

**PREMENLIVOSŤ ROZPTÝLENÉHO ŽIARENIA VO
VYSOKOHORSKÝCH POLOHÁCH**

**VARIABILITY OF THE DIFFUSE RARIATION IN THE HIGH-
MOUNTAINS**

**Ostrožlík Marian
Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava**

Abstract: Based on the hourly sums of diffuse radiation at the Meteorological Observatories Skalnaté Pleso (49°12', 20°14', 1778 m n.m.) and Stará Lesná (49°09', 20°17', 810 m n.m.) during the 1991–2003 period the effect of the atmospheric boundary layer on the diffuse radiation is studied. Besides the time variability, the vertical variability of the diffuse radiation at the different clear cloud conditions is also investigated. The proportion of the diffuse radiation in the global solar radiation was dedicated for the whole part of the solar spectrum.

Key words: diffuse radiation, annual course, clear sky

Úvod

Slnčné žiarenie pri prechode cez opticky nehomogénne prostredie, akým je aj atmosférický vzduch, sa odkláňa od svojho pôvodného smeru. Dochádza k refrakcii slnečných lúčov a súčasne k rozptylu priameho slnečného žiarenia. Rozptyl priameho slnečného žiarenia nastáva na molekulách vzduchu (molekulový rozptyl), kvapkách vody, kryštálikoch ľadu a na aerosólových časticiach, nachádzajúcich sa vo vzduchu (aerosólový rozptyl).

Cieľom predloženej práce je štúdium rozptýleného žiarenia vo vysokohorských podmienkach. Na základe priamych meraní rozptýleného žiarenia v rôznych nadmorských výškach - meteorologické observatórium Stará Lesná (810 m n.m.) a Skalnaté Pleso (1778 m n.m.) je sledovaná časová a vertikálna premenlivosť rozptýleného žiarenia v cca 1000 m hrubej hraničnej vrstve atmosféry pri jasnej oblohe (množstvo oblačnosti $N < 2/10$ a súčasne dĺžka trvania slnečného svitu $S = 10$).

Materiál a metódy

Merania rozptýleného žiarenia boli robené pyranometrom typu Sonntag s galvanicky vyrobenými termočlánkami. Na separáciu priameho slnečného žiarenia bol použitý tieniaci oblúk s polomerom 200 mm a šírkou 400 mm. Súbežne s meraním rozptýleného žiarenia (D) bolo merané i globálne žiarenie (G) a pozorovaná oblačnosť. Na meranie a nepretržitú registráciu veličín D a G sme použili meraciu ústredňu MIT 350, ktorá bola neskôr (1995) nahradená centrálnym meracím systémom EMS 200 (Ostrožlík, 2002). Relatívne veľká vertikálna, ale malá horizontálna vzdialenosť (asi 5 km) medzi pozorovacími bodmi umožňuje pomerne dobre sledovať vplyv oblačnosti na hustotu toku rozptýleného žiarenia.

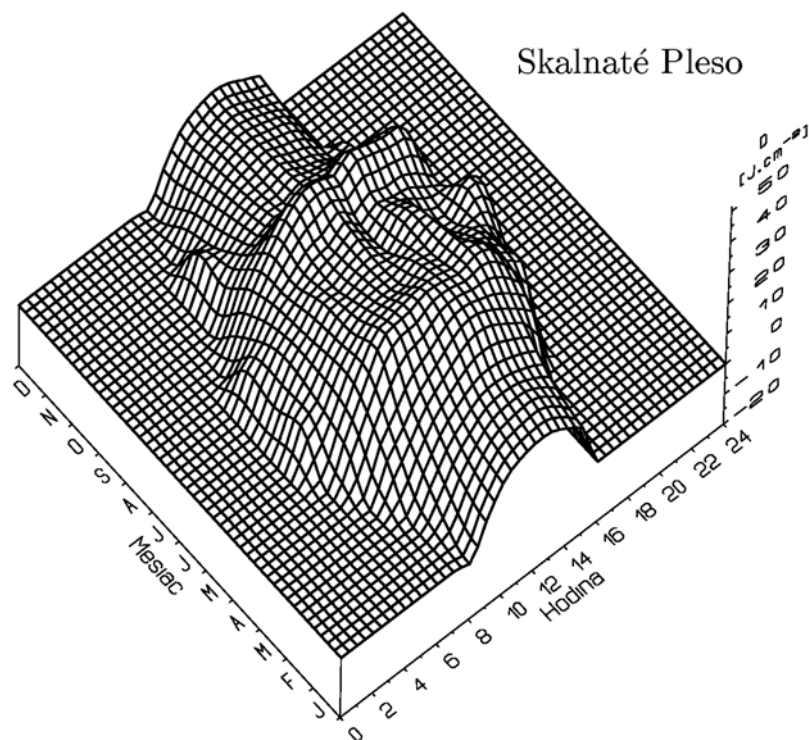
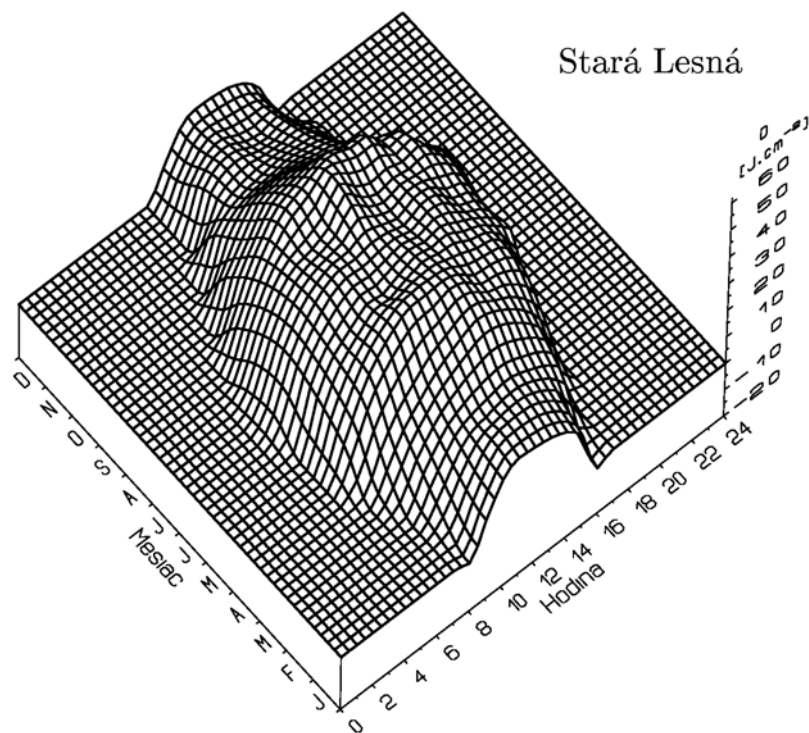
K analýze časových radov rozptýleného žiarenia v uvažovaných polohách nám slúžili hodinové hodnoty rozptýleného žiarenia za obdobie 1991 – 2003.

Výsledky a diskusia

Spracovaním rozsiahleho experimentálneho materiálu meraní difúzneho žiarenia (D) v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese boli získané mnohé štatistické charakteristiky. Niektoré z nich boli už skôr zhodnotené a publikované v prácach s podobnou tematikou (Ostrožlík, 2003; Smolen, 1986; Smolen a Ostrožlík, 1997; Smolen a Ostrožlík, 1998).

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, pri bezoblačnej oblohe (Smolen, 1980), kedy rozptyl priameho slnečného žiarenia je podmienený len molekulami vzduchu a čiastočkami prachu, podiel rozptýleného žiarenia na celkovej intenzite globálneho žiarenia je podstatne menší ako za podmienok výskytu oblačnosti. Vplyvom oblačnosti sa rozptyl priameho slnečného žiarenia spravidla zväčšuje (Lapin a Tomlain, 2001; Tomlain a Hrvol, 1991).

Celkový prehľad o časovej a priestorovej premenlivosti rozptýleného žiarenia pri jasnej oblohe dostávame z obr. 1, na ktorom je znázornený priemerný denný a ročný chod rozptýleného žiarenia na meteorologických observatóriách GFÚ SAV Stará Lesná a Skalnaté Pleso. Ako už bolo publikované (Ostrožlík, 2004), najväčšia priemerná hustota toku rozptýle-

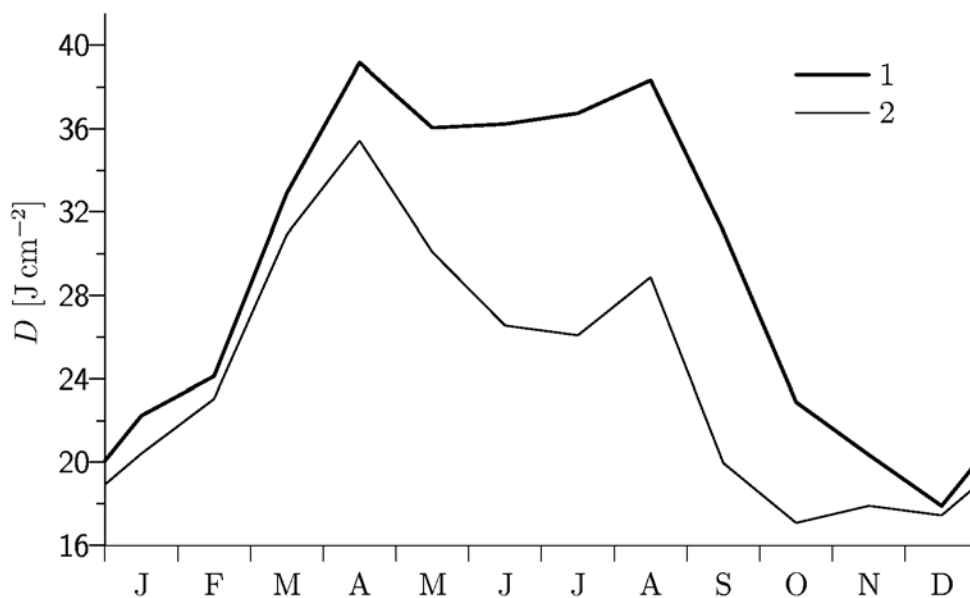


Obr. 1. Denná a sezónna premenlivosť difúzneho žiarenia pri jasnej oblohe v J.cm^{-2} v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese. Priemer za obdobie 1991–2003.

ného žiarenia pripadá v priebehu dňa na poludňajšie hodiny, čo poukazuje na závislosť rozptýleného žiarenia od výšky Slnka. Okrem toho sa ukázalo, že kým v Starej Lesnej najvyššia priemerná hodinová hodnota poludňajšieho maxima $90,395 \text{ J.cm}^{-2}$ pripadá

v priebehu roka na jún, na Skalnatom Plese najvyššia hodnota poludňajšieho maxima $96,999 \text{ J.cm}^{-2}$ sa posúva na mesiac apríl. Takéto posunutie najvyšších priemerných hodinových hodnôt rozptýleného žiarenia v priebehu roka na mesiac apríl sa prejavuje ešte výraznejšie pri jasnej oblohe (obr. 1), kedy najvyššia priemerná hodinová hodnota rozptýleného žiarenia v tomto mesiaci dosiahla v Starej Lesnej $39,161 \text{ J.cm}^{-2}$ a na Skalnatom Plese $35,419 \text{ J.cm}^{-2}$. Ako vyplýva z prác (Bener, 1963; Kondratyev, 1954; Latimer, 1980) narastanie hustoty toku rozptýleného žiarenia v jarných mesiacoch môže byť vo vysokohorských polohách podmienené spätným rozptylom odrazeného slnečného žiarenia od povrchu snehovej pokrývky.

Ročný chod priemerných mesačných súm rozptýleného žiarenia pri jasnej oblohe v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese je znázornený na obr. 2. Z obrázku vidíme, že pri jasnej



oblohe

Obr. 2. Ročný chod priemerných hodinových súm difúzneho žiarenia (D) v J.cm^{-2} pri jasnej oblohe v Starej Lesnej (1) a na Skalnatom Plese (2). Priemer za obdobie 1991–2003.

hustota toku rozptýleného žiarenia v priemere klesá s nadmorskou výškou vo všetkých mesiacoch roka a výskyt podružného maxima sa pozoruje v mesiaci august. V jarných mesiacoch, kedy pri jasnej oblohe pozorujeme u rozptýleného žiarenia hlavné maximum, je hustota toku rozptýleného žiarenia, okrem zákalu, v podstatnej miere ovplyvňovaná albedom aktívneho povrchu. Narastanie difúznej zložky, vyvolané albedom snehovej pokrývky, bolo počítané Möllerom. Podľa jeho výpočtov (Möller, 1965) toto narastanie pri malých výškach Slnka môže byť až 120 percent.

Pri priemerných podmienkach oblačnosti hustota toku rozptýleného žiarenia v jarných mesiacoch, február až apríl, je v priemere vyššia na Skalnatom Plese ako v Starej Lesnej - difúzne žiarenie v uvedených mesiacoch rastie s rastúcou nadmorskou výškou (Ostrožlík, 2004). Na základe doteraz známych výsledkov možno usúdiť, že uvedená anomália v rozložení poľa difúzneho žiarenia vzniká ako interakcia odrážajúcej schopnosti snehovej pokrývky, mnohonásobného odrazu v členitom teréne, oblačnosti a spätného rozptylu odrazeného krátkovlnného žiarenia.

Spektrálne merania ukázali, že hustota toku rozptýleného žiarenia vo veľkej miere závisí od vlnovej dĺžky spektra rozptýleného žiarenia. Napr. Kondratyev vo svojej práci ukázal (Kondratyev, 1954), že slnečné žiarenie pri bezoblačnej oblohe je najviac rozptyľované v oblasti $480 < \lambda < 500$ nm. V prípade vrstevnatej nízkej oblačnosti (St, Sc, Ns) toto maximum sa posúva do oblasti väčších vlnových dĺžok a pri zamračenej oblohe spektrálne rozloženie rozptýleného žiarenia sa prakticky zhoduje so spektrálnym rozložením globálneho žiarenia.

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 analyzovanom období 1991 - 2003 (Ostrožlík, 2004).

Súhrn

Na základe doterajších výsledkov môžeme konštatovať, že tendencia ročných súm rozptýleného žiarenia má vo vysokohorských polohách klesajúci trend. Extrémnymi sumami rozptýleného žiarenia sa vyznačujú roky 1992 (najväčšia) a 2003 (najmenšia ročná suma). Najvyššie priemerné hodinové sumy rozptýleného žiarenia neboli namerané v letných mesiacoch, ale boli posunuté do jarných mesiacov, predovšetkým na Skalnatom Plese. Podrobnejšia analýza závislosti rozptýleného žiarenia od meteorologických činiteľov ukázala, že jarné maximum hustoty toku rozptýleného žiarenia je podmienené tak zákalom atmosféry, ako aj vysokým albedom snehovej pokrývky, ktoré je zdrojom spätného rozptylu a mnohonásobného odrazu krátkovlnného žiarenia v atmosfére.

Kľúčové slová: difúzne žiarenie, ročný chod, jasná obloha

Pod'akovanie: Autor je vd'achný grantovej agentúre VEGA (grant. č. 2/2093/24) za čiastočné sponzorovanie vypracovania tejto práce.

Literatúra

- [1] Bener, P., 1963: Der Einfluss der Bewölkung auf die Himmelsstrahlung. Arch. Meteor., Geoph., Bioklim., B, Bd. 12, 442-457.
- [2] Kondratyev, K. Ja., 1954: The Radiant Energy of the Sun. Gidrometeoizdat. Leningrad. (in Russian).
- [3] Lapin, M., Tomlain, J., 2001: Všeobecná a regionálna klimatológia. Univerzita Komenského, Bratislava, 183 s.
- [4] Latimer, J. R., 1980: Solar radiation measurement methods. In: An introduction to meteorological measurements and data handling for solar energy applications. U. S. Department of Energy, Washington, 4-1, 4-16.
- [5] Möller, F., 1965: On the backscattering of global radiation by the sky. Tellus, **17**, 350-355.
- [6] Ostrožlák, M., 2003: Diffuse radiation in the high-mountain positions – extremes. In: Extrémy počasí a podnebí. Brno. CD Rom, ISBN 80-86690-12-1, 6 p. (in Slovak).
- [7] Ostrožlák, 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.
- [8] Ostrožlák, M., 2004: Time variability of diffuse radiation in High Tatra Mts. Contrib. Geophys. Geodesy, **34**, 2002, 3, (in press).
- [9] Smolen, F., 1986: Časové a priestorové zmeny radiačných tokov v prízemnej vrstve atmosféry. Doktorská dizertácia. Geofyzikálny ústav CGV, 230 s.
- [10] Smolen, F., 1980: Rozptýlené žiarenie a jeho podiel na globálnom žiarení v Bratislave. Geografický časopis, **32**, 300-311.
- [11] Smolen, F., Ostrožlák, 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.
- [12] Smolen, F., Ostrožlák, 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.
- [13] Tomlain, J., Hrvol', J., 1991: Globálne žiarenie a jeho zložky. In: Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu. Vydavateľstvo Alfa. Bratislava, 33/1, 19-44.

Kontaktná adresa: RNDr. Marian Ostrožlák, CSc.

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 8 Bratislava 45,
Slovenská republika

Tel. č.: 7-421-59410613, Fax: 59410626

E-mail: geofostr@savba.sk

ABSTRACT: Na základe meraní rozptýleného žiarenia na meteorologických observatóriách Skalnaté Pleso (49⁰12', 20⁰14', 1778 m n.m.) and Stará Lesná (49⁰09', 20⁰17', 810 m n.m.) za obdobie 1991-2003 je študovaný vplyv hraničnej vrstvy atmosféry na hustotu toku difúzneho žiarenia. Okrem časovej premenlivosti difúzneho žiarenia je sledovaná aj jeho vertikálna premenlivosť pri rôznych podmienkach oblačnosti: pri jasnej, oblačnej a zamračenej oblohe. Podiel difúzneho žiarenia na globálnom žiarení bol určený pre celú spektrálnu oblasť.

Cieľom predloženej práce je štúdium rozptýleného žiarenia vo vysokohorských podmienkach. Na základe priamych meraní rozptýleného žiarenia v rôznych nadmorských výškach - meteorologické observatórium Stará Lesná (810 m n.m.) a Skalnaté Pleso (1778 m n.m.) je sledovaná časová a vertikálna premenlivosť rozptýleného žiarenia v cca 1000 m hrubej hraničnej vrstve atmosféry pri rôznych podmienkach oblačnosti: pri jasnej (množstvo oblačnosti $N < 2/10$ a súčasne dĺžka trvania slnečného svitu $S = 10$), oblačnej (množstvo oblačnosti v intervale $2/10 \leq N \leq 8/10$) a pri zamračenej ($N > 8/10$ a súčasne dĺžka trvania slnečného svitu $S = 0$) oblohe.

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).

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, pri bezoblačnej oblohe (Smolen, 1980), kedy rozptyl priameho slnečného žiarenia je podmienený len molekulami vzduchu a čiastočkami prachu, podiel rozptýleného žiarenia na celkovej intenzite globálneho žiarenia je podstatne menší ako za podmienok výskytu oblačnosti. Vplyvom oblačnosti sa rozptyl spravidla zväčšuje. Vysoké oblaky (riasy, riasové slohy) len málo zoslabujú tok slnečného žiarenia, a preto aj difúzne žiarenie pri tomto druhu oblakov sa len málo zväčšuje v porovnaní s bezoblačnou oblohou. Nízke oblaky (dažd'ová sloha, sloha, slohová kopa) veľmi intenzívne pohlcujú slnečné žiarenie, a preto tok rozptýleného žiarenia je aj v tomto prípade pomerne malý. Najväčšie hodnoty dosahuje difúzne žiarenie pri strednej oblačnosti (vyvýšená kopa) (Lapin a Tomlain, 2001).

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 (Ostrožlík, 2004). Problematike ročných súm rozptýleného žiarenia a jeho podielu na globálnom žiarení vo vybraných polohách na území Slovenska sa zaoberali tiež autori Tomlain a Hrvol' (1991).

Celkový prehľad o časovej a priestorovej premenlivosti rozptýleného žiarenia pri jasnej oblohe dostávame z obr. 1, na ktorom je znázornený priemerný denný a ročný chod rozptýleného žiarenia na meteorologických observatóriách GFÚ SAV Stará Lesná a Skalnaté Pleso. Ako už bolo publikované (Ostrožlík, 2004), najväčšia priemerná hustota toku rozptýleného žiarenia pripadá v priebehu dňa na poludňajšie hodiny, čo poukazuje na závislosť rozptýleného žiarenia od výšky Slnka. Okrem toho sa ukázalo, že kým v Starej Lesnej najvyššia priemerná hodinová hodnota poludňajšieho maxima $.90,395 \text{ J.cm}^{-2}$ pripadá v priebehu roka na jún, na Skalnatom Plese najvyššia hodnota poludňajšieho maxima $96,999 \text{ J.cm}^{-2}$ sa posúva na mesiac apríl. Takéto posunutie najvyšších priemerných hodnôt rozptýleného žiarenia v priebehu roka na mesiac apríl sa prejavuje ešte výraznejšie pri jasnej

oblohe (obr. 1), kedy najvyššia priemerná hodnota rozptýleného žiarenia v tomto mesiaci dosiahla v Starej Lesnej $39,161 \text{ J.cm}^{-2}$ a na Skalnatom Plese $35,419 \text{ J.cm}^{-2}$. Ako vyplýva z prác [1, 3, 4] narastanie hustoty toku rozptýleného žiarenia v jarných mesiacoch môže byť vo vysokohorských polohách podmienené spätným rozptylom odrazeného slnečného žiarenia od povrchu snehovej pokrývky. Takto dochádza pri jasnej oblohe v priebehu roka k vytváraniu podružného maxima v jarných mesiacoch.

Pokúsili sme sa vysvetliť tak posunutie maxima hustoty toku rozptýleného žiarenia do jarných mesiacov, ako aj relatívne vysoké hodnoty rozptýleného žiarenia na Skalnatom Plese v mesiacoch február až apríl [xx]. Jen-hu Chang vo svojej práci uvádza [8], podľa výpočtov Mollera difúzne žiarenie môže narastať v dôsledku vysokej odrážajúcej schopnosti povrchu snehovej pokrývky až o 120 per cent.