

ROZPÝLENÉ ŽIARENIA VO VYSOKOHORSKÝCH POLOHÁCH - EXTRÉMY

Marian Ostrožlík

Summary

DIFFUSE RARIATION IN HIGH-MOUNTAIN POSITIONS - EXTREMS

To study the diffuse radiation in the high-mountain conditions the hourly sums of the diffuse radiation at Stará Lesná and Skalnaté Pleso during the 1991-2003 period were evaluated.

Obtained results have shown that the tendency of the annual sums of the diffuse radiation has a decreasing trend. In the first approach it may be ascribed to the anthropogenic activities which besides the local influence, can have a regional effect too, the latter being connected with the long-range air pollution transport.

According to expectation the diffuse radiation has an annual course with maximum in spring and minimum in winter. It was showed that the extreme sums of diffuse radiation were occurred in the year 1992 and 2003 in the both localities

Úvod

Priame slnečné žiarenie pri prechode atmosférou je v značnej miere oslabované rozptylom na molekulách vzduchu, častôčkách prachu, kvapôčkach vody a ľadových kryštálikoch. Na zemský povrch dopadá vo forme rozptýleného žiarenia, ktoré predstavuje jednu z hlavných zložiek v celkovom prijíme žiarivej energie na zemskom povrchu. Na rozdiel od priameho slnečného žiarenia v spektre rozptýleného žiarenia prevládajú kratšie vlnové dĺžky.

Výskum radiačných procesov v atmosfére a na zemskom povrchu sa v posledných rokoch prehĺbil, v súvislosti s bezprostrednou interakciou slnečného žiarenia a kvalitou životného prostredia. S dlhodobým sledovaním interakcie radiačných tokov s atmosférou, ktoré je dôležité, z hľadiska poznania i prognózy klímy, sa dostáva do popredia tiež výskum slnečného žiarenia ako indikátora antropogénnych a prirodzených zásahov (prírodné katastrofy) do zloženia atmo-

sféry, ako hlavného zdroja energie fotochemických reakcií, ktoré prebiehajú v atmosfére. Intenzita slnečného žiarenia je kľúčovým parametrom rýchlosti týchto reakcií v atmosfére (Kalvová a Brázdil 1993, Závodský a Závodská 1992).

Materiál

Meranie a registrácia rozptýleného žiarenia sa systematicky robia na meteorologických observatóriách GFÚ SAV Stará Lesná ($\varphi = 49^{\circ} 09'$, $\lambda = 20^{\circ} 17'$, H = 810 m n.m.) a Skalnaté Pleso ($\varphi = 49^{\circ} 11'$, $\lambda = 20^{\circ} 14'$, H = 1778 m n.m.) pomocou meracej ústredne MIT 350. Ako snímače sa používajú pyranometre typu Sonntag s galvanicky vyrobenými termočlánkami. Na elimináciu priameho slnečného žiarenia bol použitý tieniaci oblúk. Meranie sa robí každých desať minút. Namerané údaje sa prepočítavajú na absolútne hodnoty, uchovávaajú v pamäti a sú registrované ako hodinové hodnoty pre každú hodinu v miestnom čase. Takto namerané

Kontaktná adresa:

RNDr. Marian Ostrožlík, CSc., geofostr@savba.sk, Tel. č.: 7-421-59410613, Fax: 59410626
Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava 45, Slovenská republika

údaje sú najskôr podrobené detailnej kontrole a potom sú spolu s ďalšími charakteristikami či už radiačných tokov, teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, tlaku vzduchu a teploty pôdy publikované v ročenke meteorologických údajov (Ostrožlík, 2002).

K analýze časových radov rozptýleného žiarenia v uvažovaných polohách nám slúžili hodinové údaje za obdobie 1991 – 2003.

Výsledky a diskusia

Spracovaním rozsiahleho experimentálneho materiálu meraní rozptýleného žiarenia v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese boli získané viaceré charakteristiky. V tab. 1 sú uvedené niektoré štatistické charakteristiky ročných súm rozptýleného žiarenia v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese: priemer, medián, modus, extrémne hodnoty, smerodajná

Tab. 1. Štatistické charakteristiky ročných súm rozptýleného žiarenia v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese [$\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$] za obdobie r. 1991 – 2003

Premenná:	Rozptýlené žiarenie v $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$	
	Stará Lesná	Skalnaté Pleso
Rozsah súboru	13	13
Priemer	190,216	188,893
Medián	185,609	190,081
Modus	185,609	190,081
Geometrický priemer	189,807	188,705
Variancia	175,354	77,2689
Smerodajná odchýlka	13,24210	8,79022
Štandardná chyba	3,67271	2,43797
Minimum	174,838	177,479
Maximum	220,643	202,576
Variačné rozpätie	45,805	25,097
Dolný kvartil	182,024	180,932
Horný kvartil	197,077	195,238
Kvartilové rozpätie	15,053	14,306
Šikmosť	1,12312	0,177928
Normovaná šikmosť	1,65319	0,261904
Špicatosť	0,852061	-1,34734
Normovaná špicatosť	0,6271	-0,991616
Koeficient variancie	6,96164	4,65354
Suma	2395,752	2480,134

odchýlka, koeficient variancie, a iné. Podľa údajov tejto tabuľky vidíme, že priemerná ročná suma rozptýleného žiarenia v Starej Lesnej, $190,216 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ je o niečo vyššia (0,7%) ako na Skalnatom Plese, $188,893 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$. Pritom najväčšie ročné sumy rozptýleného

žiarenia $220,643 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ a $202,224 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ sa líšia o 16,0%, resp. o 7,2% od dlhodobého priemeru. Na druhej strane, najmenšie ročné sumy rozptýleného žiarenia sú $174,838 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ v Starej Lesnej a $177,58 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ na Skalnatom Plese. Z toho vyplýva, že kolísanie

ročných súm rozptýleného žiarenia alebo tiež variačné rozpätie je $45,805 \text{ kJ.cm}^{-2}$ v Starej Lesnej a podstatne menšie na Skalnatom Plese $25,097 \text{ kJ.cm}^{-2}$. Vypočítaná hodnota smerodajnej odchýlky je $13,24210 \text{ kJ.cm}^{-2}$ v Starej Lesnej a $8,79022 \text{ kJ.cm}^{-2}$ na Skalnatom Plese, čo činí 7,0%, resp. 4,7% z dlhodobého priemeru.

Rozptýlené žiarenie je jednou zo zložiek, ktoré v značnej miere ovplyvňujú globálne žiarenie. Podiel rozptýleného žiarenia na celkovej intenzite globálneho žiarenia závisí predovšetkým od fyzikálneho stavu atmosféry. Ako už bolo skôr publikované (Smolen, 1980) pri bezoblačnej oblohe, kedy rozptýlené žiarenie je podmienený len molekulami vzduchu a čistočkami prachu, podiel rozptýleného žiarenia na celkovej intenzite globálneho žiarenia je podstatne menší ako za podmienok výskytu oblačnosti. Problematike podielu rozptýleného žiarenia na globálnom žiarení sa venovala aj Berljangová

(1961), ktorá na základe meraní globálneho a rozptýleného žiarenia v rôznych zemepisných šírkach poukázala na geografické rozloženie tohto podielu. Rovnako analýze ročných súm rozptýleného žiarenia a jeho podielu na globálnom žiarení vo vybraných polohách na území Slovenska sa zaoberali tiež autori Tomlain a Hrvol' (1991). Podľa našich výpočtov vychádza, že percentuálny podiel rozptýleného žiarenia na globálnom žiarení je 45,5% v Starej Lesnej a 48,8% na Skalnatom Plese v spracovanom období 1991 - 2003.

V tab. 2 sú uvedené ročné sumy rozptýleného žiarenia v kJ.cm^{-2} , a to jednak v poradí po rokoch a jednak sú usporiadané podľa neklesajúcej postupnosti. Náznorne vidieť, že v oboch polohách extrémne hodnoty rozptýleného žiarenia sú v r. 1992 – maximálne a v r. 2003 – minimálne hodnoty. Výpočty ukázali, že aj v prípade ročných súm globálneho žiarenia najväčšie hodnoty sa vyskytli v oboch polohách tiež v r. 1992.

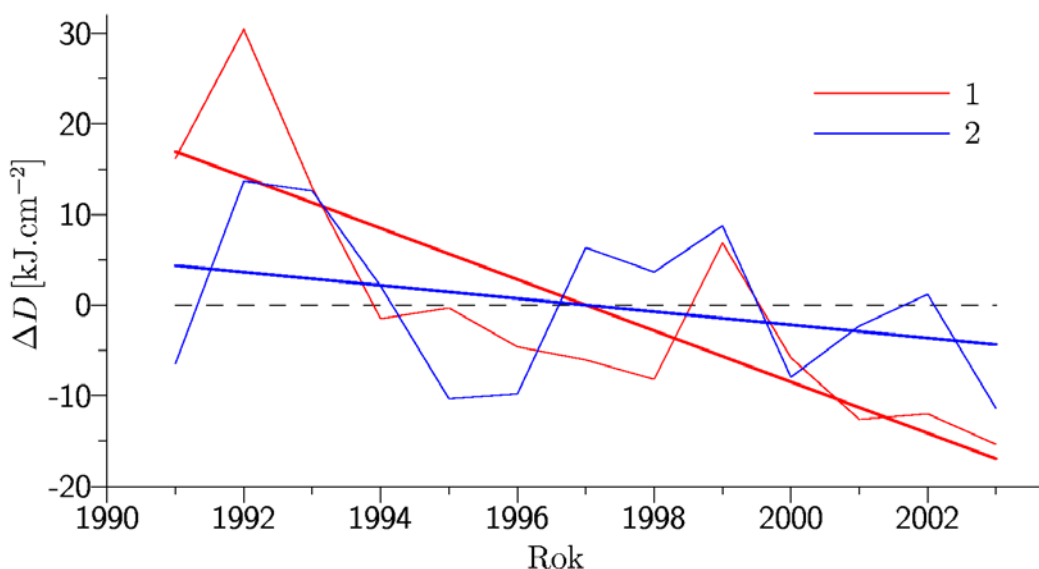
Tab. 2. Rozptýlené žiarenie v kJ.cm^{-2} v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese v jednotlivých rokoch a podľa nerastúcej postupnosti v období r. 1991 až 2003

Rozptýlené žiarenie v kJ.cm^{-2}							
Stará Lesná				Skalnaté Pleso			
Podľa rokov		Podľa ročnej sumy		Podľa rokov		Podľa ročnej sumy	
1991	206,395	1992	220,643	1991	182,410	1992	202,576
1992	220,643	1991	206,395	1992	202,576	1993	201,519
1993	203,212	1993	203,212	1993	201,519	1999	197,645
1994	188,709	1999	197,077	1994	190,993	1997	195,238
1995	189,903	1995	189,903	1995	178,543	1998	192,540
1996	185,609	1994	188,709	1996	178,072	1994	190,993
1997	184,170	1996	185,609	1997	195,238	2002	190,081
1998	182,024	2000	184,417	1998	192,540	2001	186,583
1999	197,077	1997	184,170	1999	197,645	1991	182,410
2000	184,417	1998	182,024	2000	180,932	2000	180,932
2001	177,603	2002	178,205	2001	186,583	1996	178,072
2002	178,205	2001	177,603	2002	190,081	1995	178,543
2003	174,838	2003	174,838	2003	177,479	2003	177,479

Aby sme odhadli tendenciu zmeny rozptýleného žiarenia s časom, v prvom priblížení sme uvažovali jednoduchý lineárny regresný model a metódou najmenších štvorcov sme vypočítali regresné koeficienty (Anděl, 1985; Kendall a Stuart, 1968; Nosek, 1972).

Na obr. 1 sú znázornené odchýlky ročných súm rozptýleného žiarenia od dlhodobého priemeru a trendová zložka rozptýleného žiarenia v sledovaných polohách. Z priebehu kriviek je možno vidieť, že trend rozptýleného žiarenia má klesajúcu tendenciu. Podobná tendencia bola tiež zistená aj u globálneho žiarenia (Ostrožlík, 2002). Podľa našich výsledkov vychádza, že za posledných 13

rokov poklesla ročná suma rozptýleného žiarenia v Starej Lesnej o 33,936 kJ.cm⁻², kým na Skalnatom Plese asi len o 8,722 kJ.cm⁻². Pomerne veľký pokles rozptýleného žiarenia je zrejme spôsobený antropogénnou činnosťou a diaľkovým prenosom znečisťujúcich látok. Rastúce koncentrácie skleníkových plynov, rastúca teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, zvýšená intenzita ultrafialového žiarenia menia atmosféru stále rýchlejšie a komplexnejším spôsobom. Pôsobením uvedených faktorov dochádza k zmene štruktúry a priepustnosti atmosféry, a tým aj k poklesu globálneho a rozptýleného žiarenia.



Obr. 1. Chod odchýlok ročných súm rozptýleného žiarenia (ΔD) od dlhodobého priemeru v kJ.cm⁻² a ich trendová zložka v Starej Lesnej (1) a na Skalnatom Plese (2) za obdobie 1991 – 2003 (hodnota 0,0 kJ.cm⁻² predstavuje dlhodobý priemer).

Analýza mesačných súm rozptýleného žiarenia ukázala, že priemerná mesačná suma rozptýleného žiarenia je 18,387 kJ.cm⁻² v Starej Lesnej a 15,741 kJ.cm⁻² na Skalnatom Plese. Najvyššia mesačná suma rozptýleného žiarenia bola nameraná v Starej Lesnej, a to v máji 1992 (30,687 kJ.cm⁻²), zatiaľ čo na Skalnatom Plese mesačné maximum bolo namerané v apríli 1997 (29,437 kJ.cm⁻²). Na druhej strane, najnižšie mesačné sumy

rozptýleného žiarenia boli v mesiaci decembri, a to v r. 2002 (4,172 kJ.cm⁻²) v Starej Lesnej a v 2000 (4,546 kJ.cm⁻²) na Skalnatom Plese. Pri analýze kladných a záporných odchýlok treba poznamenať, že najväčšia kladná a záporná odchýlka boli zaznamenané v Starej Lesnej v mesiacoch máj a marec (6,118 kJ.cm⁻², resp. -9,244 kJ.cm⁻²), kým na Skalnatom Plese v apríli a v júli (5,651 kJ.cm⁻², resp. -4,830 kJ.cm⁻²). Amplitúda kolísania v

mesiacoch s najvyššou priemernou mesačnou sumou rozptýleného žiarenia, t.j. v máji, resp. v apríli, je vyššia ako v zimných mesiacoch, a to v Starej Lesnej až 5 krát, kým na Skalnatom Plese je to len asi 3 krát. Stredná kvadratická odchýlka nemá pravidelný jednoduchý ročný priebeh, čo je zrejme spôsobené veľmi krátkou dĺžkou spracovaného obdobia pre takéto analýzy. No, aj napriek tomu sa ukázalo, že maximálne hodnoty sa vyskytujú predovšetkým v jarných a v letných mesiacoch, čo poukazuje na väčšiu premenlivosť rozptýleného žiarenia v tejto časti roka. Okrem toho sa ukázalo, že počet prípadov s podnormálnou a nadnormálnou hodnotou sumy rozptýleného žiarenia, či už ročnej alebo mesačnej sumy, je v uvažovaných polohách prakticky rovnaký.

Pri štúdiu radiačných polí, najmä pokiaľ ide o transformáciu slnečnej energie, vystupuje do popredia priepustnosť atmosféry, ktorá okrem absorbujúcich plynov a rozptyľujúcich tvrdých prímiesí je v spodných vrstvách atmosféry vo veľkej miere limitovaná produktmi vodnej pary (oblačnosťou). Zhodnotenie týchto špecifik bolo už skôr publikované v prácach so študovanou problematikou

(Smolen, 1986; Smolen a Ostrožlík, 1997; Smolen a Ostrožlík, 1998).

Záver

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že tendencia ročných súm rozptýleného žiarenia má vo vysokohorských polohách klesajúci trend. Za posledných 13 rokov poklesla ročná suma rozptýleného žiarenia v Starej Lesnej o $33,936 \text{ kJ.cm}^{-2}$, kým na Skalnatom Plese asi len o $8,722 \text{ kJ.cm}^{-2}$. Pokles rozptýleného žiarenia je zrejme spôsobený ľudskou činnosťou a diaľkovým prenosom znečisťujúcich látok.

Osobitná pozornosť bola venovaná extrémnym hodnotám rozptýleného žiarenia. Ukázalo sa, že v spracovanom období v uvažovaných vysokohorských polohách sa extrémnymi sumami rozptýleného žiarenia vyznačujú roky 1992 a 2003. Najvyššie mesačné sumy rozptýleného žiarenia neboli nameraná v letných mesiacoch, ale boli posunuté do jarných mesiacov: máj v Starej Lesnej a apríl na Skalnatom Plese, čo iste podmienené tak zákalom atmosféry, ako aj vysokým albedom snehovej pokrývky, ktoré je zdrojom spätného rozptylu a mnohonásobného odrazu krátkovlnného žiarenia v atmosfére.

Pod'akovanie:

Autor je vďačný grantovej agentúre VEGA (grant č. 2/2093/23) za čiastočné sponzorovanie vypracovania tejto práce.

Literatúra

- [1] Anděl, J. (1985): Matematická statistika. SNTL/ALFA, Praha 346 s.
- [2] Berljang, T., G. (1961): Raspredelenije solnečnoj radijacii na kontinentach. Gidrometeoizdat. Leningrad, 227 s.
- [3] Kalvová, J., Brázdil, R., 1993: Změny klimatu. In: Rizika změny klimatu a strategie jejich snížení. Praha:48-91.
- [4] Kendall, M. G., Stuart, A. (1968): The Advanced Theory of Statistics. Vol. 2, Interference and Relationship. Charles Griffin and Co. Ltd, London. 690 p.

- [5] Nosek, M. (1972): *Metody v klimatologii*. Academia, Praha, 433 s.
- [6] Ostrožlík, M. (2002): Results of meteorological measurements at the observatories of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences: *Geophys. Inst. of SAS*. Bratislava, 33 p.
- [7] Ostrožlík, M. (2002): Time variability of global solar radiation in high-mountain regions. *Contrib. Geophys. Geodesy*, 32, 2002, 3, 277-289.
- [8] Smolen, F. (1986): Časové a priestorové zmeny radiačných tokov v prízemnej vrstve atmosféry. *Doktorská dizertácia*. Geofyzikálny ústav CGV, 230 s.
- [9] Smolen, F. (1980): Rozptýlené žiarenie a jeho podiel na globálnom žiarení v Bratislave. *Geografický časopis*, 32, 300-311.
- [10] Smolen, F., Ostrožlík, M. (1998): Effect of albedo, atmospheric turbidity, and cloudiness on the diffuse radiation in the high-mountain positions. *Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol.* 18, 7-18.
- [11] Smolen, F., Ostrožlík, M. (1997): Time variability of diffuse radiation in the boundary layer of atmosphere. In: 7th international conference on solar energy at high latitudes I, Espoo-Otaniemi, 471-479.
- [12] Tomlain, J. Hrvol, J., (1991): Globálne žiarenie a jeho zložky. In: *Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu*. Vydavateľstvo Alfa. Bratislava, 33/1, 19-44.
- [13] Závodský, D., Závodská, E., 1992: Kvalita ovzdušia a zmeny klímy. In: *Národný klimatický program ČSFR 7*, Praha:5-50.