

REKONŠTRUKCIA ČASOVÉHO RADU UV-B ŽIARENIA NA SKALNATOM PLESE V OBDOBÍ 1961-2004.

Anna Pribullová
Miroslav Chmelík

Summary

RECONSTRUCTION OF UV-B RADIATION TIME SERIES AT SKALNATE PLESO OBSERVATORY IN PERIOD 1961-2004.

Total ozone measurements have been performed at many places on the Earth since 60-ties and trends in total ozone amount are well established. Time series of an UV-B radiation, measured with sufficient accuracy for the trend determination, have been performed for the last 15 years only. There is an effort to apply different methods to model the UV-B data in the past using the total ozone, selected meteorological proxies (cloudiness, snow cover) and solar radiation measurements (sunshine duration records, total or scattered global irradiance). The UV-B radiation daily doses were modeled using information on the daily total ozone, snow cover and sunshine duration at Skalnaté Pleso during the period 1961 – 2004. Effect of different total ozone input values (I) total ozone measured and modeled (relation between total ozone and upper-air data) at Poprad-Gánovce (II) total ozone measured at Poprad-Gánovce (1993 - 2004) and at Hradec Králove (1961 - 1993) (III) normalized Hradec Králove daily total ozone (averaged values from the period 1962 - 1990); on reconstructed UV-B radiation time series and trends are discussed in this study. Reconstructed UV-B radiation time series show a positive trend for all months (except September) and for both measured and modeled total ozone during time period 1961 – 2004. A statistically significant trends of 3 – 4%/decade are observed in January – March and in August and these trends relate mainly to the total ozone decrease. The highest increase in the UV-B radiation of 8%/decade was detected in May. All investigated phenomena contribute to this significant positive trend: decrease in the total ozone amount, increase in the sunshine duration and increasing number of days with snow cover.

Abstrakt

Celkové množstvo atmosférického ozónu sa meria od začiatku 60-tych rokov na mnohých miestach na Zemi a časové trendy tohto prvku v rôznych oblastiach sú relatívne presne určené. Na určenie trendov UV-B žiarenia, ktoré môže byť ovplyvnené narušením ozónovej vrstvy, chýbajú rady meraní z dostatočnou presnosťou. Preto je snaha modelovať hodnoty slnečného UV-B žiarenia v minulosti použitím dostupných meraní množstva celkového ozónu, radiačných prvkov (dĺžka trvania slnečného svitu, celkové globálne slnečné žiarenia) a meteorologických prvkov (oblačnosť, informácie o snehovej pokrývke, dohľadnosť). Denné sumy UV-B žiarenia boli na Skalnatom plese modelované jednoduchým štatistickým lineárnym vzťahom medzi relatívnym UV-B žiarením a relatívnou dĺžkou trvania slnečného svitu v období 2002 - 2004 a spätne rekonštruované do roku 1961. Keďže merania celkového ozónu z najbližšej stanice Poprad-Gánovce sú dostupné iba od roku 1993, bol sledovaný vplyv radov celkového ozónu získaných do roku 1961 (I) modelovaním použitím aerologických meraní v Poprade – Gánovciach (II) použitím meraní celkového ozónu z najbližšej stanice Hradec Králove (III) použitím normálnych denných hodnôt celkového ozónu získaných z meraní v Hradci Králove v období 1961 - 1990; na modelované hodnoty UV-B žiarenia a ich časové trendy. Rekonštruované časové rady UV-B žiarenia vykazujú stúpajúci trend počas celého roka (okrem septembra) v období 1961 – 2004. Štatisticky významné vzostupné trendy UV-B žiarenia 3 – 4%/10 rokov boli zistené v januári – marci a v auguste a súvisia hlavne s poklesom celkového množstva ozónu. Najvýraznejší nárast

UV-B žiarenia 8%/10 rokov bol zistený v máji. Na tomto stúpajúcom trende sa podieľa nielen pokles celkového ozónu, ale aj nárast dĺžky trvania slnečného svitu a počtu dní so snehovou pokrývkou.

Úvod

Jedným z dôsledkov narušenia ozónovej vrstvy Zeme je zvýšenie intenzity slnečného ultrafialového (UV) žiarenia (obzvlášť UV-B žiarenia), ktoré je atmosférickým ozónom najviac absorbované. Vzhľadom na výrazné a zväčša negatívne biologické účinky tejto zložky slnečného žiarenia je dôležité určenie nielen jeho aktuálnych hodnôt, ale aj dlhodobých zmien. Najväčší nárast hustoty toku UV-B žiarenia sa pozoruje vo vysokých zemepisných šírkach, najmä južnej pologule. V období 1979 – 1992 sa v oblasti 60° južnej zemepisnej šírky uvádza nárast erytemálneho UV žiarenia $9 \pm 6\%/10$ rokov (WMO, 1999). Okrem zmien celkového ozónu, množstvo slnečného UV-B žiarenia pri zemskom povrchu ovplyvňujú aj zmeny iných meteorologických faktorov, hlavne oblačnosti, optickej hrúbky aerosólu (znečistenie atmosféry, zmeny obsahu vodnej pary vo vzduchu) a albeda povrchu. Dlhodobé zmeny týchto prvkov môžu kompenzovať, alebo zvyrazňovať nárast UV-B žiarenia spôsobený poklesom množstva celkového ozónu (Chubarova a Nezval, 2000).

Celkové množstvo atmosférického ozónu sa meria od začiatku 60-tych rokov na mnohých miestach na Zemi a časové trendy tohto prvku v rôznych oblastiach sú relatívne presne určené. Na určenie trendov UV-B žiarenia chýbajú rady meraní z dostatočnou dĺžkou a presnosťou. Preto je snaha modelovať hodnoty slnečného UV-B žiarenia v minulosti použitím dostupných meraní množstva celkového ozónu, radiačných prvkov (dĺžka trvania slnečného svitu, celkové globálne slnečné žiarenie) a meteorologických prvkov (oblačnosť, informácie o snehovej pokrývke, dohľadnosť).

Existujú rôzne prístupy k tvorbe rekonštrukčných modelov UV-B žiarenia. Modely sa dajú rozdeliť do troch skupín: modely založené na tesnej korelácii medzi slnečným UV-B žiarením, celkovým ozónom a (i) celkovým globálnym žiarením (napr. Kaurola a kol., 2000), (ii) oblačnosťou (Engelsen a kol. 2004) (iii) dĺžkou trvania slnečného svitu (Lindfors a kol., 2003; Lindfors a Villeumier, 2005). Okrem celkového globálneho UV-B žiarenia je snaha modelovať aj dlhodobé zmeny spektrálnych tokov UV žiarenia (Gantner a kol., 2000).

Cieľom tohto príspevku je posúdenie dlhodobých zmien celkového globálneho UV-B žiarenia na vysokohorskej stanici Skalnaté Pleso (49,18N; 20,18E; 1778 m n.m.) použitím jed-

noduchého rekonštrukčného modelu, ktorý využíva koreláciu medzi UV-B žiarením, celkovým ozónom, dĺžkou trvania slnečného svitu a snehovou pokrývkou.

Materiál a metódy

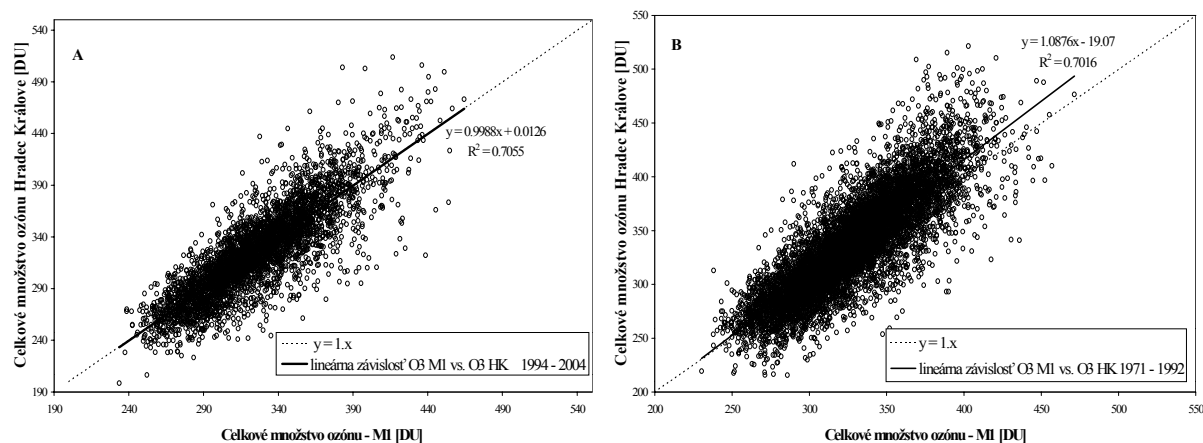
V práci sú použité dlhodobé rady meraní dĺžky trvania slnečného svitu Campbell-Stokesovým heliografom a klimatologické údaje o prítomnosti snehovej pokrývky a jej stave získané na Skalnatom Plese v období 1961 - 2004. Merania slnečného UV-B žiarenia UV biometrom (Solar Light comp.) sú k dispozícii od mája 2002. Registrujú sa hodinové priemerné hodnoty hustoty toku UV-B žiarenia dopadajúce na horizontálnu plochu.

Keďže merania celkového ozónu z najbližšej stanice Poprad-Gánovce (49,03N; 20,32E; 710 m n.m.) sú dostupné iba od roku 1993, hodnoty celkového ozónu boli získané od roku 1961 (I) modelovaním použitím aerologických meraní v Poprade – Gánovciach (II) použitím meraní celkového ozónu z najbližšej stanice Hradec Králove (50,18N; 15,83E; 285 m n.m.) (III) použitím normálnych denných hodnôt celkového ozónu získaných z meraní v Hradci Králove v období 1962 – 1990.

I. Množstvo celkového ozónu v Poprade-Gánovciach bolo v období 1961 - 2004 modelované sezónnym lineárnym štatistickým modelom na základe zistených najtesnejších korelácií medzi množstvom celkového ozónu a vybranými aerologickými parametrami (Pribullová a Chmelík, 2000) – rozdielom výšok štandardných tlakových hladín 70 hPa a 250 hPa, výškou hladiny 250 hPa, rozdielom teplôt v hladinách 70 hPa a 250 hPa a teplotou v hladine 700 hPa. Používali sa 4 modelové rovnice s regresnými koeficientami odvodenými pre jednotlivé kvartály. Chyba modelu vyjadrená štandardnou odchýlkou medzi modelovými a meranými údajmi je najväčšia v prvom kvartáli (január - marec) a predstavuje 8,4% (29 DU) a najmenšia je v treťom kvartáli (júl - september) 4,3% (13 DU). Hoci s celkovým ozónom lepšie korelujú údaje z vyšších tlakových hladín stratosféry (50 hPa), hlavne v zimnom období, v modeli sme použili údaje z hladiny 70 hPa, keďže v 60-tych rokoch aerologické sondy dosahovali v priemere menšie výšky. Aj hladina 70 hPa však bola v 60-tych rokoch dosahovaná zriedkavo a preto môžu byť modelované

hodnoty celkového ozónu a následne UV-B žiarenia v tomto období nereprezentatívne.

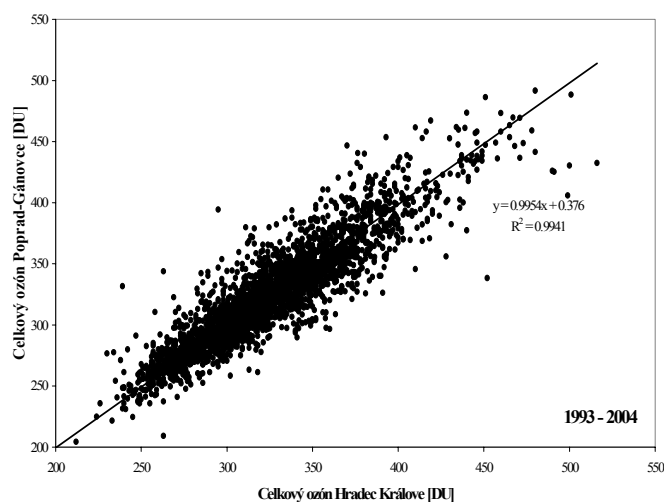
Model s takto získaným celkovým ozónom je ďalej označovaný symbolom M1.



Obr.1 Porovnanie celkového ozónu získaného modelovaním pomocou aerologických údajov z Popradu-Gánoviec (M1) - a meraného v Hradci Králove v období 1971 – 1992 (B) a 1994 – 2004 (A).

II. V období 1961 - 1993 boli použité merania celkového ozónu Dobsonovým spektrometrom (Vaníček, 1991) v Hradci Králove. Sezónne porovnanie meraní celkového ozónu Brewerovým spektrofotometrom v Poprade-Gánovciach a meraní v Hradci Králove v období 1993 - 2004 ukázalo, že rozdiely hodnôt celkového ozónu vyjadrené štandardnou odchýlkou, predstavujú počas celého roka 5% (18 DU), rozdiely priemerných mesačných hodnôt celkového ozónu boli v rozsahu 1% - 3%. Neboli tiež zistené systematické odchýlky medzi denným celko-

vým ozónom meraným na oboch staniciah ani významné rozdiely vo variabilite celkového ozónu (vyjadrenej štandardnou odchýlkou od priemeru) – obr. 2. Chýbajúce denné hodnoty celkového ozónu v Hradci Králove boli v období 1978 – 2004 nahradené satelitnými údajmi meranými prístrojom TOMS (Total Ozone Mapping Spectrophotometer), alebo v období 1961 – 1978 nahradené údajmi z databázy ECMWF ERA40. Model s takto získaným celkovým ozónom je ďalej označovaný symbolom HKG.



Obr. 2 Porovnanie hodnôt celkového ozónu v Poprade-Gánovciach a Hradci Králove v období 1993 – 2004.

III. Pre porovnanie vplyvu trendu celkového ozónu a ostatných modelových parametrov (snehová pokrývka, slnečný svit) na dlhodobé zmeny UV-B žiarenia boli v období 1961 - 2004 použité normalizované hodnoty celkového ozónu za obdobie 1962 – 1990 (Kalvová a Dubrovský, 1995). Model s takto získaným celkovým ozónom je ďalej označovaný symbolom HKN.

UV-B žiarenie bolo modelované na základe známych údajov o dennej dĺžke trvania slnečného svitu a snehovej pokrývke. Denná suma UV-B žiarenia uv bola vypočítaná z modelovanej hodnoty relatívneho UV-B žiarenia ruv nasledovne:

$$uv = ruv \cdot uv_{max} \quad (1).$$

Pre modelovanie relatívneho UV-B žiarenia ruv bol použitý nasledovný regresný vzťah:

$$ruv = a \cdot rs + b \quad (2),$$

kde

$$ruv = uv_{obs}/uv_{max} \quad (3),$$

pričom uv_{obs} je meraná denná suma UV-B žiarenia na Skalnatom Plese v období 2002 - 2004 a uv_{max} je hodnota dennej sumy UV-B žiarenia modelovaná pomocou radiačného modelu TUV (Madronich, 1993) použitím discrete-ordinate radiačnej schémy pre bezoblačnú oblohu a pre zadané množstvo celkového ozónu. V prípade snehovej pokrývky bola hodnota zväčšená o rovnakú hodnotu 15 %.

$$rs = sd_{obs}/sd_{max} \quad (4),$$

kde rs je relatívna dĺžka trvania slnečného svitu vypočítaná ako podiel pozorovaného denného slnečného svitu sd_{obs} a maximálneho možného slnečného svitu sd_{max} . Keďže horizont v okolí Skalnatého Plesa je členitý, astronomicky možná dĺžka trvania slnečného svitu je vyššia ako pozorovaná dĺžka trvania slnečného svitu pri bezoblačnej oblohe, pričom rozdiel sa počas roka mení. Preto bola hodnota sd_{max} získaná polynomickým fitom najvyšších hodnôt sd_{obs} nameraných v období 1961 – 2004. a , b predstavujú regresné koeficienty získané osobitne pre obdobie so snehom a bez snehovej pokrývky z údajov meraných v období 2002 - 2004.

Model pre výpočet ruv počíta s jednoduchým lineárnym vzťahom medzi ruv a rs , hoci pre hodnoty rs medzi 0 a 0,1 je nárast hodnôt ruv väčší, ako predpokladá lineárne vyjadrenie v celom rozsahu rs . Ďalším nedostatkom modelu je to, že neuvažuje s dlhodobými zmenami aerosólu v atmosfére.

Chyby modelu denných súm UV-B žiarenia vyjadrené štandardnou odchýlkou od priemeru predstavujú pre obdobie bez snehu 41% (224 J.m⁻²) a v období so snehovou pokrývkou 31% (281 J.m⁻²). Rozdiely medzi meranými a vypočítanými mesačnými priemermi denných súm UV-B žiarenia predstavujú 10% (151 J.m⁻²).

Výsledky a diskusia

Z modelovaných denných súm UV-B žiarenia boli vypočítané priemerné mesačné hodnoty v období 1961 – 2004. Závislosť priemernej hodnoty dennej sumy UV-B žiarenia od času bola pre každý mesiac vyjadrená lineárnou funkciou (metódou najmenších štvorcov) pre celé sledované obdobie 1961 – 2004 a obdobie 1985 – 2000, kedy sa predpokladal najväčší úbytok celkového ozónu (obr. 3).

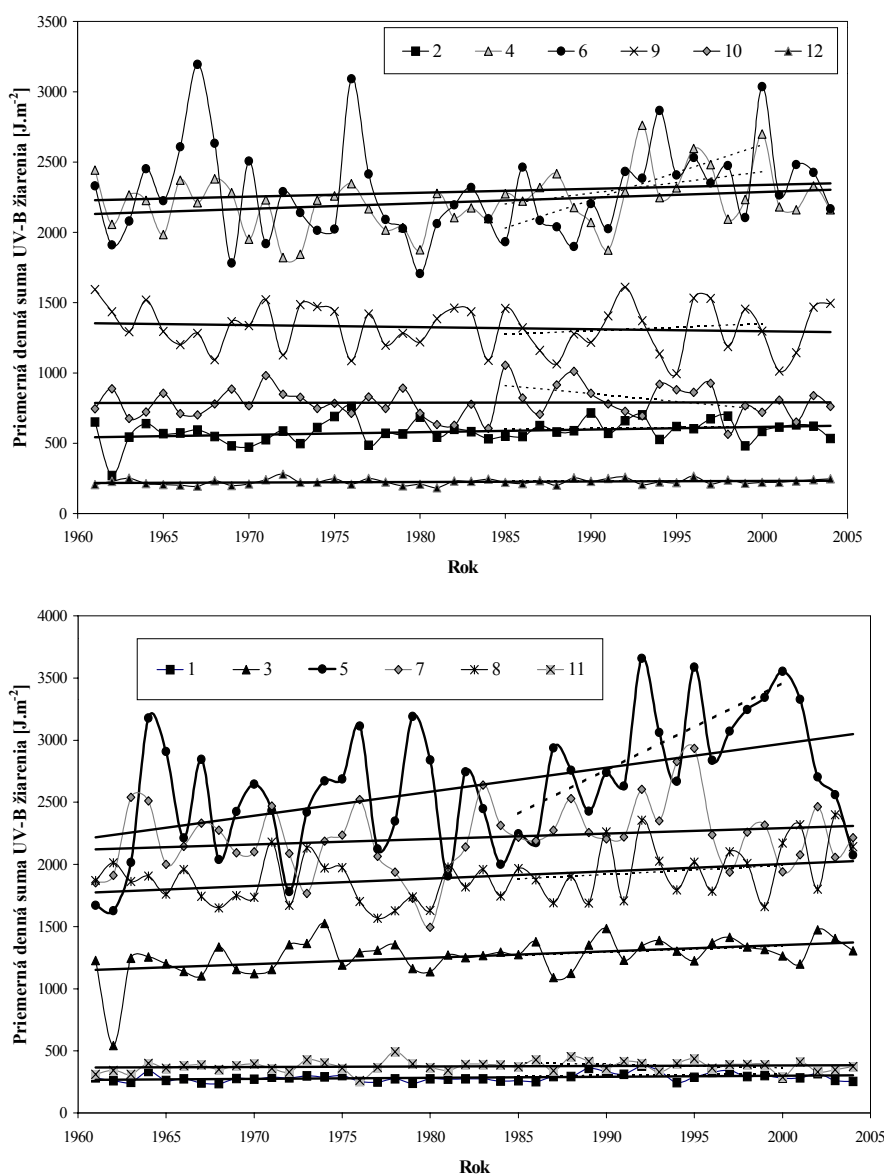
Boli porovnané trendy UV-B žiarenia pre vybrané časové intervaly a hodnoty celkového ozónu merané v Poprade-Gánovciach a v Hradci Králove (HKG), modelované pomocou aerologických údajov (M1) a normálne hodnoty celkového ozónu vypočítané pre stanicu Hradec Králove (HKN). Lineárne trendy vyjadrené v % za 10 rokov sú zhrnuté v tab. 1. Štatisticky významné trendy UV-B žiarenia boli pre obdobie 1961 – 2004 zistené pri použití celkového ozónu z Hradca Králove (model HKG) v jar-ných mesiacoch január – marec a v auguste 3 - 4 %/10 rokov, v máji až 8%/10 rokov. Podobné štatisticky významné hodnoty trendov UV-B žiarenia boli vypočítané aj použitím modelových hodnôt celkového ozónu (model M1) 5%/10 rokov v januári, 3%/10 rokov v marci, 2%/10 rokov v auguste a 7%/10 rokov v máji. Počas celého roka, okrem septembra, bol v období 1961 – 2004 zistený vzostup hodnôt UV-B žiarenia. V prípade použitia normálnych denných hodnôt celkového ozónu (model HKN), teda pri použití celkového ozónu bez trendu, pre celé obdobie 1961 – 2004 možno predpokladať, že trendy modelovaného UV-B žiarenia sú spôsobené inými klimatickými vplyvmi, ako poklesom množstva celkového ozónu. Trendy UV-B žiarenia v tomto prípade dosahujú štatisticky významnú hodnotu v máji

(5%/10 rokov), v marci a v auguste predstavujú 2%/10 rokov.

Rozdiely medzi trendom UV-B žiarenia vypočítaným v období 1985 – 2000 boli zistené pre vstupné údaje celkového ozónu M1 a HKG. Kým pre celkový ozón HKG boli v marci a auguste zistené vzostupné trendy UV-B žiarenia, pre modelové hodnoty celkového ozónu M1 sa v týchto mesiacoch zistil výrazne klesajúci trend UV-B žiarenia. Pre model M1 sa nezistili signifikantné trendy UV-B žiarenia v jarňých mesiacoch. Oba modely potvrdzujú štatisticky významné trendy UV-B žiarenia, stúpajúce v mesiacoch jún (18%/10 rokov pre model HKG) a máj (až 28%/10 rokov pre mo-

del HKG) a klesajúce v októbri (-12%/10 rokov – model HKG) a novembri (-6%/10 rokov – model HKG).

Rozdiely v trendoch UV-B žiarenia, ktoré sa prejavujú hlavne v období 1985 – 2000, súvisia s rozdielmi v trendoch celkového ozónu modelovaného z aerologických údajov a z meraní v Hradci Králove. Tieto rozdiely - najmä systematické podhodnotenie modelovaných vysokých hodnôt celkového ozónu (obr.1) v zimných a jarňých mesiacoch pred rokom 1993 – indikujú otázku, či je možné modelovať dlhodobé zmeny celkového ozónu v Poprade-Gánovciach iba na základe zmien aerologických parametrov.



Obr. 3 Mesačné priemery denných súm UV-B žiarenia na Skalnatom Plese. Lineárny trend je za obdobie 1961 – 2004 vyznačený spojitou priamkou a za obdobie 1985 – 2000 prerusovanou

priamkou. Rekonštrukčný model UV-B žiarenia s celkovým ozónom meraným v Hradci Králove a Poprade-Gánovciach (HKG).

Použitím normálových hodnôt celkového ozónu v období 1985 – 2000 sa detegoval štatisticky významný vzostup UV-B žiarenia v máji a v júni a potvrdil sa pokles v júli a jesenných mesiacoch október a november.

Štatisticky významné vzostupné trendy UV-B žiarenia pozorované v období 1961 - 2004 v januári – apríli a v auguste pre model s celkovým ozónom z Hradca Králove zanikajú pri použití normálových hodnôt celkového ozónu. To znamená, že tieto vzostupné trendy súvisia najmä so zmenami celkového ozónu. V máji

však zostáva výrazný vzostupný trend UV-B žiarenia aj v prípade použitia normálnych hodnôt celkového ozónu, čo pravdepodobne súvisí s dlhodobými zmenami dĺžky trvania slnečného svitu a prítomnosti snehovej pokrývky. V období 1985 – 2000, sa na vzostupe májových hodnôt UV-B žiarenia podieľajú všetky sledované faktory - pokles celkového ozónu (pre merania HKG -5%/10 rokov), nárast relatívnej dĺžky trvania slnečného svitu (6%/10 rokov) a tiež nárast počtu dní so snehovou pokrývkou (21%/10 rokov).

Tab. 1 Hodnoty lineárnych trendov UV-B žiarenia na Skalnatom Plese v % /10 rokov.

Mesiac	% /10 rokov					
	1961 - 2004			1985 - 2000		
	M1	HKG	HKN	M1	HKG	HKN
1	4,6	3,1	0,7	0,8	3,1	0,76
2	0,3	3,4	1,2	-1,6	1,8	-3,3
3	2,8	4,3	1,7	-4,2	3,8	0,2
4	0,3	1,8	-0,4	0,2	6,5	-1,1
5	7,0	8,5	5,1	18,2	27,3	18,5
6	0,5	1,2	-0,6	13,0	18,3	9,2
7	0,4	2,0	1,2	-4,8	-1,7	-4,9
8	2,0	3,2	1,7	-4,6	3,6	0,23
9	-1,3	-1,1	-1,4	1,3	3,7	1,8
10	1,1	0,1	-0,6	-15,3	-11,6	-13,12
11	1,2	1,1	0,4	-7,6	-6,3	-8,2
12	1,7	1,5	0,4	0,5	0,3	0,3

Výrazný vzostup UV-B žiarenia v období 1985 - 2000 v júni súvisí hlavne s rastom relatívnej dĺžky trvania slnečného svitu (10%/10 rokov). Júlový pokles UV-B žiarenia v období 1985 - 2000 je ovplyvnený poklesom relatívnej dĺžky trvania slnečného svitu (-8%/10 rokov). V auguste sa na trende UV-B žiarenia v oboch sledovaných obdobiach podieľajú dlhodobé zmeny dĺžky trvania slnečného svitu (v období 1985 - 2000 2%/10 rokov) a hlavne celkového ozónu (v období 1985 - 2000 -3 %/10 rokov - HKG). Štatisticky významné trendy UV-B žiarenia boli zistené v jesenných mesiacoch a v decembri iba za obdobie 1985 – 2000, a súvisia hlavne so zmenami dĺžky trvania slnečného svitu.

Záver

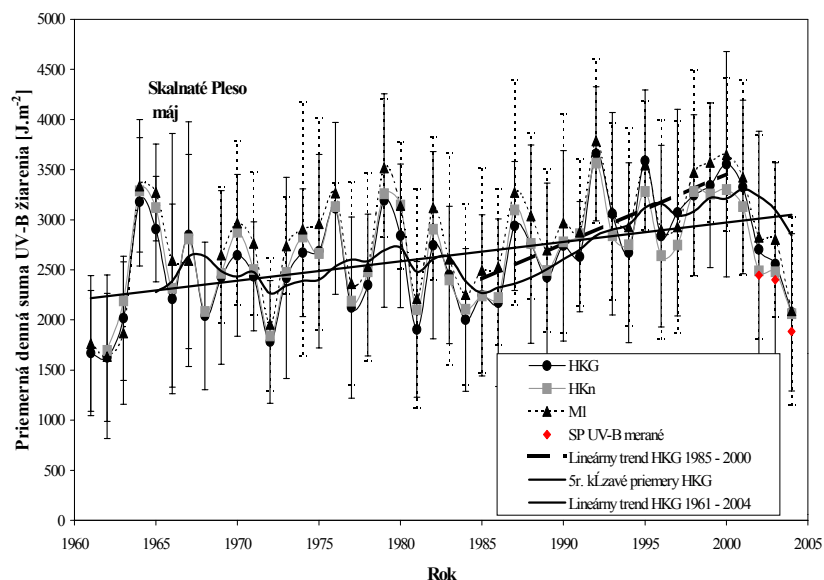
Porovnanie trendov modelovaného UV-B žiarenia v obdobiach 1961 – 2004 a 1985 – 2000 ukázalo vzostup UV-B žiarenia v jarných mesiacoch január - marec, na ktorom sa podi-

eľa hlavne pokles množstva celkového ozónu. Najväčší vzostupný trend UV-B žiarenia bol zistený v máji (obr.4). V tomto mesiaci sa na horskej meteorologickej stanici Skalnaté Pleso pozorujú aj najvyššie denné sumy UV-B žiarenia. V máji sa na vzostupe hodnôt UV-B žiarenia podieľajú aj dlhodobé zmeny dĺžky trvania slnečného svitu a zmeny v prítomnosti snehovej pokrývky. Dlhodobé zmeny dĺžky trvania slnečného svitu výrazne ovplyvňujú trendy UV-B žiarenia v období 1985 – 2000, kedy čiastočne kompenzujú vplyv úbytku celkového ozónu v januári a februári a zvyrazňujú pokles UV-B žiarenia v máji a v júni. Naopak, pokles relatívneho slnečného svitu v tomto období prispel k poklesu UV-B žiarenia najmä v júli, ale aj v októbri a novembri, kedy sú však denné sumy UV-B žiarenia z hľadiska jeho biologických účinkov nezaujímavé.

Porovnanie medzi modelovanými hodnotami celkového ozónu a celkovým ozónom meraným v Poprade-Gánovciach a na najbližšej stanici Hradec Králove ukázalo systematické podhod-

notenie, hlavne vysokých hodnôt, celkového ozónu modelom v období pred rokom 1993. To sa prejavilo rozdielmi v trendoch UV-B žiarenia v mesiacoch január – august. Lepšia zhoda medzi modelovaným celkovým ozónom a

meraniami v Hradci Králove v druhej polovici roka sa prejavila aj v zhodných trendoch UV-B žiarenia, hlavne v období 1985 – 2000, kedy boli aj v druhej polovici roka zistené štatisticky významné trendy UV-B žiarenia.



Obr.4 Priemerná denná suma UV-B žiarenia na Skalnatom Plese v máji vypočítaná použitím rôznych hodnôt celkového ozónu v období 1961 – 2004. Lineárny trend v období 1961 – 2004 je vyznačený spojitou priamou čiarou, v období 1985 – 2000 prerušovanou priamou čiarou.

Literatúra

- Chubarova, N., Y., Nezval, I., Y., Thirty year variability of UV irradiance in Moscow, J. Geophys. Res., 105, 12,529 – 12, 539, 2000.
- Engelsen, O., Hansen, G. H., Svenoe, T., Long-term (1936 – 2003) ultraviolet and photosynthetically active radiation doses at a north Norwegian location in spring on the basis of total ozone and cloud cover, Geophys. Res. Lett., 31, L12103, doi: 10.1029/2003GL019241, 2004.
- Gantner, L., Winkler, P., Kohler, U., A method to derive long-term time series and trends of UV-B radiation (1968 – 1997) from observations at Hohenpeissenberg (Bavaria), J. Geophys. Res., 4879 – 4888, 2000.
- Kalvová, J., Dubrovský, M.: Posudzování normality denních průměrných hodnot celkového ozónu. Meteorol. Zpr., 48, 9-17, 1995.
- Kaurola, J., Taalas, P., Koskela, T., Borkowski, J., Josefsson, W., Long-term variations of UV-B doses at three stations in northern Europe, J. Geophys. Res., 20,813 – 20,820, 2000.
- Lindfors, A., Arola, A., Kaurola, J., Taalas, P., Svenoe, T., Long-term erythemal UV doses at Sondakyla estimated using total ozone sunshine duration and snow depth, J. Geophys. Res., 108, doi:10.1029/1002JD003325, 2003.
- Lindfors, A., Vuilleumier, L., Erythemal UV at Davos (Switzerland), 1926 – 2003, estimated using total ozone, sunshine duration, and snow depth, J. Geophys. Res., 110, D02104, doi: 10.1029/2004JD005231, 2005.
- Madronich, S., UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, In.: Environmental effects of UV radiation, Ed. M. Tevini, Lewis Publishers, Boca Raton, 17 – 69, 1993.
- Pribullová, A., Chmelík, M., Short-term total column ozone forecasting based on statistical relations with upper-air parameters. Meteorologický časopis, 2, 19 - 28, 2001.

Vaniček, K., Recalculated total ozone data, Hradec Kralove, 1962 -1990, CHMU Praha , ISBN 80-900206-4-x, 1991.

WMO, Scientific assessment of ozone depletion: 1998. Report No. 44, Geneva, 1999.