

## Radiační režim smrkového porostu lokality Bílý Kříž, Moravskoslezské Beskydy

Janouš Dalibor, Marková Irena

### ÚVOD

Energie slunečního záření dopadajícího na zemský povrch je podstatou existence všeho živého na Zemi. Sluneční radiace je řídicí složkou mikroklimatu stanovišť primárních producentů. Proto nedílnou součástí přístupů ekologické fyziologie ke zkoumání ekosystémů je podrobné poznání radiačních podmínek dané lokality a radiačního režimu v daném ekosystému.

Popis radiačních podmínek na lokalitě a radiačního režimu studovaného lesního porostu je také součástí ekofyziologických výzkumů smrkového porostu na ekologickém experimentálním pracovišti (EEP) Bílý Kříž, Moravskoslezské Beskydy. Ekofyziologický výzkum na uvedeném pracovišti probíhá již déle jak 15 let a sluneční radiace se postupně stala předmětem velice komplexních a detailních poznávacích postupů. Shrnující informaci o dosažených výsledcích na EEP Bílý Kříž uvádí tato prezentace jako podklad pro řešení projektu dotovaného GAČR „Transformace sluneční energie – prostředek bioakumulace atmosférického uhlíku“.

### METODA

Součástí ekofyziologických výzkumů smrkového porostu na ekologickém experimentálním pracovišti Bílý Kříž (Moravskoslezské Beskydy) je také popis radiačních podmínek na této lokalitě a popis radiačního režimu studovaného porostu. Uvedená lokalita se nachází v nadmořské výšce 908 m, její zeměpisné souřadnice jsou 18° 30' V, 49° 30' S, průměrná roční teplota vzduchu 4.9° C, průměrná roční relativní

vlhkost vzduchu 80% a průměrný roční úhrn srážek 1100 mm. Studovaný smrkový porost roste na svahu (sklon svahu 13.5°) JJV orientace a byl založen umělou výsadbou čtyřletých sazenic smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) v roce 1981. Měření vybraných radiačních charakteristik je prováděno pouze během vegetační sezóny květen – říjen.

#### 1) Radiační podmínky na studované lokalitě

K popisu radiačních podmínek na studované lokalitě byly použity následující radiační charakteristiky:

- a) suma dopadající globální radiace,
- b) „clearness index“ (podíl mezi globální radiací dopadající na studovanou lokalitu a sluneční radiací dopadající na horní hranici atmosféry na 50° severní zeměpisné šířky),
- c) „difúzní index“ (podíl mezi difúzní složkou globální radiace a globální radiací dopadající na studovanou lokalitu),
- d) konverzní faktor FAR (podíl mezi fotosynteticky aktivní radiací a globální radiací dopadající na studovanou lokalitu).

Hustota toku dopadající globální radiace byla měřena pyranometrem Kipp-Zonen CM6 (fa Delft, Holandsko) a hustota toku dopadající difúzní složky globální radiace byla měřena pyranometrem Kipp-Zonen CM5 (fa Delft, Holandsko) opatřeným stínítkem. Hustota toku dopadající fotosynteticky aktivní radiace byla měřena kvantovým čidlem LI-190S (fa LI-COR, USA). Hodnoty těchto parametrů byly zaznamenávány každých 30 sekund a automatické měřící ústředny (Delta-T, Velká

Británie) ukládaly 10 minutové průměry těchto záznamů. Hodnoty sluneční radiace dopadající na horní hranici atmosféry na 50° severní zeměpisné šířky byly převzaty od VANÍČKA (1994). Radiační charakteristiky a), b) a d) byly hodnoceny na základě desetiletých měření (1991-2000), radiační charakteristika c) byla hodnocena na základě měření v letech 2000-2002.

## **2) Radiační režim studovaného smrkového porostu**

K popisu radiačního režimu studovaného smrkového porostu byly použity následující radiační charakteristiky:

- a) transmitance smrkového porostu pro fotosynteticky aktivní radiaci (podíl mezi FAR pronikající pod korunovou vrstvou porostu a FAR dopadající na korunovou vrstvu porostu),
- b) reflektance smrkového porostu pro fotosynteticky aktivní radiaci (podíl mezi FAR odraženou korunovou vrstvou porostu a FAR dopadající na korunovou vrstvu porostu),
- c) absorbance smrkového porostu pro fotosynteticky aktivní radiaci (rozdíl mezi FAR dopadající na korunovou vrstvu porostu, FAR odraženou korunovou vrstvou porostu a FAR pronikající pod korunovou vrstvu porostu),
- d) radiační bilance smrkového porostu (algebraický součet krátkovlnné a dlouhovlnné radiace = krátkovlnná radiace dopadající na porost + krátkovlnná radiace odražená porostem + dlouhovlnná radiace dopadající na porost + dlouhovlnná radiace vyzářená a odražená porostem).

FAR dopadající na korunovou vrstvu porostu byla měřena jedním kvantovým čidlem umístěným na meteorologické věži ve výšce 12 m nad zemí, FAR odražená korunovou vrstvou porostu byla měřena 5 kvantovými čidly umístěnými na meteorologické věži ve výšce 1 m nad korunovou vrstvou a FAR pronikající pod korunovou vrstvou byla měřena 25

kvantovými čidly (vzdálenost mezi čidly 40 cm) umístěnými na ceptometrech, které byly umístěny pod korunovou vrstvou ve výšce 0.5 m nad zemí. Základem kvantových čidel byly fotodiody BPW 21 (fa Siemens, SRN). Čidla byla kalibrována podle kvantového čidla LI-190S (fa LI-COR, USA). Hodnoty dopadající, odražené a pronikající fotosynteticky aktivní radiace byly zaznamenávány ve světelné části dne každých 30 sekund a automatické měřicí ústředny (fa Delta-T, Velká Británie) ukládaly 30 minutové průměry těchto záznamů.

Radiační bilance smrkového porostu byla měřena bilancoměrem Kipp-Zonen CNR1 (fa Delft, Holandsko), který byl umístěn na meteorologické věži ve výšce 15 m nad zemí. Bilancoměr tvoří čtyři samostatná čidla – čidlo pro měření dopadající krátkovlnné (globální) radiace dopadající na korunovou vrstvu porostu (CMup), čidlo pro měření krátkovlnné (globální) radiace odražené korunovou vrstvou porostu (CMdown), čidlo pro měření dlouhovlnné radiace dopadající na korunovou vrstvu porostu (CGup) a čidlo pro měření dlouhovlnné radiace vyzářené a odražené korunovou vrstvou porostu (CGdown). Pokud jsou uvedena čidla zapojena samostatně, je možné měřit uvedené charakteristiky také samostatně a radiační bilance porostu (NR) se potom počítá podle vztahu:

$$NR = CMup + CMdown + CGup + CGdown.$$

Bilancoměry zaznamenávaly výše uvedené charakteristiky každých 30 sekund a automatické měřicí ústředny (fa Delta-T, Velká Británie) ukládaly 30 minutové průměry těchto záznamů.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### 1) Radiační podmínky na studované lokalitě

#### a) suma dopadající globální radiace

Pro hodnocení radiačních podmínek na lokalitě Bílý Kříž byly využity denní sumy dopadající globální radiace. Analýza denních sum globální radiace stanovených pro období 1991-2000 ukázala, že existují rozdíly v denních sumách v jednotlivých letech (Tab. 1).

Sezónní chod denních sum dopadající globální radiace odpovídal sezónním změnám elevačního úhlu Slunce. Maximální denní sumy globální radiace ( $> 29.0 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) byly zjištěny v květnu, červnu a červenci (ale ne ve všech studovaných letech), minimální ( $< 1.5 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) byly přirozeně zjištěny v říjnu.

Také sezónní chod měsíčních průměrů denních sum globální radiace v celém studovaném období 1991-2000 odpovídal změnám elevačního úhlu Slunce (Obr. 1). Nejstabilnější radiační podmínky byly zjištěny (podle variačního koeficientu) v srpnu, nejméně stabilní v říjnu.

Ale průměrné měsíční sumy globální radiace vypočítané z celého studovaného období 1991-2000 neodpovídaly sezónním změnám elevačního úhlu Slunce (Obr. 2). Obdobné výsledky zjistil VANÍČEK (1994), který uvádí, že ve vyšších polohách ( $> 600 \text{ m n.m.}$ ) se uplatňuje orograficky zvýšený vliv oblačnosti v letním období.

Průměrná denní suma dopadající globální radiace vypočítaná ze všech stanovených denních sum celého vegetačního období (květen – říjen) studovaného období 1991-2000 byla  $13.49 \pm 7.50 \text{ MJ.m}^{-2}$ , průměrná měsíční suma byla  $414 \pm 125 \text{ MJ.m}^{-2}$  a průměrná sezónní suma (květen – říjen) byla  $2483 \pm 141 \text{ MJ.m}^{-2}$ .

#### b) „clearness index“

Hodnoty „clearness“ indexu pro jednotlivé dny vegetační sezóny (květen – říjen) (Obr. 4) byly vypočítány z denních

sum dopadající globální radiace vypočítaných ze všech hodnot celého studovaného období 1991-2000 a denních sum sluneční radiace dopadající na horní hranici atmosféry na  $50^\circ$  severní zeměpisné šířky (Obr. 3). Průměrná hodnota „clearness“ indexu byla v jednotlivých měsících vegetační sezóny následující:  $0.41 \pm 0.06$  v květnu,  $0.41 \pm 0.06$  v červnu,  $0.42 \pm 0.05$  v červenci,  $0.45 \pm 0.06$  v srpnu,  $0.40 \pm 0.06$  v září a  $0.35 \pm 0.06$  v říjnu. Průměrná hodnota „clearness“ indexu pro celou vegetační sezónu byla  $0.41 \pm 0.07$ . KREČMER (1980) obecně uvádí, že na zemský povrch dopadá  $0.43$  sluneční radiace dopadající na horní hranici atmosféry.

#### c) „difúzní index“

Difúzní index vyjadřuje fyzikální stav atmosféry z hlediska její propustnosti a rozptylu vůči globální radiaci. Jeho hodnoty se mění v závislosti na výšce Slunce nad obzorem, na oblačnosti a znečištění atmosféry. Hodnoty difúzního indexu pro jednotlivé dny vegetační sezóny (květen – říjen) (Obr. 5) byly vypočítány z denních sum dopadající globální radiace a denních sum dopadající difúzní složky globální radiace vypočítaných ze všech hodnot studovaného období 2000-2003. Průměrná hodnota difúzního indexu byla v jednotlivých měsících vegetační sezóny následující:  $0.43 \pm 0.12$  v květnu,  $0.49 \pm 0.13$  v červnu,  $0.55 \pm 0.13$  v červenci,  $0.47 \pm 0.13$  v srpnu,  $0.66 \pm 0.22$  v září a  $0.63 \pm 0.17$  v říjnu. Průměrná hodnota difúzního indexu pro celou vegetační sezónu byla  $0.54 \pm 0.18$ . Podle hodnot difúzního indexu mohou být vymezeny jasné dny (hodnota difúzního indexu  $< 0.3$ ) a zatažené dny (hodnota difúzního indexu  $> 0.7$ ). Analýza všech hodnot difúzního indexu ve vegetačním období květen – říjen ukázala, že ve sledovaném období 2000-2002 bylo 90 jasných dní (tj. 16% všech analyzovaných hodnot) a 228 zatažených dní (tj. 41% všech analyzovaných hodnot). Přitom v roce 2000 bylo 39 jasných a 71 zatažených dní, v roce

2001 33 jasných a 80 zatažených dní a v roce 2002 18 jasných a 77 zatažených dní.

#### d) konverzní faktor FAR

Analýza hodnot konverzního faktoru FAR (podíl dopadající FAR v dopadající globální radiaci) ve studovaném období 1991-2000 ukázala, že se tyto hodnoty snižují ve všech měsících vegetační sezóny (květen – říjen) se zvyšujícími se hodnotami dopadající globální radiace v intervalu 0-800 W.m<sup>-2</sup> (Tab. 2). Pokles hodnot konverzního faktoru FAR byl největší při hustotě toku dopadající globální radiace v intervalu 0-200 W.m<sup>-2</sup>. Mírný nárůst hodnot konverzního faktoru FAR byl zaznamenán při hustotě toku dopadající globální radiace > 800 W.m<sup>-2</sup>.

Průměrné hodnoty konverzního faktoru FAR byly pro jednotlivé třídy dopadající globální radiace v intervalu 51.2 – 44.3% (Obr. 6).

Průměrné měsíční hodnoty konverzního faktoru FAR a jejich směrodatné odchylky vypočítané ze všech hodnot celého studovaného období 1991-2000 byly pro jednotlivé měsíce vegetační sezóny následující: 47.8 ± 5.2% v květnu, 47.0 ± 5.4% v červnu, 47.0 ± 4.4% v červenci, 46.4 ± 4.7% v srpnu, 46.5 ± 5.1% v září a 48.1 ± 6.0% v říjnu. Průměrná hodnota konverzního faktoru FAR pro celou vegetační sezónu (květen – říjen) vypočítaná ze všech hodnot studovaného období 1991-2000 byla 47.1 ± 5.1%. ROSS (1975) uvádí průměrnou denní hodnotu PAR konverzního faktoru 48.0%, SZEICZ (1974) 50.0%, BLACKBURN a PROCTOR (1983) 47.0%.

## 2) **Radiační režim studovaného smrkového porostu**

#### a) transmitance, reflektance a absorbance

Hodnoty transmitance, reflektance a absorbance FAR celé korunové vrstvy studovaného smrkového porostu se měnily jak v průběhu vegetační sezóny (květen – říjen), tak během sledovaného období 1999-

2002 (Obr. 7). Transmitance celé korunové vrstvy během sledovaného období klesala. Její průměrné hodnoty vypočítané pro celou vegetační sezónu byly v jednotlivých letech následující: 0.05 ± 0.03 v roce 1999, 0.02 ± 0.004 v roce 2000, 0.02 ± 0.004 v roce 2001 a 0.01 ± 0.004 v roce 2002. Obdobné závěry uvádějí také CELNIKER (1978) – pro hustý smrkový porost uvádí 0.01, JOHANSSON (1987) – pro hustý smrkový porost 0.01-0.03 a LARCHER (1980) – pro hustý jehličnatý porost 0.01. Celková suma FAR pronikající pod korunovou vrstvou porostu během vegetační sezóny byla potom v jednotlivých letech (Obr. 8): 44.92 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 1999, 23.06 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2000, 17.47 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2001 a 14.77 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2002. Změny transmitance mohly být způsobeny jednak změnami v LAI během sledovaného období, jednak změnami v množství FAR dopadající na porost. Vliv LAI na transmitanci FAR uvádějí např. JOHANSSON (1987), VOSE a kol. (1995), HASSIKA a BERBIGIER (1998); vliv hustoty toku FAR dopadající na porost uvádějí např. VEZINA a PECH (1964), CHEN a kol. (1997), HASSIKA a BERBIGIER (1998). Reflektance celé korunové vrstvy klesla na začátku sledovaného období a poté se udržovala na stejné hodnotě. Její průměrné hodnoty vypočítané pro celou vegetační sezónu byly v jednotlivých letech následující: 0.08 ± 0.05 v roce 1999, 0.03 ± 0.005 v roce 2000, 0.03 ± 0.007 v roce 2001 a 0.03 ± 0.006 v roce 2002. Obdobné závěry uvádějí i TAJCHMAN (1971) – pro smrkový porost uvádí hodnotu 0.05, JARVIS a kol. (1976) – pro smrkový porost 0.07, McCAUGHEY (1978) – pro jehličnaté porosty 0.07. Celková suma FAR odražené korunovou vrstvou porostu během vegetační sezóny byla v jednotlivých letech (Obr. 8): 72.43 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 1999, 40.44 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2000, 31.25 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2001 a 32.41 MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2002. Změny reflektance mohly být opět způsobeny změnami v LAI během sledovaného období, změnami optických vlastností porostu během vegetační sezóny a změnami v množství FAR dopadající na



porost. Absorbance celé korunové vrstvy během sledovaného období stoupala. Její průměrné hodnoty vypočítané pro celou vegetační sezónu byly v jednotlivých letech následující:  $0.87 \pm 0.07$  v roce 1999,  $0.95 \pm 0.007$  v roce 2000,  $0.96 \pm 0.009$  v roce 2001 a  $0.96 \pm 0.008$  v roce 2002. Změny absorbance byly způsobeny hlavně změnami v LAI a změnami struktury porostu (změna podílu stinných a slunných jehlic). Nárůst hodnot absorbance FAR v závislosti na vzrůstajících hodnotách LAI uvádí např. WANG a JARVIS (1990); vliv struktury porostu na změny absorbance uvádí např. OKER-BLOM a KELLOMAKI (1982), GRACE a kol. (1987), . V letech 2000-2002 hodnoty absorbance stoupaly od začátku do konce vegetační sezóny, v roce 1999 byl sezónní chod absorbance netypický. Celková suma FAR absorbované korunovou vrstvou porostu během vegetační sezóny byla v jednotlivých letech (Obr. 8):  $1001.44 \text{ MJ.m}^{-2}$  v roce 1999,  $1107.89 \text{ MJ.m}^{-2}$  v roce 2000,  $980.62 \text{ MJ.m}^{-2}$  v roce 2001 a  $1084.28 \text{ MJ.m}^{-2}$  v roce 2002. Rozdíly, které byly mezi těmito hodnotami zjištěny jsou do značné míry ovlivněny radiačními podmínkami v jednotlivých sledovaných letech (v roce 1991 dopadalo na smrkový porost za celou vegetační sezónu  $1118.79 \text{ MJ.m}^{-2}$ , v roce 2000  $1169.21 \text{ MJ.m}^{-2}$ , v roce 2001 pouze  $1029.34 \text{ MJ.m}^{-2}$  a v roce 2002  $1131.46 \text{ MJ.m}^{-2}$  FAR).

#### b) radiační bilance

Pro srovnání radiační bilance smrkového porostu byly vybrány modelové jasné a zatažené dny ze třech časových období vegetační sezóny (květen – říjen) roku 2001. První časové období představovalo dobu nárůstu a vývoje nových letorostů (nárůst LAI), druhé dobu, kdy byl porost zcela vyvinut (LAI se téměř neměnilo), a třetí časové období představovalo dobu, kdy došlo v důsledku přirozeného prosychání a opadu starších ročníků jehlic ke snížení LAI porostu. Z prvního časového období byly vybrány následující dny 24.05. (jasno) a 28.05. (zataženo), z druhého časového období 15.08. a 25.08. (jasno) a 26.07. a

01.09. (zataženo) a ze třetího časového období 14.10. a 31.10. (jasno) a 08.10. a 28.10. (zataženo).

Příkon globální radiace dopadající na korunovou vrstvu studovaného porostu byl pro vybrané jasné dny typický. Denní chody přítom odpovídaly jak denním, tak ročním změnám elevačního úhlu Slunce (Obr. 9). Jako zatažené byly vybrány ty dny, ve kterých hodnota globální radiace dopadající na porost nepřekročila  $200 \text{ W.m}^{-2}$  (Obr. 12).

Denní chody radiační bilance v jasných dnech odpovídaly ve světelné části dne denním chodům dopadající globální radiace (Obr. 9). Z naměřených hodnot dopadající globální radiace (GR) a vypočítaných hodnot radiační bilance (NR) byl stanoven jejich podíl (NR/GR). Jeho průměrná hodnota vypočítaná ze všech hodnot vybraných jasných dnů byla  $63.1 \pm 18.9 \%$ . Pro jasné dny uvádí TAJCHMAN (1972) pro dospělý smrkový porost hodnotu NR/GR 60-65%, PIVEC a KUČERA (1986) uvádějí hodnotu 70%. Hodnoty NR/GR se lišily ve vybraných časových obdobích vegetační sezóny. V prvním časovém období byl podíl NR/GR  $68.7 \pm 13.8 \%$ , ve druhém  $67.0 \pm 18.9 \%$  a ve třetím časovém období  $53.4 \pm 18.7 \%$ .

Také denní chody radiační bilance v zatažených dnech odpovídaly ve světelné části dne denním chodům dopadající globální radiace (Obr. 10). Podíl NR/GR byl však v těchto dnech podstatně vyšší než ve dnech jasných. Jeho průměrná hodnota vypočítaná ze všech hodnot vybraných zatažených dnů byla  $83.1 \pm 13.0 \%$ . TAJCHMAN (1972) uvádí pro dospělý smrkový porost hodnotu NR/GR 87% v zatažených dnech. V případě zatažených dnů se hodnoty NR/GR příliš nelišily ve vybraných časových obdobích vegetační sezóny ( $83.1 \pm 12.2 \%$  v prvním časovém období,  $83.1 \pm 15.5 \%$  ve druhém a  $83.5 \pm 15.5 \%$  ve třetím časovém období).

Vzhledem k tomu, že měření složek radiační bilance probíhá od roku 2001 během celé vegetační sezóny bylo možné vypočítat také průměrnou hodnotu NR/GR za celou vegetační sezónu obou sledovaných let 2001-2002, která byla  $74.2 \pm 17.7 \%$  (v roce 2001 činila tato hodnota  $74.7 \pm 17.8 \%$  a v roce

2002  $73.5 \pm 17.6$  %). JARVIS a kol. (1975) uvádějí obecně pro jehličnaté porosty hodnotu NR/GR 70-90%.

## ZÁVĚR

Průměrná suma dopadající globální radiace za sezónu ve studovaném období 1991-2000 byla  $2483 \pm 141$  MJ.m<sup>-2</sup>. Průměrná hodnota „clearness“ indexu (poměr dopadající globální radiace na zemský povrch a na horní hranici atmosféry) byla:  $0.41 \pm 0.06$  v květnu,  $0.41 \pm 0.06$  v červnu,  $0.42 \pm 0.05$  v červenci,  $0.45 \pm 0.06$  v srpnu,  $0.40 \pm 0.06$  v září a  $0.35 \pm 0.06$  v říjnu. Průměrná hodnota „clearness“ indexu pro celou vegetační sezónu byla  $0.41 \pm 0.07$ . Průměrné hodnoty konverzního faktoru FAR (poměr dopadající fotosynteticky aktivní radiace a globální radiace) byly pro jednotlivé třídy dopadající globální radiace v intervalu 51.2 – 44.3%. Průměrné hodnoty difúzního indexu (poměr dopadající difúzní složky globální radiace a dopadající globální radiace) byly v období 2000-2003 v jednotlivých měsících vegetační sezóny:  $0.43 \pm 0.12$  v květnu,  $0.49 \pm 0.13$  v červnu,  $0.55 \pm 0.13$  v červenci,  $0.47 \pm 0.13$  v srpnu,  $0.66 \pm 0.22$  v září a  $0.63 \pm 0.17$  v říjnu. Průměrná hodnota difúzního indexu pro celou vegetační sezónu byla  $0.54 \pm 0.18$ . Průměrné hodnoty transmitance celé korunové vrstvy daného smrkového porostu byly v jednotlivých letech období 1999-

2002:  $0.048 \pm 0.025$  v roce 1999,  $0.016 \pm 0.004$  v roce 2000,  $0.016 \pm 0.004$  v roce 2001 a  $0.012 \pm 0.004$  v roce 2002. Celková suma FAR pronikající pod korunovou vrstvou porostu během vegetační sezóny byla potom v jednotlivých letech:  $44.92$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 1999,  $23.06$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2000,  $17.47$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2001 a  $14.77$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2002. Průměrné hodnoty reflektance korunové vrstvy byly v jednotlivých letech následující:  $0.083 \pm 0.005$  v roce 1999,  $0.034 \pm 0.005$  v roce 2000,  $0.029 \pm 0.007$  v roce 2001 a  $0.025 \pm 0.006$  v roce 2002. Absorbance celé korunové vrstvy během sledovaného období tedy stoupala. Celková suma FAR absorbované korunovou vrstvou porostu během vegetační sezóny byla v jednotlivých letech:  $1001$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 1999,  $1108$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2000,  $981$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2001 a  $1084$  MJ.m<sup>-2</sup> v roce 2002.

Z naměřených hodnot dopadající globální radiace (GR) a vypočítaných hodnot radiační bilance (NR) byl stanoven jejich podíl (NR/GR). Jeho průměrná hodnota vypočítaná ze všech hodnot vybraných jasných dnů v roce 2001 byla  $63.1 \pm 18.9$  %. Na počátku sezóny byl podíl NR/GR  $68.7 \pm 13.8$  %, uprostřed  $67.0 \pm 18.9$  % a ke konci  $53.4 \pm 18.7$  %. Průměrná hodnota NR/GR zatažených dnů byla  $83.1 \pm 13.0$  % a neliší se v průběhu sezóny. Průměrná hodnota NR/GR za celou vegetační sezónu v roce 2001 činila  $74.7 \pm 17.8$  % a v roce 2002 činila  $73.5 \pm 17.6$  %.

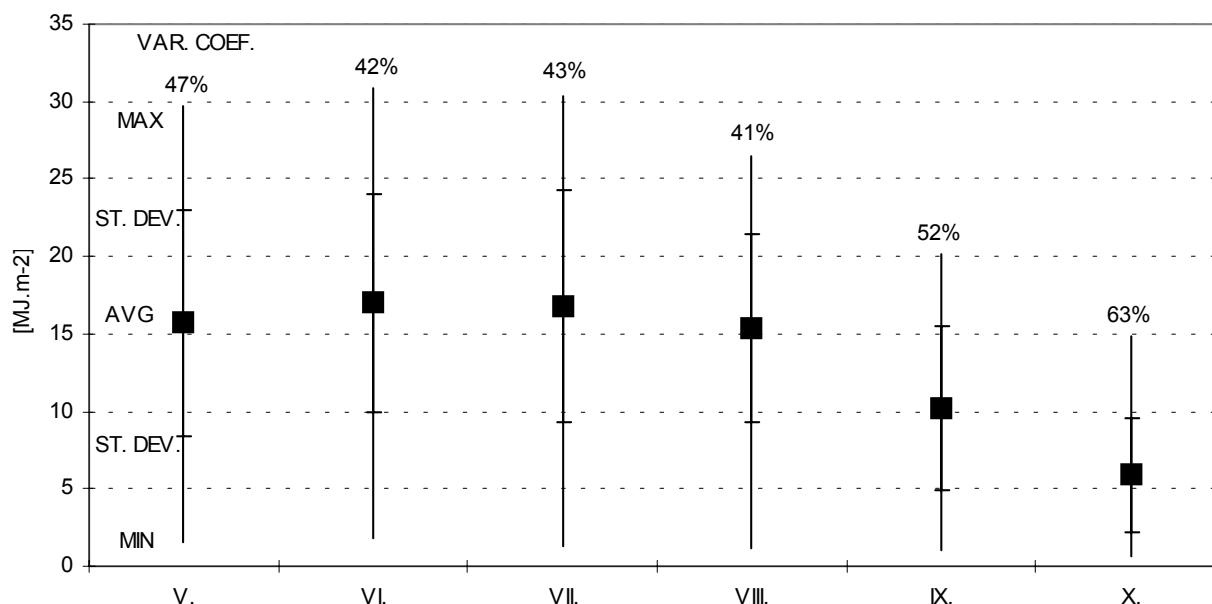
**Tabulka 1:** Průměrné ( $\bar{x}$ ), maximální (max) a minimální (min) denní sumy globální radiace a jejich směrodatná odchylka ( $s$ ) a variační koeficient ( $C_v$ ) pro jednotlivé měsíce vegetační sezóny (květen – říjen) v letech 1991–2000 ( $\bar{x}$ , max, min a  $s$  jsou uvedeny v MJ.m<sup>-2</sup>,  $C_v$  v %).

	max		$\bar{x} \pm s$		min		$C_v$
	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	
1991	23.4		27.1		27.3		23.2
	<b>11.5 ± 6.2</b>		<b>16.2 ± 5.1</b>		<b>17.1 ± 7.1</b>		<b>13.2 ± 6.6</b>
	5.4	1.5	32	8.7	42	2.3	50
1992	28.5		27.1		29.3		23.4
	<b>17.0 ± 6.8</b>		<b>19.2 ± 5.0</b>		<b>20.5 ± 5.8</b>		<b>17.4 ± 4.1</b>
	40	2.8	26	10.1	28	5.1	24
1993	26.0		29.4		27.9		26.5
	<b>16.2 ± 6.8</b>		<b>16.0 ± 7.4</b>		<b>15.1 ± 7.1</b>		<b>16.2 ± 6.3</b>
	42	3.7	46	2.3	47	2.7	39
1994	26.9		30.9		28.9		24.4
	<b>14.7 ± 6.8</b>		<b>18.1 ± 8.3</b>		<b>20.8 ± 6.1</b>		<b>14.7 ± 5.5</b>
	47	2.5	46	3.1	30	7.9	37
1995	28.9		27.5		30.4		26.4
	<b>15.8 ± 8.3</b>		<b>14.7 ± 6.8</b>		<b>20.9 ± 6.7</b>		<b>15.6 ± 7.3</b>
	53	2.5	46	2.0	32	4.0	47
1996	29.2		29.8		27.9		26.0
	<b>12.9 ± 6.9</b>		<b>17.6 ± 7.1</b>		<b>16.0 ± 6.8</b>		<b>13.9 ± 7.2</b>
	54	3.4	41	3.9	43	4.2	52
1997	26.4		27.5		24.8		24.6
	<b>14.8 ± 7.0</b>		<b>17.4 ± 6.6</b>		<b>12.8 ± 8.2</b>		<b>15.8 ± 6.6</b>
	48	2.7	38	2.3	64	2.1	42
1998	29.2		28.4		27.0		26.0
	<b>15.8 ± 7.0</b>		<b>15.8 ± 7.0</b>		<b>14.5 ± 7.5</b>		<b>16.4 ± 6.2</b>
	44	4.9	45	3.1	52	3.2	38
1999	29.7		27.3		29.9		21.5
	<b>20.0 ± 6.3</b>		<b>14.6 ± 7.4</b>		<b>17.5 ± 8.1</b>		<b>14.6 ± 4.5</b>
	32	2.6	51	1.8	47	3.3	31
2000	28.0		29.4		26.0		26.1
	<b>18.3 ± 7.9</b>		<b>19.9 ± 7.8</b>		<b>12.7 ± 6.1</b>		<b>16.2 ± 5.6</b>
	43	1.7	39	1.7	48	1.3	35
							2.8
							53
							1.5
							58
							1.2

**Tabulka 2:** Průměrné hodnoty konverzního faktoru FAR a jejich směrodatné odchylky (%) ve studovaných měsících vegetační sezóny (květen – říjen) vypočítané pro jednotlivé třídy dopadající globální radiace ( $W \cdot m^{-2}$ ) ze všech hodnot studovaného období 1991-2000

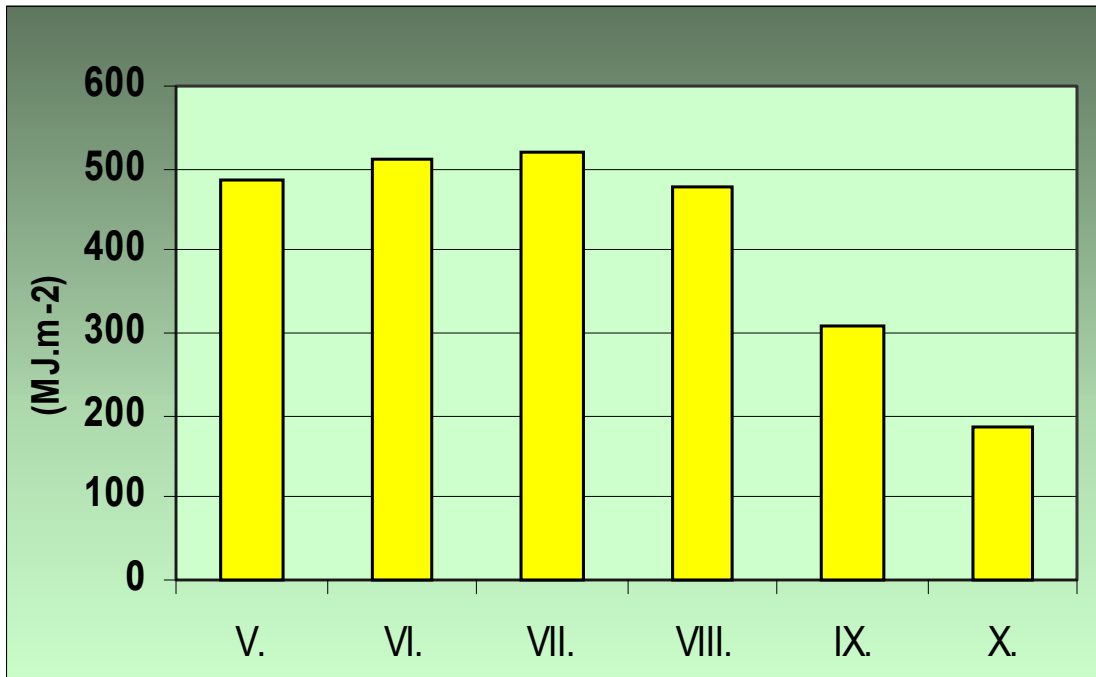
	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
<b>0 – 100</b>	52.1 ± 7.8	51.8 ± 8.6	51.6 ± 6.7	50.7 ± 7.4	49.4 ± 7.8	51.9 ± 7.4
<b>101 – 200</b>	49.2 ± 4.2	48.6 ± 4.7	48.1 ± 3.3	47.4 ± 4.2	47.1 ± 3.9	46.9 ± 3.6
<b>201 – 300</b>	47.4 ± 3.3	46.6 ± 3.6	46.6 ± 2.7	46.1 ± 3.2	45.8 ± 3.1	45.8 ± 3.3
<b>301 – 400</b>	46.6 ± 2.6	45.8 ± 3.1	45.9 ± 2.4	45.3 ± 2.9	45.5 ± 2.8	45.3 ± 3.4
<b>401 – 500</b>	45.7 ± 2.5	45.4 ± 3.1	45.4 ± 2.4	45.0 ± 2.8	44.9 ± 2.6	45.1 ± 3.2
<b>501 – 600</b>	45.2 ± 2.5	44.9 ± 2.8	45.0 ± 2.2	44.5 ± 2.6	44.4 ± 2.4	44.1 ± 2.8
<b>601 – 700</b>	44.9 ± 2.4	44.5 ± 2.8	44.7 ± 2.1	44.4 ± 2.4	44.1 ± 2.0	
<b>701 – 800</b>	44.6 ± 2.5	44.4 ± 2.8	44.3 ± 2.1	44.1 ± 2.4	43.8 ± 1.5	
<b>801 – 900</b>	44.7 ± 2.2	44.6 ± 1.7	44.3 ± 2.3	44.5 ± 2.5		
<b>901 - 1000</b>	45.0 ± 2.3	44.2 ± 1.6	43.8 ± 2.1			

**Obrazek 1:** Měsíční průměry denních sum globální radiace vypočítané z celého studovaného období 1991-2000 (AVG – průměrné hodnoty, MIN – minimální hodnoty, MAX – maximální hodnoty, ST. DEV. – směrodatná odchylka, VAR. COEF. – variační koeficient)

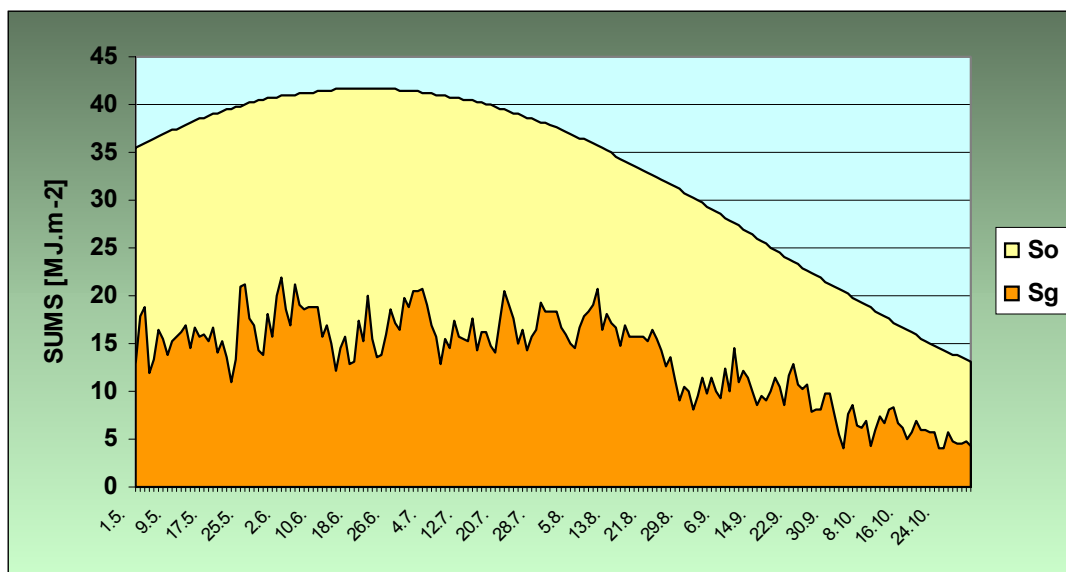




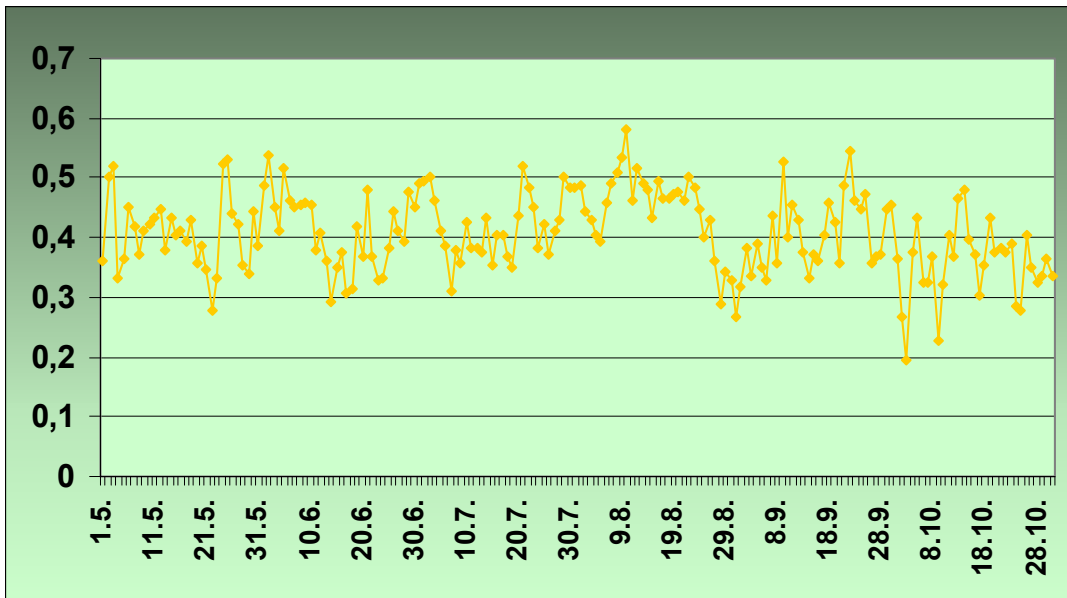
**Obrázek 2:** Průměrné měsíční sumy dopadající globální radiace vypočítané z celého studovaného období 1991–2000



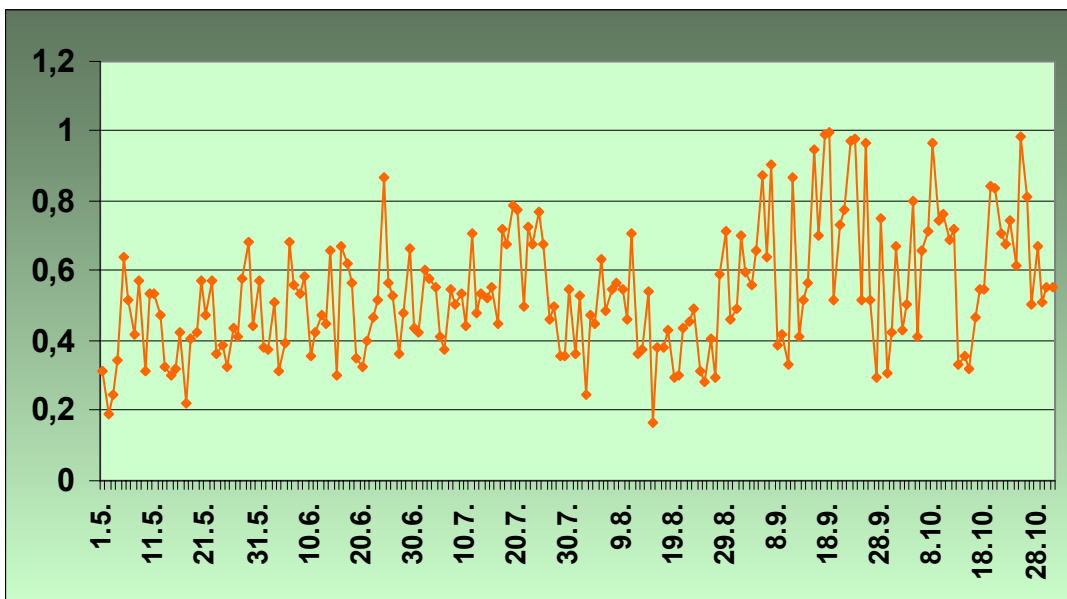
**Obrázek 3:** Průměrné denní sumy dopadající globální radiace vypočítané z celého studovaného období 1991-2000 (Sg) a průměrné denní sumy sluneční radiace dopadající na horní hranici atmosféry na 50° severní zeměpisné šířky (So)



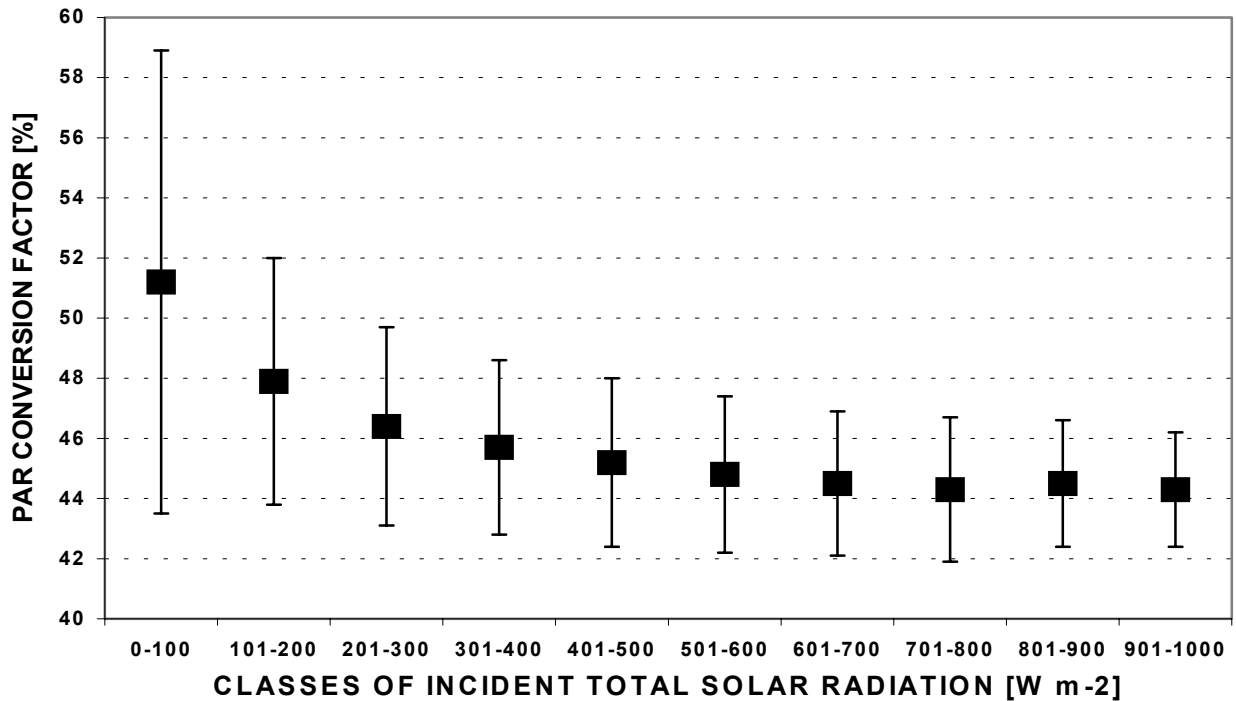
**Obrázek 4:** Hodnoty „clearness“ indexu vypočítané z denních sum dopadající globální radiace z celého studovaného období 1991-2000 pro jednotlivé dny vegetační sezóny (květen – říjen) a denních sum sluneční radiace dopadající na horní hranici atmosféry na 50° severní zeměpisné šířky



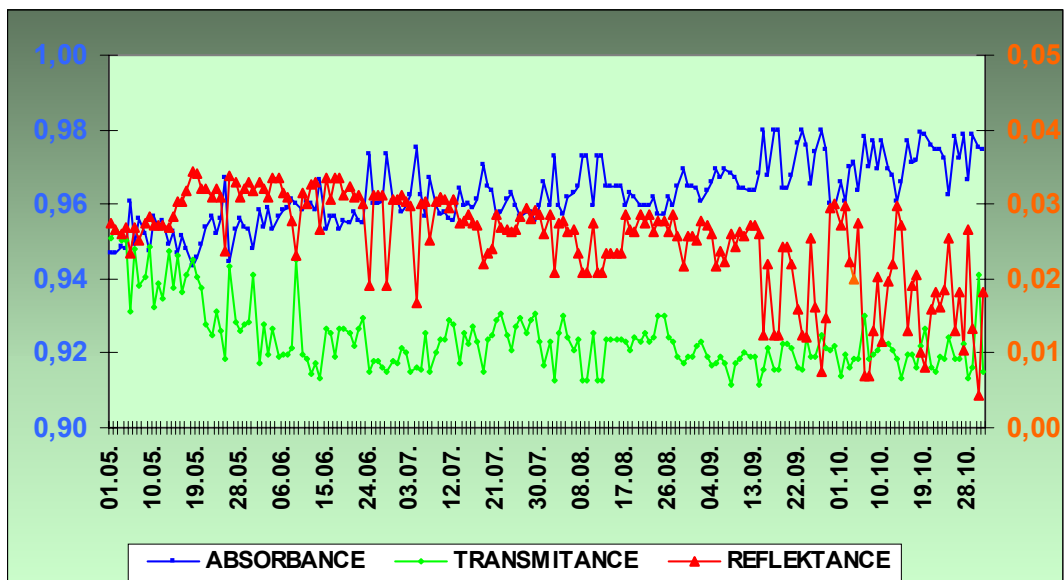
**Obrázek 5:** Hodnoty difúzního indexu vypočítané z denních sum dopadající globální radiace a denních sum dopadající difúzní složky globální radiace ze studovaného období 2000-2003 pro jednotlivé dny vegetační sezóny (květen – říjen)



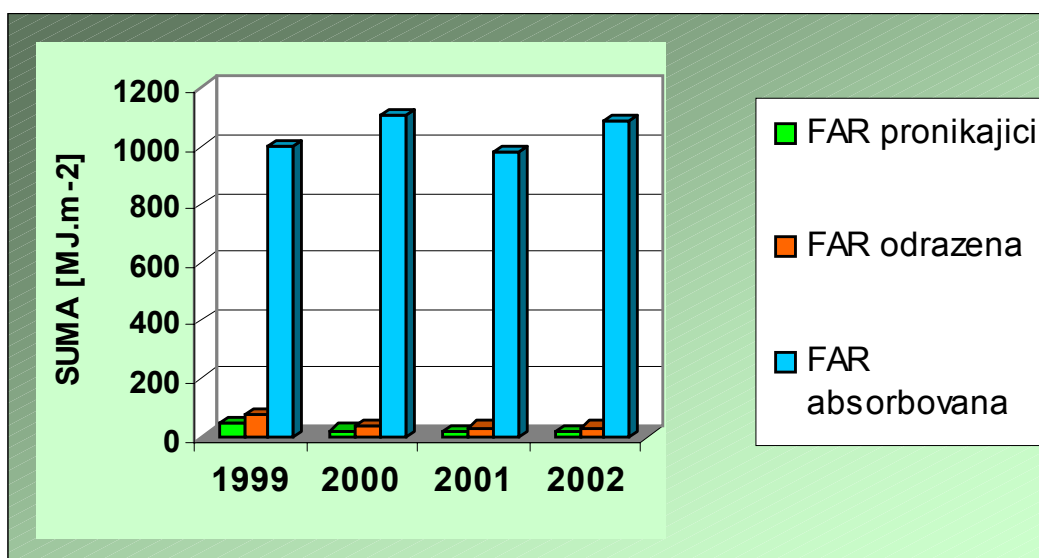
**Obrázek 6:** Průměrné hodnoty konverzního faktoru FAR a jejich směrodatné odchylky v jednotlivých třídách dopadající globální radiace vypočítané ze všech hodnot celé vegetační sezóny (květen – říjen) celého studovaného období 1991-2000



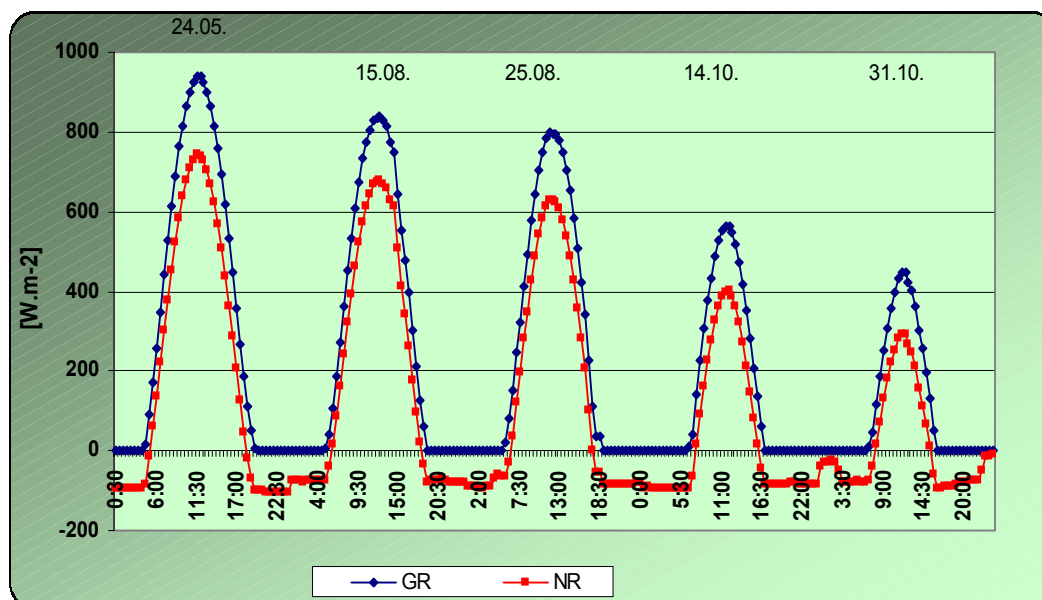
**Obrázek 7:** Transmittance, reflektance a absorbance FAR studovaného smrkového porostu během vegetační sezóny (květen – říjen) v roce 2002



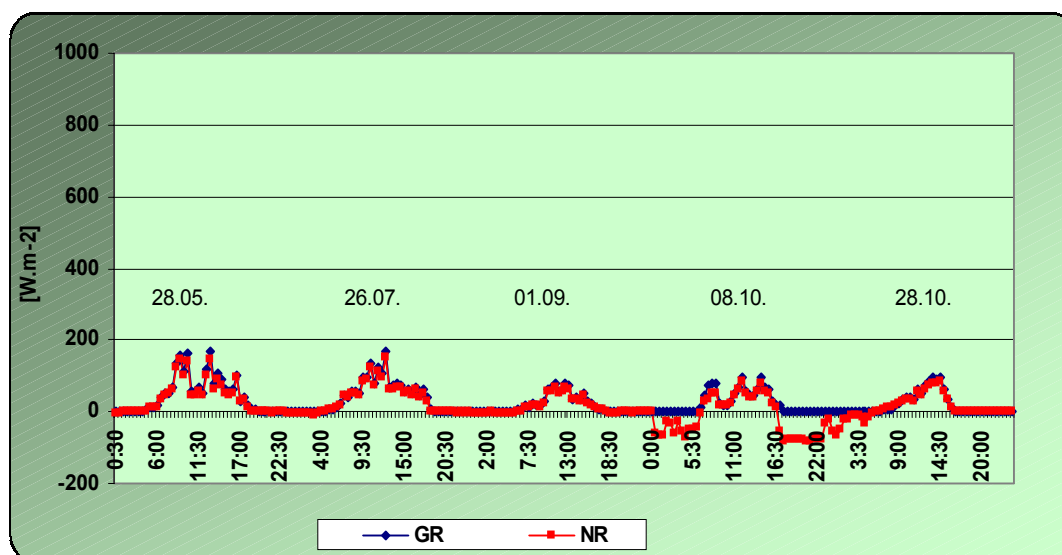
**Obrázek 8:** Suma FAR pronikající pod korunovou vrstvou, odražené korunovou vrstvou a absorbované korunovou vrstvou smrkového porostu během celé vegetační sezóny (květen – říjen) v jednotlivých sledovaných letech 1999-2002



**Obrázek 9:** Hodnoty globální radiace dopadající na smrkový porost a radiální bilance porostu ve vybraných jasných dnech



**Obrázek 10:** Hodnoty globální radiace dopadající na smrkový porost a radiální bilance porostu ve vybraných zatažených dnech



**Poděkování:**

Výzkum byl řešen v rámci Výzkumného záměru AV0Z6087904, podporován GAČR 526/03/1104.

**LITERATURA**

- Blackburn, W. J., Proctor, J. T. A., 1983. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Solar Energy* 31, 233-234
- Celniker, J.L., 1978: Fiziologičeskije osnovy tenevynoslivosti drevesnych rastenij. Nauka, Moskva
- Grace, J.C., Jarvis, P.G., Norman, J.M., 1987: Modelling the interception of solar radiant energy in intensively managed stands. *New Zealand J. For. Sci.*, 17(2/3), 193-209
- Hassika, P., Berbigier, P., 1998: Annual cycle of photosynthetically active radiation in maritime pine forest. *Agr. For. Meteorol.*, 90, 157-171
- Chen, J.M., Blanken, P.D., Black, T.A., Guilbeault, M., Chen, S., 1997: Radiation regime and canopy architecture in a boreal aspen forest. *Agr. For. Meteorol.*, 86, 107-125
- Jarvis, P.G., James, G.B., Landsberg, J.J., 1975: Coniferous forest. In: Monteith, J.L. (ed.): *Vegetation and the Atmosphere*. Vol. 2, Academic Press, London-New York-San Francisco, 171-240



- Johansson, T., 1987: Irradiance in thinned Norway spruce (*Picea abies*) stands and the possibilities to prevent suckers of broad-leaved trees. For. Ecol. Manag., 20, 307-319
- Krečmer, V. (ed.), 1980: Bioklimatologický slovník. Academia Praha
- Larcher, W., 1980: Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York
- McCaughey, J.H., 1978: Estimation of net radiation for coniferous forest, and the effects of logging on net radiation and the reflection coefficient. Can. J. For. Res., 8, 450-455
- Oker-Blom, P., Kelommaki, S., 1982: Theoretical computations on the role of crown shape in the absorption of light by forest trees. Mathematical Biosciences, 59, 291-311
- Pivec, J., Kučera, J., 1986: Some transformation processes of solar radiation in a spruce monoculture and on a clear cutting area on certain days. Ecology (CSSR), 5, 261-269
- Ross, J. K., 1975b. Radiative transfer in plant communities. In: Monteith, J. L. (ed.). Vegetation and the Atmosphere. Vol.1., pp. 13-55, Academic Press, London-New York-San Francisco
- Szeicz, G., 1974. Solar radiation for plant growth. J. Appl. Ecol. 11, 617-636
- Tajchman, S.J., 1971: Evapotranspiration and energy balances of forest and field. Water Resour. Res., 7, 511-523
- Tajchman, S.J., 1972: The radiation and energy balances of coniferous and deciduous forests. J. Appl. Ecol., 9, 359-375
- Vaníček, K. (ed.), 1994: Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984-1993. NKP 15, Praha
- Vezina, P.E., Pech, G.Y., 1964: Solar radiation beneath conifer canopies in relation to crown closure. Forest Science, 10(4), 443-451
- Vose, J.M., Sullivan, N.H., Clinton, B.D., Bolstad, P.V., 1995: Vertical leaf area distribution, light transmittance, and application of the Beer-Lambert Law in four mature hardwood stands in the southern Appalachians. Can. J. For. Res., 25, 1036-1043
- Wang, Y.P., JARVIS, P.G., 1990: Influence of crown structural properties on PAR absorption, photosynthesis, and transpiration in Sitka spruce: application of a model (MAESTRO). Tree Physiology, 7, 297-316



#### Adresy autorů:

Dalibor Janouš, Ústav ekologie krajiny AV ČR, Výzkumné centrum Mechanismus, ekofyziologie a biotechnologie fotosyntézy, 603 00 Brno, Poříčí 3 b. [ejanous@brno.cas.cz](mailto:ejanous@brno.cas.cz)

Irena Marková, Ústav krajinné ekologie MZLU v Brně, 613 00 Brno, Zemědělská 1 [markova@mendelu.cz](mailto:markova@mendelu.cz)