b$  - efektivnost s jakou daná porostní struktura zachycuje FAR

$a$  - efektivnost fotosyntetické konverse FAR



# Závislost sezónní produkce nadzemní biomasy $S_m$ porostu na množství absorbované sluneční energie

vliv odlišné hustoty porostu





*A to je vše, co jsem Vám dnes chtěl sdělit.*

*Děkuji za pozornost*

