

# ERYTÉMNE ÚČINKY ULTRAFIALOVÉHO SLNEČNÉHO ŽIARENIA.

## ERYTHEMATOUS EFFECTS OF SOLAR UV RADIATION

Mišaga, O., Chmelík, M.,

*Slovenský hydrometeorologický ústav, Poprad - Gánovce*

### Abstract

Total ozone depletion is associated with an increase in solar UV-B radiation. To express one of the important biological impacts, the erythema-weighted solar UV irradiance is used. UV measurements taken with the Brewer ozone spectrophotometer MKIV at SHMI station Poprad-Ganovce in the period of 1994-2000 are presented. Spectral data across the region of 290 - 325 nm have been weighted by McKinley and Diffey action spectra to obtain the DUV (Damaging UV) irradiance. Daily and annual courses of DUV are shown to illustrate significant daily and seasonal variability of UV-B radiation. The impact of cloudiness is also discussed. Information about UV radiation is regularly distributed to the public. The UV Index forecast has been published as a new product on the SHMI Web site since April 2000.

### 1. Úvod

Jedným z faktov, potvrdzujúcich vzájomné i keď nepriame vzťahy medzi počasím, klímou a ľudským zdravím, je aj narušenie ochrannej funkcie ozónovej vrstvy. Následkom zmien, ktoré zasiahli prirodzenú rovnováhu v ozónovej vrstve, dochádza k neobvyklému nárastu škodlivého ultrafialového žiarenia dopadajúceho na zemský povrch, so všetkými dôsledkami pôsobenia na živé organizmy a prírodné ekosystémy. Nehľadiac na optimistické či pesimistické postoje k stenčovaniu ozónovej vrstvy, faktom zostáva redukcia stratosférického ozónu a následný nárast UV-B žiarenia v troposfére a na povrchu oboch zemských polorúľ. Náhle zmeny v príjme slnečného žiarenia sa tak stávajú nebezpečnými pre všetky formy života na našej planéte.

## 2. Ultrafialové slnečné žiarenie

V nasledujúcej tabuľke je vyjadrená energetická distribúcia slnečného žiarenia pred vstupom do atmosféry, pri slnečnej konštante  $1367,2 \text{ Wm}^{-2}$  (Frederick, 1989).

Spektrálna oblasť	Intenzita žiarenia	Percentuálne zastúpenie
UVC ( < 280 nm)	6,4	0,5
UVB ( 280 – 315 nm)	18,5	1,4
UVA ( 315 – 400 nm)	88,3	6,4
Viditeľná ( 400 – 700 nm)	532,0	38,9
Infračervená ( $\geq 700 \text{ nm}$ )	722,0	52,8

Tab.1. Energetická distribúcia slnečného žiarenia

Ľudské oko rozpoznáva svetlo na vlnovej dĺžke 430 nm (fialová) až 790 nm (červená). Žiarenie na kratších vlnových dĺžkach než rozpozná ľudské oko je nazvané ako „ultrafialové“(UV). Časť UV žiarenia je absorbovaná ozónom, časť sa odrazí späť do voľného priestoru a iba jeho malé množstvo dopadá na zemský povrch a to buď ako „priame lúče“ alebo ako „difúzne svetlo“. Teda zatemnením priamych slnečných lúčov získame iba čiastočnú ochranu pred UV expozíciou, nakoľko je potrebné počítať aj s rozptýleným UV svetlom. Samotné UV žiarenie možno podľa vlnovej dĺžky rozdeliť do troch intervalov: UVA (315 – 400 nm), UVB (280 – 315 nm) a UVC (100 – 280 nm). UVA žiarenie zohráva významnú úlohu pri produkcii fotochemického smogu a svojím pôsobením poškodzuje plasty, farbivá a tkaniny. UVC žiarenie označované tiež ako „letálne žiarenie“ je úplne absorbované ozónom a ďalšími plynmi a nedopadá na zemský povrch. Z hľadiska biologických účinkov je najvýznamnejšie UVB žiarenie, na ktoré pripadá len približne 1,4 % slnečného svetla a je sčasti absorbované stratosférickým ozónom. Čo sa týka vplyvu na biosféru, v dôsledku vysokej účinnosti tohto žiarenia vzniká celý rad biologických efektov. K jeho najznámejším biologickým účinkom patria erytémové účinky, opálenie pokožky, poškodenie zraku (snežná slepota, zákaly), produkcia vitamínu D<sub>3</sub>, zmeny DNA, zmeny vo fotosyntéze rastlín a ďalšie. Je preto pochopiteľné, že v súčasnosti sa zvyšuje záujem širokej verejnosti o ultrafialové žiarenie, predovšetkým z hľadiska jeho škodlivých účinkov na ľudskú populáciu.

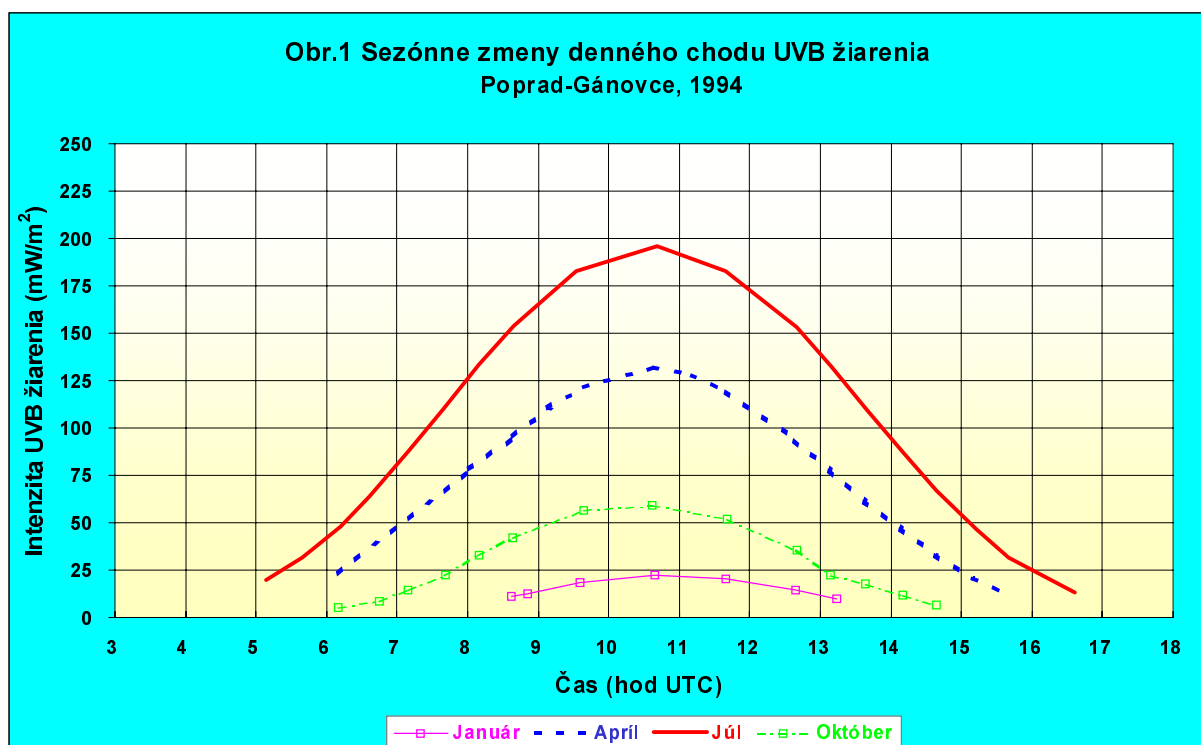
Zistenie dlhotrvajúcich zmien UVB žiarenia je omnoho zložitejšie ako napríklad zisťovanie dlhotrvajúcich zmien v úbytku ozónu. Jednou z príčin je fakt, že intenzita UVB žiarenia na zemskom povrchu závisí nielen od množstva stratosférického ozónu, ale aj od

d'alších faktorov ako je pokrytie oblačnosťou, výskyt aerosólov, hmla, znečistenia ovzdušia a albedo zemského povrchu.

Uvádza sa, že pri poklese ozónu o 1 % dochádza k zosilneniu UVB žiarenia (280 – 320 nm) asi o 1,5 - 1,7 %.

Oblačnosť vo všeobecnosti ultrafialové slnečné žiarenie redukuje, zoslabenie však závisí od optickej hrúbky oblakov. Tenké oblaky a oblaky neprekrývajúce slnečný kotúč majú len slabý vplyv na UV žiarenie. Za určitých okolností môže malé množstvo oblakov dokonca aj zvýšiť intenzitu slnečného UV žiarenia pri zemskom povrchu. Hrubé oblaky prekrývajúce slnečný kotúč podstatne znižujú intenzitu UV žiarenia.

Omnoho väčší vplyv na intenzitu ultrafialového slnečného žiarenia má výška slnka, ktorá ovplyvňuje optickú dráhu slnečných lúčov prechádzajúcich ozonosférou. Pri malých zenitových uhloch, keď je slnko vysoko na oblohe, je dráha slnečných lúčov v zemskej atmosfére krátka a absorpcia škodlivého žiarenia podstatne menšia ako pri veľkých zenitových uhloch, keď je slnko nízko nad obzorom. Preto sa intenzita škodlivého UV žiarenia výrazne mení v priebehu dňa, v priebehu roka a tiež so zmenou zemepisnej šírky. Najväčšia je v lete na poludnie a v tropických či subtropických oblastiach. Sezónna závislosť hodnôt UVB žiarenia je zrejmá z obr.1.



Pri dopade na zemský povrch je slnečné UV žiarenie pohlcované alebo odrážané, čo závisí od druhu povrchu. Väčšina prírodných povrchov odráža menej ako 10 % žiarenia. Čerstvý sneh však môže odraziť až 80 % UV žiarenia, preto v jarnom období na zasneženom povrchu môže intenzita škodlivého UV žiarenia dosiahnuť temer letné hodnoty. Do vody preniká okolo 95% UV žiarenia, pričom 50 % prenikne až do hĺbky 3 m.

Ultrafialové slnečné žiarenie sa s nadmorskou výškou zvyšuje, pretože sa znižuje stĺpec atmosféry, ktorý ho absorbuje. Merania ukazujú, že na 1 km výšky zosilnie o približne 6 – 8 %.

### 3. Spektrálne merania a erytémové účinky UVB žiarenia

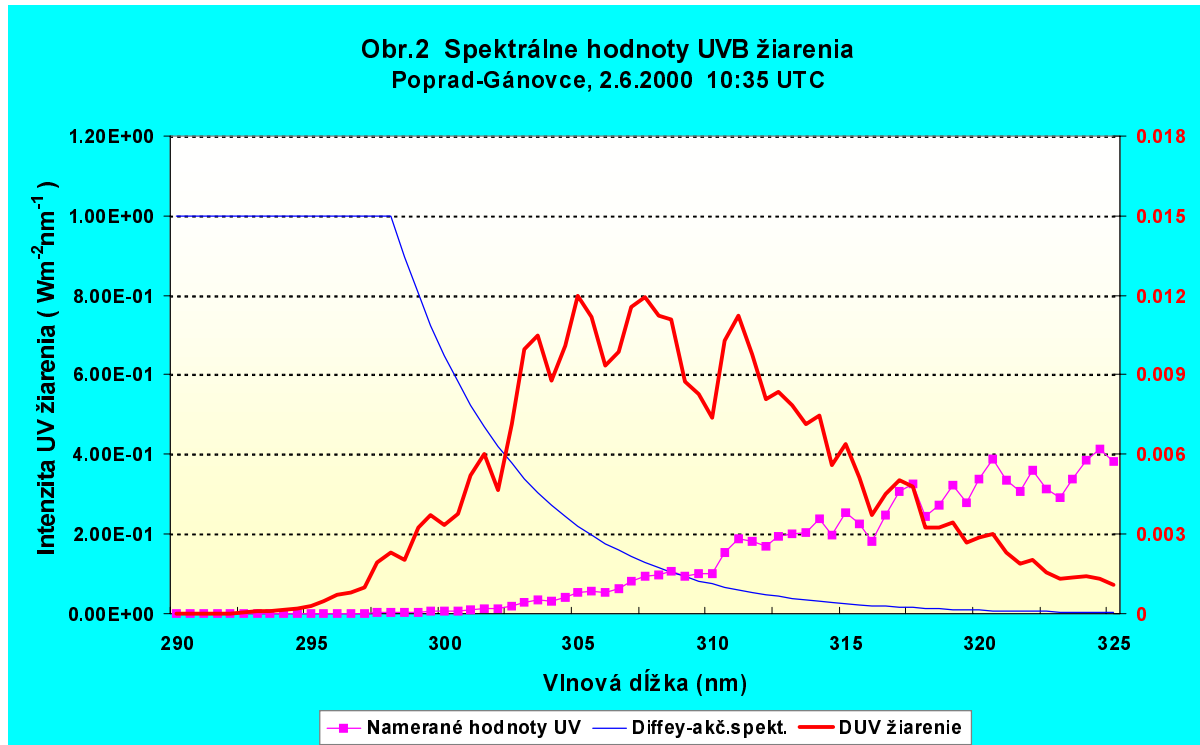
Spektrálne hodnoty UVB žiarenia sa získavajú pomocou Brewerovho spektrofotometra a to skanovaním spektra v oblasti 290 – 325 nm, s krokom 0,5 nm. Táto metóda sa využíva aj pre meranie atmosférického ozónu, na základe vyhodnotenia zoslabeného UV slnečného žiarenia s vlnovými dĺžkami ležiacimi v absorpčnej oblasti ozónu. Na zhodnotenie UV žiarenia sa zasa využíva tzv. „akčné spektrum“, čo je funkcia, popisujúca relatívnu účinnosť jednotlivých vlnových dĺžok pri vyvolávaní určitého biologického efektu. Ak relatívnu účinnosť príslušného biologického efektu, čiže príslušným akčným spektrom, zhodnotíme hustotu toku nameraného globálneho UV žiarenia, získame tzv. „biologicky účinné“ UV žiarenie. Jednotlivé spektrá účinnosti sú zamerané na rôzne biologické efekty, podľa účinku na človeka, zvieratá a rastliny. Medzi najviac používané v súvislosti s ľudským zdravím patria erytémové, DNA a nemelanómové akčné spektrá. Brewerov spektrofotometer umožňuje vyčíslit' škodlivé DUV (damaging UV) žiarenie, vzhľadom na erytémový účinok, podľa vzťahu:

$$(1) \text{ DUV} = \int I(\lambda) \cdot A(\lambda) d\lambda, \quad 290 \text{ nm} \leq \lambda \leq 325 \text{ nm},$$

kde DUV je hustota toku biologicky aktívneho žiarenia,  $I(\lambda)$  je hustota toku globálneho žiarenia vo  $\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ , prislúchajúca vlnovej dĺžke  $\lambda$  udanej v nm.  $A(\lambda)$  je príslušné akčné spektrum. V tomto prípade je použité tzv. Diffey - akčné spektrum, definované ako:

$$(2) \begin{aligned} A(\lambda) &= 1.0, & \lambda &\leq 298 \text{ nm} \\ A(\lambda) &= 10^{0.094(298-\lambda)}, & \lambda &> 298 \text{ nm}, \end{aligned}$$

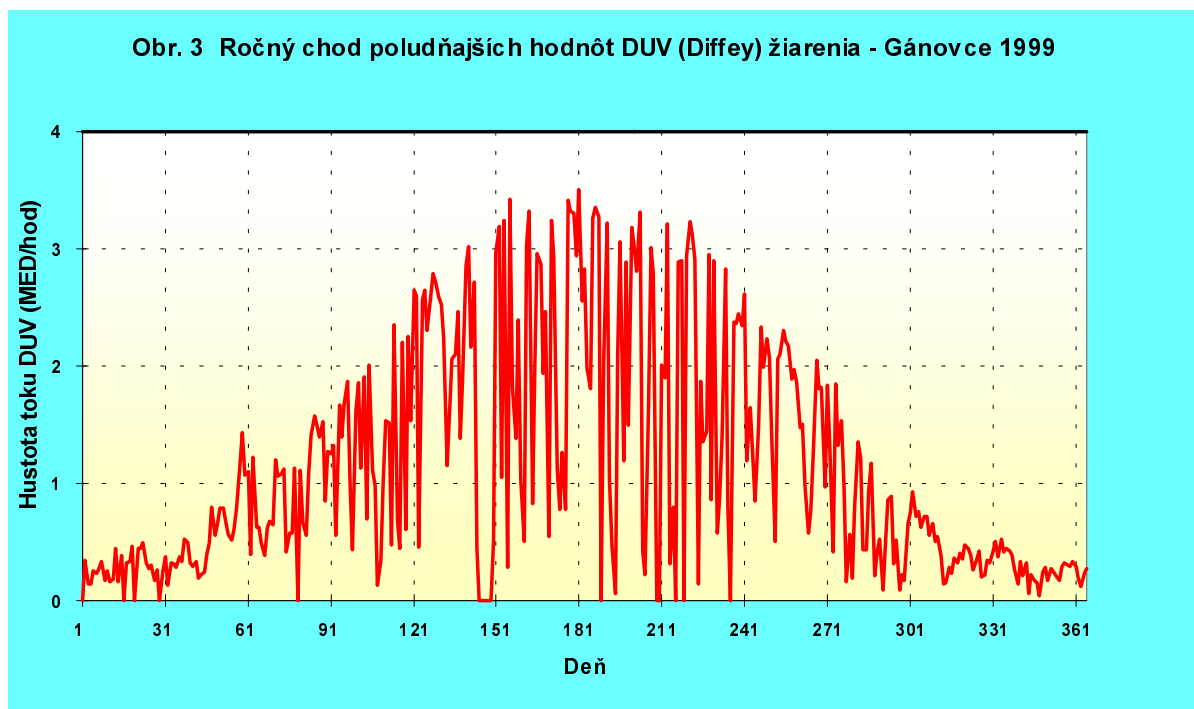
príčom pre odhad príspevku UVA oblasti je použitý Diffey korekčný faktor. Brewerov spektrofotometer zaznamenáva toky žiarenia pre jednotlivé vlnové dĺžky, sumárne hodnoty biologicky aktívneho žiarenia a tiež denné integrály žiarenia. Diffey - akčné spektrum ako aj samotný efekt ohodnotenia, čiže vážené spektrálne UV žiarenie počas bezoblačného letného dňa, sú zobrazené na obr.2.



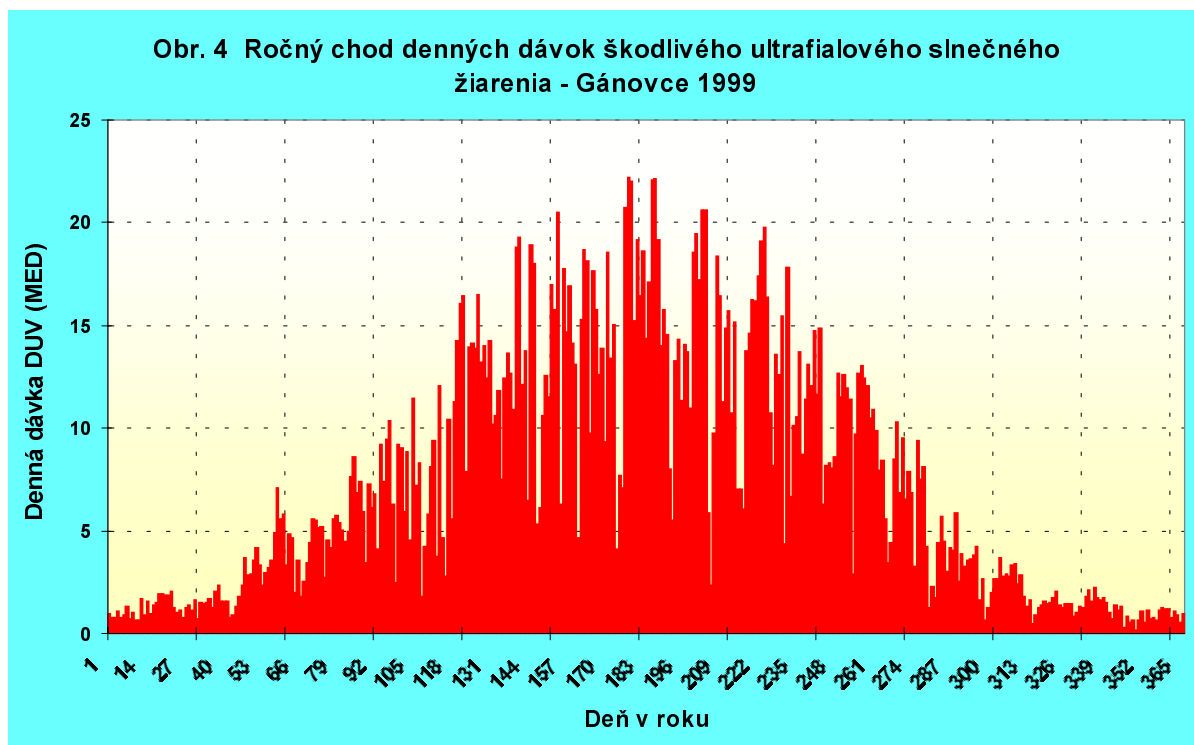
Na obrázku je vidieť, že na vlnových dĺžkach pod 310 nm dochádza k rapidnému poklesu intenzity UV žiarenia, čo je zapríčinené absorpciou ozónom. Podľa vyššie uvedenej definície akčného spektra je jeho maximum priradené vlnovým dĺžkam do 298 nm včítane, čo po prepočte znamená, že najväčší erytémový účinok je dosahovaný na vlnových dĺžkach v oblasti okolo 305 nm.

Toto erytémové akčné spektrum matematicky vyjadruje citlivosť ľudskej pokožky pri opálení (sčervenanie – erytém), následkom rozšírenia kapilár. Zatiaľ čo tepelný erytém nastupuje po ožiarení veľmi rýchlo, uv - erytém je viditeľný až po 1-3 hodinách a dosiahne vrchol za 6 – 8 hodín. Na vyjadrenie minimálnej erytémovej dávky slnečného UV žiarenia bola zavedená jednotka 1 MED (Minimal Erythemal Dose). Po jej prekročení začína pokožka, ktorá predtým nebola dlhšie vystavovaná slnečnému žiareniu vytvárať erytém. Jej veľkosť sa mení v závislosti od fototypu pokožky a v rámci európskej populácie kolíše v intervale 200 až 500 J/m<sup>2</sup>. Prejavy na koži vo forme sčervenania alebo pigmentácie závisia aj od vlnovej dĺžky. UVB žiarenie spôsobuje silné sčervenanie kože a slabú pigmentáciu a UVA žiarenie

slabé sčervenanie a silnú pigmentáciu. Na obr.3 je znázornený ročný chod poludňajších dávok DUV (Diffey) žiarenia za každého počasia, vyjadrených v jednotkách MED/hod .



Najvyššie hodnoty DUV žiarenia presahujúce hodnotu  $200 \text{ mW/m}^2$  , čo zodpovedá hodnote približne 3,4 MED, sa vyskytujú v našej oblasti iba počas niekoľkých dní, v letnom období. V zime dosahujú najvyššie dávky DUV žiarenia iba hodnoty približne 10 krát nižšie. Obr.4 ukazuje ročný chod celkových denných dávok škodlivého DUV žiarenia vyjadrených v jednotkách MED, nameraných počas roku 1999 na stanici v Poprade – Gánovciach.



#### 4. Predpoveď UV indexu

S narastajúcim záujmom odbornej ako aj laickej verejnosti o problémy spojené s možnosťou zdravotného poškodenia v dôsledku nadmerných dávok DUV žiarenia viedli k zavedeniu tzv. UV indexu a neskôr i k jeho predpovedi.

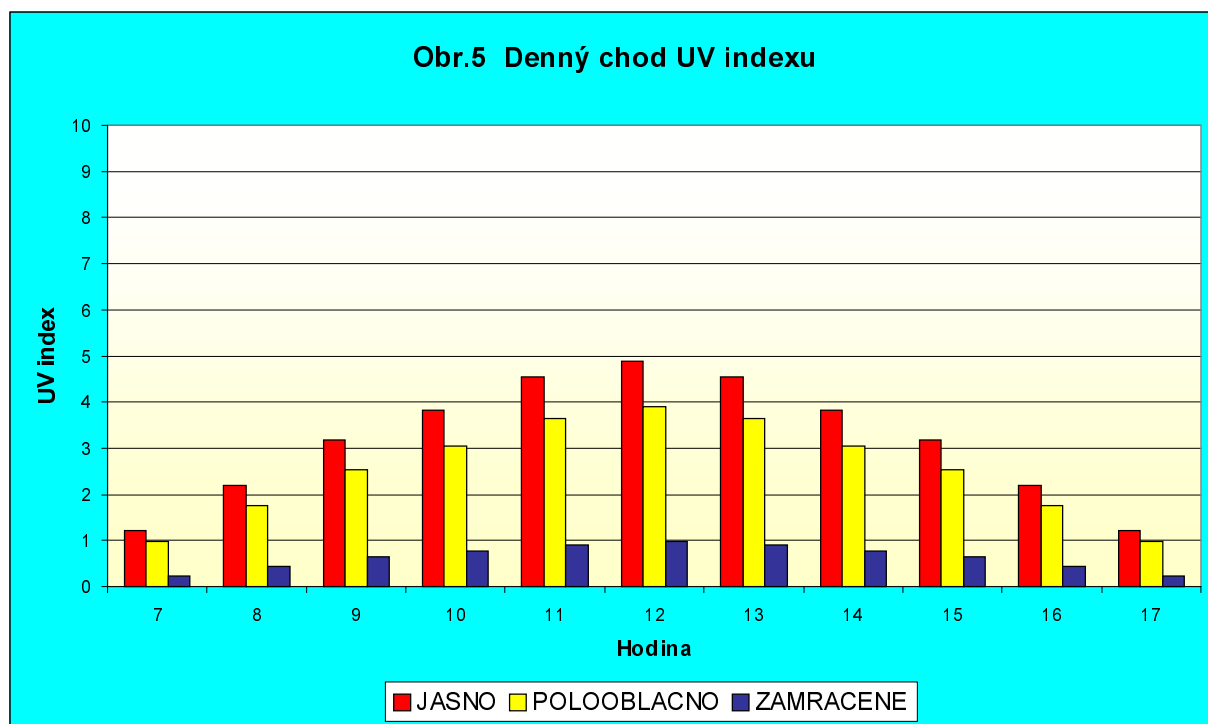
UV index, je vlastne jednoduchá číselná škála na vyjadrenie hustoty toku intenzity slnečného ultrafialového žiarenia s erytémovým účinkom. Hodnota 1 odpovedá hustote toku  $25 \text{ mW/m}^2$ . Podľa veľkosti indexu delíme intenzitu slnečného ultrafialového žiarenia do 4 kategórií : nízka (0 až 3,9), mierna (4,0 až 6,9), vysoká (7,0 až 8,9) a extrémne vysoká (9,0 a vyšší).

UV index má výrazný ročný a denný chod. Maximálne hodnoty nadobúda na poludnie v letnom období, kedy je slnko najvyššie nad horizontom. Denný a ročný chod súvisí s dĺžkou dráhy slnečných lúčov v atmosfére, pretože čím je dráha kratšia, tým je biologicky škodlivé žiarenie menej pohltené atmosférickým ozónom. Hodnotu UV indexu výrazne znižuje najmä oblačnosť. Denný chod UV indexu je znázornený na obr.5.

Na vypracovanie predpovede UV indexu existuje celý rad metodík, od najjednoduchších štatistických metód až po zložité numerické predpovede, ktoré sa líšia tiež časovým intervalom na ktorý sú vydávané a zahrnutím oblačnosti, nadmorskej výšky

a ďalších vplyvov. Najčastejšie sa v prvom kroku pomocou regresného alebo štatistického modelu predpovedá celkové množstvo ozónu. V ďalšom kroku sa pomocou regresného modelu alebo fyzikálneho modelu popisujúceho prenos žiarenia atmosférou predpovedá UV žiarenie pre jasnú oblohu. Nakoniec sa počíta UV index, pričom pri zložitejších modeloch sa uvažuje vplyv oblačnosti, nadmorskej výšky, zákalu a podobne.

Na Slovensku sa používa regresný model, ktorý pri predpovedi ozónu využíva vzťah medzi celkovým atmosférickým ozónom a teplotou stratosféry a troposféry. Ďalší regresný vzťah využíva závislosť medzi celkovým atmosférickým ozónom, zemepisnou polohou, ročnou a dennou dobou, nadmorskou výškou na jednej strane a dopadajúcim UV žiarením na druhej strane. Zahrnutý je aj vplyv oblačnosti.



## 5. Záver

Na základe pravidelného monitorovania celkového atmosférického ozónu a ultrafialového slnečného žiarenia poskytuje pracovisko v Gánovciach denne informáciu o nameranom množstve celkového ozónu, odchýlku od dlhodobého priemeru a o intenzite biologicky aktívneho UVB žiarenia pre TA SR, prostredníctvom telekomunikačného centra v Bratislave. Intenzita UVB žiarenia sa udáva ako nízka, mierna a vysoká v závislosti od výšky slnka, to znamená od ročnej a dennej doby a údaj sa vzťahuje na slnečný deň.



Namerané výsledky sa tiež pravidelne ukladajú do Svetového centra ozónových a ultrafialových dát WMO (WOUDC) v kanadskom Toronte. Vydáva sa aj krátka správa obsahujúca odporúčanú dobu pobytu na priamom slnku a to v období od mája do septembra, pre mobilnú telefónnu sieť. Najnovším produktom je predpoveď UV indexu, ktorá je od apríla 2000 uverejňovaná na internetových stránkach Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Hlavným účelom týchto informácií pre našu geografickú oblasť je upozornenie na zdravotne najrizikovejšie situácie, ktoré nastávajú predovšetkým počas jarných a letných dní (máj – august) s jasnou resp. polojasnou oblohou, v súvislosti s nadmerným a neuváženým užívaním slnečných lúčov.

## Literatúra

- [1] UV Index for the Public, A guide for publication and interpretation of solar UV Index forecasts for the public prepared by the Working Group 4 of the COST – 713 Action „UVB Forecasting“, Brussels 2000.
- [2] WMO, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, Global Ozone Research and Monitoring Project – Rep. No. 44, Geneva 1998.
- [3] Brewer MKIV spectrophotometer, Operator's Manual, SCI-TEC Instruments Inc., 1993.
- [4] Bilčík, D.: Spektrá účinnosti a biologicky aktívne UV žiarenie, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava 1993.
- [5] McKinlay, A. F. – Diffey, B. L. : A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. In: Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations, Amsterdam, Elsevier 1987, p.83.
- [6] Kuik, F., Kelder, H. : Spectral Ultraviolet Radiation Measurements and Correlation with Atmospheric Parameters, Scientific report KNMI, De Bilt, 1994.