

# Uhlíková deponia v lesích a ve vybraných typech ekosystémů ČR

Michal V. Marek



Laboratoř ekologické fyziologie rostlin



Ústav systémové biologie  
a ekologie

AKADEMIE VĚD  
ČESKÉ REPUBLIKY

VULHM-OPOČNO 7.4.2006



Cyklus uhlíku, tj. Globální Uhlíkový Cyklus (GUC) může být považován za **ZÁSADNÍ** cyklus globálního ekosystému protože:

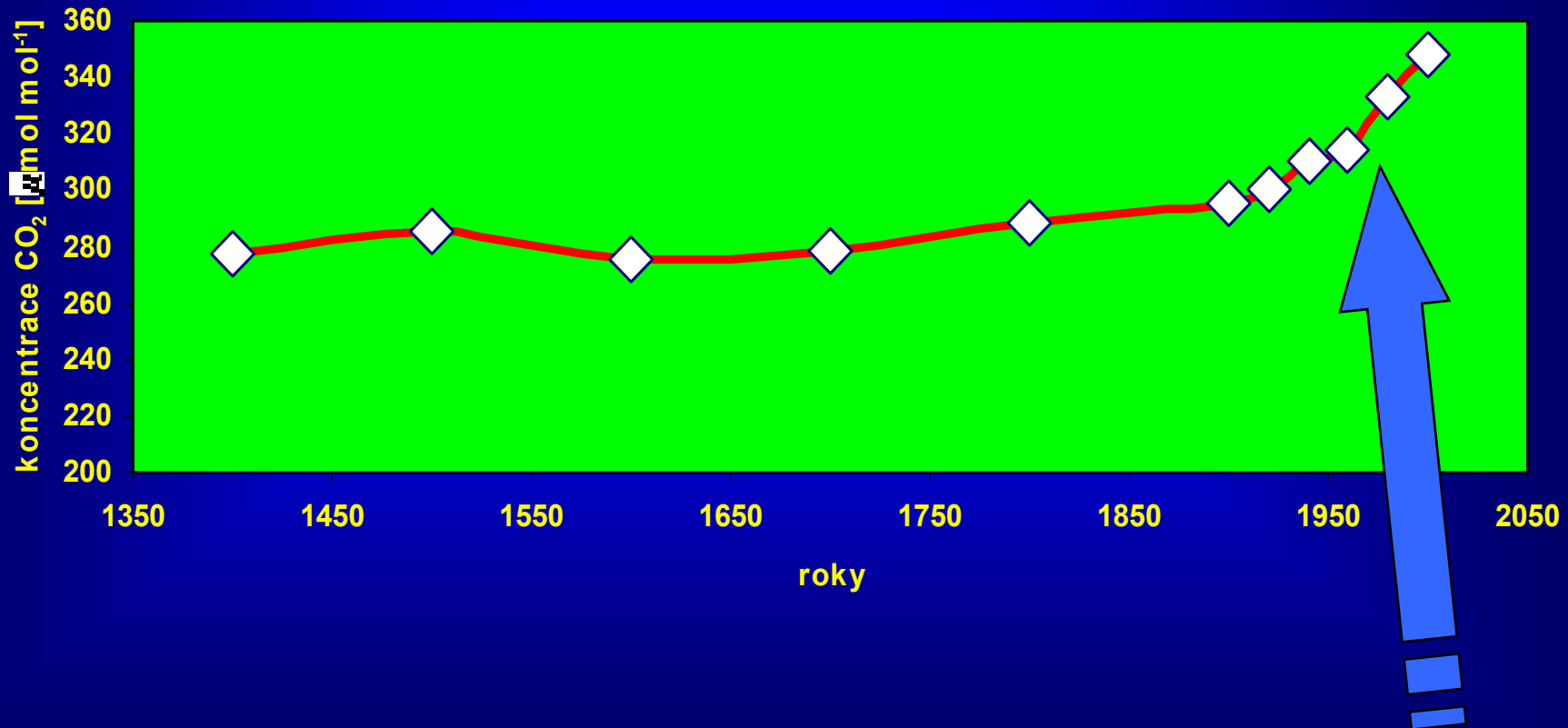
I. je **BEZPROSTŘEDNĚ** spjat z klimatem Země, s koloběhem vody a živin, s fotosyntetickou produkcí biomasy

II. může být považován **KŘIŽOVATKU** mezi organickým a anorganickým světem

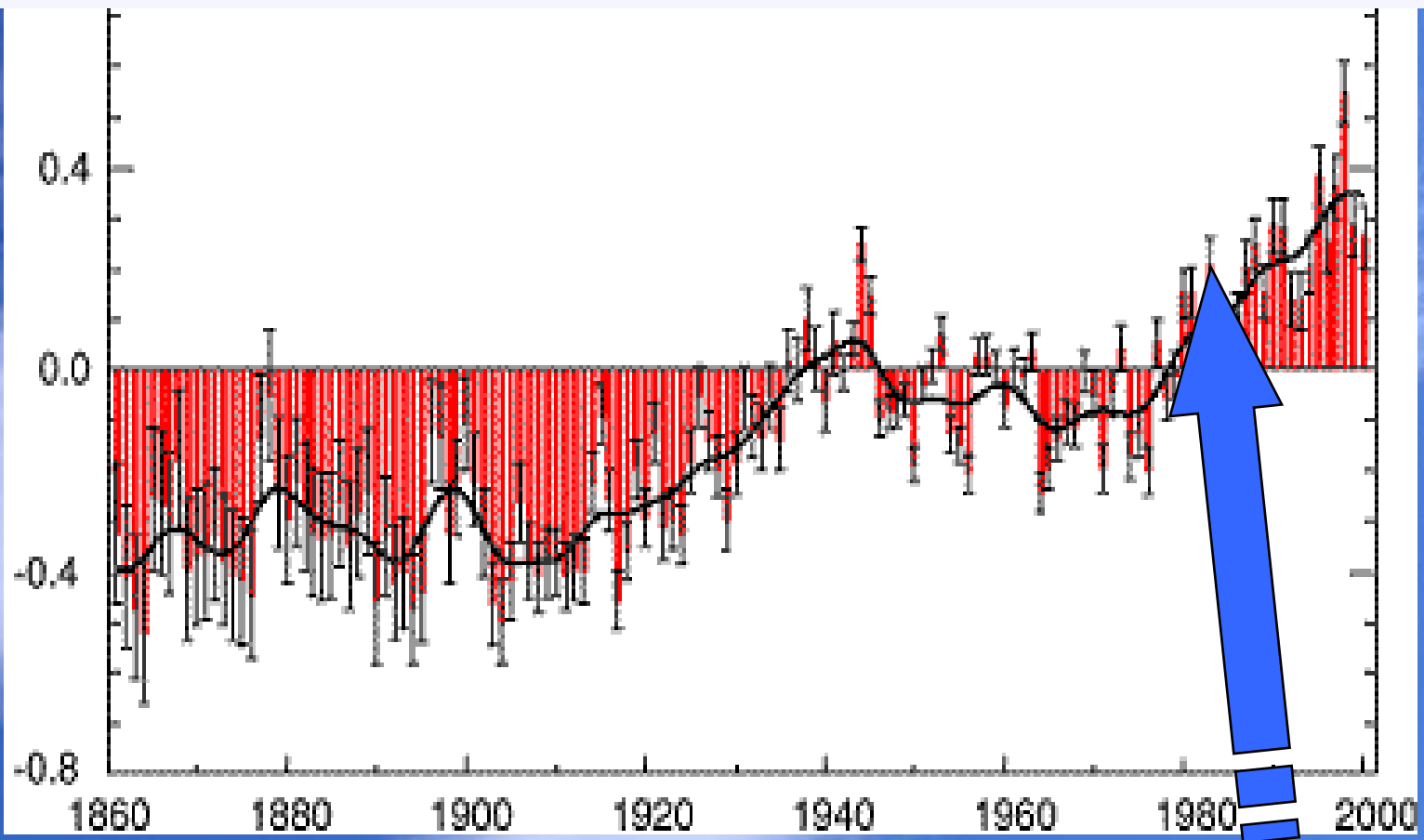
III. Plné porozumění GUC je **ZÁSADNÍ** pro pochopení environmentální historie Země

# Časový průběh atmosférického obsahu CO<sub>2</sub>

stanovené analýzou vzduchových bublin uzavřených v arktickém ledu (období 1300 až 1950) a přímým měřením (1950 až 2000)



*Graf znázorňuje kolísání průměrných ročních teplot v atmosféře vzhledem k průměru let 1961-1990 během posledních 140 let. Černá linka zaznamenává dlouhodobější trendy potlačováním náhlých krátkodobých výkyvů*





Současná měření ukazují, že globální terestrická biosféra **absorbuje** více atmosférického C než **ho uvolňuje**.

Podle IPCC (2001) v 80. letech byla terestrická absorpce **1,9 Gt C** za rok, zatímco v 90. letech vzrostla na **2,3 Gt C** za rok.

Vzhledem k tomu, že emise fosilních paliv meziročně kolísají v rozmezí méně jak 4 %, a oceánický koloběh C je dosti stabilní, lze vyvozovat, že **většina meziroční variability toků C souvisí právě s jeho terestrickým cyklem.**



Předpokládá se (IPCC 2001), že k **nejvýznamnějším místům příjmu C patří oblasti lesů temperátní zóny severní polokoule**. Na základě měření byl v rámci zemí EU stanoven roční záchyt C ve výši 0,4 Gt

Je prokázáno, že v posledních desetiletích **evropská deponia C vykazují zřetelnou vzrůstající tendenci** (IPCC 2001). Určující faktory tohoto trendu jsou zřejmě spojeny s přihnojováním přirozených i umělých ekosystémů jak zvyšujícím se obsahem dusíku v atmosféře, tak i oxidu uhličitého.

**Terestriální biota v současné roční bilanci zadrží okolo 2,3 Gt C**. Toto zadržené množství přibližně vyrovnává ztrátu C způsobeno odlesňováním tropických lesních ploch. Při odlesňování se ročně do ovzduší dostává přibližně 2,0 Gt C. Současné vědecké poznatky dokládají, že hospodářské lesy ročně zachytávají cca 6 GtC /ha.

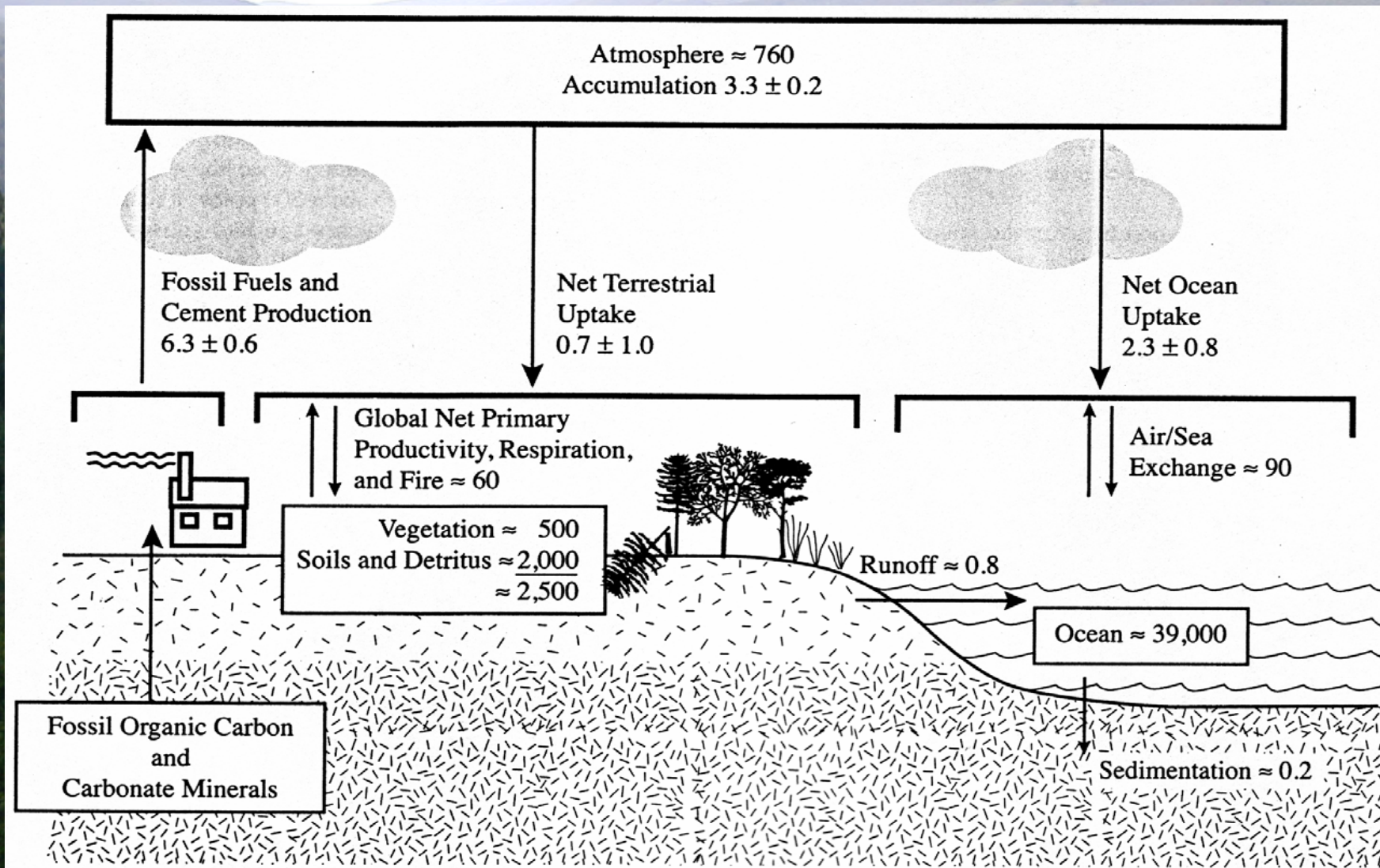


Neexistují ale žádné vědecké důkazy o tom, že by současná deponia C v terestriální biotě **existovala v nezměněné síle i v budoucnosti**. Proto také nemůžeme předpokládat, že terestrické deponium pro C může neustále kompenzovat část emitovaného uhlíku z fosilních paliv. Můžeme však hovořit o časovém efektu, který poskytuje určitý odklad, maximálně však 15 – 100 let, pro vývoj alternativních dlouhodobých strategií zacílených na redukci C v ovzduší (GCP 2003).

S velkou dávkou pravděpodobnosti dojde ke globálnímu oteplování. Aktuální modely předpokládaného budoucího vývoje ukazují na **pokles současného sinku pro C v oteplujícím se klimatu a dokonce se terestrické ekosystémy mohou změnit ve zdroje vzdušného C!!!!!!**

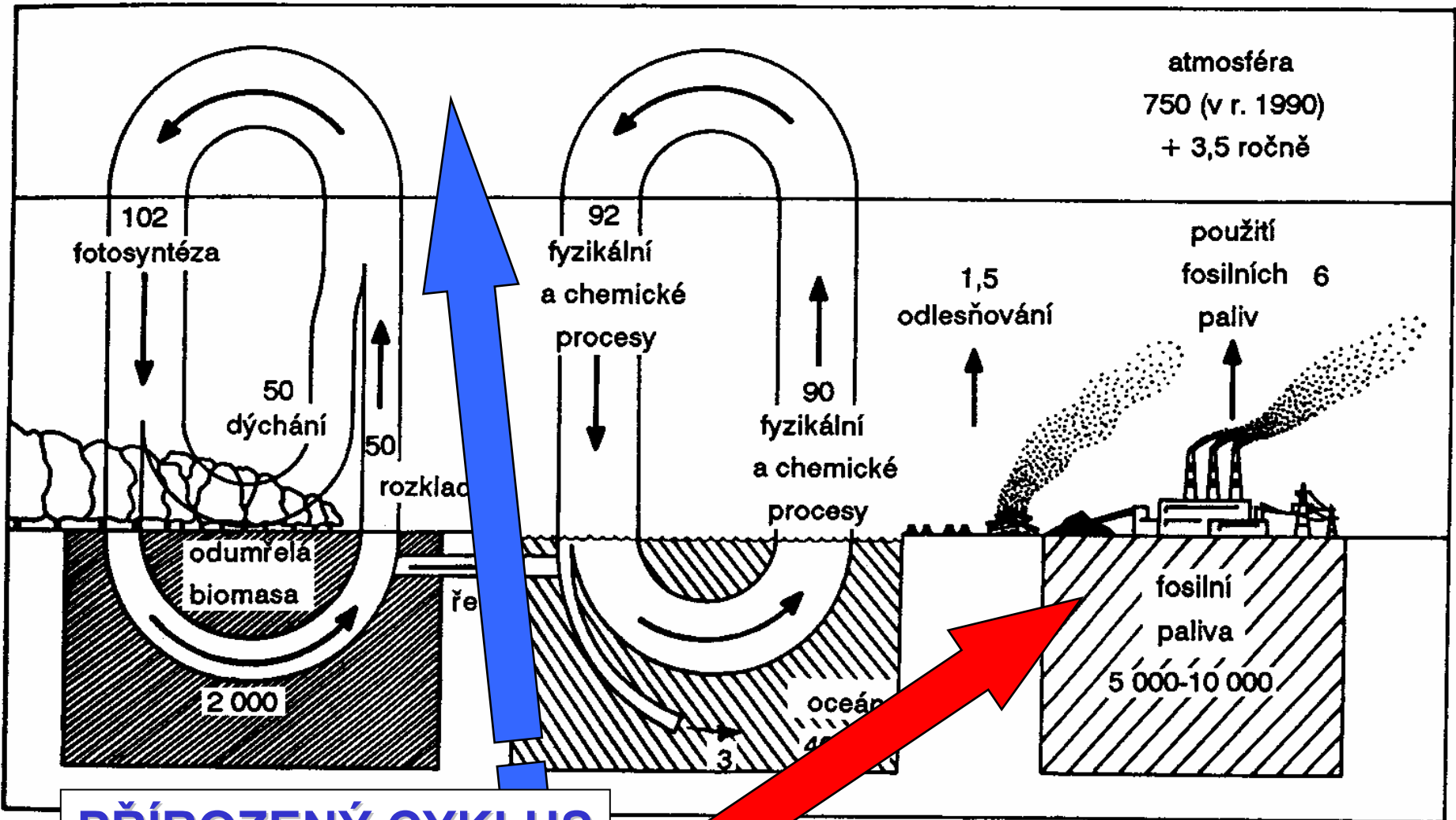


# Globální Uhlíkový Cyklus





# Globální uhlíkový cyklus



**PŘÍROZENÝ CYKLUS**

**ANTROPOGENNÍ „VKLAD“**

uhličitého mezi zásobníky<sup>1</sup> (vyjádřeno jako hmotnost tun nebo gigatunách (Gt)).



Jak je to s významem jednotlivých typů lesů s ohledem na velikost uhlíkového deponia??



Především dřeviny - slouží jako **PREMANENTNÍ PUMPY** - uhlík je z atmosféry pumpován do biomasy a půdy



# boreální lesy

- největší uhlíkové deponium planety



# boreální lesy

- obrovské uhlíkové deponium v půdě



# lesy mírného pásma

-uhlíkové deponium střední síly



An aerial photograph of a tropical rainforest, showing a dense canopy of green trees with some lighter patches indicating cleared areas or roads. A text box is overlaid on the upper left portion of the image.

# tropické deštné pralesy

- plíce planety, malé deponium uhlíku

# tropické deštné pralesy

- továrna na kyslík



# *Dva základní přístupy studia GUC*

**I. Účinkové studie**

**II. Výzkum toků uhlíku**



**EEP Bílý Kříž**

**travní porost**

**osada Bílý Kříž**

**EEP Bílý Kříž**  
**kultivační sféry**  
**a smrkový porost**



## I. Účinkové studie

Experimentální zařízení „Lamelární kultivační sféry“  
umožňující dlouhodobou kultivaci porostů v atmosféře  
se zvýšeným obsahem  $\text{CO}_2$

# I. Účinkové studie



**A** : ambient  $CO_2$  - 350 ppm  
**E** : elevated  $CO_2$  - 700 ppm  
**C** : control

# I. Účinkové studie

## Působení CO<sub>2</sub> na rostliny

I. karboxylace



II. vstupní substrát fotosyntézy

karbamylace

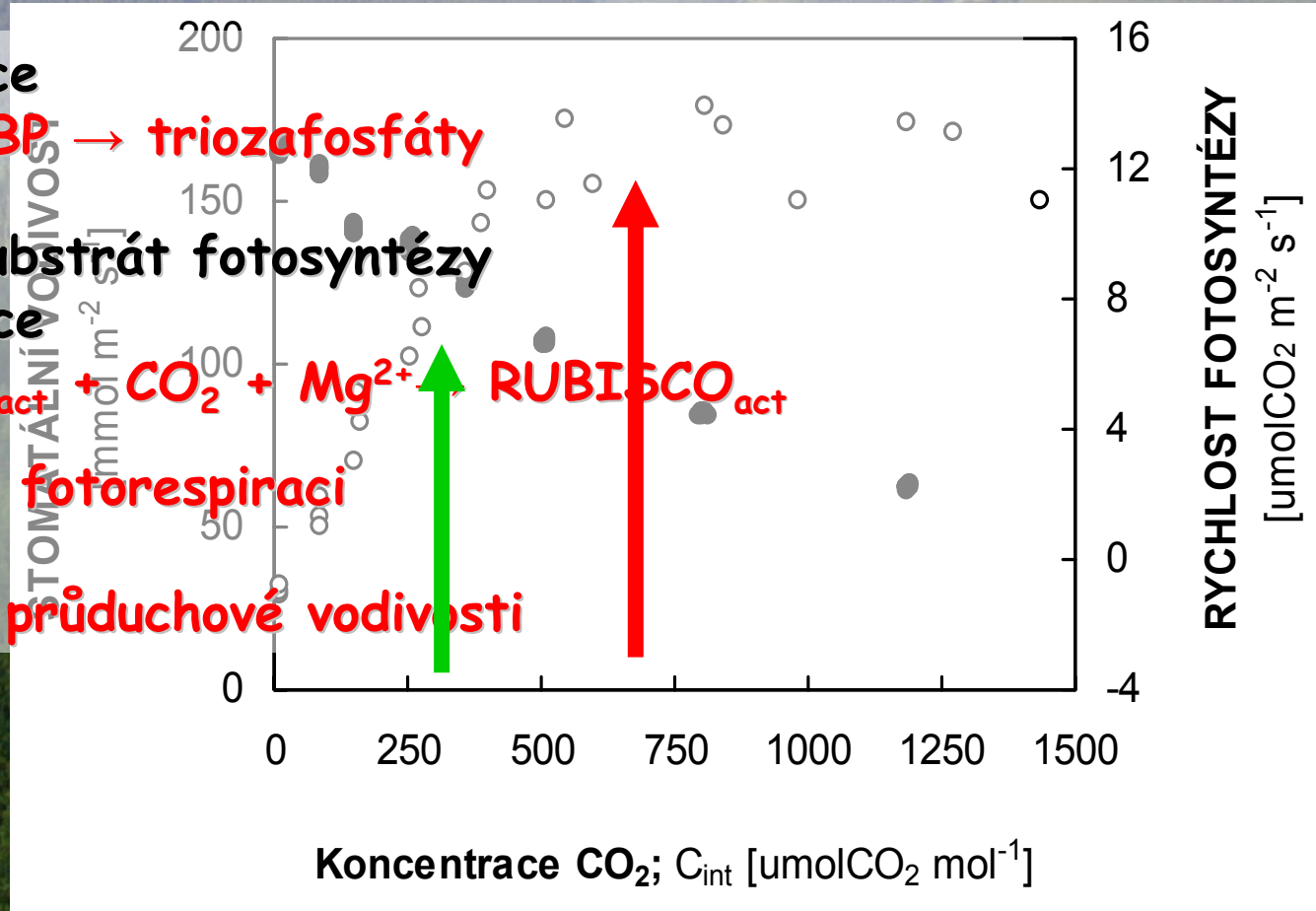


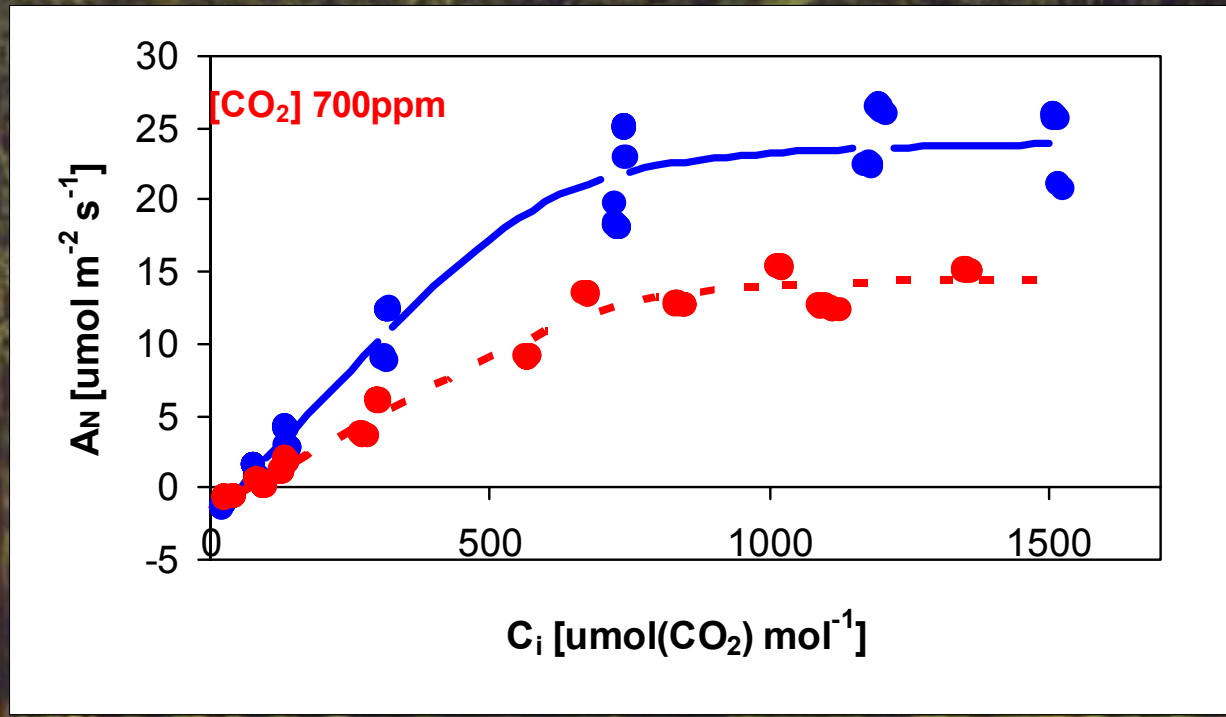
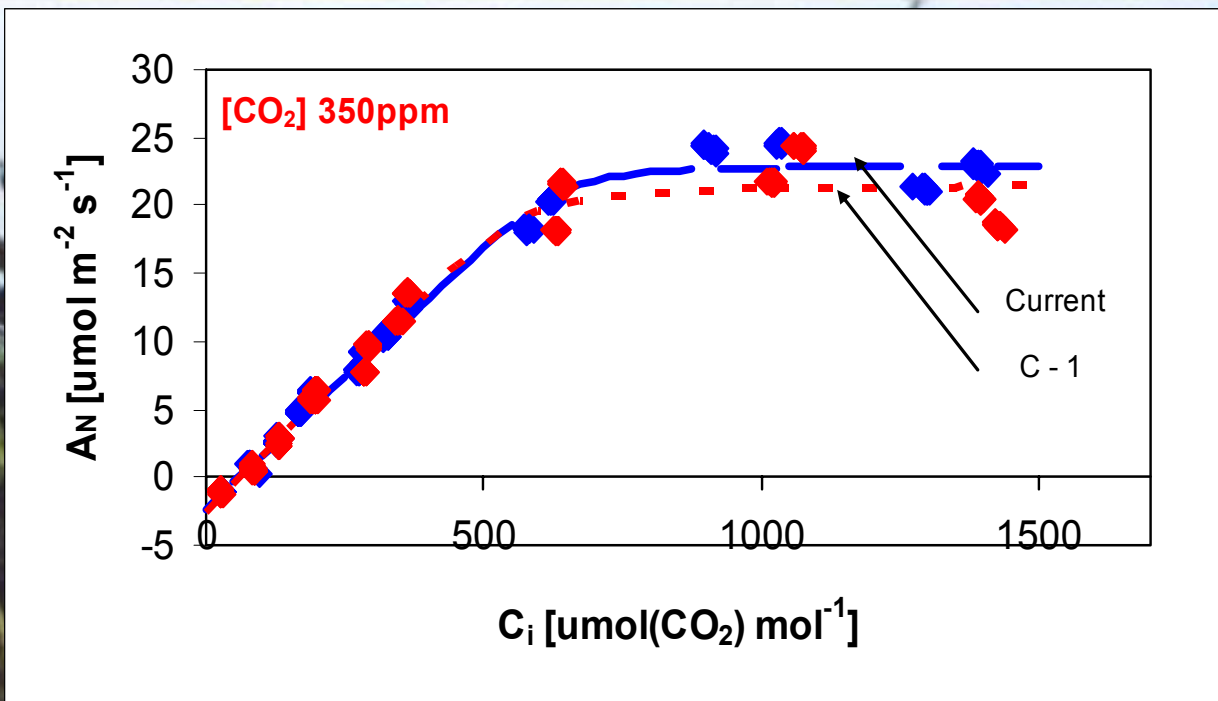
III. vliv na

fotorespiraci

IV. regulace

průduchové vodivosti

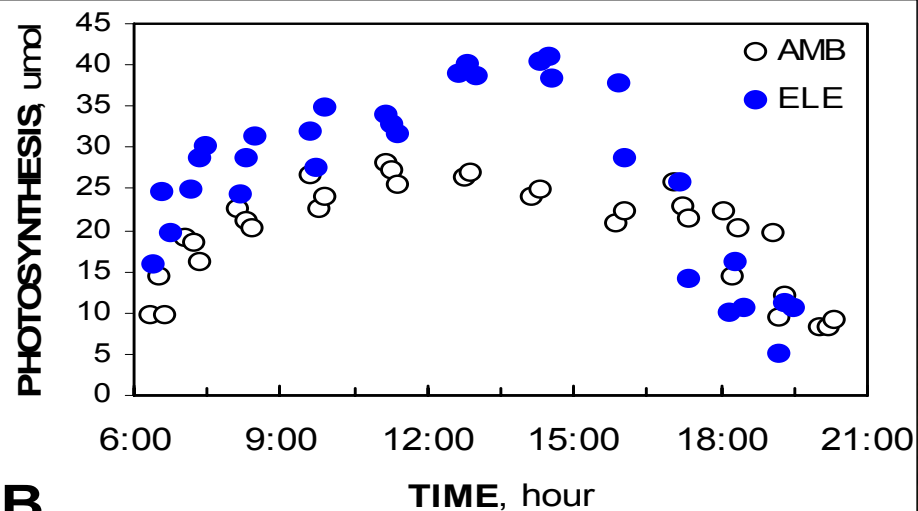
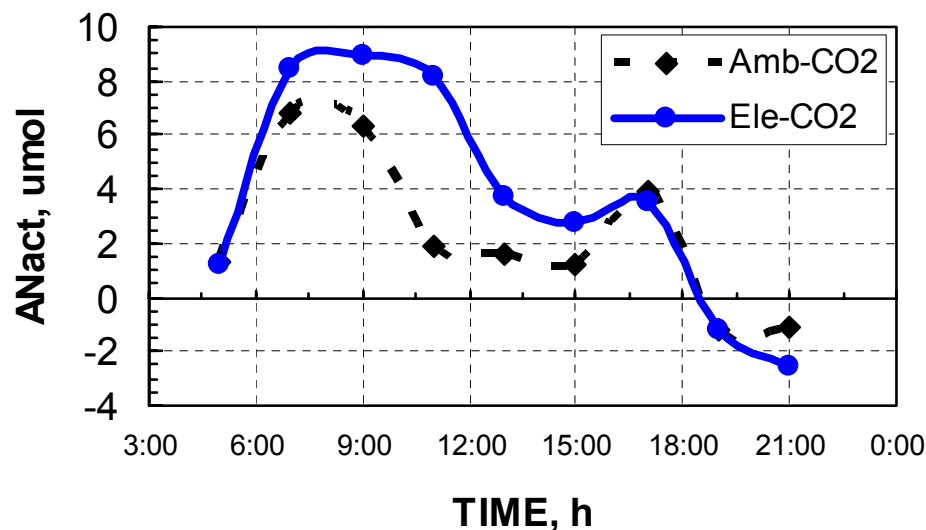




Vliv zvýšeného CO<sub>2</sub>  
na fotosyntézu



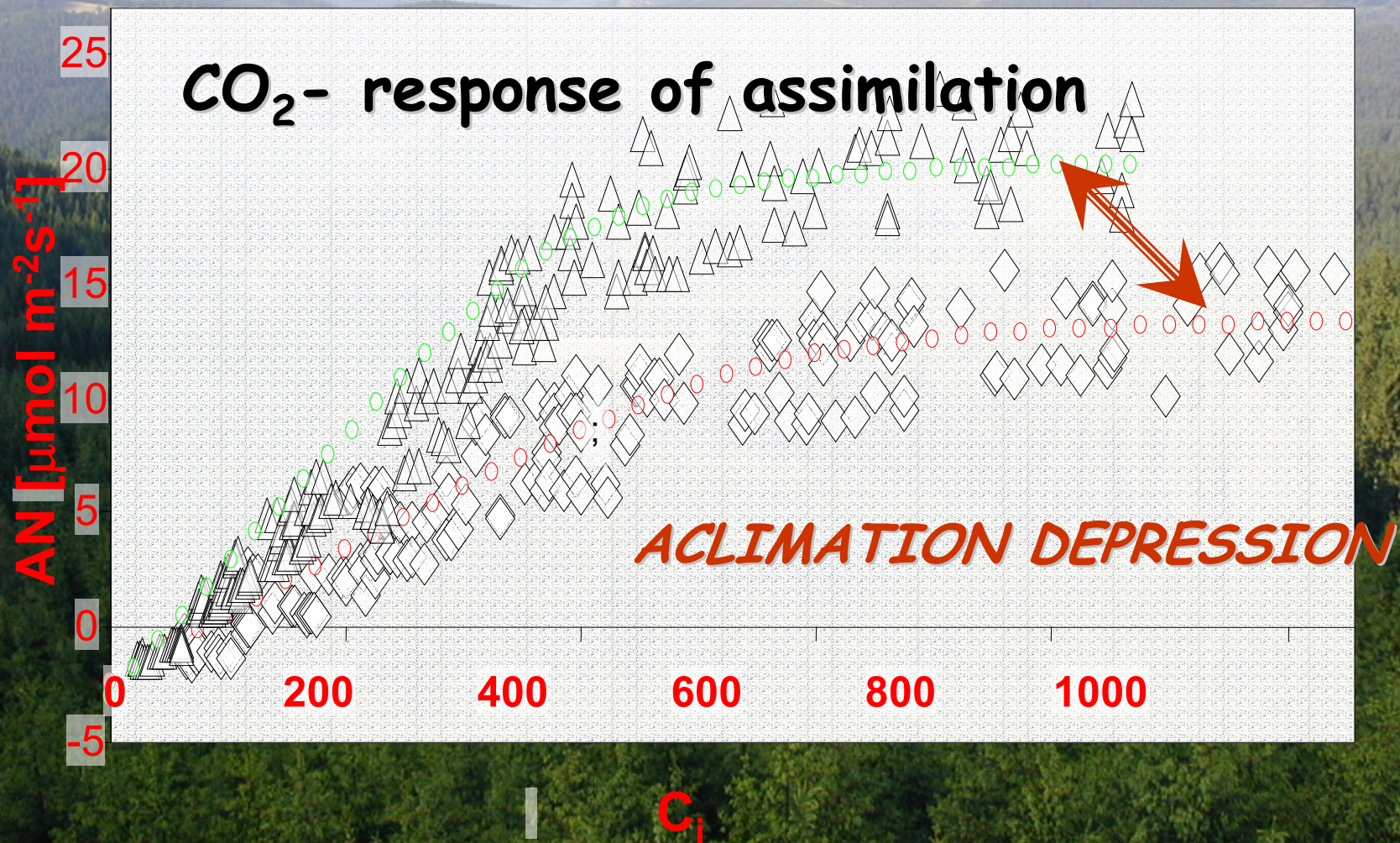
# Vliv zvýšeného $\text{CO}_2$ na fotosyntézu

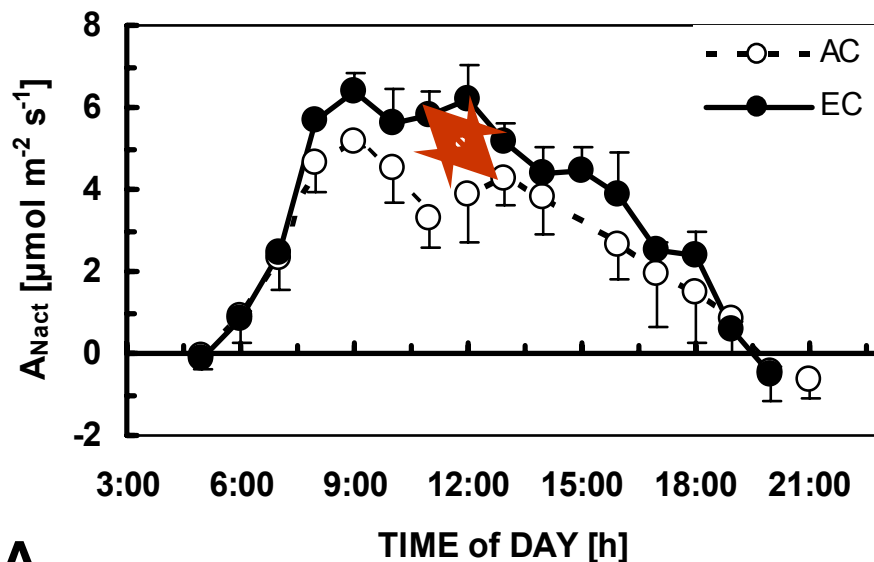


**B**

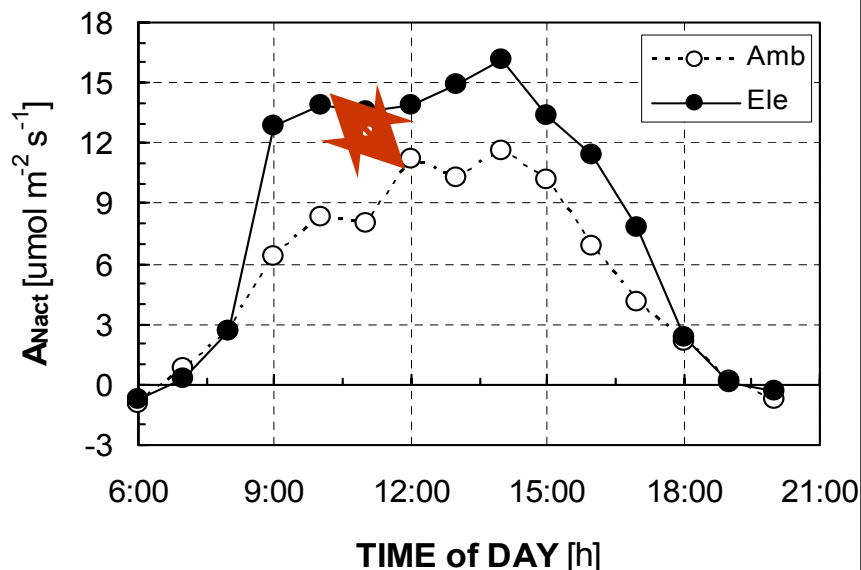
- vyšší počáteční rychlosti (ELE)  $\Rightarrow$  vyšší množství RUBISCA v carbamylovaném stavu přes noc
- AMB: pokles o 37% mezi 13:00-17:00
- ELE: stálý pokles od 15:00

- gross fotosyntéza  $\Rightarrow$  reálný ukazatel fce Calvinova cyklu
- AMB: pokles téměř nulový (12%)
- ELE: od 15:00 trvalý pokles - feed-back limitace (assimiláty, lokální nedostatek  $\text{P}_i$  - ATP regeneratce RUBISCO)





A



• smrk-jehličan (CzechCarbo)

• topol-listnáč (EUROFACE)

• vzestup rychlosti asimilace -až o 40%

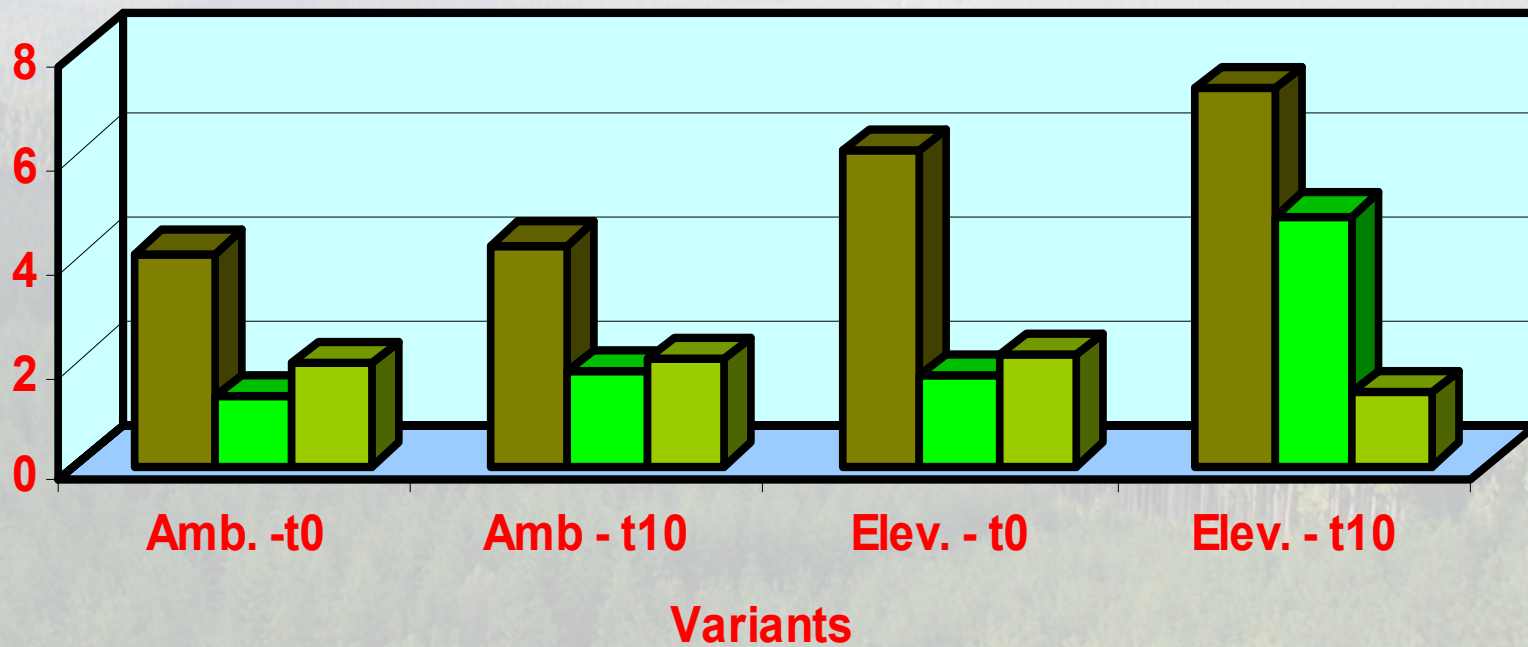
• **AKLIMAČNÍ DEPRESE (down-regulation)**  
redukce CO<sub>2</sub>-stimulované fotosyntézy

VULHM-OPOČNO 7.4.2006





## Možné příčiny aklimační deprese

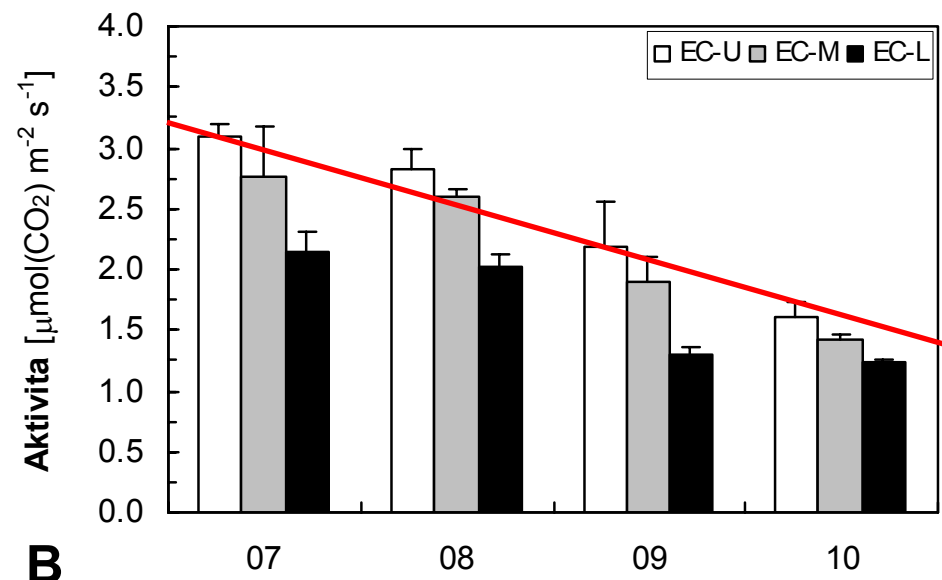
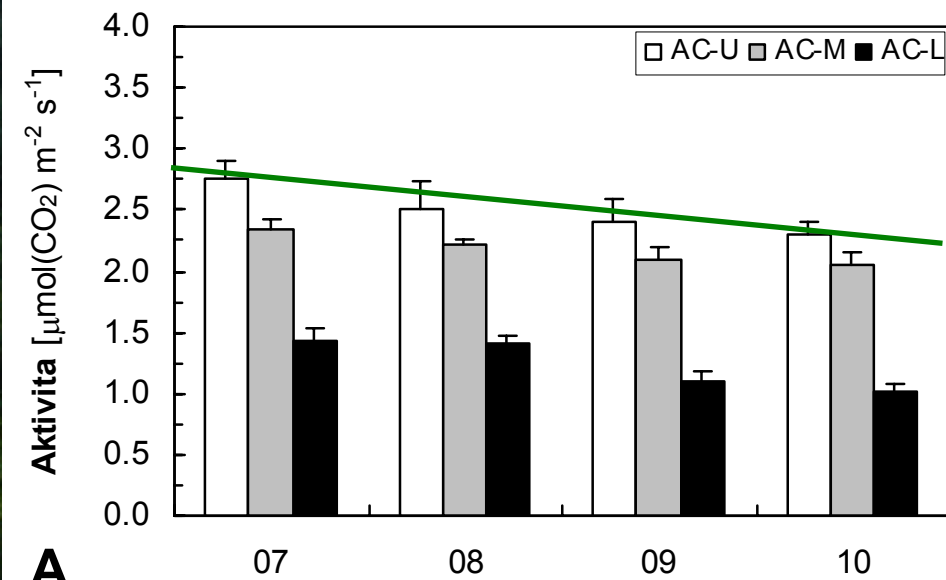


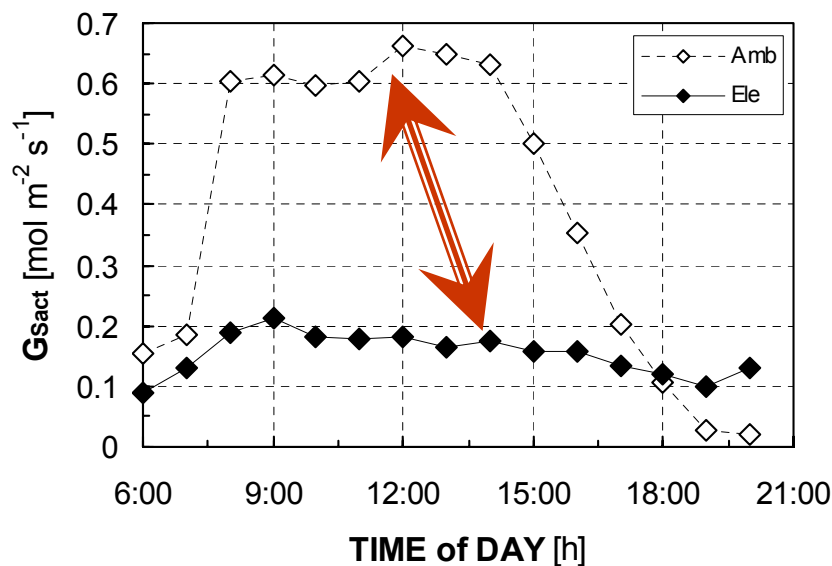
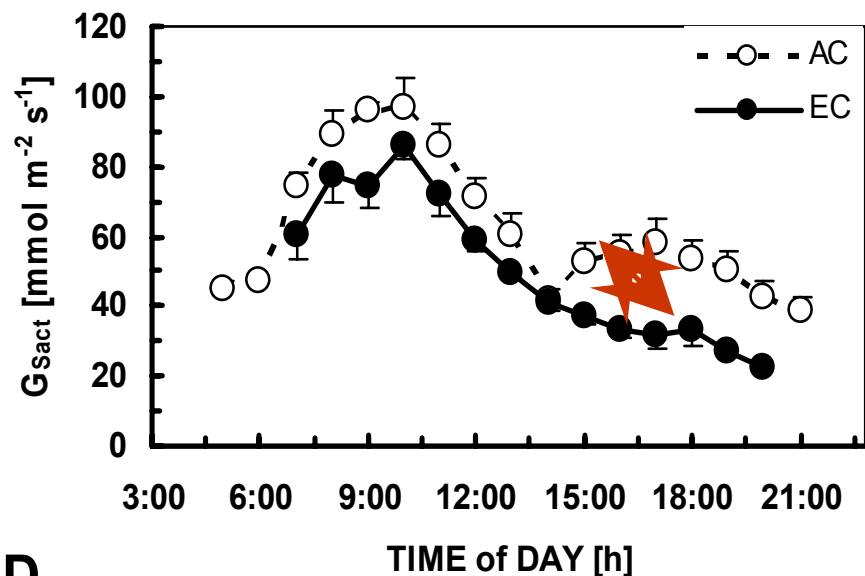
■ total sach. ■ starch ■ RUBISCO



## Příčiny aklimační deprese

- Redistribuce/ nedostatek  $P_i$
- Akumulace zásobní formy asimilátů
- Inhibice fotosyntetických genů
- ↓ RUBISCO množství/ aktivita
  - rozdílná aklimace slunných a stinných jehlic

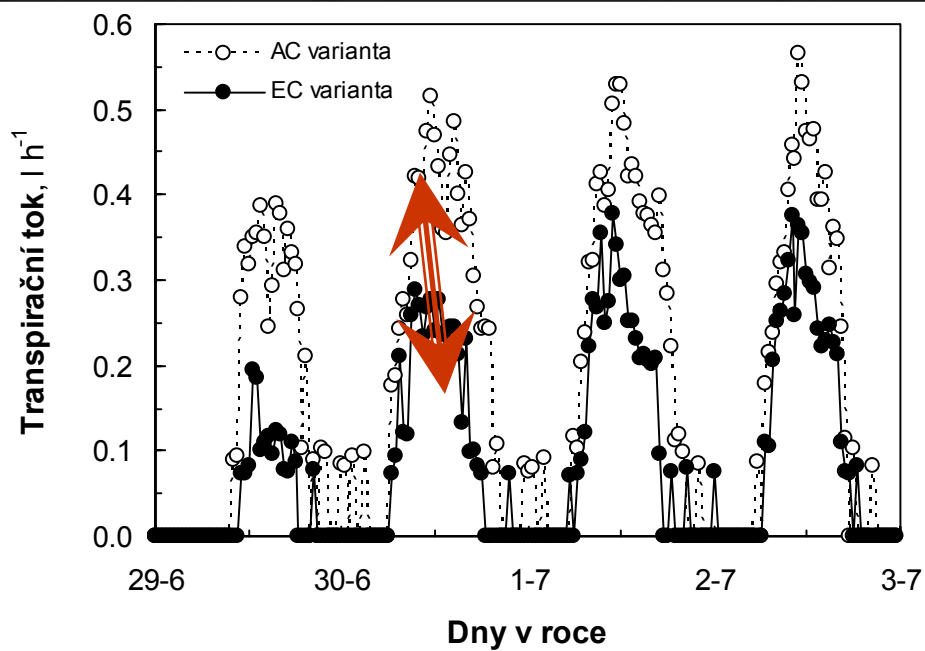
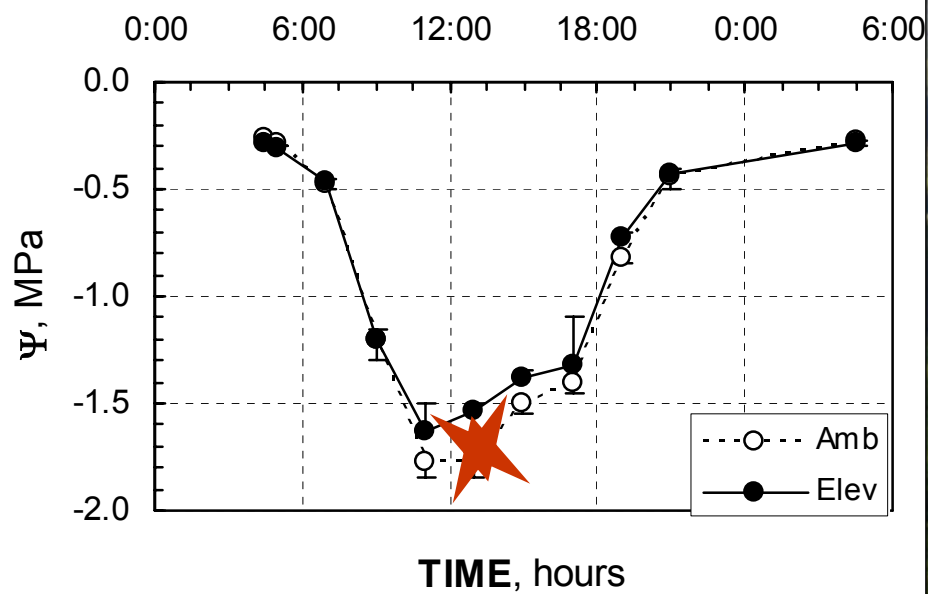




• smrk-jehličan (CzechCarbo)

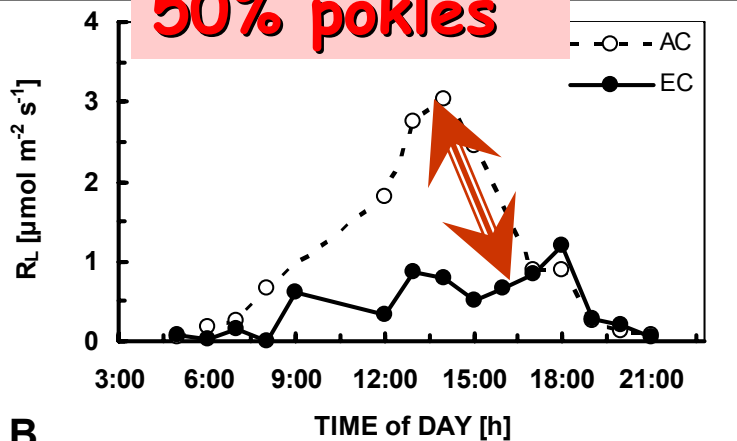
• topol-listnáč (EUROFACE)

- pokles transpirace ( $G_s$ ) až o 50 (70%)
- vzestup v efektivě využití vody (WUE)
- ochrana proti z vysoušení (stress)



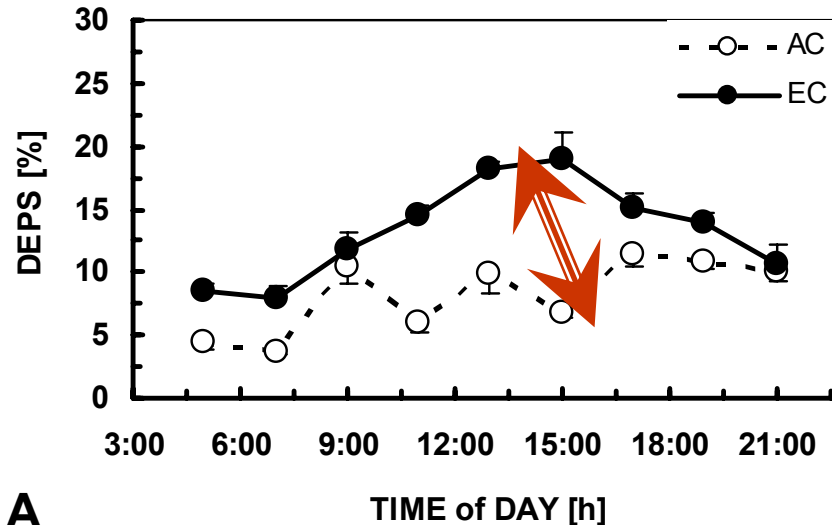
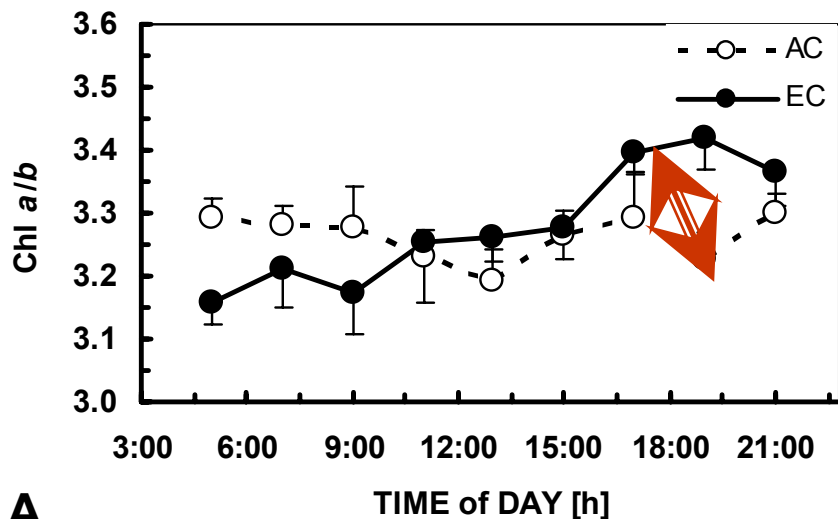


**50% pokles**



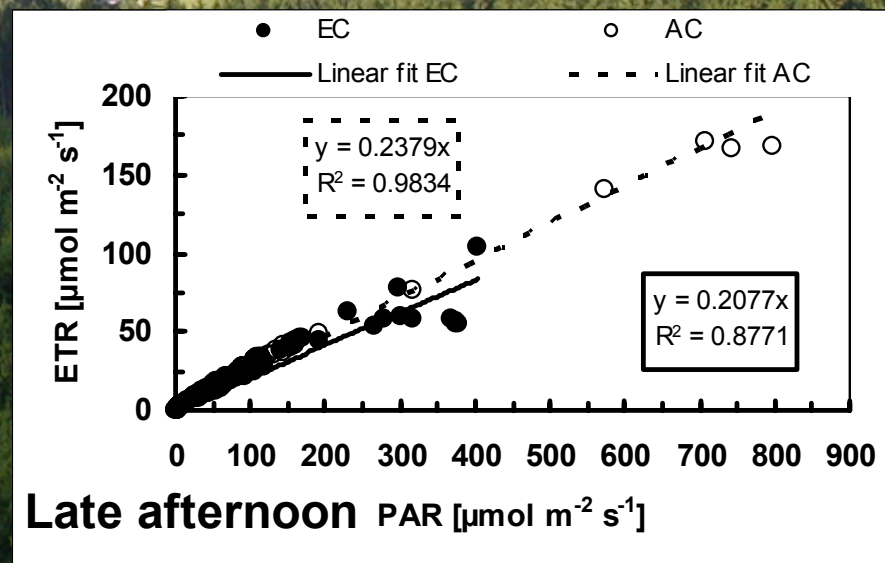
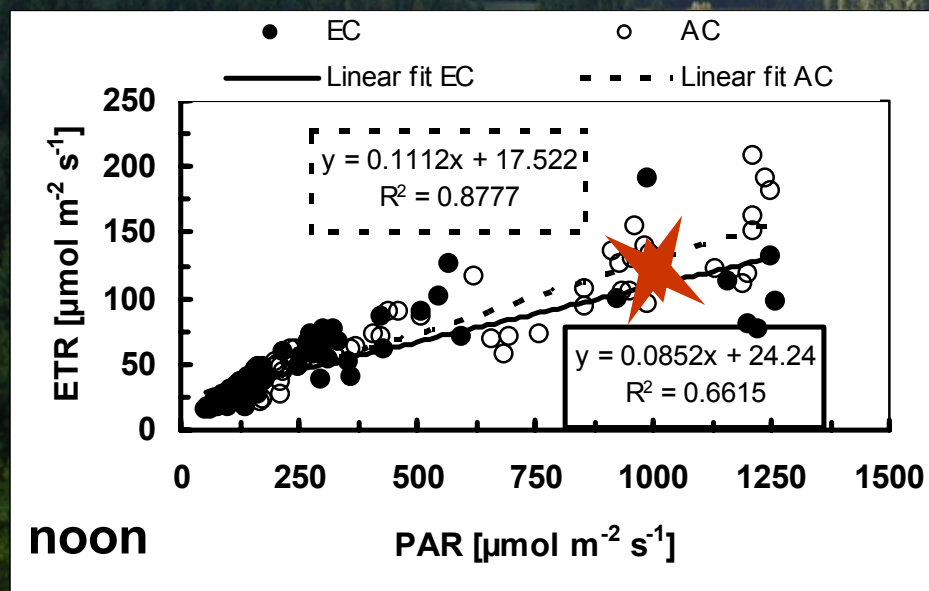
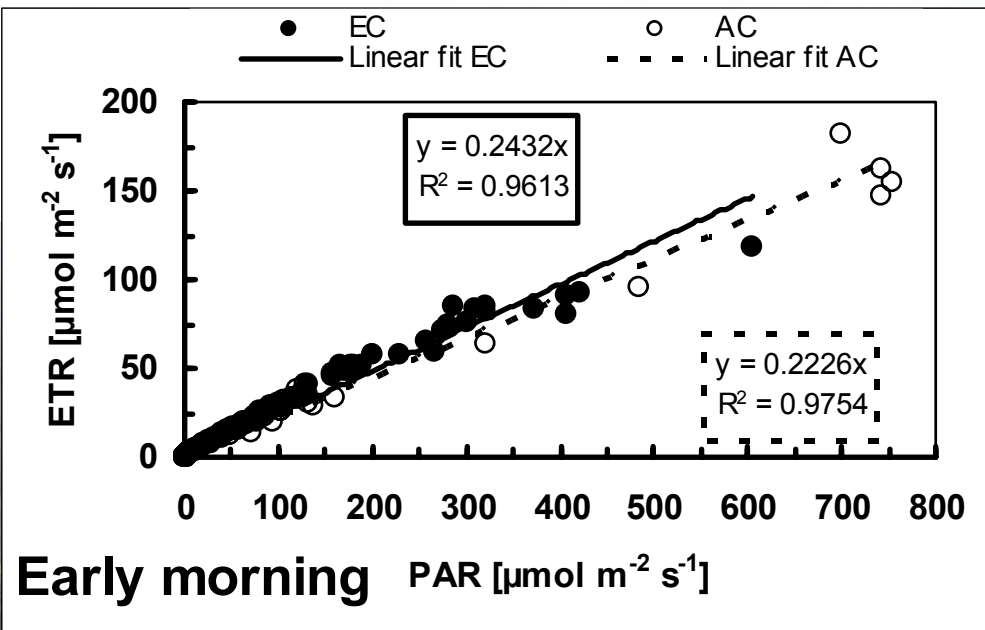
- význam fotorespirace  
fotoprotekce (photoinhibition)  
– N metabolismus

1. redukce LHC
2. Xantofylový cyklus



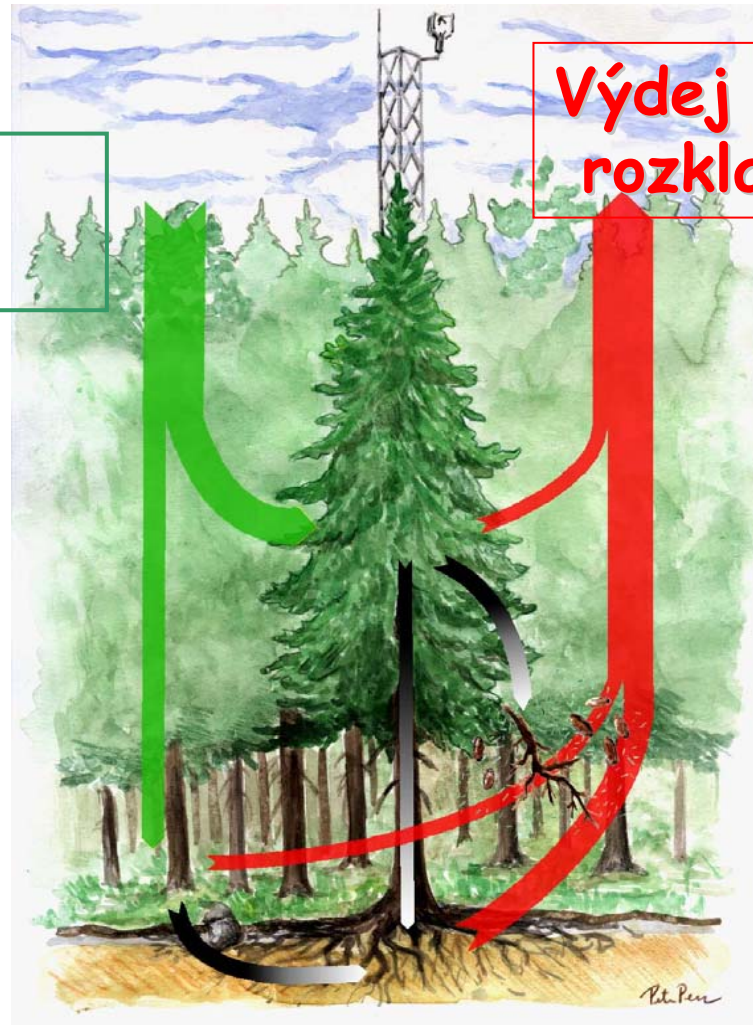


# Denní chod rychlosti transportu elektronů pod vlivem zvýšeného CO<sub>2</sub>



# Ukládání - depozice atmosférického uhlíku rostlinami je výsledkem dvou protisměrných toků

Příjem uhlíku  
fotosyntézou



Výdej uhlíku dýcháním a  
rozkladem



## II. Výzkum toků uhlíku

$\text{CO}_2$  výdej



$\text{CO}_2$  příjem

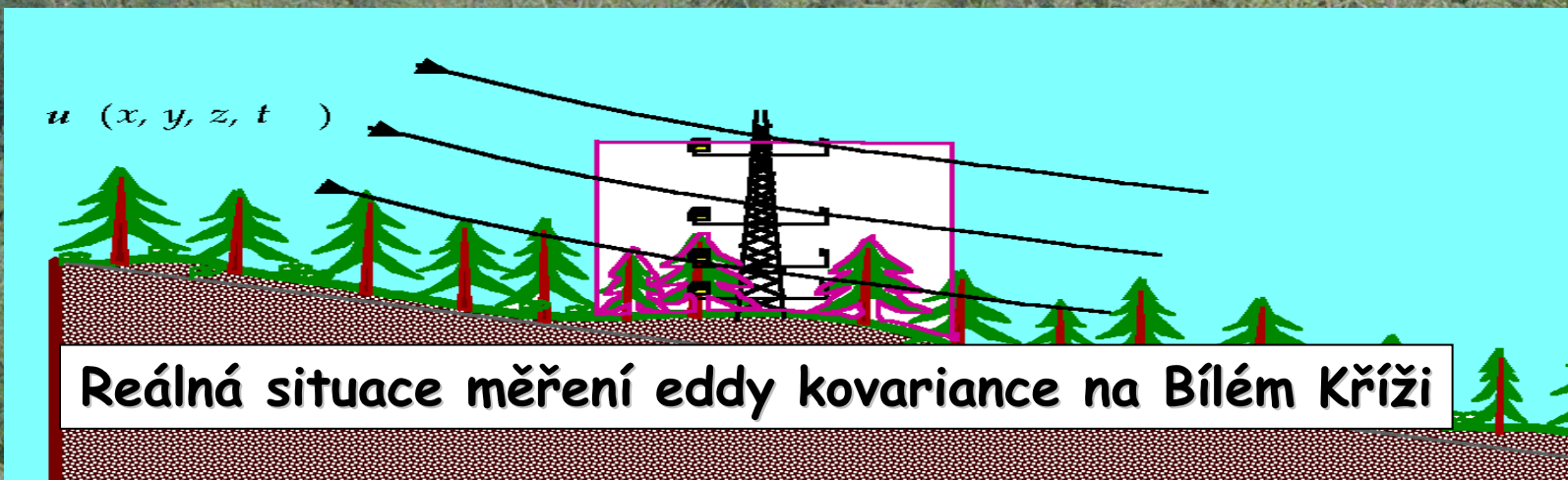


Výměna uhlíku a energie mezi porostem  
rostlin = *BIG LEAF model*



# TOKY UHLÍKU DO EKOSYSTÉMU

Eddy kovarianční systém

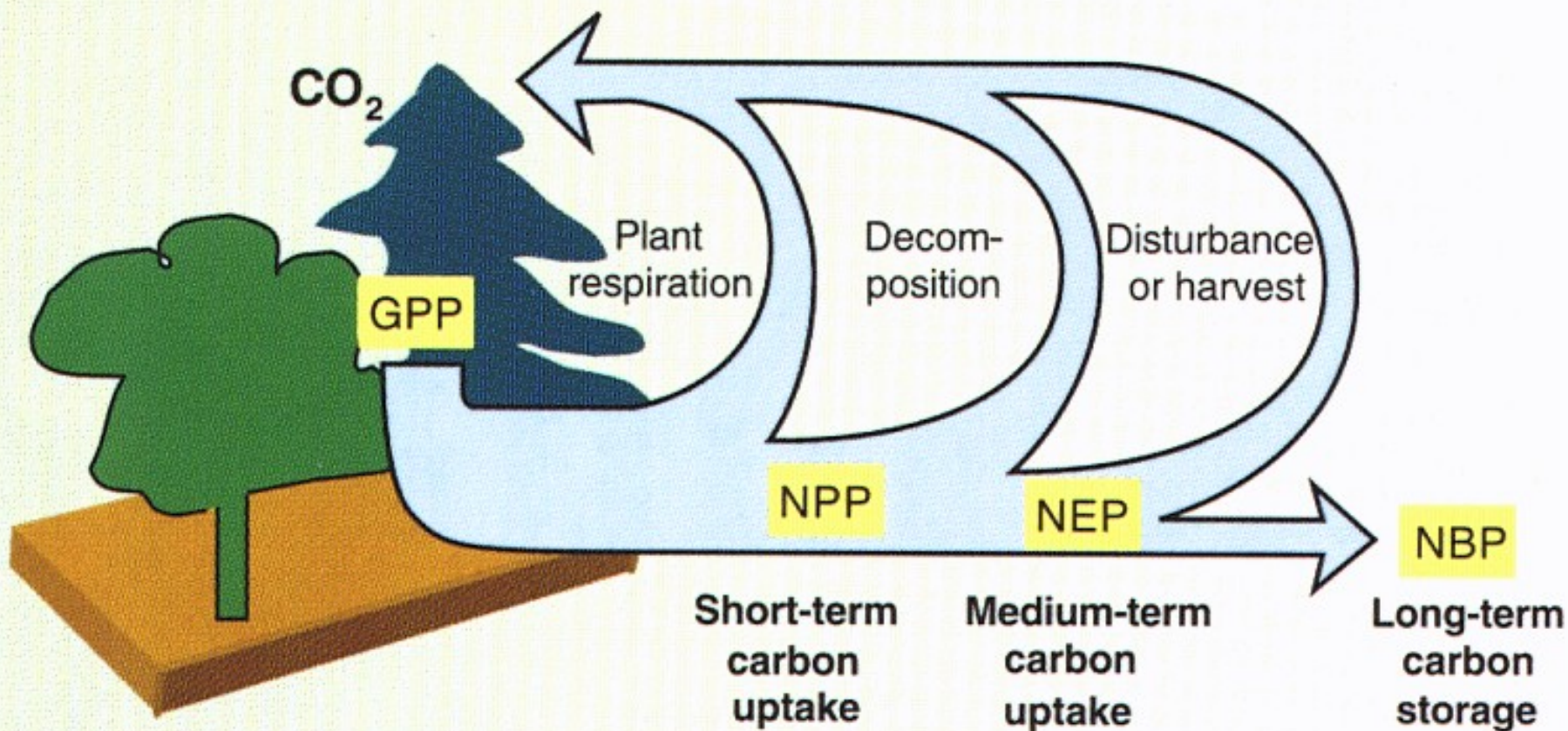


***Meteorologický stožár se sestavou čidel pro měření mikroklima porostu a přilehlé vrstvy atmosféry***

***Eddy kovarianční systém umístěný nad smrkovým porostem***



# Produkční charakteristiky ekosystému



GPP: Gross primary production (photosynthesis)

NPP: Net primary production

NEP: Net ecosystem production

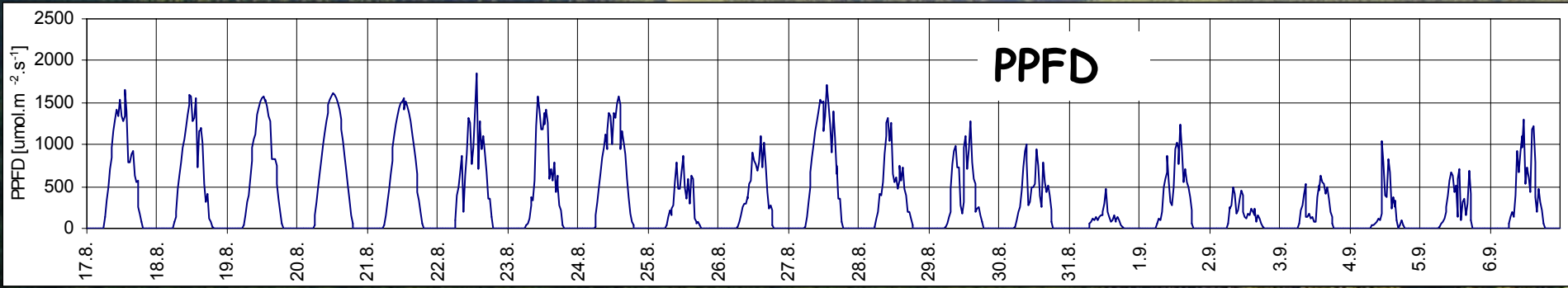
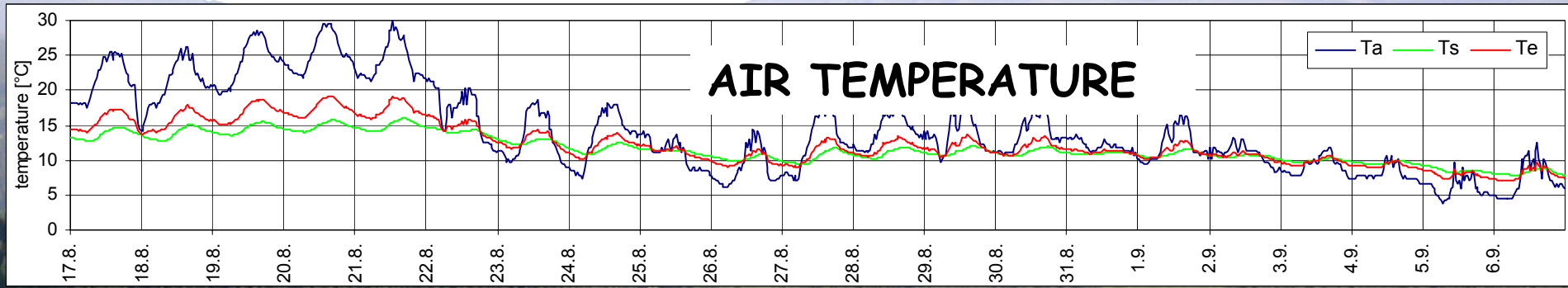
NBP: Net biome production



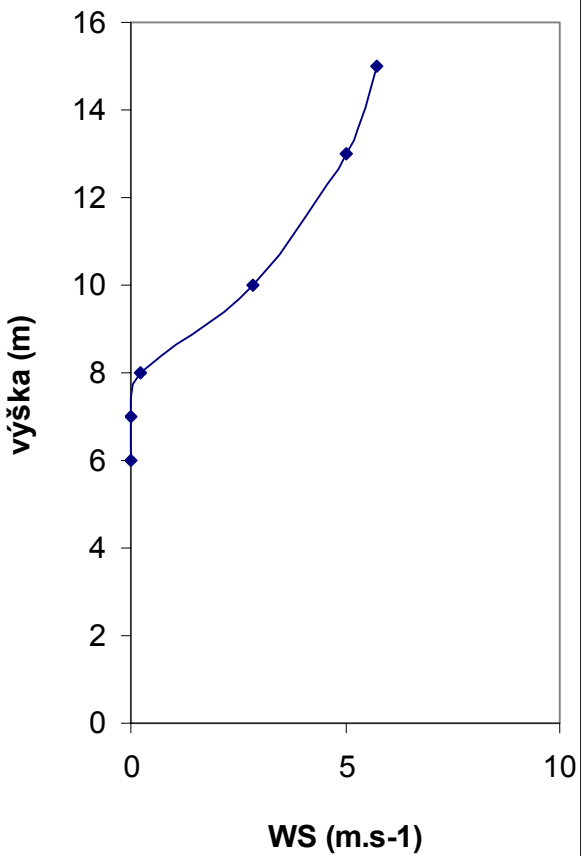
## II. Výzkum toků uhlíku

### I. Sezónní dynamika

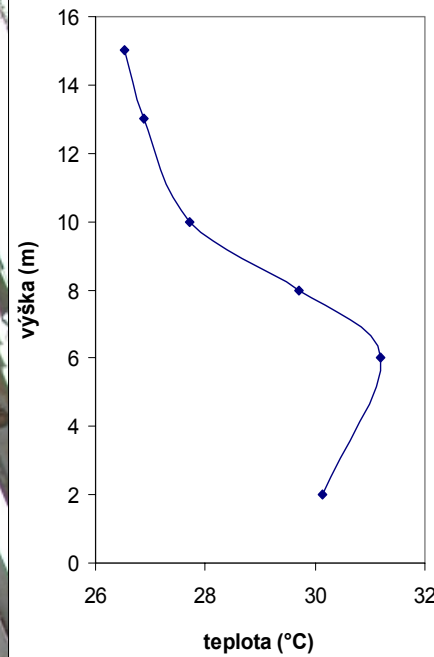
## II. Toky uhlíku



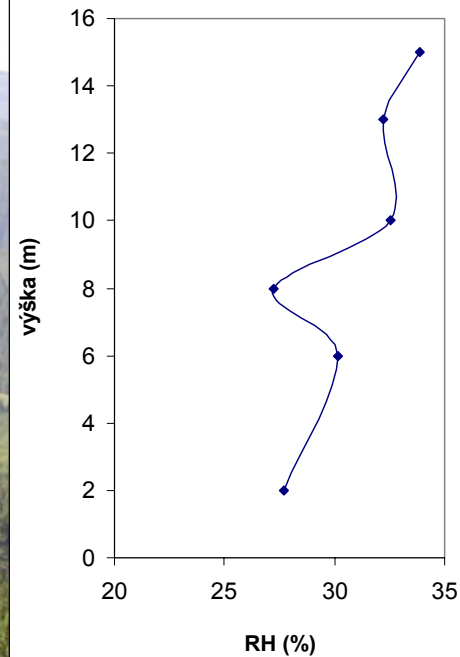
**Rychlost větru**  
1.7.03 13h.



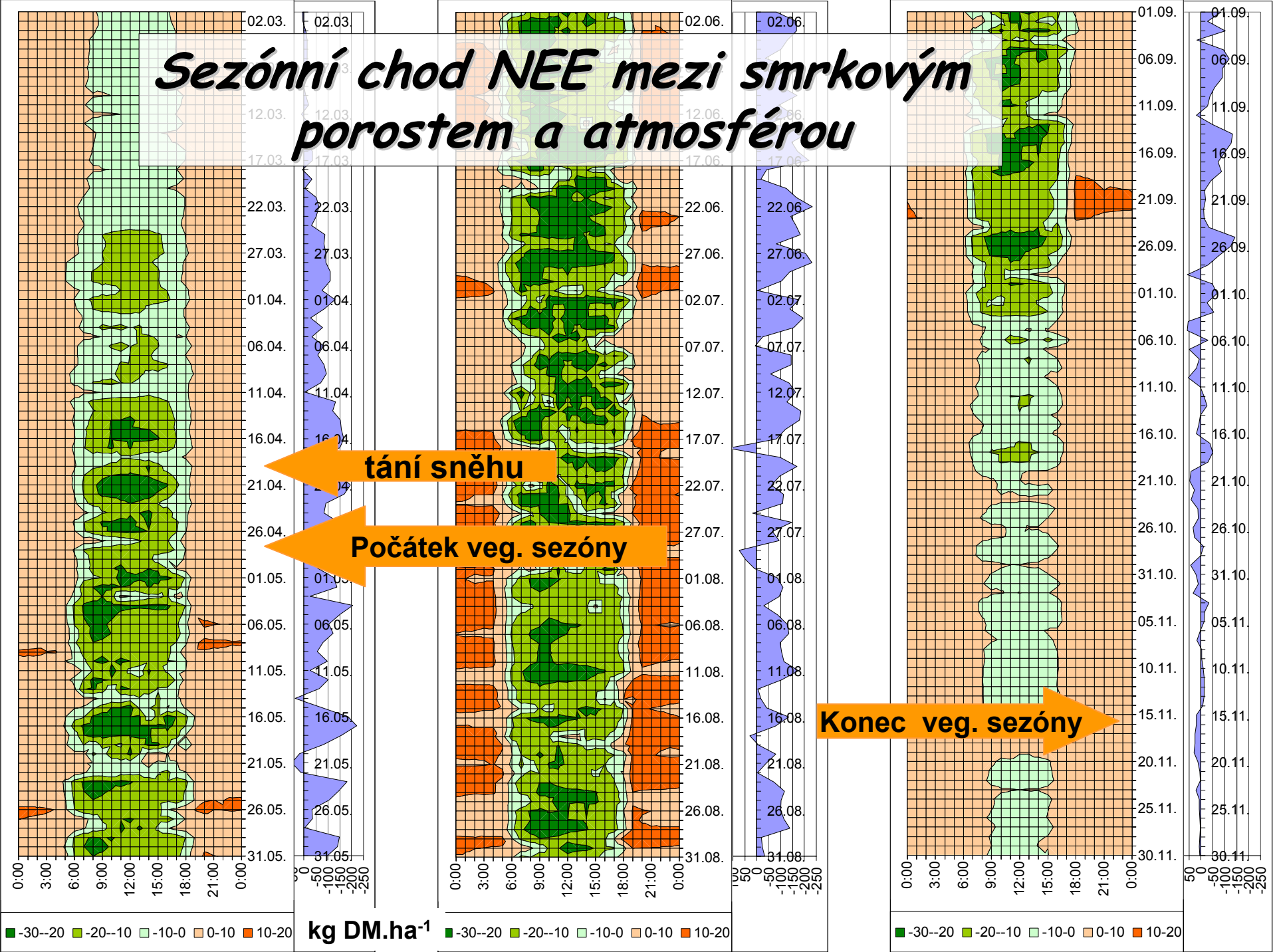
**Teplota vzduchu**  
1.7.03 13h.



**Relativní vlhkost vzduchu**  
1.7.03 13h.

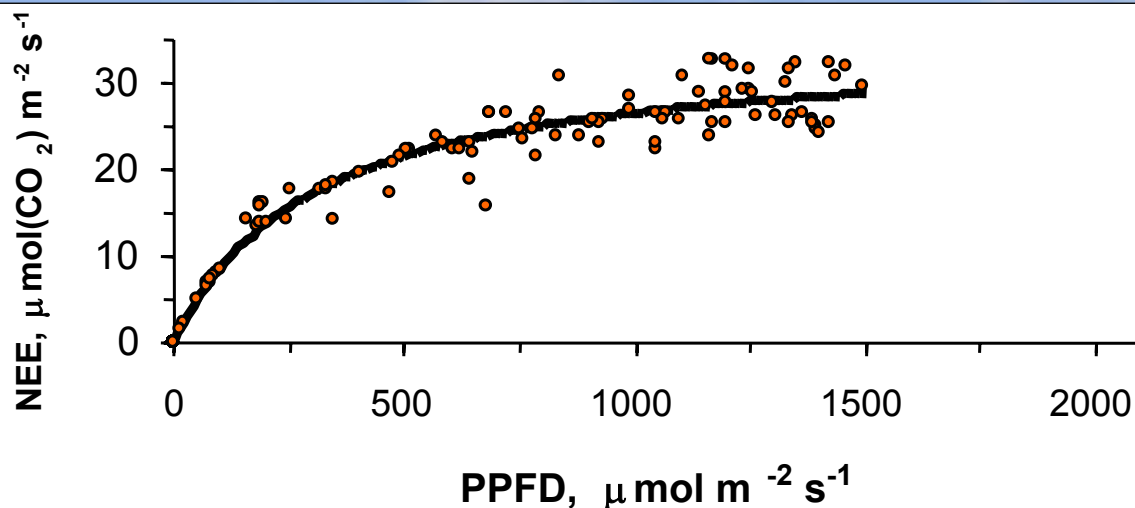


# Sezónní chod NEE mezi smrkovým porostem a atmosférou





## Závislost NEEP na PPFD - modelová formalizace



$$GPP = \frac{Q \cdot \alpha + GPP_{\max} - \sqrt{(Q \cdot \alpha + GPP_{\max})^2 - 4 \cdot Q \cdot \alpha \cdot k \cdot GPP_{\max}}}{2 \cdot k} - R_d$$

$Q$  ... Aktuální světlo - FAR

$\alpha$  ... Kvantový výtěžek

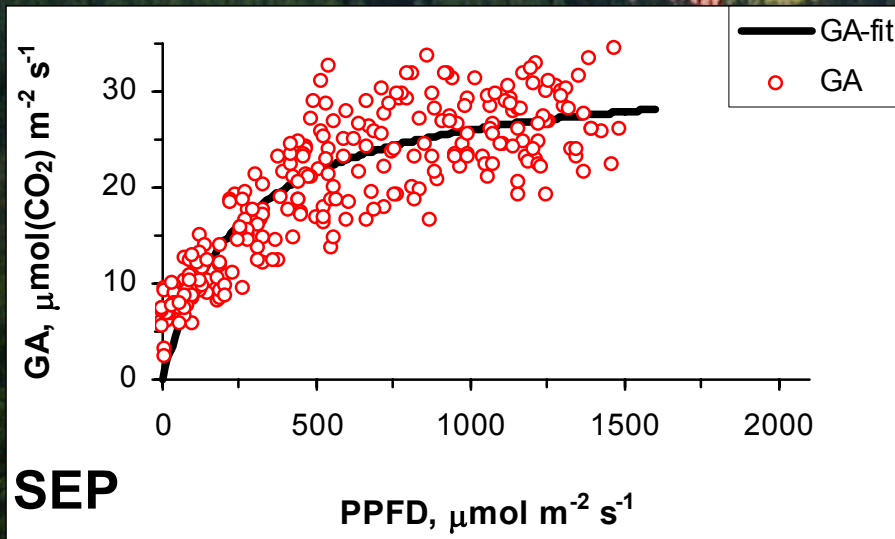
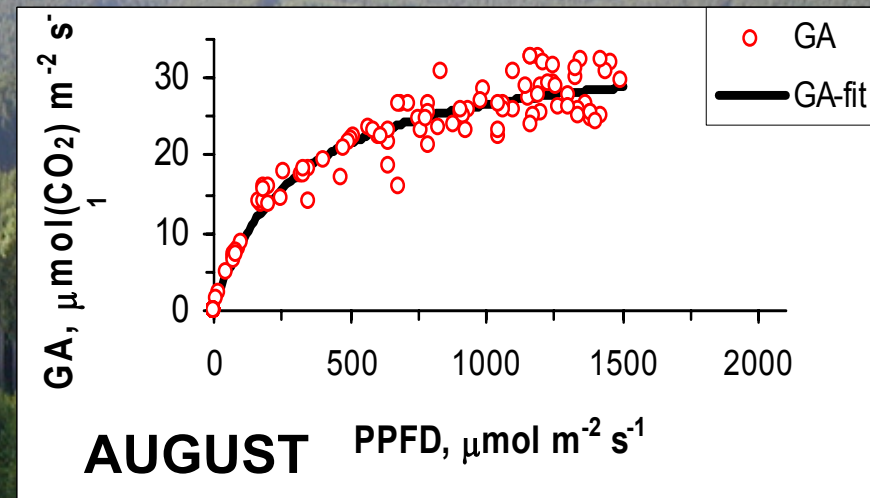
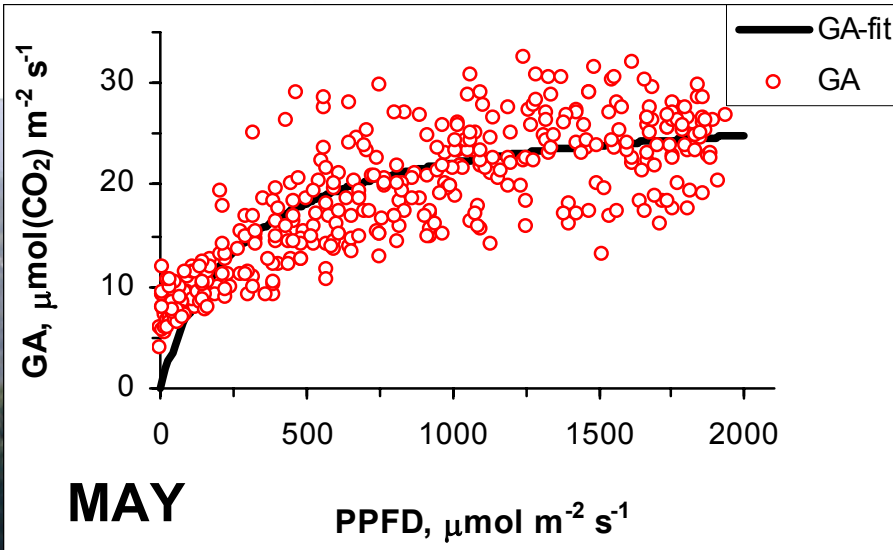
$GPP$  ... Maximální gross asimilace při satyračním FAR

$k$  ... convexita

$R_d$  ...respirace

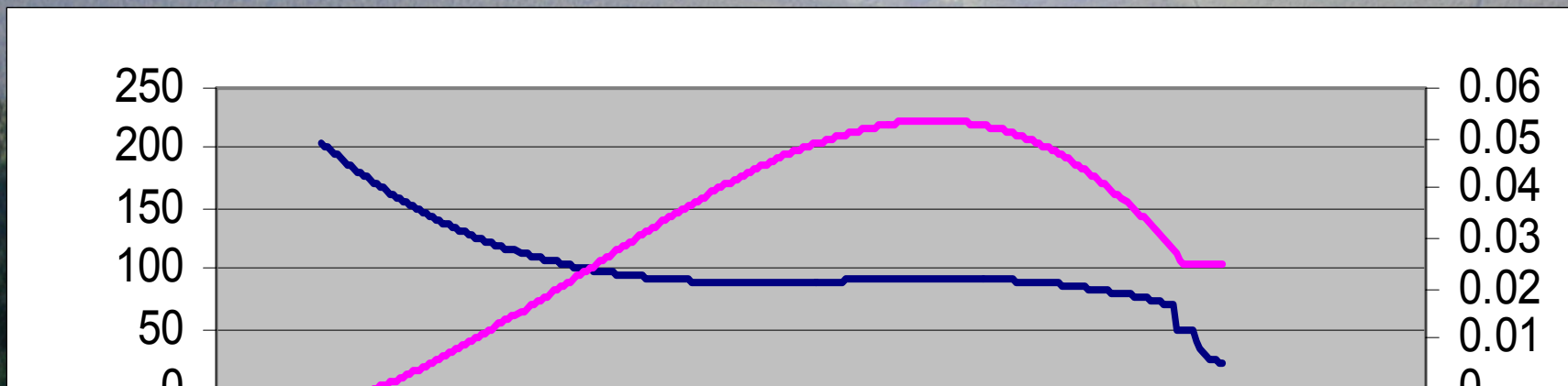


# Relace mezi PPFD a GPP ve vybraných měsících vegetační sezóny

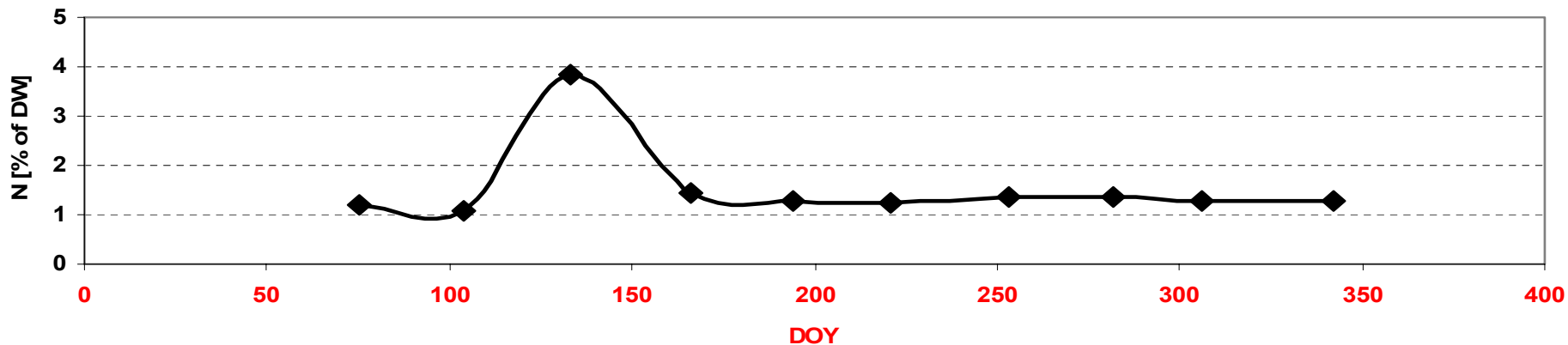




## Sezónní chod parametrů LRC GPP

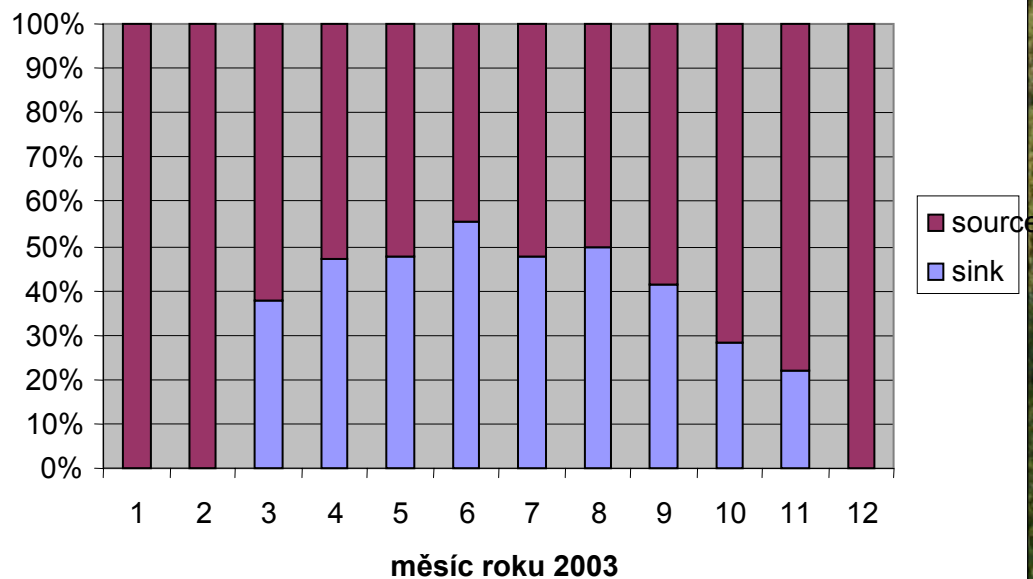
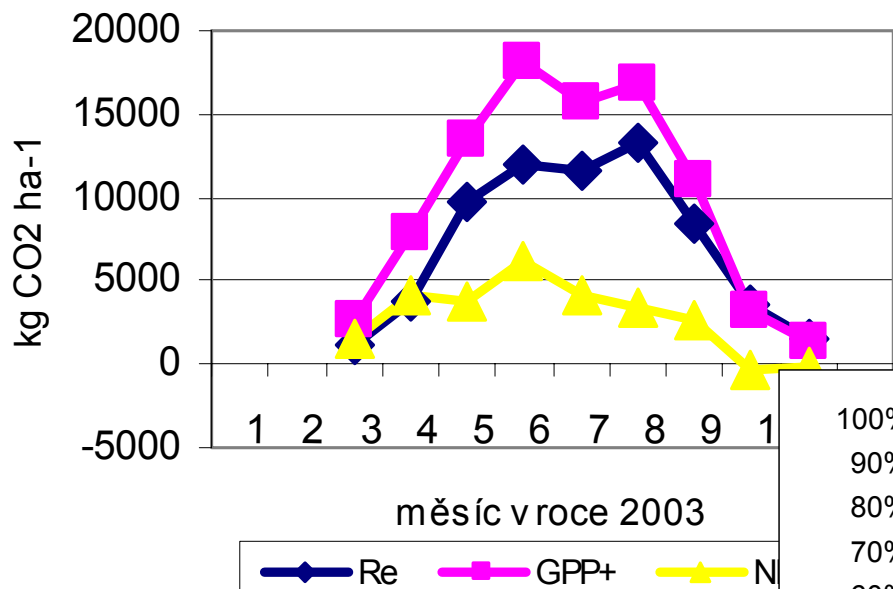


## Sezónní chod N obsahu v jehlicích smrku - Bílý Kříž

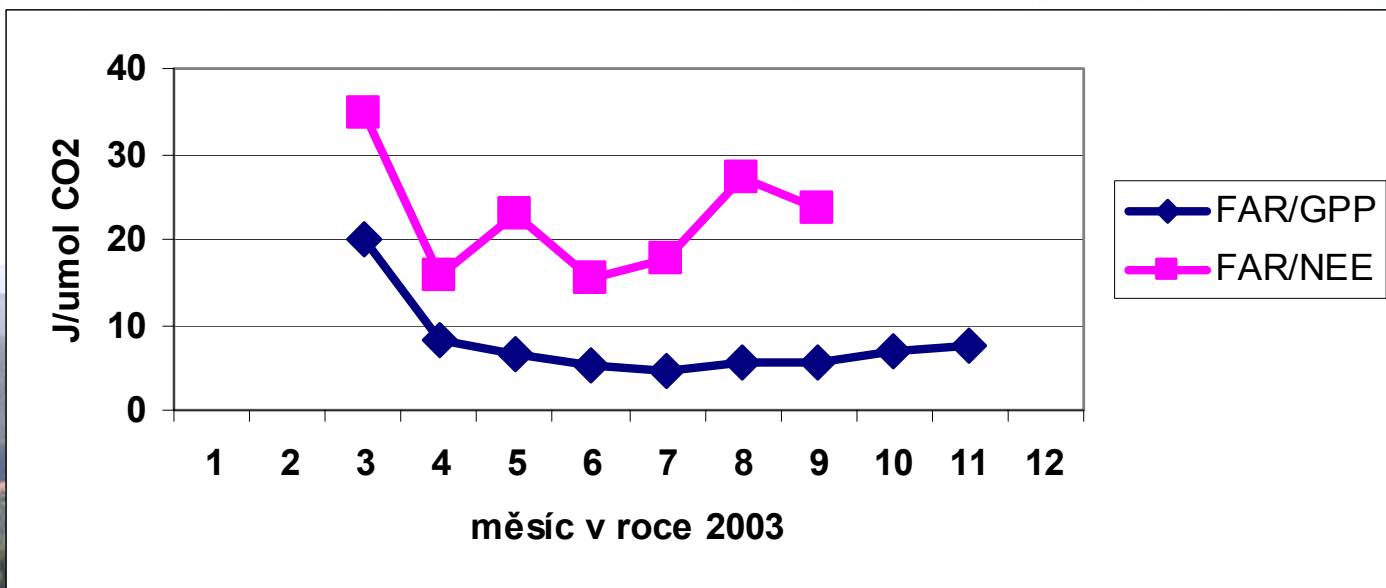




**Měsíční sumy respiračních ztrát uhlíku prostem smrku (RE), Gross primární produkce (GPP+) a net ekosystémová produkce (NEP+) smrkový prost Bílý Kříž 2003**

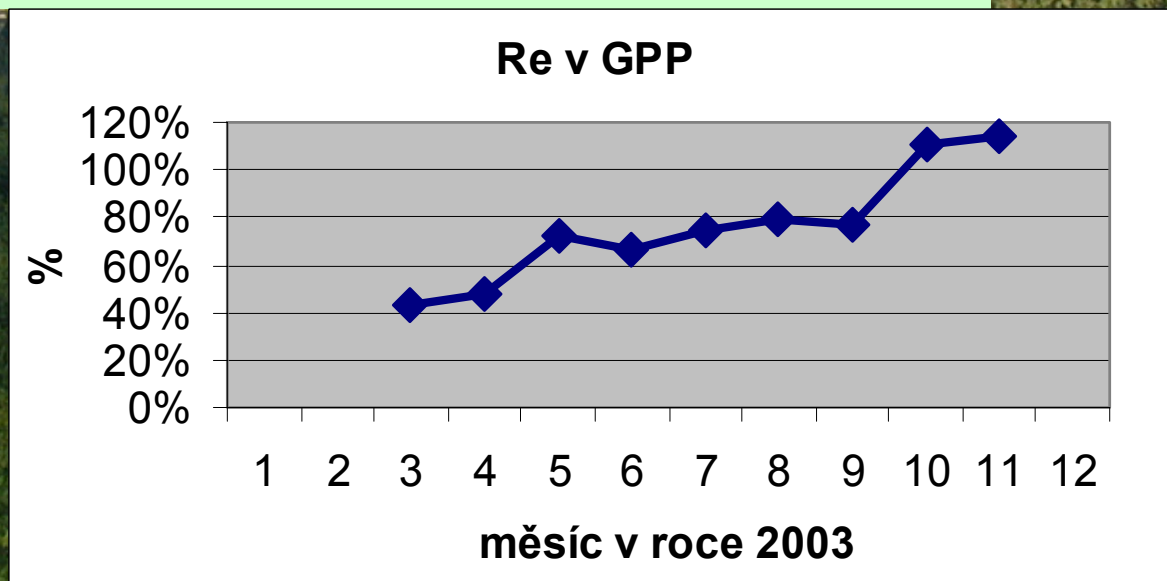


**Časový průběh trvání porostního uhlíkového sinku a uhlíkových zdrojů**

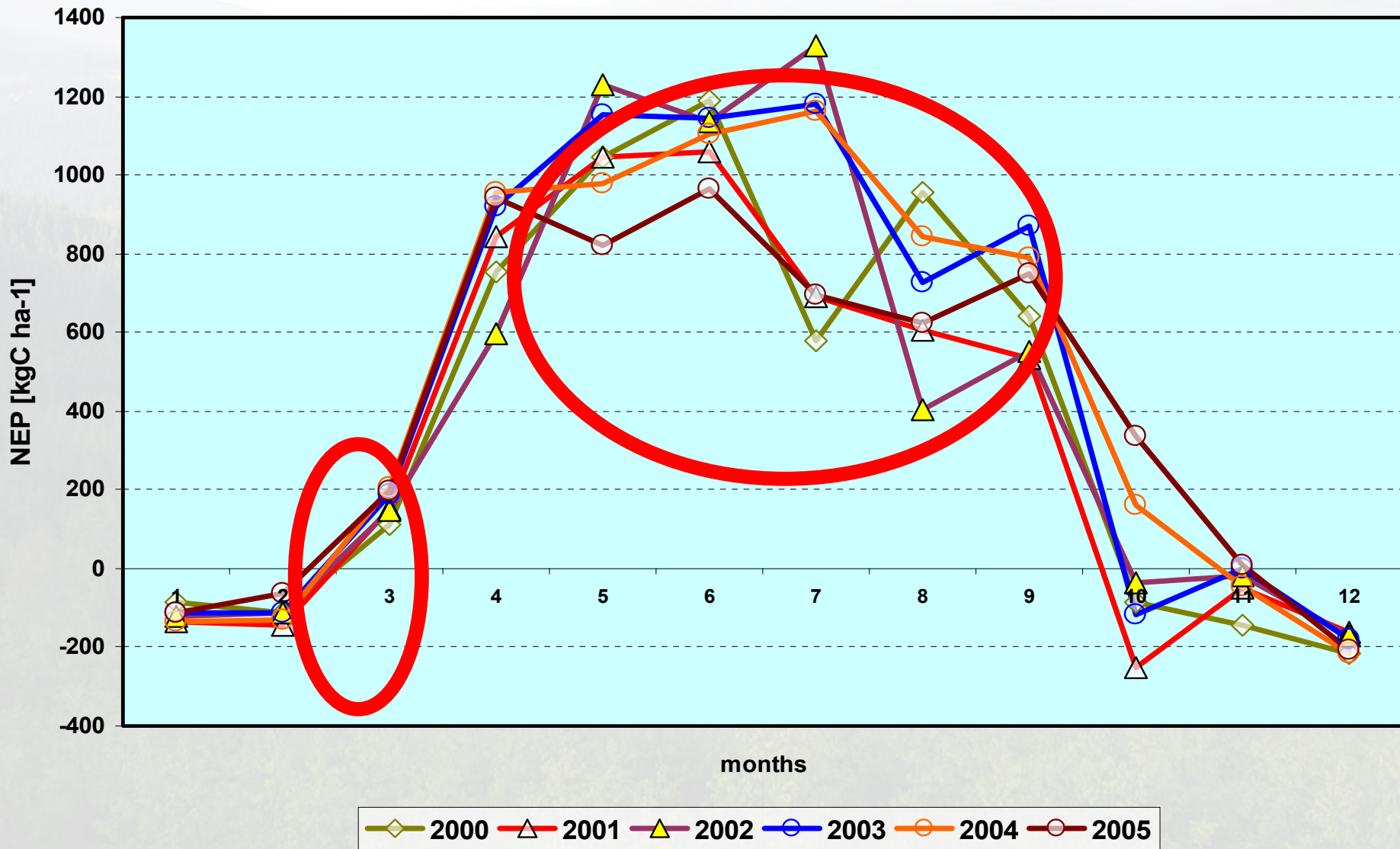


***Efektivita využití sluneční radiace (FAR) v hrubé primární produkci (GPP) a čisté toku uhlíku do ekosystému (NEE)***

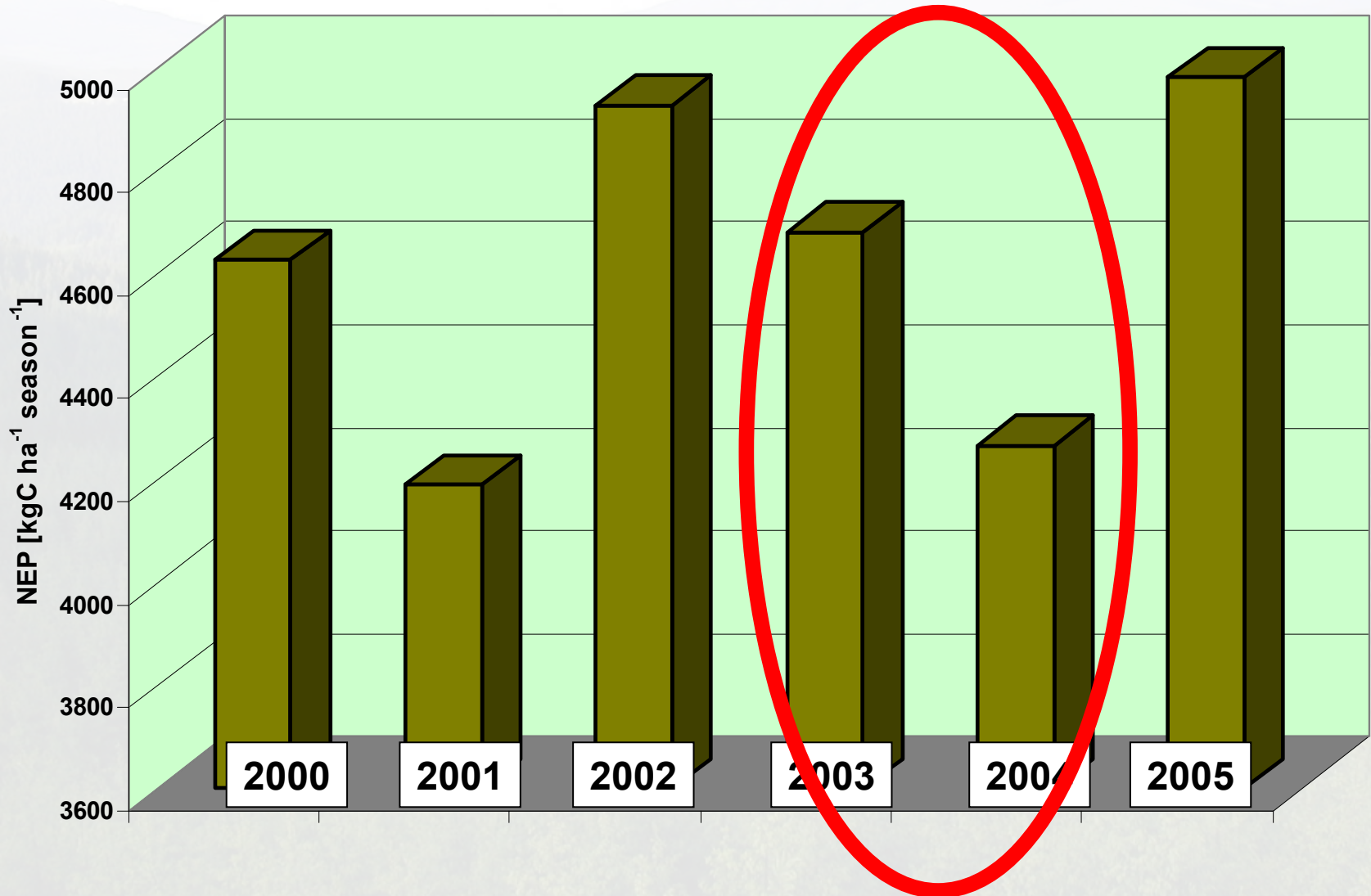
***Podíl respiračních ztrát na GPP***



# Sezónní chod primární produkce horské smrčiny Bily Kříž 200-2005



# Meziroční hodnoty celkové - roční - primární produkce horské smrčiny Bílý Kříž



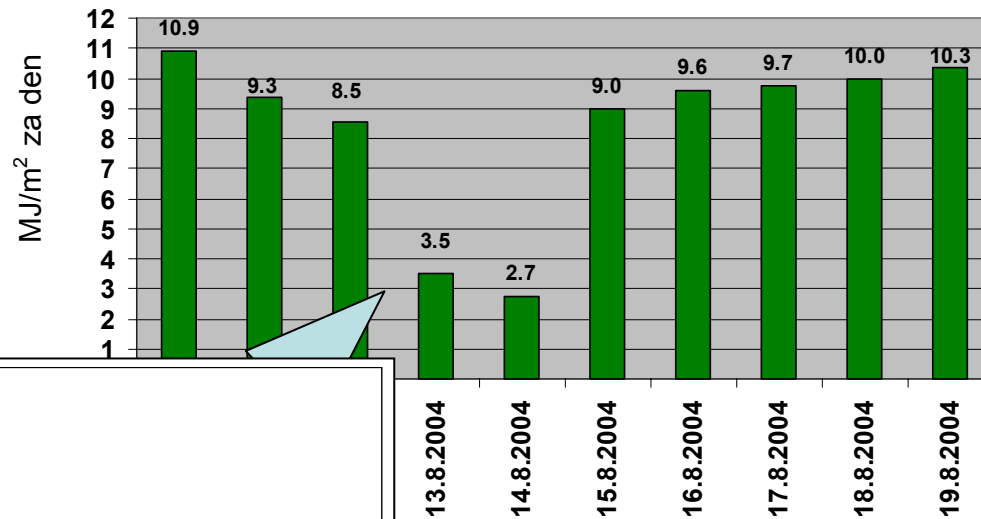


## II. Výzkum toků uhlíku

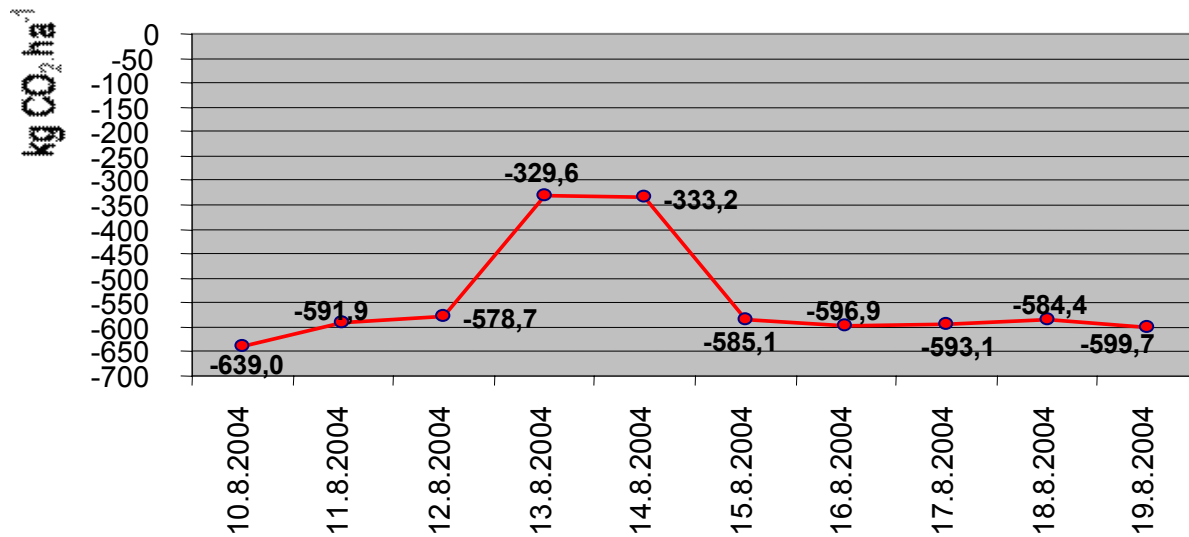
II. Detailní analýza krátkých časových úseků



### Daily sums of incident PAR during the period 10.-19. 8. 2004 Bílý Kříž



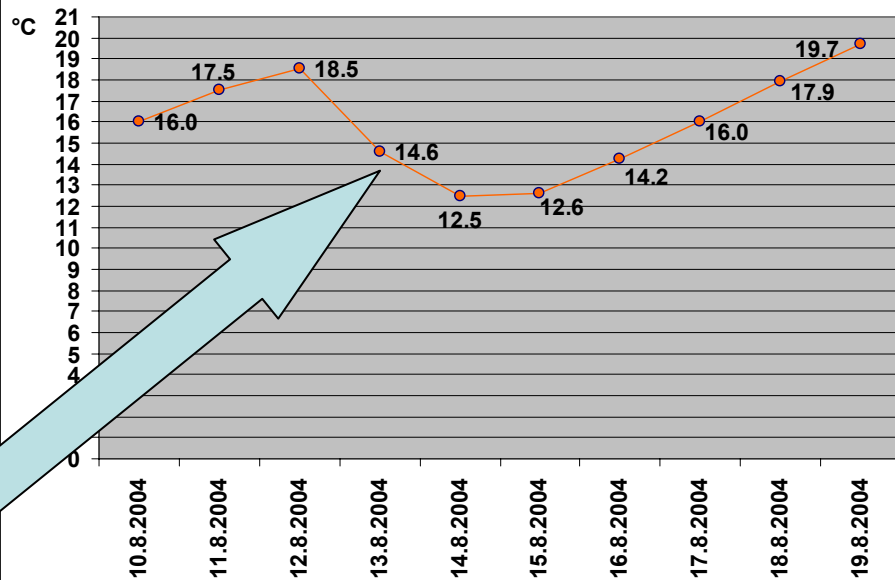
### 10.-19.8. 2004



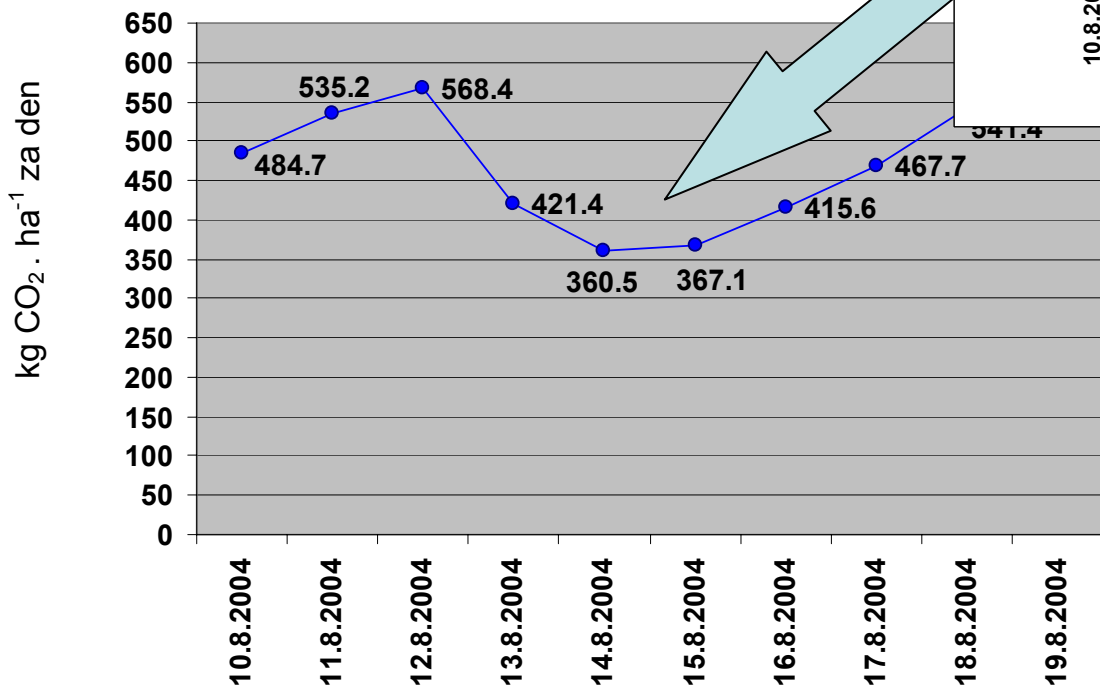




Daily mean air temperature  
Bílý Kříž, 10.-19. 8.2004



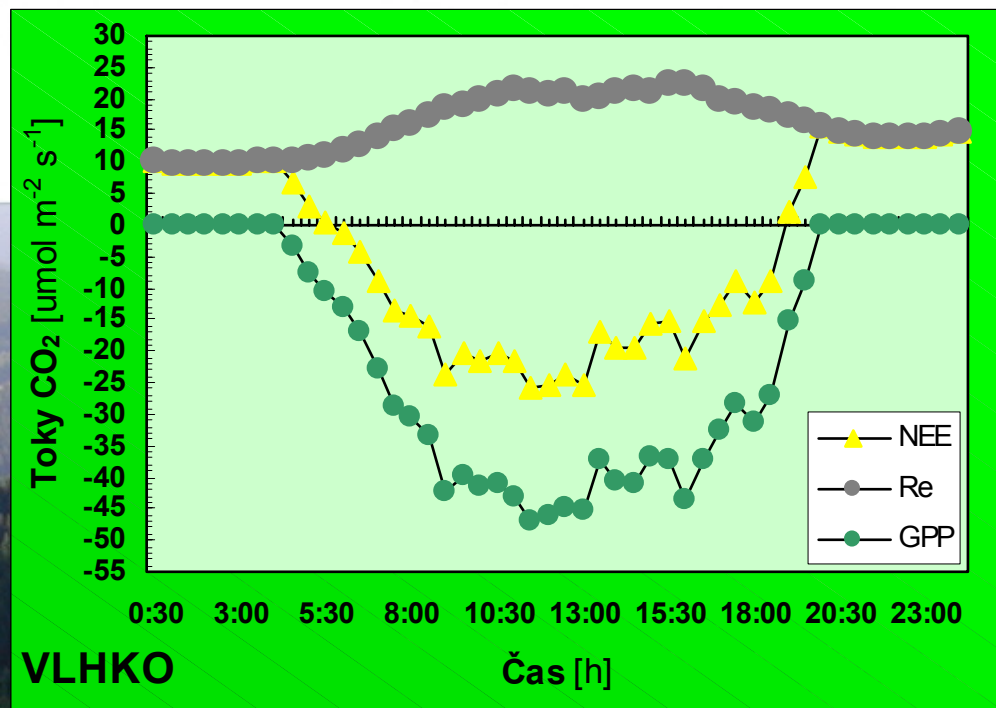
Daily values of ecosystem respiration(Re)  
Bílý Kříž, 10.-19.8. 2004





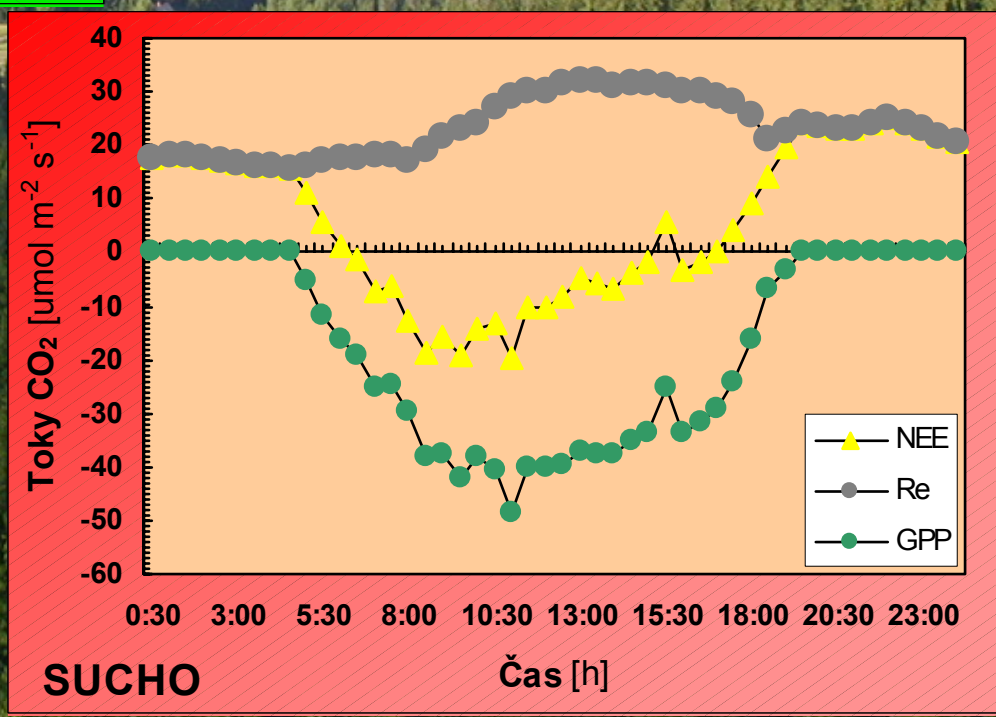
## II. Výzkum toků uhlíku

### IV. Efekty synoptických situací



GPP- 210 kgC ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>  
 Re+ 166 kgC ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>  
 NEE - 44 kgC ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>

GPP- 273 kgC ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>  
 Re+ 242 kgC ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>  
 NEE + 29 kgC ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>





## II. Výzkum toků uhlíku

V. Analýza uhlíkových zdrojů a sinků v porostu

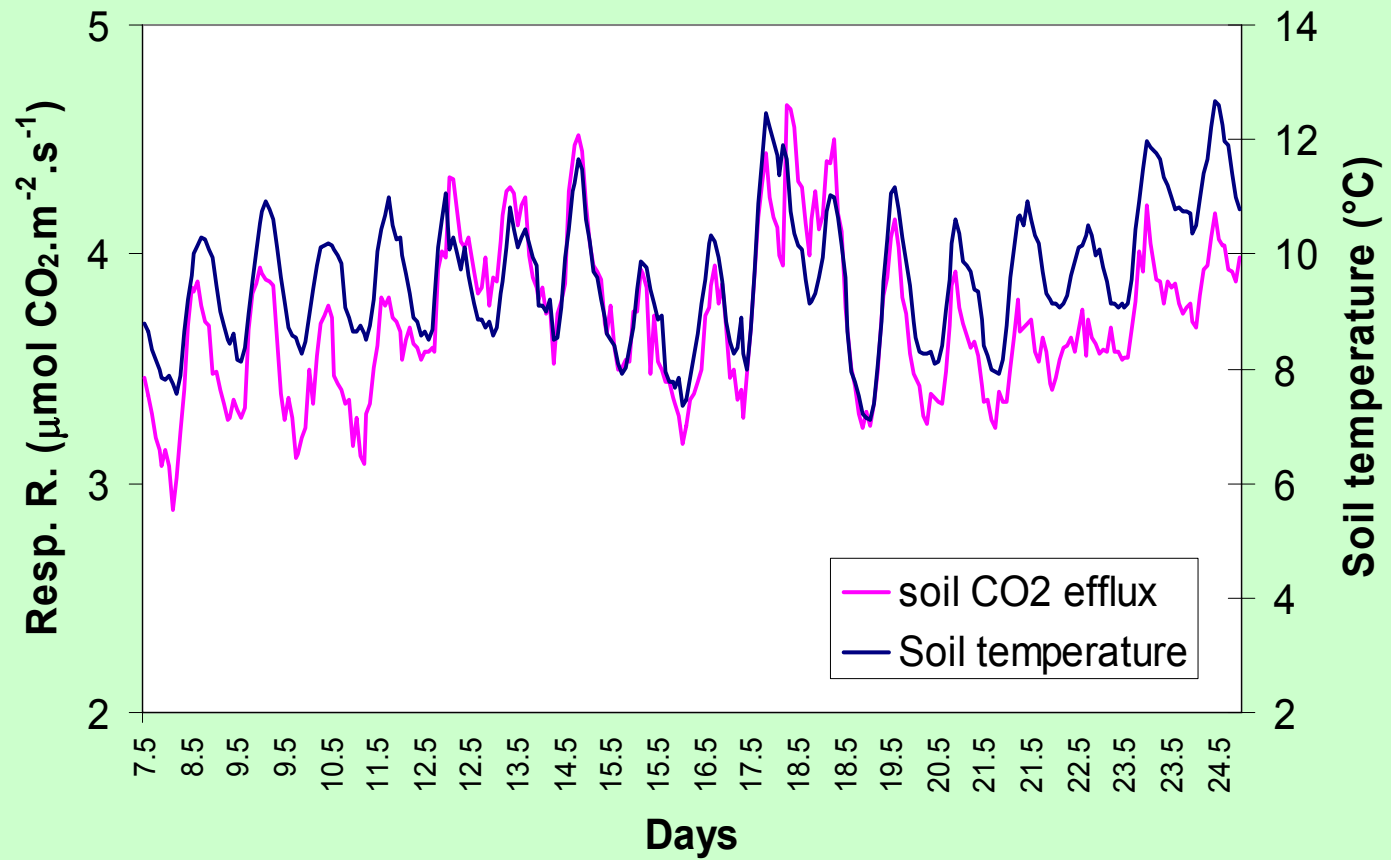
Respirační komory

Kmenová komora

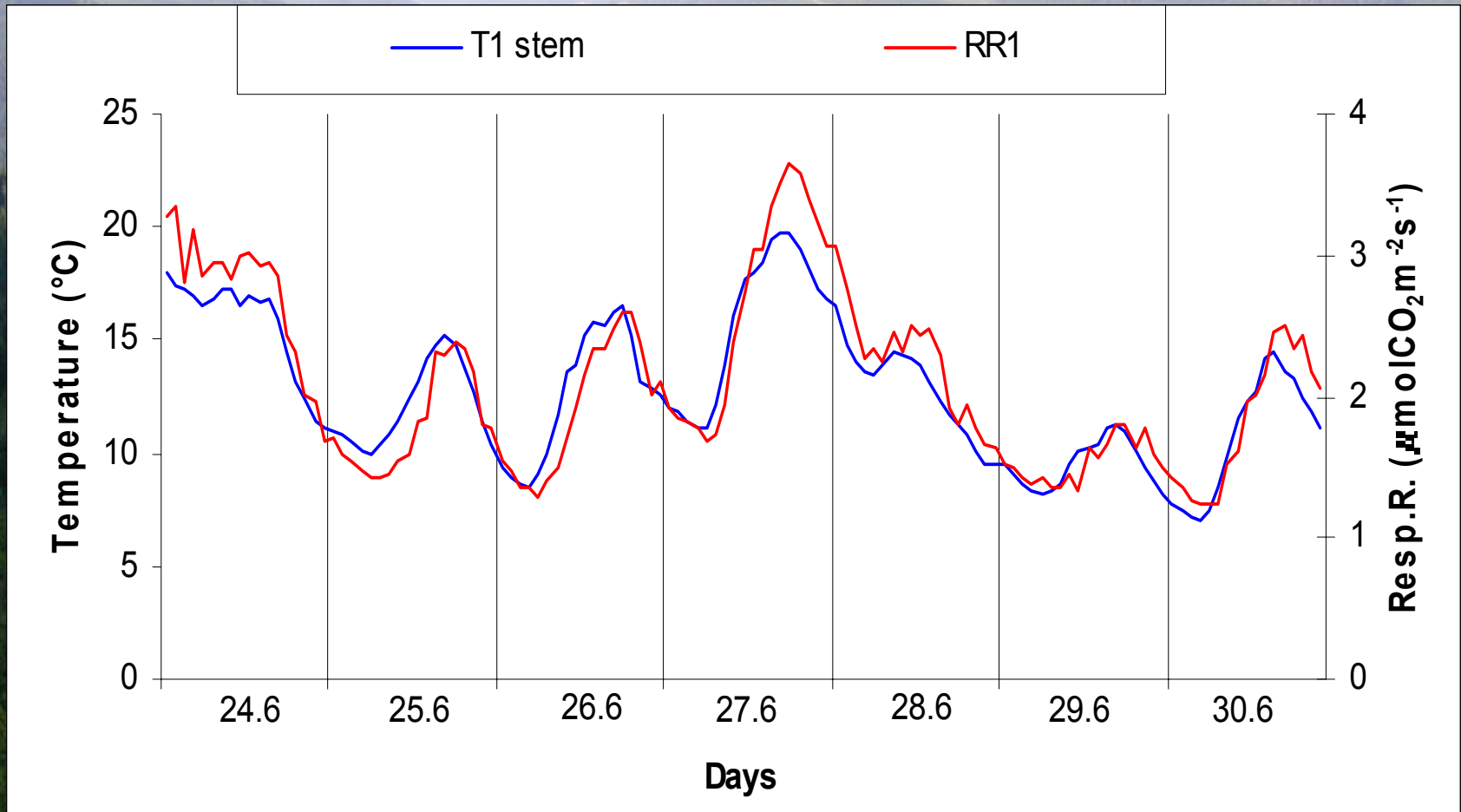
Půdní komora



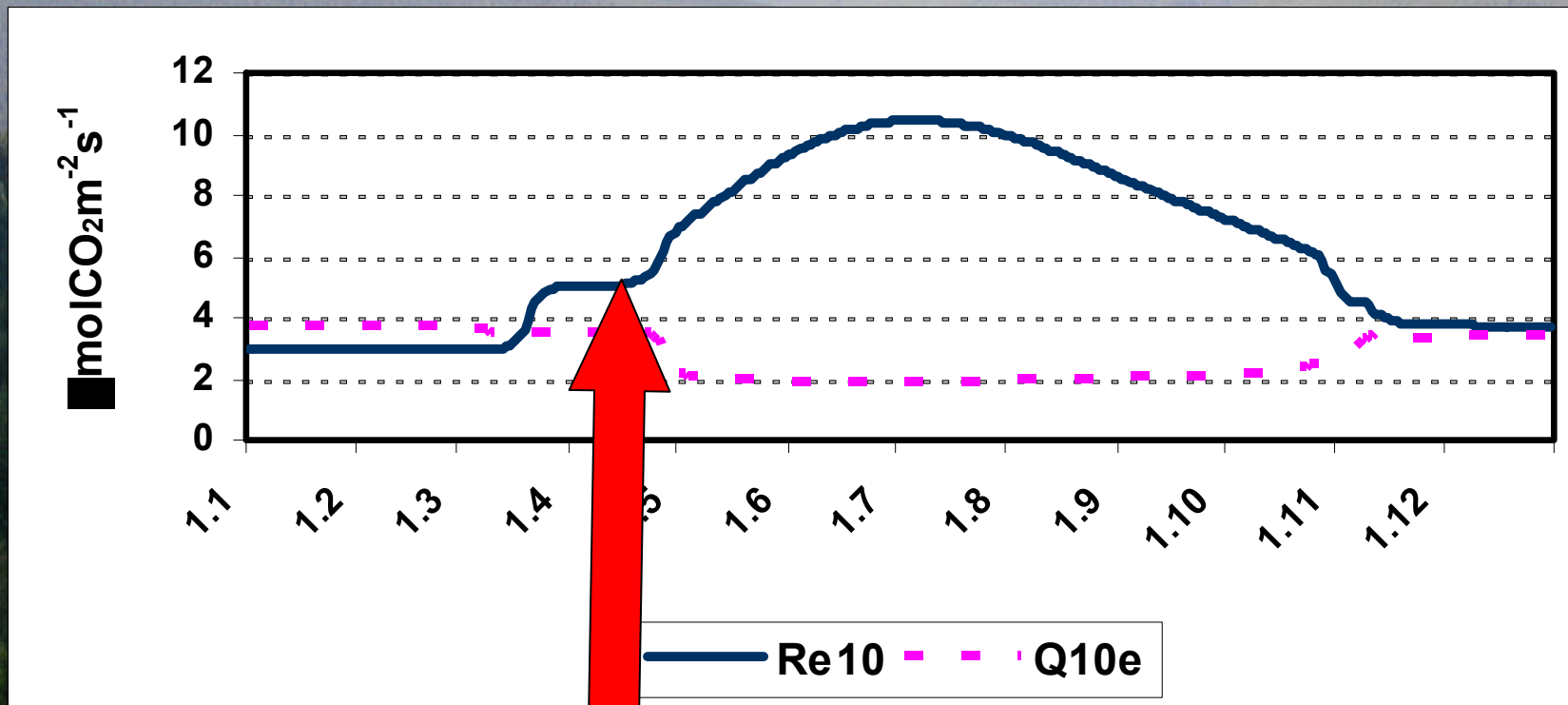
## Chody výronu CO<sub>2</sub> z půdy a teploty půdy



# Chody výdeje $\text{CO}_2$ z povrchu kmenů a chod teploty kmene



# Sezónní chod respirace ekosystému (normalisovaná na 10°C) a hodnoty $Q_{10}$



Povrch půdy je pod sněhem, kmeny, větve a jehlice bez sněhu





## II. Výzkum toků uhlíku

### III. Vliv typu a kvality slunečního záření

**Teplota a vlhkost  
vzduchu**

**Dopadající FAR**

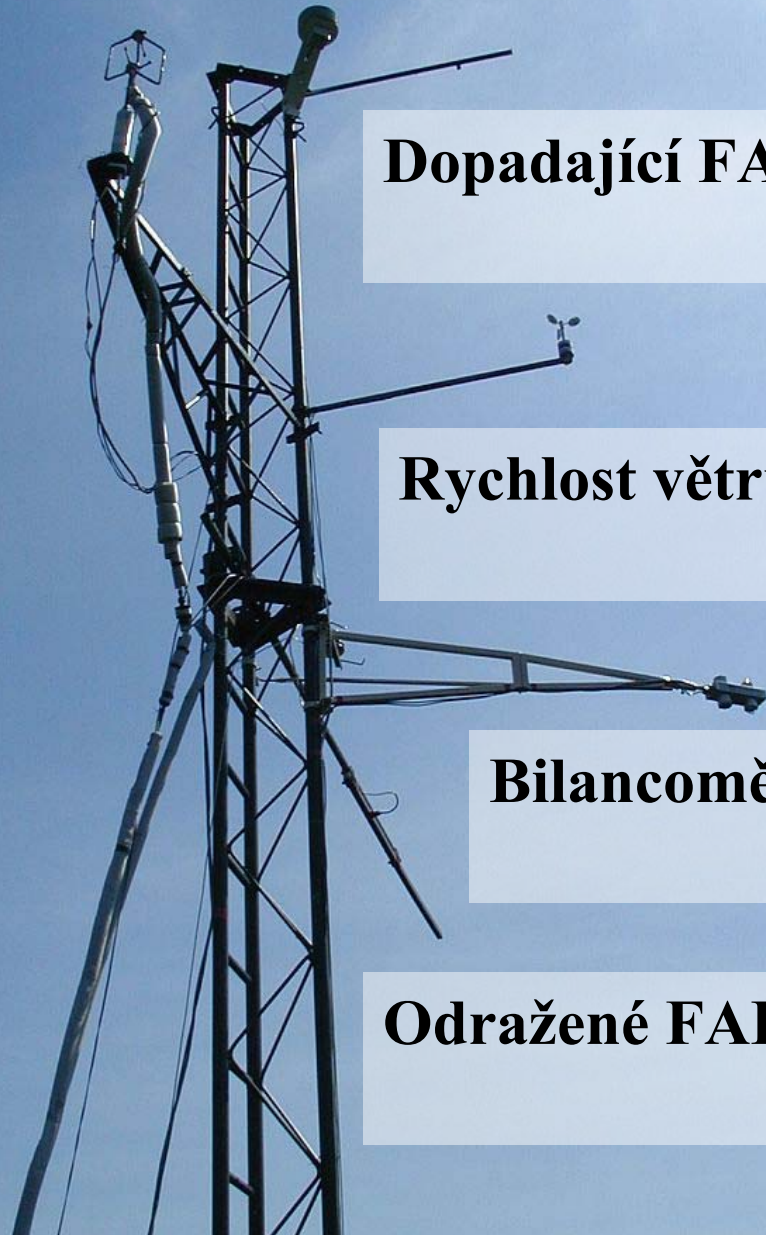
**Rychlost větru**

**Bilancoměr**

**Odražené FAR**

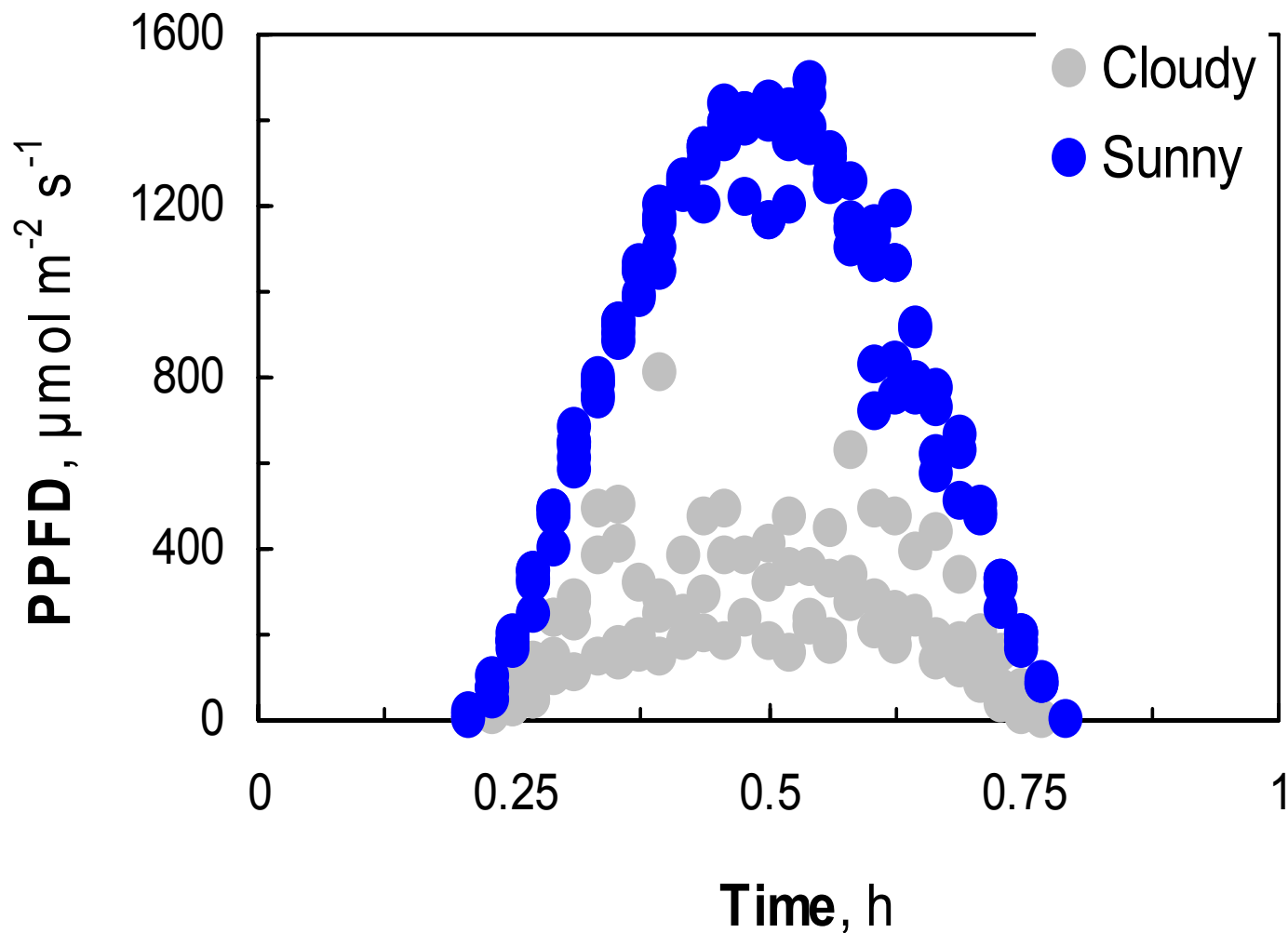
**FAR**

**Solarimetr**



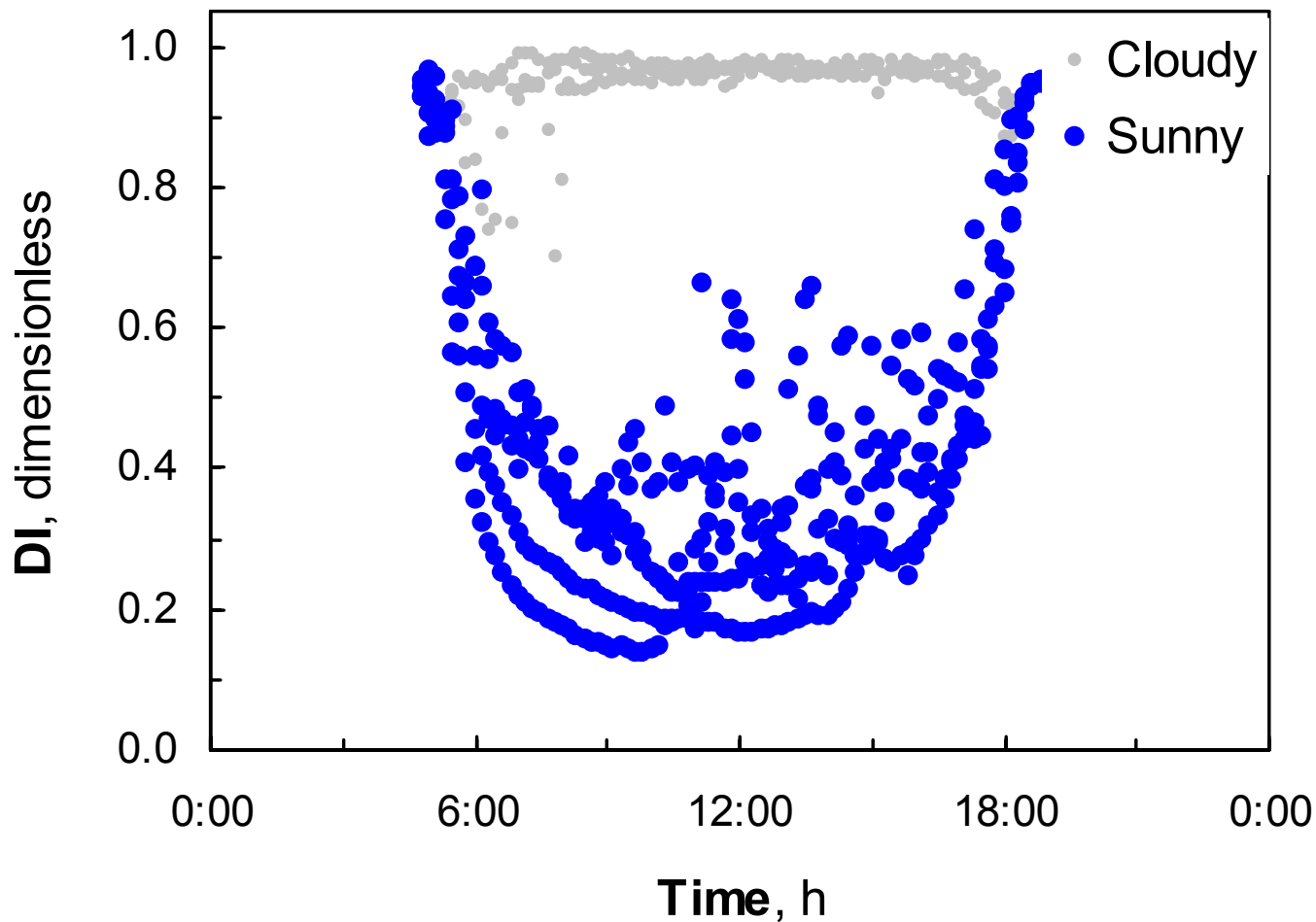


## Příkon PAR za podmínek přímé a difusní sluneční radiace





## Hodnota difuzního indexu za podmínek přímé a difusní sluneční radiace



# CANFIB

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

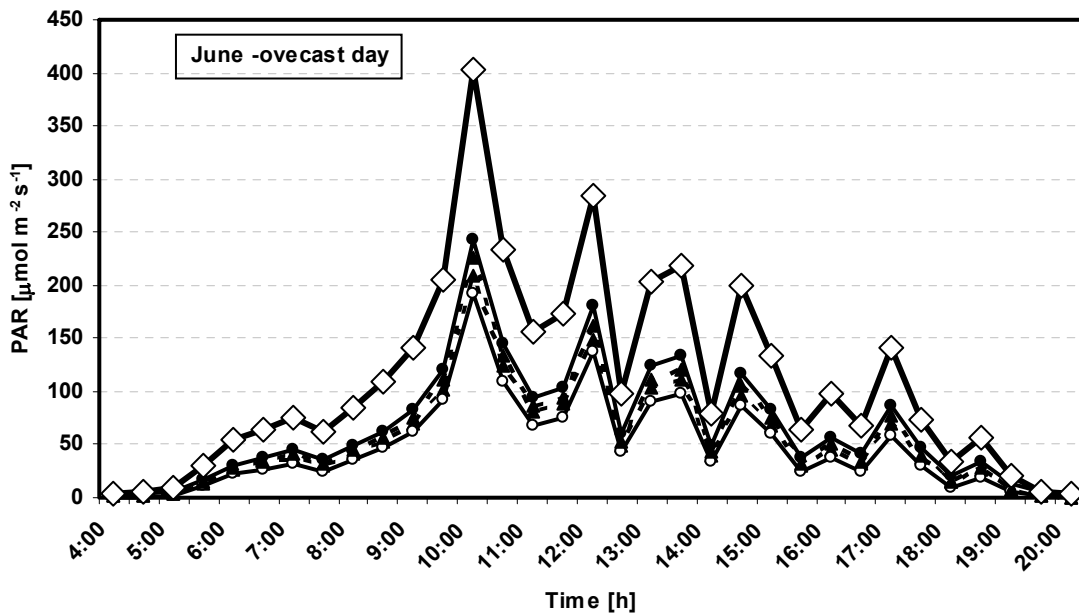
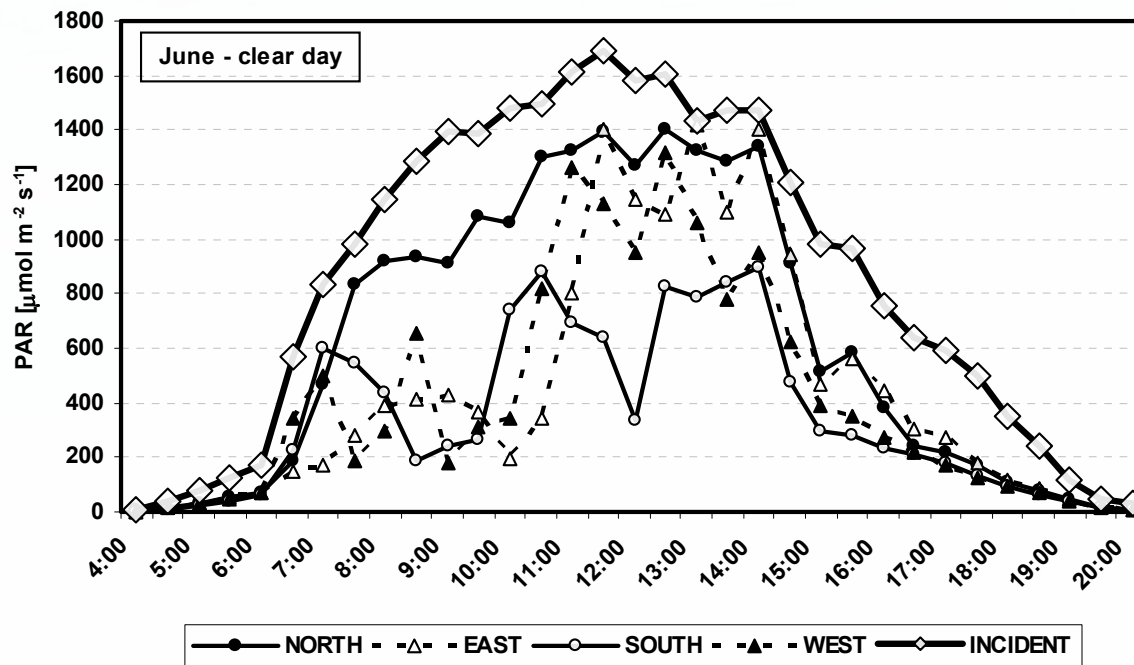


*diffuser*

*restrictor*

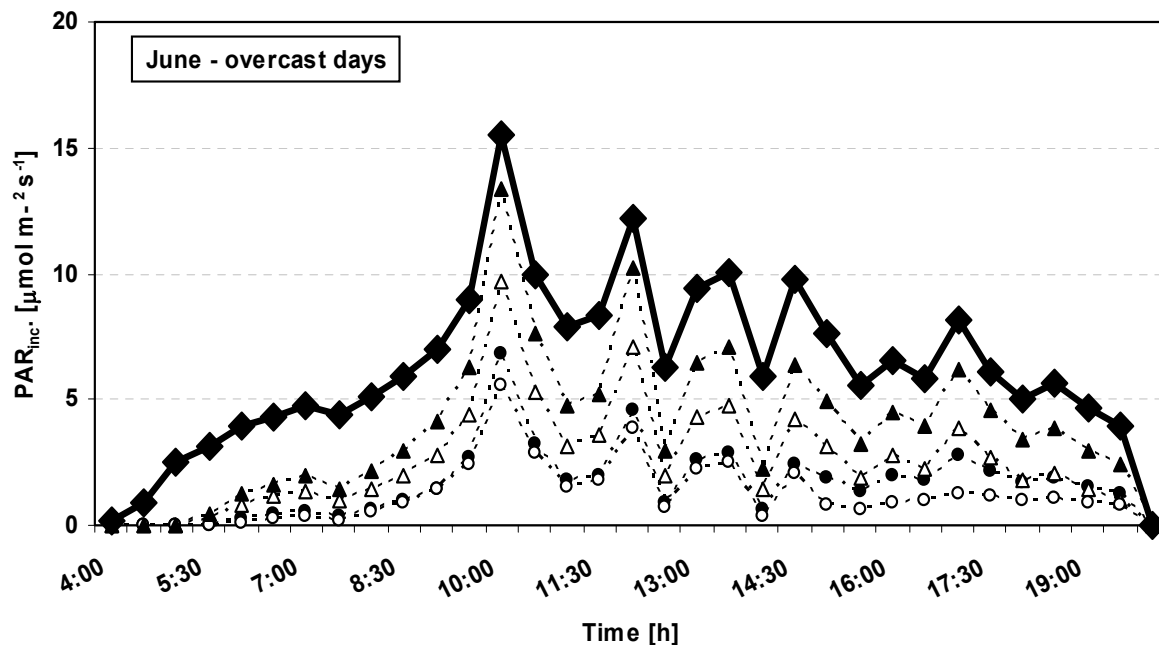
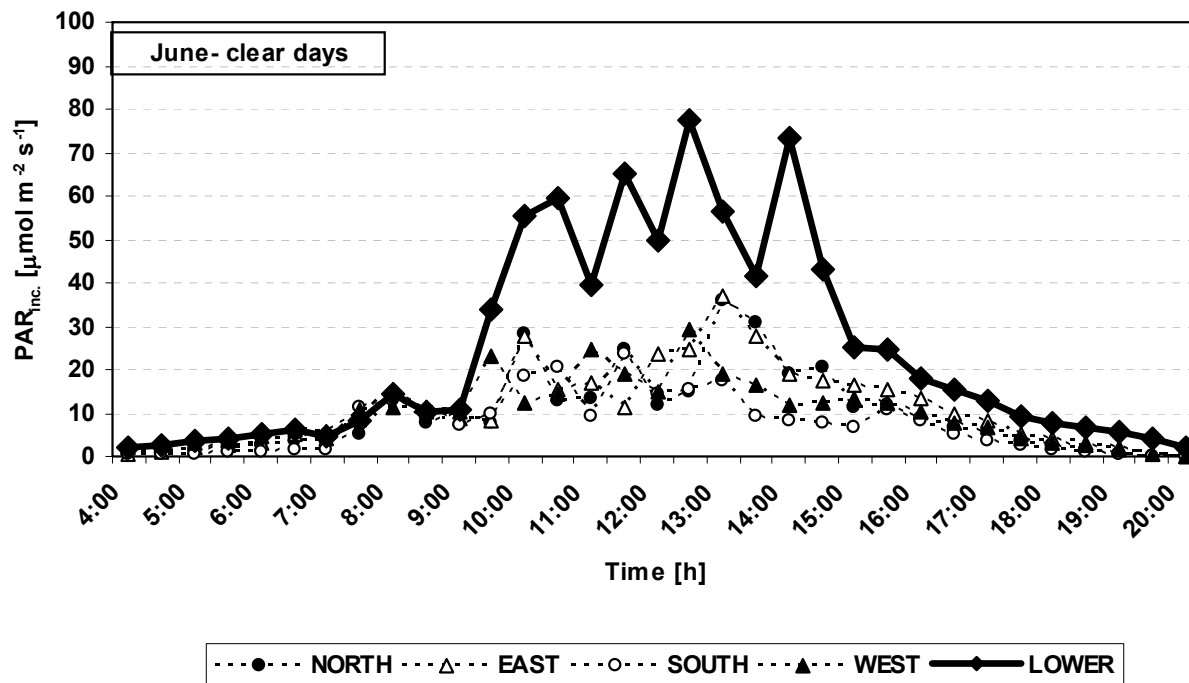
*optical cable*

*photodiode*



Distribuce PhAR - horní část korunového tělesa za podmínek přímé a difusní radiace

VULHM-OPOČNO 7.4.2006

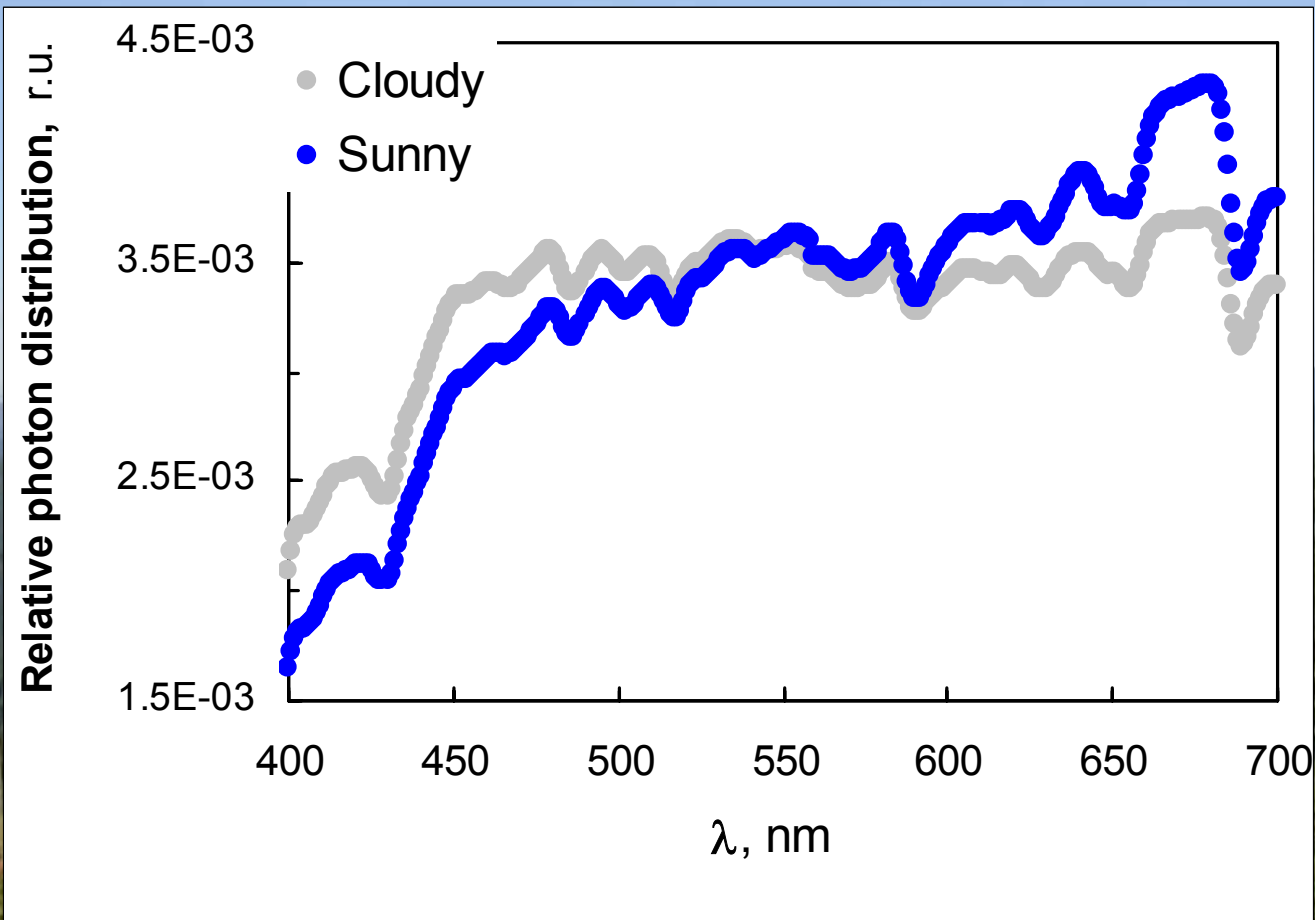


Distribuce PhAR - **spodní**  
část korunového tělesa  
za podmínek přímé  
a difusní radiace

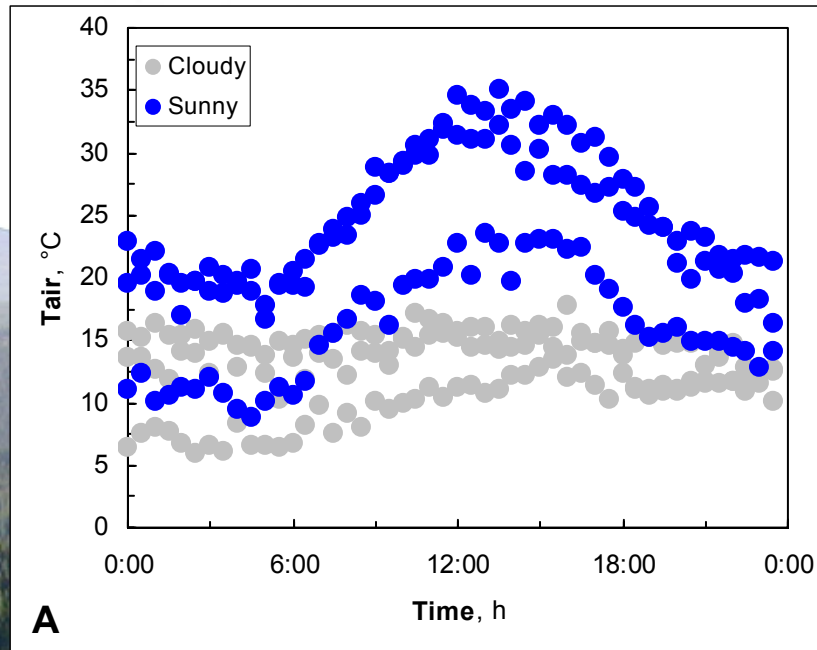
VULHM-OPOČNO 7.4.2006



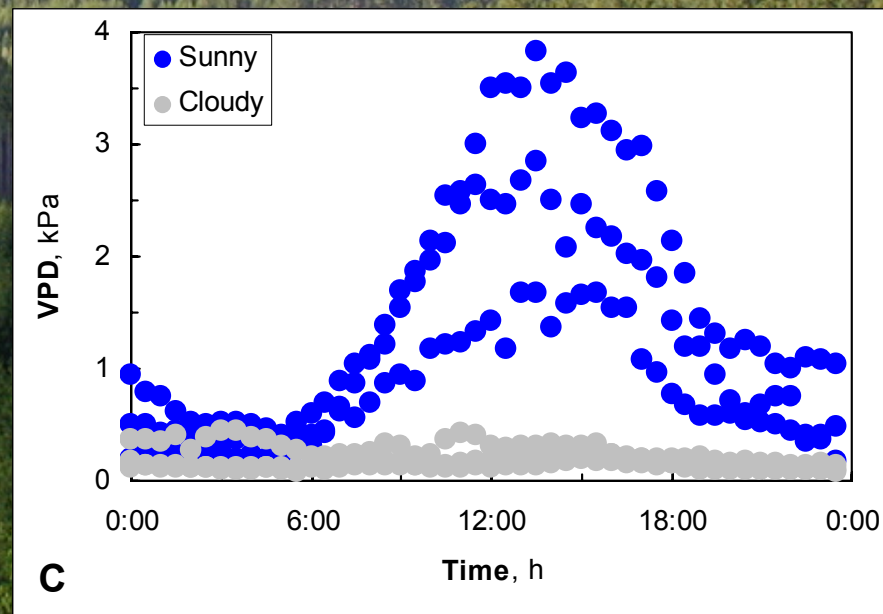
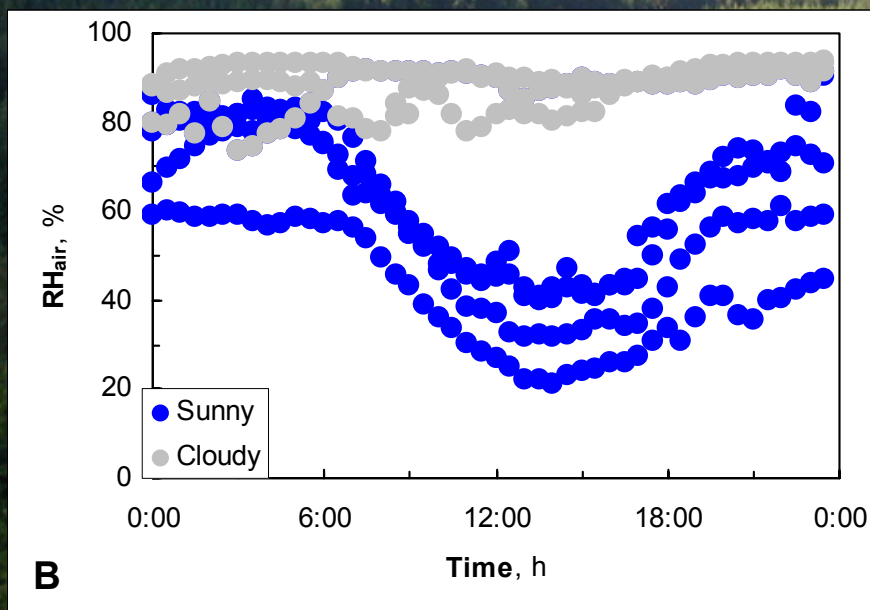
# Distribuce fotonů ve spektru FAR za podmínek přímé a difusní sluneční radiace





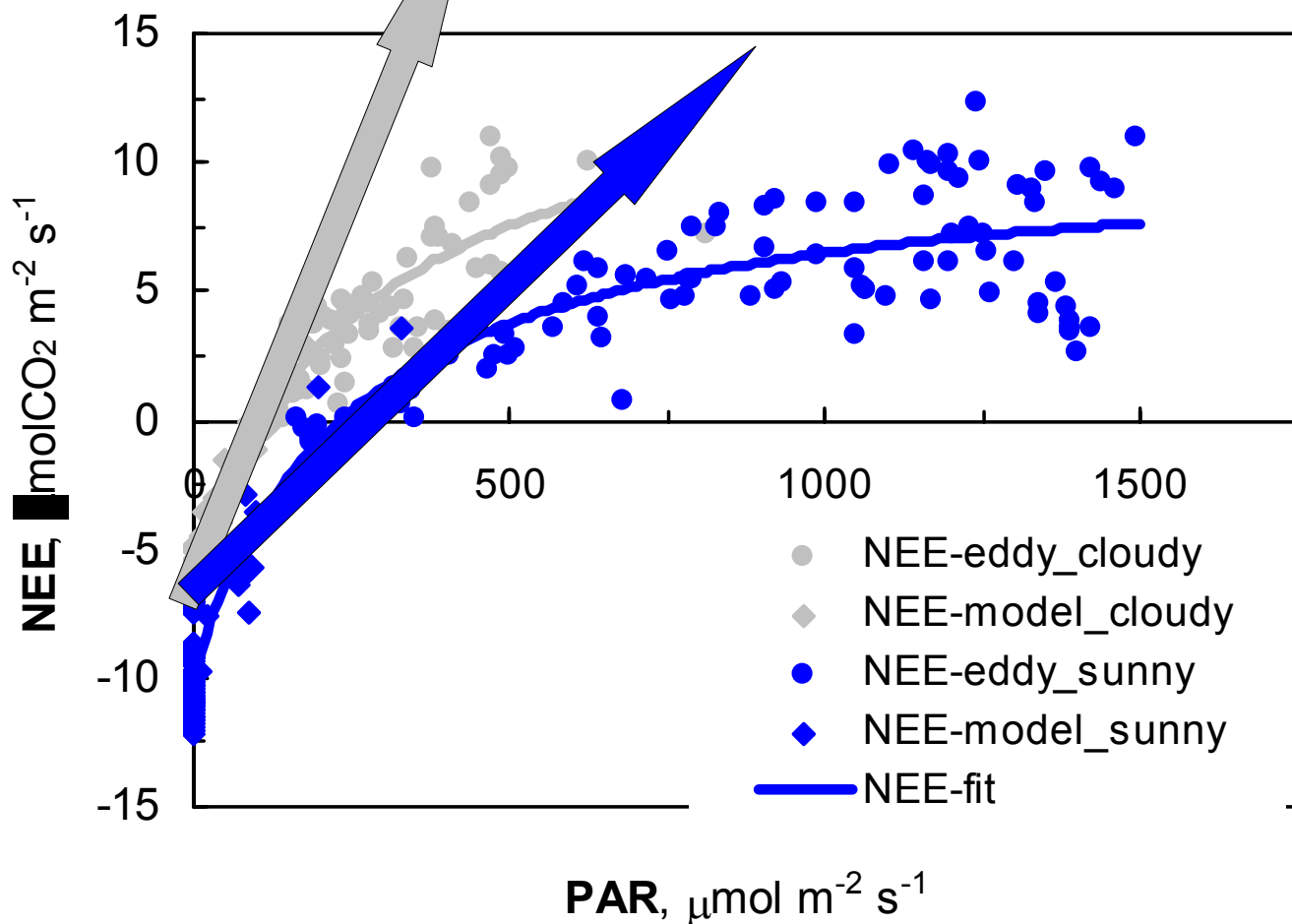


Parametry mikroklima  
za podmínek přímé  
a difusní radiace



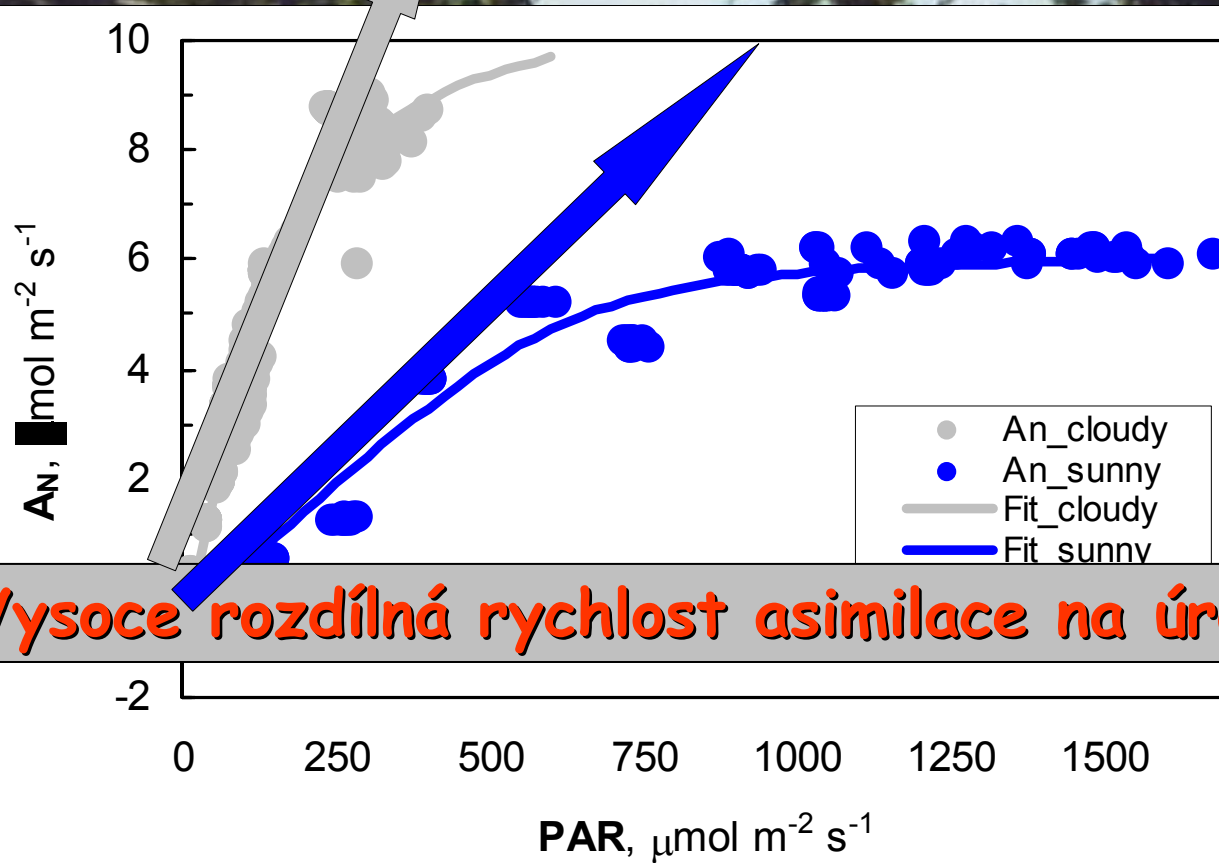


# Toky $\text{CO}_2$ do smrkového prostu za podmínek přímé a difusní sluneční radiace

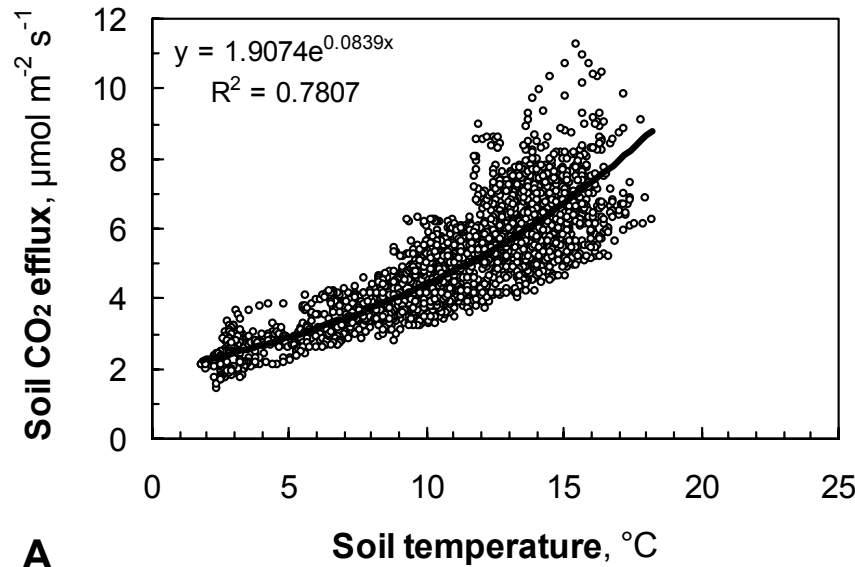




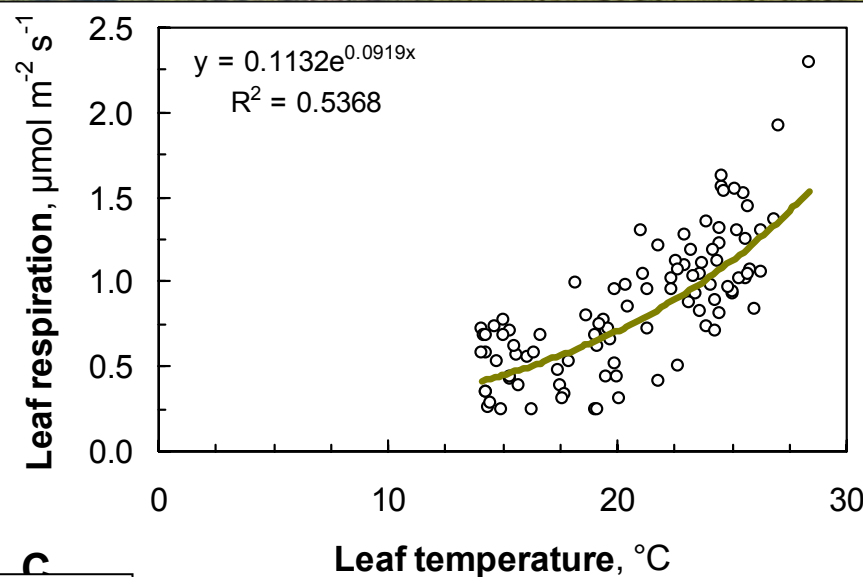
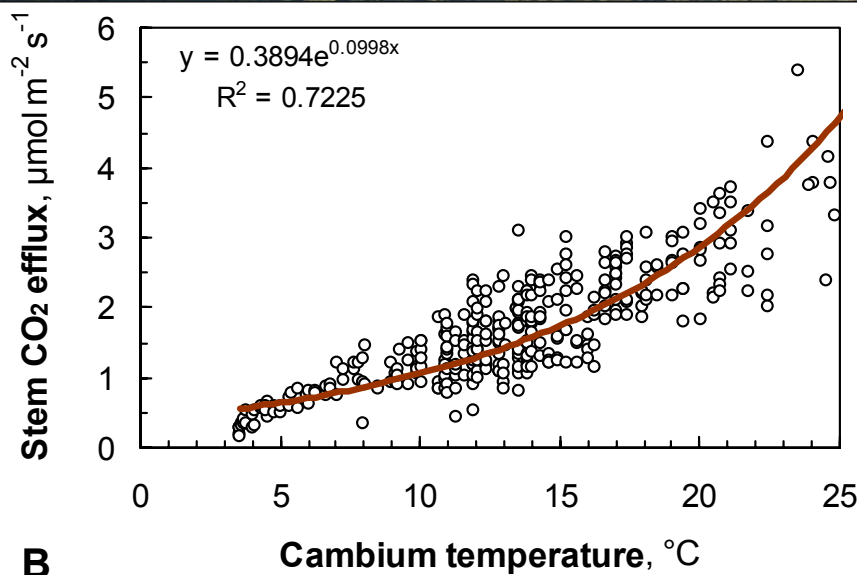
## Příčiny rozdílného NEE za podmínek přímé a difusní sluneční radiace



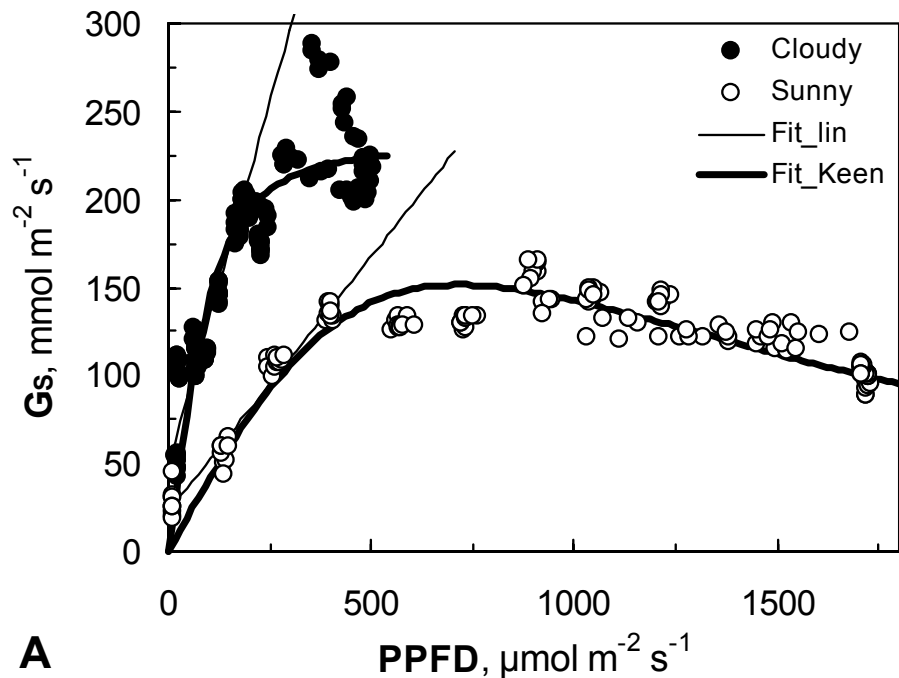
I. Vysoce rozdílná rychlost asimilace na úrovni jehlic



### III. Respirace půdy, kmene a jehlic v závislosti na teplotě



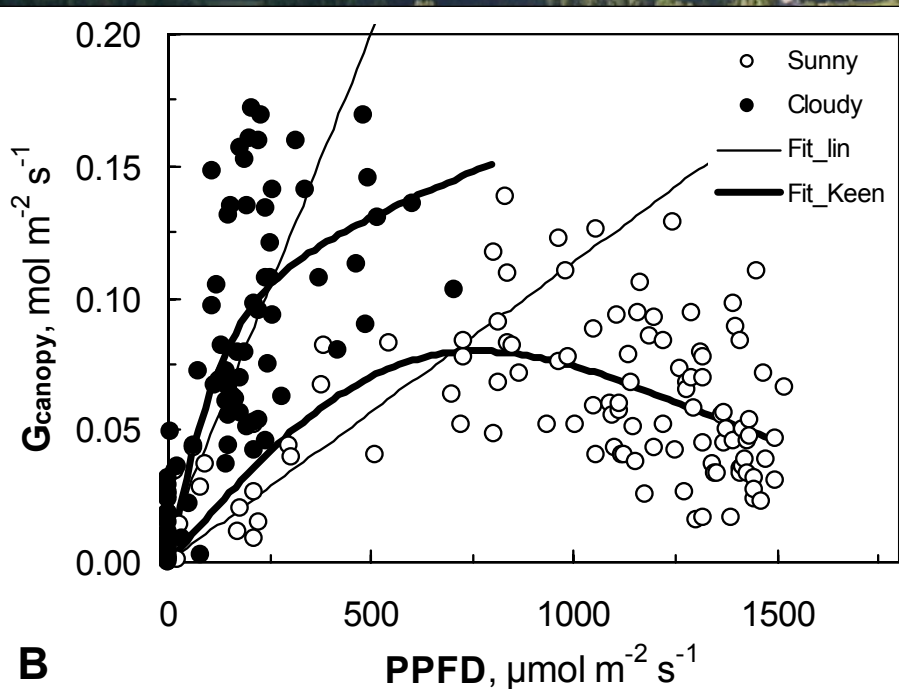
Příčiny rozdílného NEE za podmínek  
přímé a difusní sluneční radiace



A

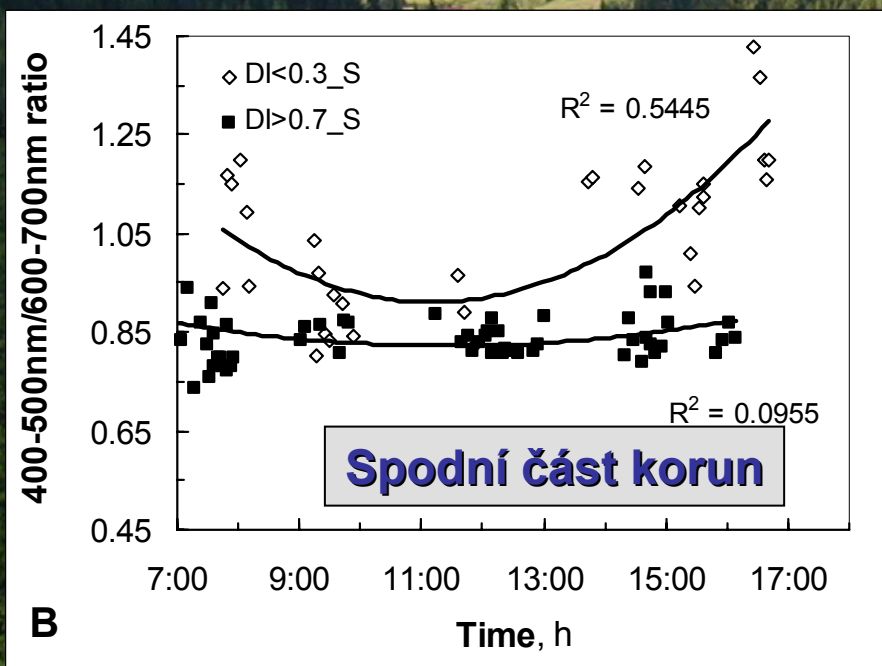
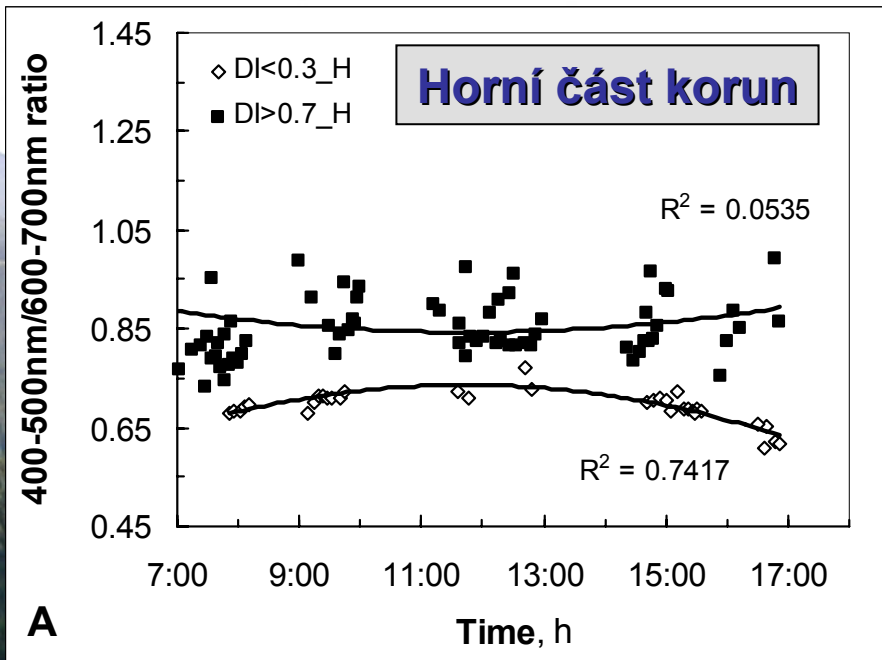
Příčiny rozdílného NEE za podmínek přímé a difusní sluneční radiace

IV. Vodivost průduchů



B

VULHM-OPOČNO 7.4.2006

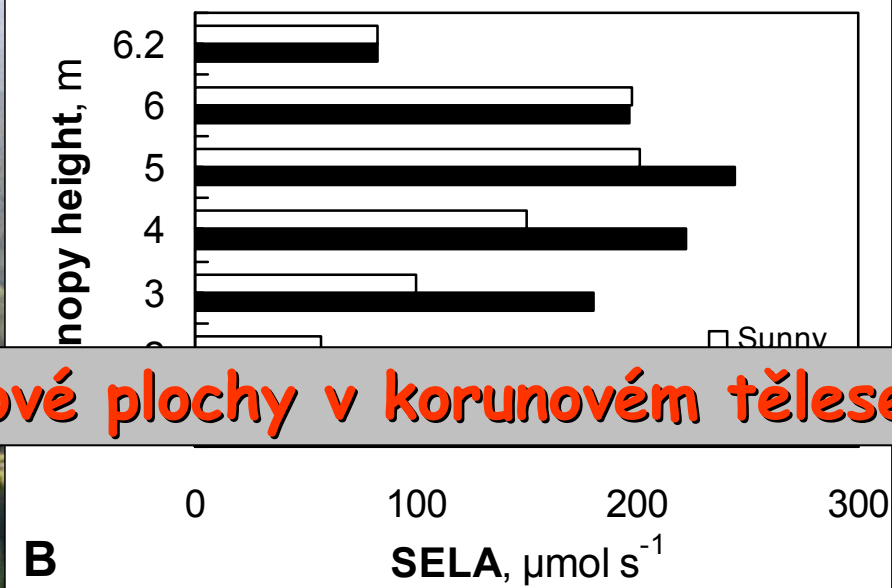
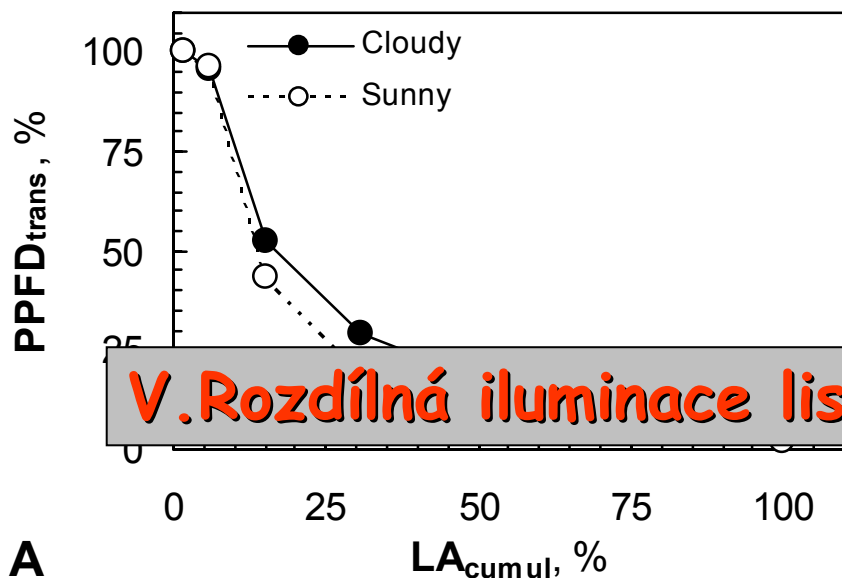


Příčiny rozdílného NEE za podmínek přímé a difusní sluneční radiace

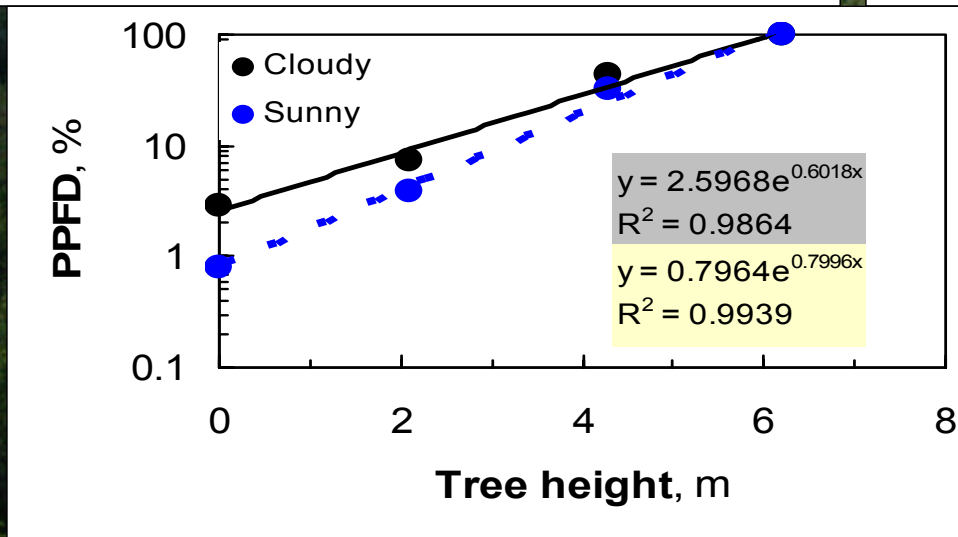
IV. Rozdílný „blue/red radiation“ poměr



# Příčiny rozdílného NEE za podmínek přímé a difusní sluneční radiace



## V. Rozdílná iluminace listové plochy v korunovém tělese



# CO DOKÁŽE SMRKOVÝ LES???

NA 1 ha POROSTU JE ROZLOŽENA PLOCHA 22-ti ha  
JEHLIC TY ZACHYTÍ 99% DOPADLÉ SLUNEČNÍ ENERGIE

EFEKTIVNOST TOHOTO ZÁCHYTU JE ASI 2%  
TO ZMANEMÁ, ŽE ZA ROK HEKTAR LESA ULOŽÍ ENERGI  
ODPOVÍDAJÍ 8 tunám HNĚDÉHO UHLÍ.



# CO DOKÁŽE SMRKOVÝ LES???

1 ha LESA VYPRODUKUJE ZA ROK 10 tun KYSLÍKU  
TEDY 63 STROMU VYRÁBÍ ROČNÍ SPOTŘEBU KYSLÍKU  
PRO JEDNOHO ČLOVÍČKA

1 ha LESA ZACHYTÍ ZA ROK 15 tun CO<sub>2</sub>,  
TOLIK HO VYPRODUKUJE OSOBNÍ AUTO, UJEDE-LI  
60 TISÍC KM

1 ha LESA ODPAŘÍ-PŘEČERPÁ ZA 1 SLUNNÝ DEN  
40 000 LITRŮ VODY, TEDY CHLADÍCÍ VÝKON JEDNOHO  
STROMU JE ROVEN 10-ti LEDNÍČKÁM



**Hyperspektrální  
senzor AISA-EAGLE  
- aplikace pro lesní  
porost**

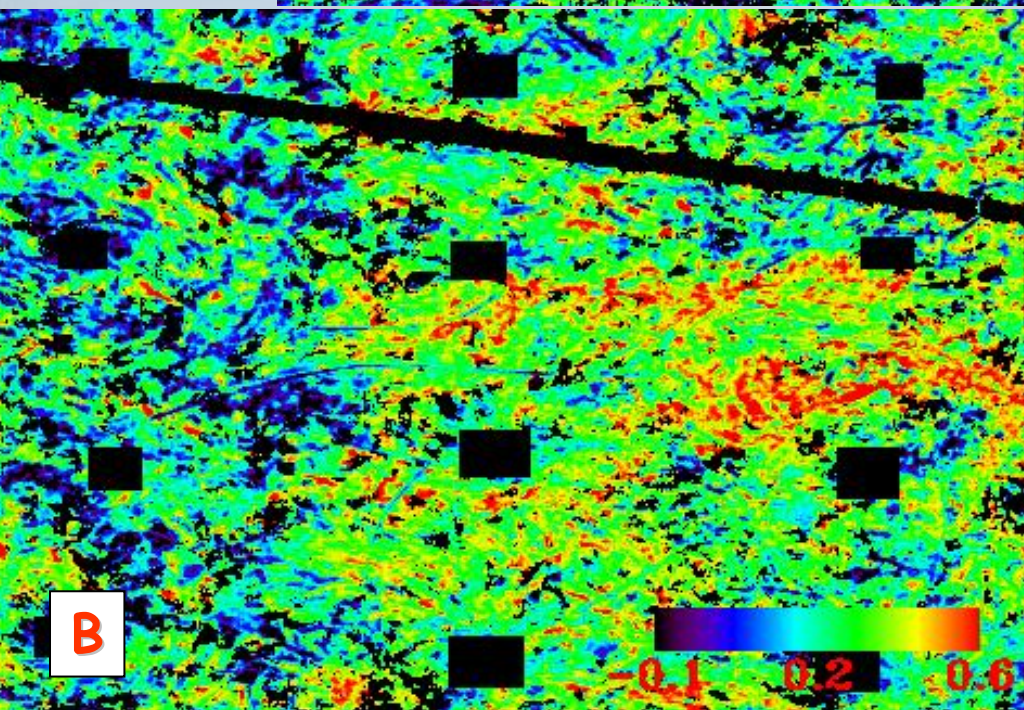
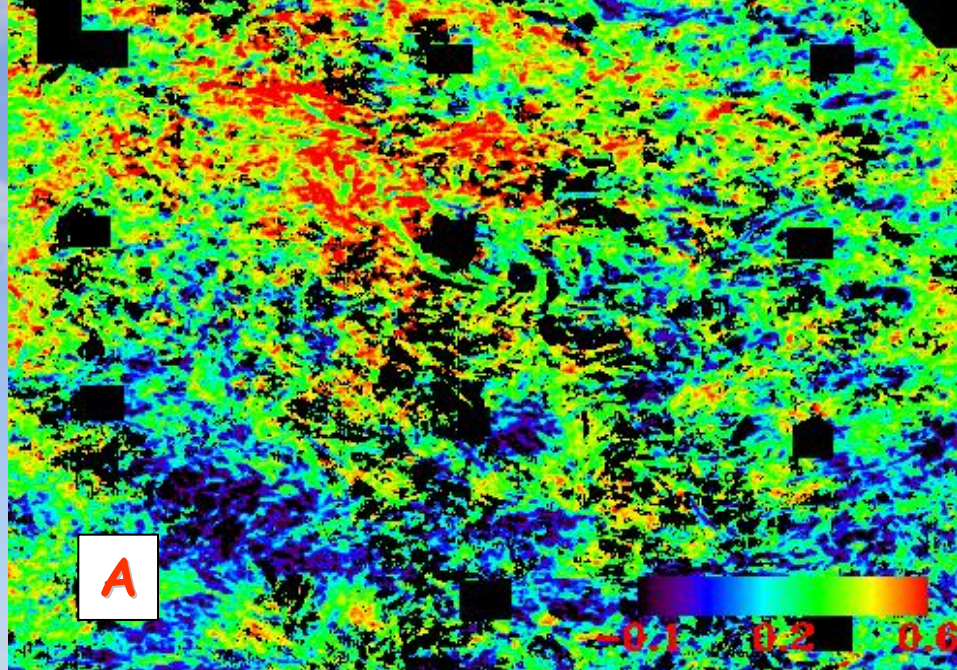
**VULHM-OPOČNO 7.4.2006**



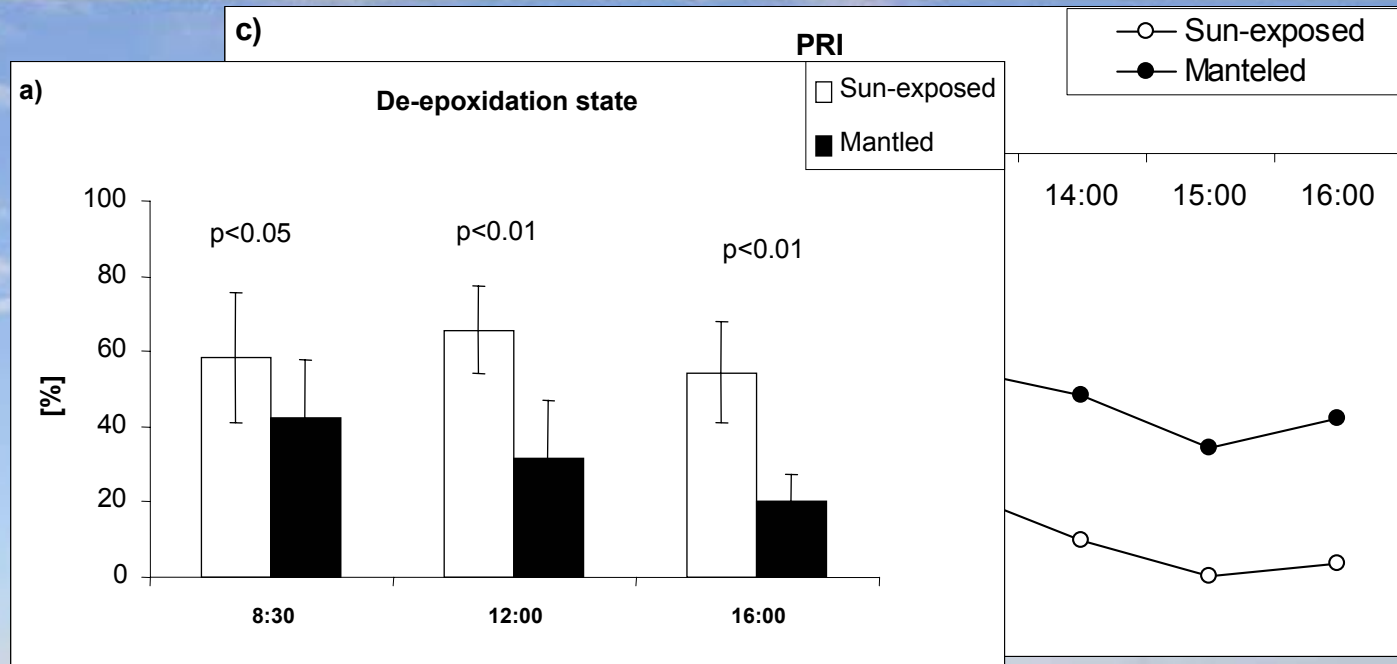
# Hyperspektrální senzor AISA-EAGLE - aplikace pro luční porost



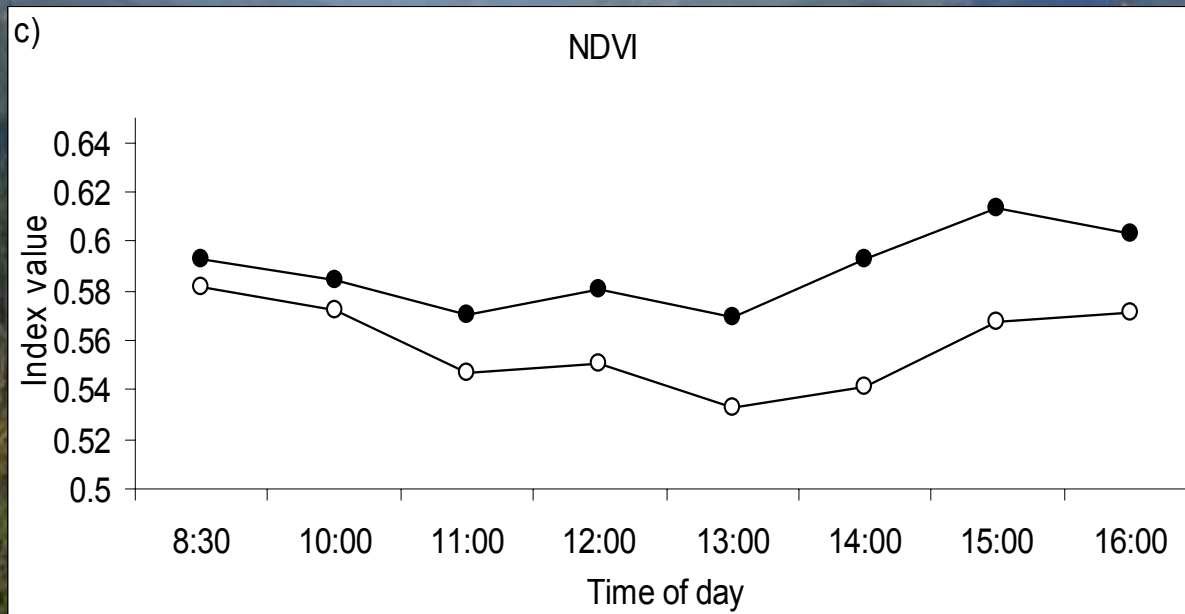
VULHM-OPOČNO 7.4.2006



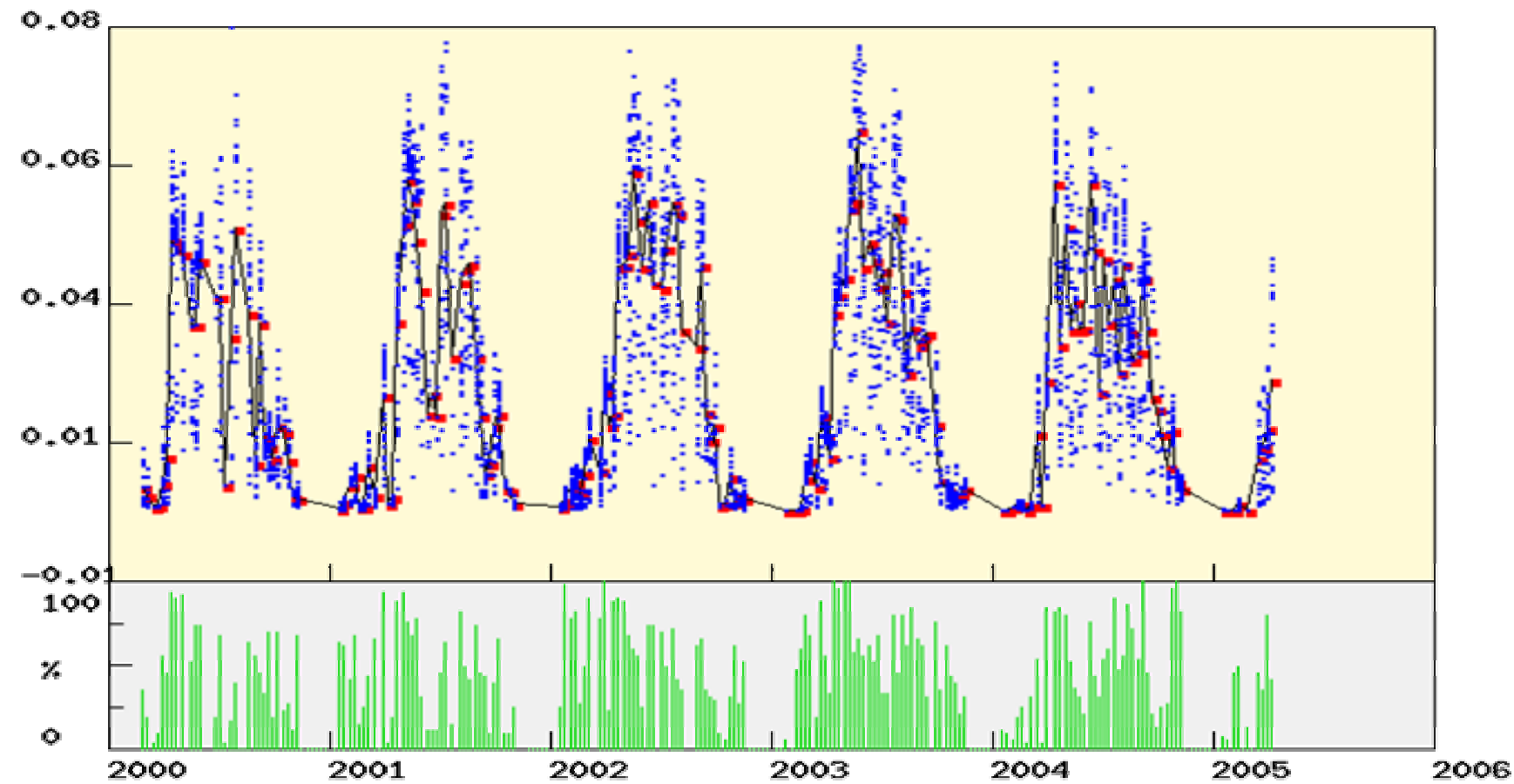
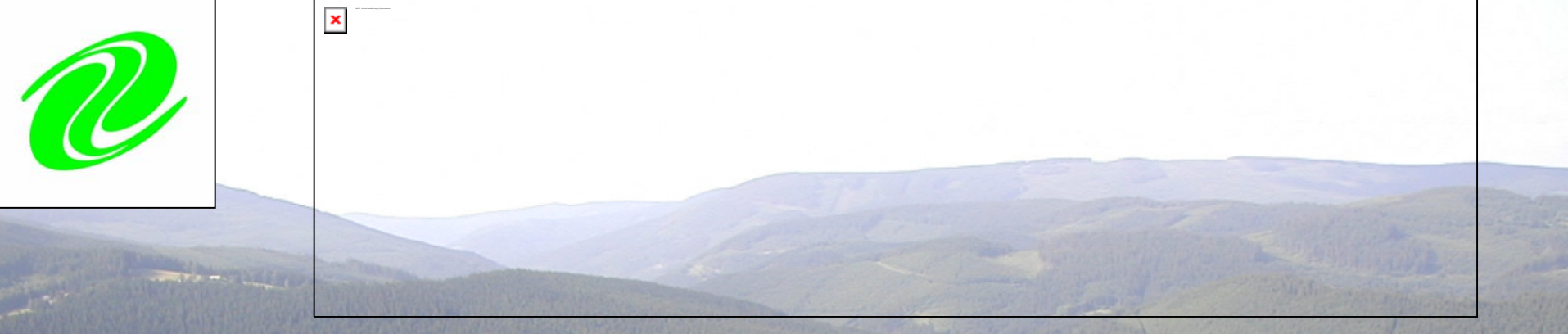
Disribuce hodnoty PRI  
indexu na plose  
odkryte (A) a zastíněné (B)



## Denní chod hodnot PRI a NDVI



VULHM-OPOČNO 7.4.2006



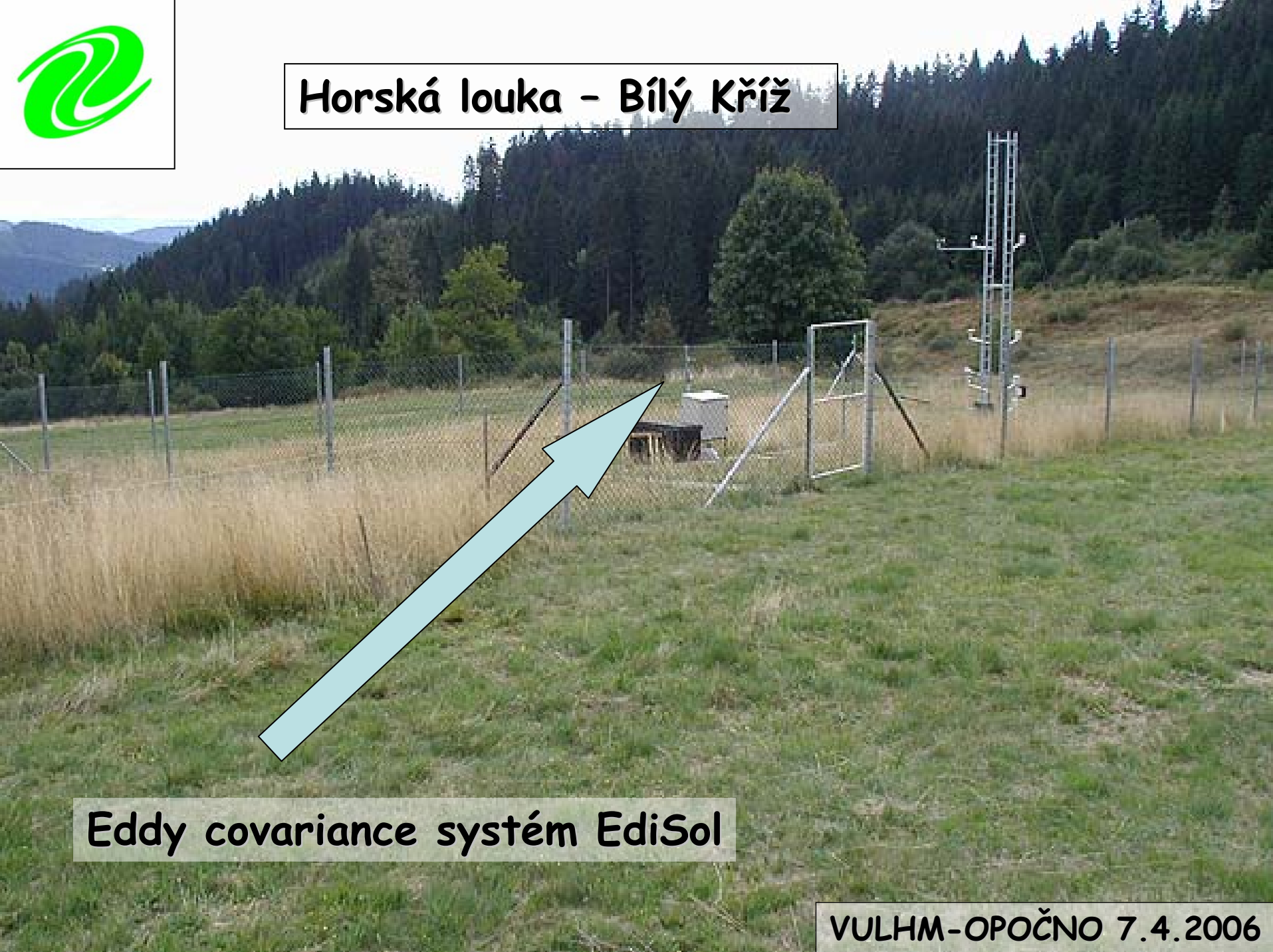


## II. Výzkum toků uhlíku

### VI. Ostatní typy ekosystémů v ČR



## Horská louka - Bílý Kříž



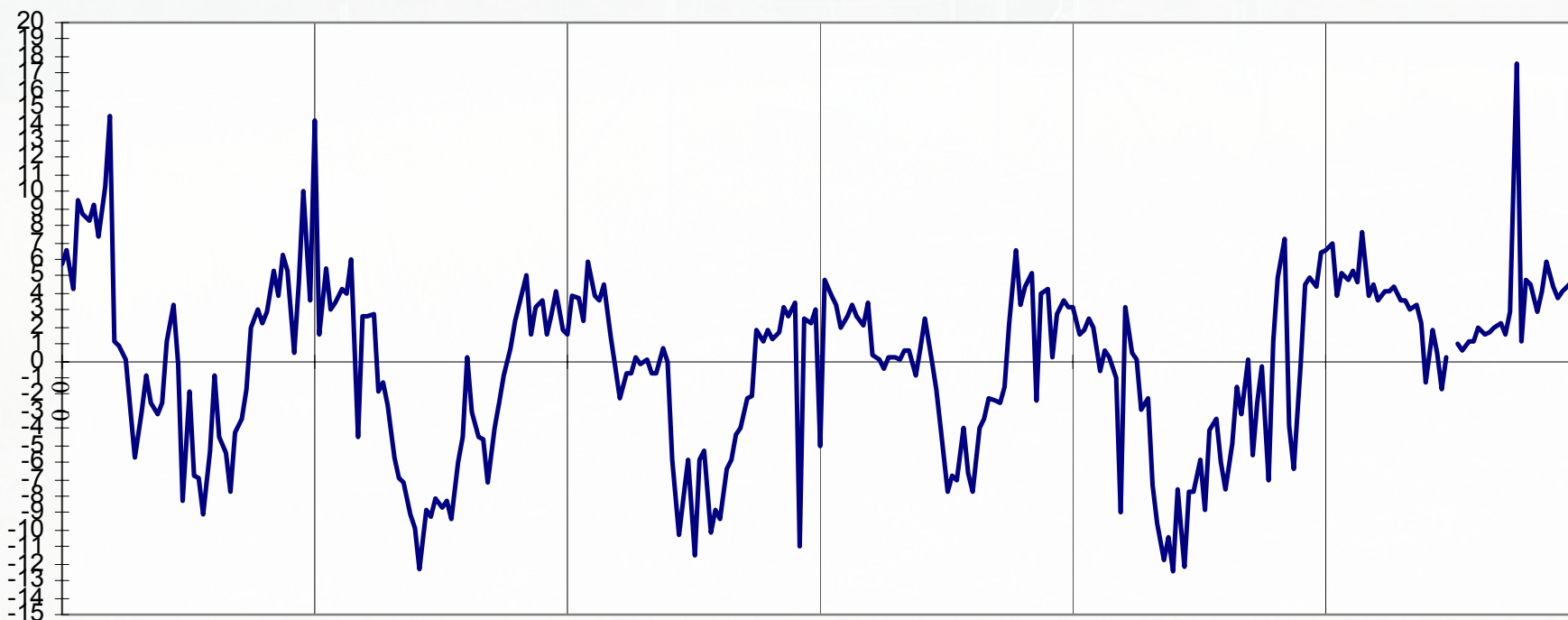
Eddy covariance systém EdiSol

VULHM-OPOČNO 7.4.2006

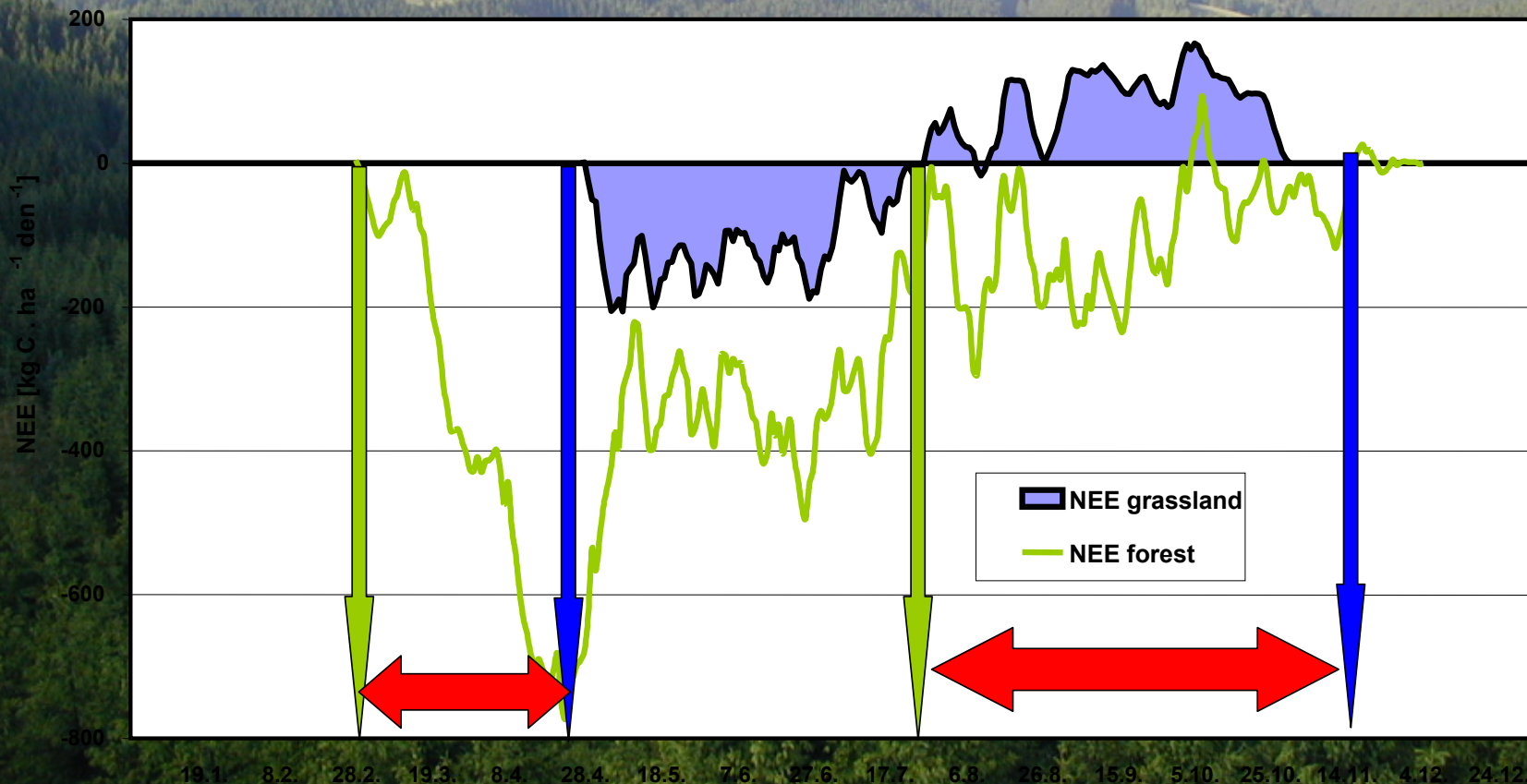




# Sezónní chod $\text{CO}_2$ toků horská louka Bílý Kříž



# Srovnání sezónních chodů NEE smrkového horského porostu a horské louky- Bílý Kříž 2004





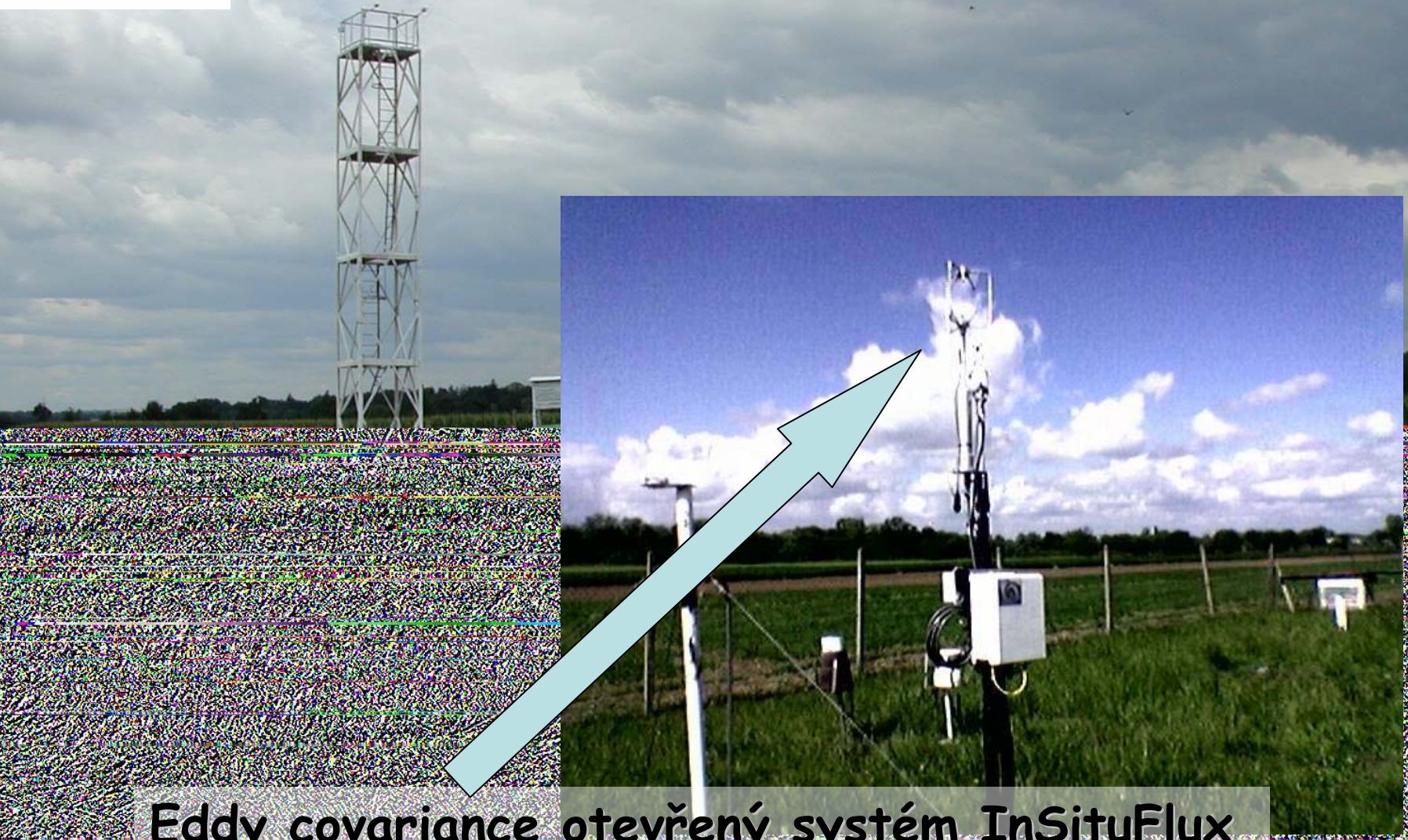
## Ekosystém mokřadů Mokrý louky Třeboň



Eddy covariance otevřený system InSituFlux

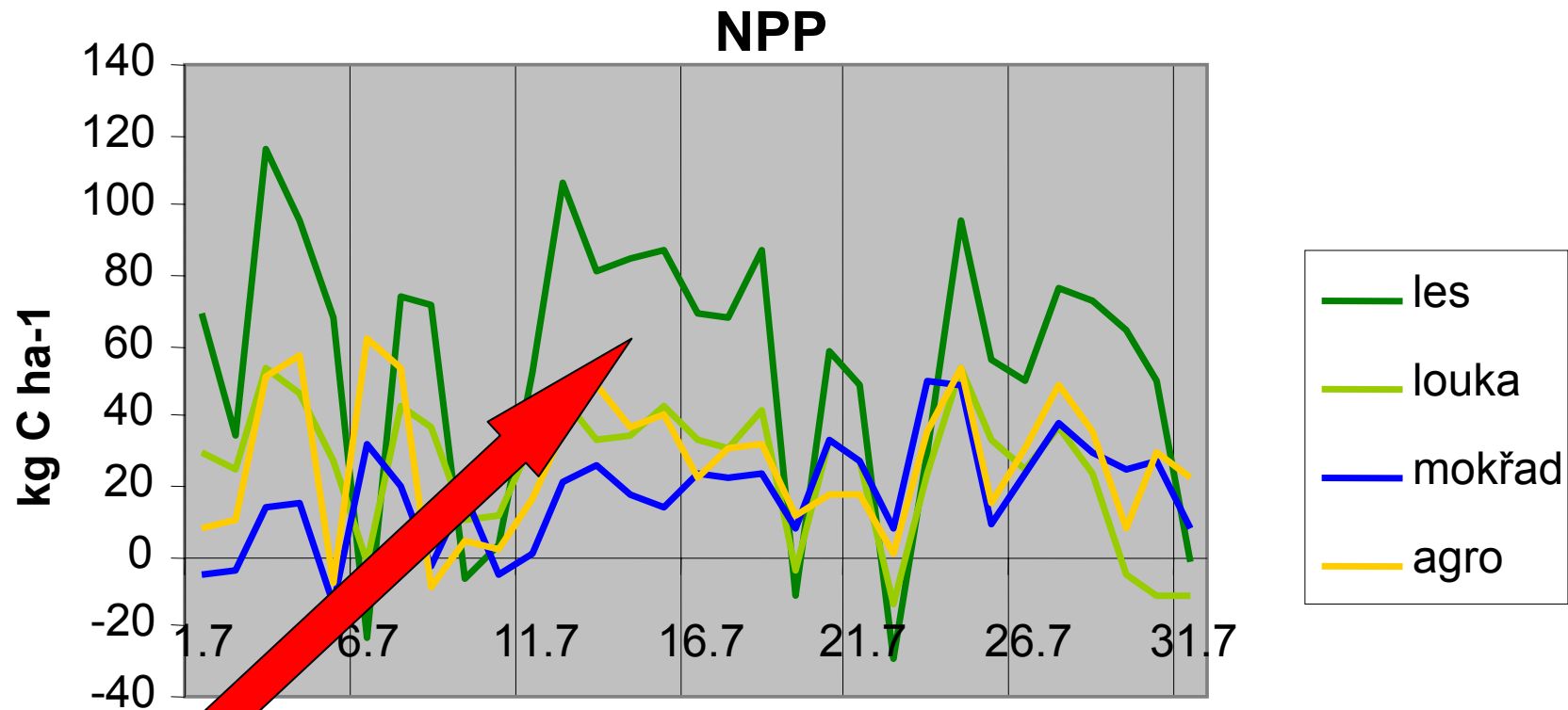


# Agrosystém Žabčice



Eddy covariance otevřený systém InSituFlux

# Primární produkce jednotlivých typů ekosystémů České republiky

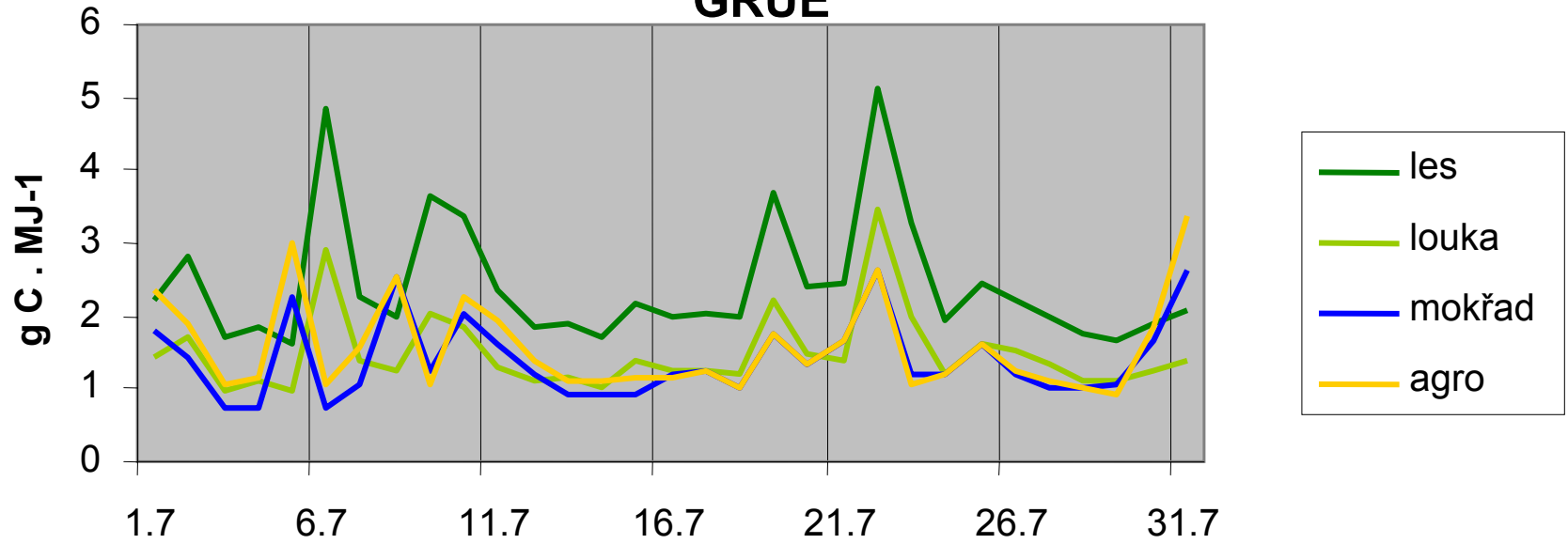




# Efektivita využití sluneční radiace v zachyceném uhlíku

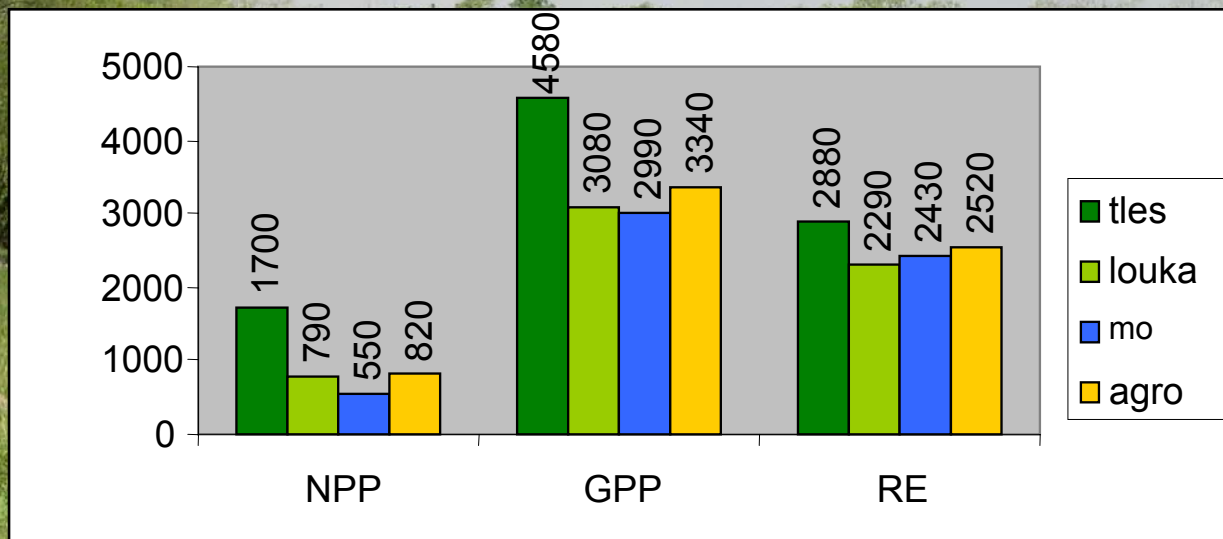


GRUE





## Suma zachyceného C v daném typu ekosystémů - červenec 2005



## Průměrná efektivita využití sluneční radiace

