

HODNOTENIE KONCENTRÁCIÍ PRÍZEMNÉHO OZÓNU VO VYSOKÝCH TATRÁCH

EVALUATION OF GROUND LEVEL OZONE CONCENTRATIONS IN THE HIGH TATRA MOUNTAINS

Svetlana Bičárová ¹, Peter Fleischer ²

¹Geofyzikálny ústav SAV, Meteorologické observatórium Stará Lesná

²Výskumná stanica - ŠL TANAPu, Tatranská Lomnica

Abstract: Ground level ozone concentration increases with altitude. Vertical profile in the High Tatras includes 5 stations: Poprad-Gánovce, Stará Lesná, Štrbské Pleso, Skalnaté Pleso and Lomnický štít in range from 706 to 2634 m a.s.l.. Mean hourly values have been evaluated during the expected annual maximum peak (spring months). The lowest value during this part of the year was recorded in Stará Lesná ($79.3 \mu\text{g m}^{-3}$) and the highest one at Lomnický štít ($128.0 \mu\text{g m}^{-3}$). In total, the most frequent mean hourly values are ~~infrom~~ the range from 61 to $120 \mu\text{g m}^{-3}$, with the except of Lomnický štít where frequency of values is in range from 121 to $180 \mu\text{g m}^{-3}$

Key words: ground level ozone concentration, daily course, altitude profile

Úvod

Dôležitou súčasťou prízemnej vrstvy atmosféry je ozón, ktorý napriek minoritnému zastúpeniu tvorí významnú zložku oxidačnej kapacity troposféry. Oxidačné vlastnosti ozónu sa pri vyšších koncentráciách prejavujú nepriaznivými účinkami na ľudský organizmus, ako aj na lesné spoločenstvá a poľnohospodárske kultúry. Ozón môže absorbovať veľké množstvo tepelného žiarenia emitovaného zo zemského povrchu a simultánne vyžarovať tepelné žiarenie smerom do vesmíru i k zemskému povrchu, čím prispieva ku skleníkovému efektu atmosféry.

Materiály a metódy

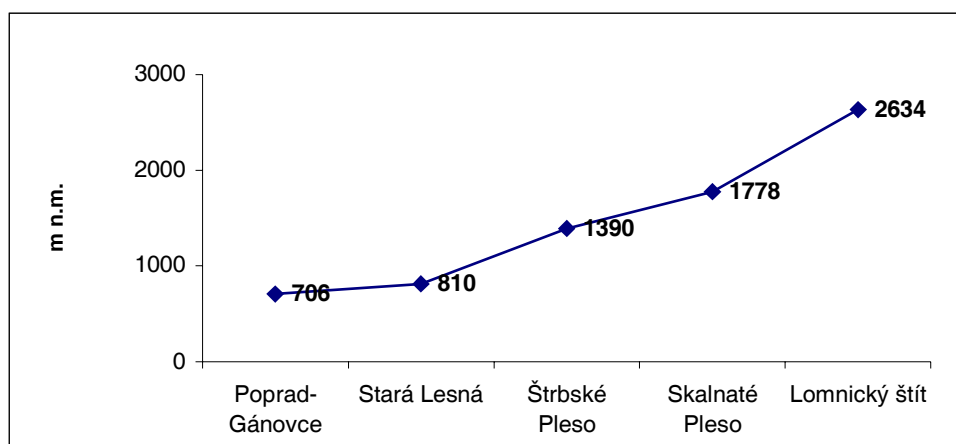
Pre vyhodnotenie prízemného ozónu v Tatrách boli použité priemerné hodinové koncentrácie ozónu v dobe od 16. 3. do 31. 5. 2003 na nasledovných tatranských stanicích: Poprad-Gánovce (H = 706 m n.m., $\varphi = 49^{\circ} 00' \text{ N}$, $\lambda = 20^{\circ} 11' \text{ E}$), Stará Lesná (H = 810 m n.m., $\varphi = 49^{\circ} 09' \text{ N}$, $\lambda = 20^{\circ} 17' \text{ E}$), Štrbské Pleso (H = 1390 m n.m., $\varphi = 49^{\circ} 07' \text{ N}$, $\lambda = 20^{\circ} 04' \text{ E}$), Skalnaté Pleso (H = 1778 m n.m., $\varphi = 49^{\circ} 11' \text{ N}$, $\lambda = 20^{\circ} 14' \text{ E}$) a Lomnický štít (H = 2634 m n.m., $\varphi = 49^{\circ} 20' \text{ N}$, $\lambda = 20^{\circ} 22' \text{ E}$). Meranie

množstva ozónu sa robí UV fotometrickými ananlyzátormi s kontinuálnym zaznamenávaním údajov. Výber časového úseku spracovania údajov bol účelový, a to tak, aby bol vyhodnotený hlavný vrchol koncentrácií prízemného ozónu. Z doterajších výsledkov (Kremler 2002, Fleischer 2003) vyplýva, že na meteorologickom observatóriu Stará Lesná sa najvyššie koncentrácie ozónu vyskytujú v jarných mesiacoch. Zistené koncentrácie ozónu by mali preto predstavovať celoročné maximá.

Pre štatistické spracovanie nameraných hodnôt boli použité metódy matematickej štatistiky. Pre výpočet korelačných vzťahov boli uvažované meteorologické prvky, ako sú teplota vzduchu a relatívna vlhkosť vzduchu (Kremler, 2001). Na observatóriách Stará Lesná a Skalnaté Pleso boli použité aj priemerné hodinové hodnoty radiačných prvkov (globálne žiarenie, UV žiarenie 290-385 nm a UV-B žiarenie do 315 nm).

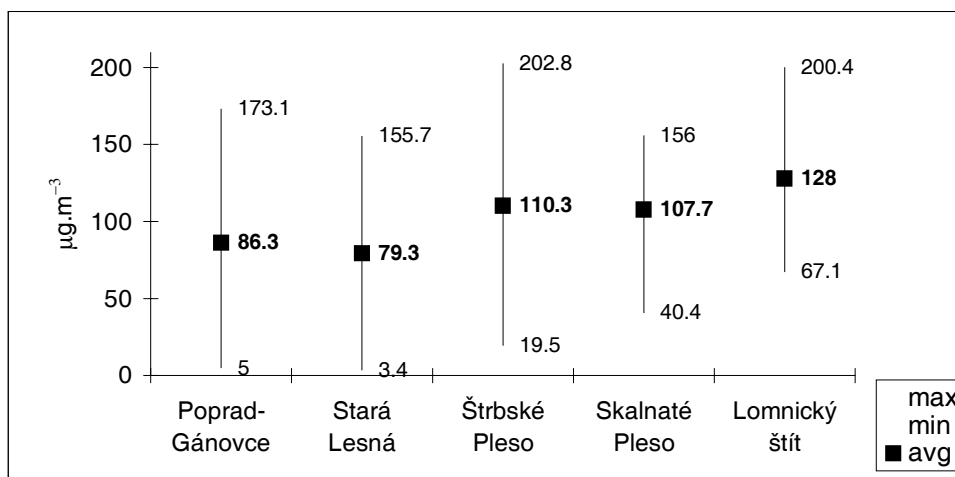
Výsledky a diskusia

Tatranské stanice usporiadané podľa nadmorskej výšky (obr. 1) predstavujú zaujímavý výškový profil v rozsahu nadmorských výšok od 706 do 2634 m n.m.

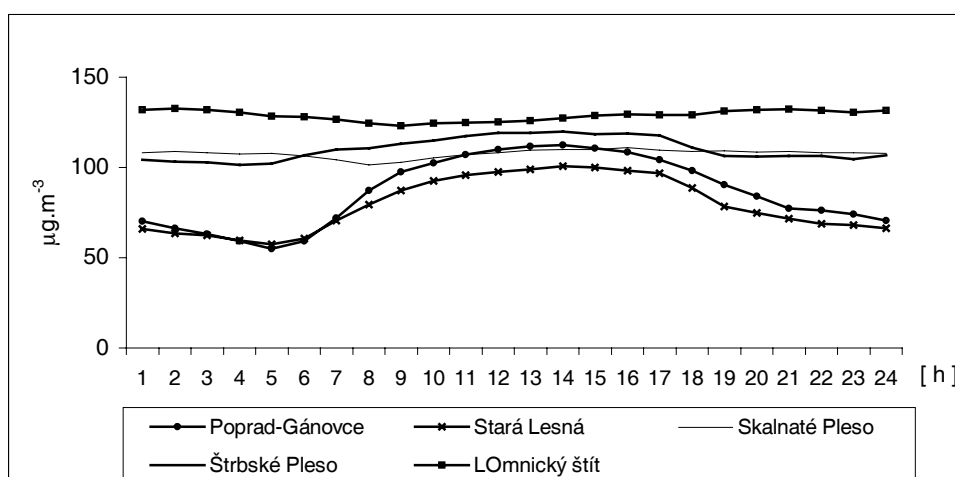


Obr. 1. Výškový profil monitorovacích staníc prízemného ozónu vo Vysokých Tatrách.

Najnižšia priemerná hodnota za obdobie od 16.3 do 31.5.2003 bola zaznamenaná v Starej Lesnej ($79,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a najvyššia ($128,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na Lomnickom štíte (obr. 2). Pomerne blízke sú priemerné hodnoty vypočítané pre Poprad-Gánovce ($86,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a Starú Lesnú ($79,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), pričom v tomto prípade sa nepotvrdilo, že s rastúcou nadmorskou výškou rastú aj ozónové koncentrácie. V nadmorských výškach nad 1000 m n.m od Štrbského Plesa po Lomnický štít však priemerné hodnoty prekročili úroveň $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v porovnaní so stanicou Poprad - Gánovce, resp. Stará Lesná sa zvýšili približne o 30-50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Podobný priemerný denný chod ozónových koncentrácií (obr. 3) majú stanice Poprad-Gánovce a Stará Lesná. Najnižšie hodnoty sa vyskytujú v skorých ranných hodinách približne od 6-7 hod (UTC), potom dochádza k plynulému nárastu k poľudňajšiemu maximu (13-14 hod.) a v popoludňajších hodinách k postupnému poklesu až k nočným a ranným nízkym hodnotám.



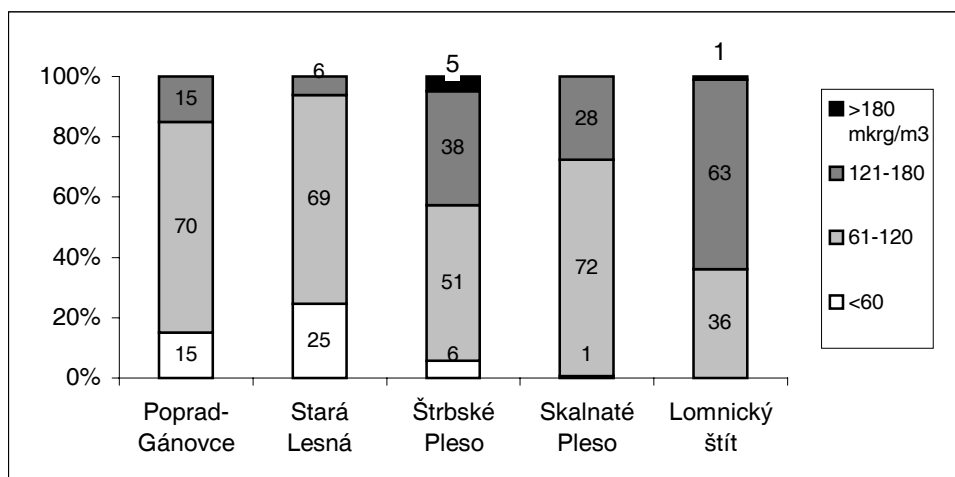
Obr. 2. Priemerné, maximálne a minimálne hodinové hodnoty koncentrácie prízemného ozónu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] vo Vysokých Tatrách v období od 16. 3. do 31. 5. 2003.



Obr. 3. Denný chod koncentrácií prízemného ozónu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] vo Vysokých Tatrách v období od 16. 3. do 31. 5. 2003.

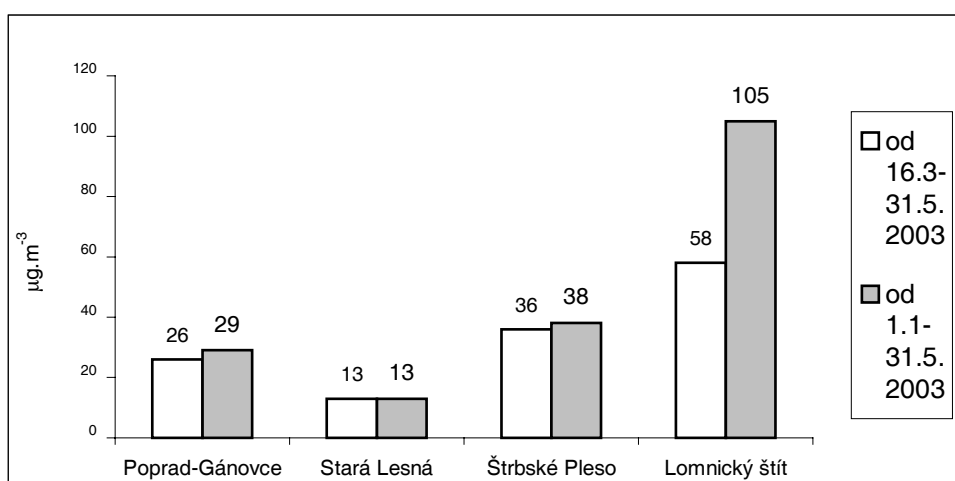
Takýto priebeh je v súlade s výsledkami Kremlera (2002). V Poprade-Gánovciach sú v porovnaní so stanicou Stará Lesná vyššie najmä poludňajšie hodnoty, čo sa prejavilo aj na celkovej vyššej priemernej hodnote. Smerom k vyšším nadmorským výškam je v priemernom dennom chode postupne denný vrchol menej výrazný (Štrbské Pleso) až zaniká (Skalnaté Pleso, Lomnický štít). V prípade Skalnatého Plesa a Lomnického štítu možno pozorovať mierny nárast hodnôt v nočných hodinách.

Početnosť priemerných hodinových koncentrácií (obr. 4) je na jednotlivých stanicach odlišná. Koncentrácie do $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sa najviac vyskytovali v Starej Lesnej a v Poprade-Gánovciach. Percento zastúpenia je výrazne nižšie na Štrbskom a Skalnatom Plese, pričom na Lomnickom štíte sa koncentrácie do $60 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vôbec nevyskytovali. Celkovo najpočetnejšie sú koncentrácie v rozsahu $61\text{-}120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s výnimkou Lomnického štítu, kde prevyšuje zastúpenie vyšších hodnôt v rozsahu $121\text{-}180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Najmenej početné sú koncentrácie nad limitnou hodnotou pre informovanosť verejnosti



Obr. 4. Početnosť priemerných hodinových koncentrácií prízemného ozónu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] vo Vysokých Tatrách období od 16. 3. do 31. 5. 2003.

$180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v sledovanom období sa vyskytovali na Štrbskom Plese a Lomnickom štíte. Z hľadiska ochrany ľudského zdravia je dôležitý ukazovateľ prekročenia limitnej hodnoty $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (8h.), t.j. 8 hodinový priemer počítaný ako kľzavý priemer 4-krát za deň na základe hodnôt v 8-hod. intervaloch. Počet prekročení (obr. 5) korešponduje s dosiahnutými priemernými hodnotami. Najmenej prekročení (13) bolo zistených na stanici Stará Lesná, pričom všetky boli zaznamenané v jarných mesiacoch.



Obr. 5. Početnosť prekročenia limitnej hodnoty $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na vybraných staniciach vo Vysokých Tatrách v období od 16. 3. do 31. 5. 2003.

V tomto období v porovnaní s údajmi od začiatku roka boli najpočetnejšie prekročenia aj v Poprade-Gánovciach (26) a na Štrbskom Plese (36). Počet prekročení na Lomnickom štíte je najvyšší (58) a dochádza k nemu nielen v jarných mesiacoch.

Rozdiely zaznamenané na jednotlivých staniciach sú ovplyvnené podmienkami v akých dochádza k tvorbe ozónu. Kľúčové postavenie v troposférickej tvorbe oxidantov majú oxidy dusíka NO_x ($\text{NO}+\text{NO}_2$). Tvorba ozónu prevláda nad jeho rozkladom pri koncentráciách $\text{NO}_x > 20$ ppt v prítomnosti

CO, CH₄ a NMHC (nemetánové uhľovodíky) pri iniciácii hydroxylovým radikálom (Závodský a kol., 2001). Zastúpenie týchto látok sa na uvedených staniách zatiaľ nesleduje. Zo sledovaných klimatických prvkov k významným patria priemerná teplota vzduchu a relatívna vlhkosť (Kremler, 2001). Potvrdzujú to aj hodnoty korelačných koeficientov (tab. 3a) medzi priemernými hodinovými koncentraciami ozónu a priemernými hodinovými údajmi pre teplotu vzduchu a relatívnu vlhkosť najmä pre

Tab. 3a. Korelačné koeficienty medzi priemernými hodinovými koncentraciami ozónu a odpovedajúcimi hodnotami teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu na meteorologických staniách Vysokých Tatier v období od 16. 3. do 31. 5. 2003

	Poprad-Gánovce	Stará Lesná	Štrbské Pleso	Skalnaté Pleso.	Lomnický štít
Vlhkosť vzduchu	-0,70	-0,75	-0,36	-0,30	-0,25
Teplota vzduchu	0,42	0,15	0,81	0,46	-0,07

nižšie položené stanice Poprad-Gánovce a Stará Lesná. Smerom k vyšším nadmorským výškam je vplyv klimatických prvkov menej výrazný, s výnimkou v prípade teploty vzduchu na Štrbskom a Skalnatom Plese. Korelačné koeficienty pre vzťah ozónu k prvkom slnečného žiarenia meraných na staniách Stará Lesná a Skalnaté Pleso (tab. 3b) sú variabilné. Priemerné hodinové koncentrácie prízemného ozónu najviac korelovali v Starej Lesnej s globálnym (0.43) a UV žiarením (0.36).

Tab. 3b. Korelačné koeficienty medzi priemernými hodinovými koncentraciami ozónu a odpovedajúcimi hodnotami prvkov slnečného žiarenia na observatóriách v Starej Lesnej a na Skalnatom Plese v období od 16. 3. do 31. 5. 2003

	globálne žiarenie	UV žiarenie	UVB žiarenie
Stará Lesná	0,43	0,36	0,08
Skalnaté Pleso	0,10	0,06	0,10

Podľa priebehu koncentrácií prízemného ozónu v sledovanom období a korelácií s vybranými prvkami možno stanice tatranského výškového profilu rozdeliť na dva typy. Prvý typ (stanice St. Lesná a Poprad-Gánovce s nadmorskou výškou pod 1000 m n.m.) sa vyznačuje priemernými koncentraciami ozónu pod 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, denným chodom s výrazným maximom v popoludňajších hodinách a významným vplyvom klimatických a radiačných prvkov. Druhý typ (stanice Štrbské Pleso, Skalnaté Pleso, Lomnický štít, s nadmorskou výškou nad 1000 m n.m) má priemerné koncentrácie ozónu nad 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nevýrazný denný chod a variabilné korelácie s vybranými klimatickými a radiačnými prvkami. Vzhľadom k nadmorskej výške, ktorá sa v prípade Lomnického štítu približuje k hranici 3000 m n.m. možno pre vysvetlenie vysokých hodnôt koncentrácie ozónu použiť príklad štúdie zameranej na vplyv stratosférickej intrúzie na ozónové koncentrácie v Alpách (Stohl et al., 2000).

Záver

Na základe priebehu koncentrácií prízemného ozónu a jeho korelácií s vybranými prvkami možno tatranské stanice rozdeliť na dva typy. Stará Lesná a Poprad-Gánovce sú nižšie položené stanice (pod

1000 m n.m.) s priemernými koncentráciami pod $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a výrazným denným chodom s vrcholom v skorých popoludňajších hodinách. Prejavuje sa tu významný vplyv klimatických (relatívna vlhkosť) a radiačných prvkov (globálne a UV žiarenie). Pre druhý typ (stanice Štrbské Pleso, Skalnaté Pleso, Lomnický štít) je charakteristická nadmorská výška nad 1000 m n.m., priemerné koncentrácie ozónu nad $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nevýrazný denný chod a variabilné korelácie s vybranými klimatickými a radiačnými prvkami. Vzhľadom k nadmorskej výške, ktorá sa v prípade Lomnického štítu približuje k hranici 3000 m n.m. možno v období skorej jari uvažovať s príspevkom ozónu zo stratosféry.

Súhrn: Koncentrácia prízemného ozónu sa s nadmorskou výškou zvyšuje. Tatranský výškový profil v rozsahu nadmorských výšok od 706 do 2634 m n.m. tvorí 5 staníc: Poprad-Gánovce, Stará Lesná, Štrbské Pleso, Skalnaté Pleso a Lomnický štít s kontinuálnym zaznamenávaním množstva ozónu. V práci sú uvedené výsledky, získané z vyhodnotení koncentrácie ozónu v čase predpokladaného ročného vrcholu (jarné mesiace). Najnižšia priemerná hodnota za obdobie od 16.3-31.5.2003 bola zaznamenaná v Starej Lesnej ($79,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a najvyššia na Lomnickom štíte ($128,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Vcelku boli najpočetnejšie priemerné hodinové koncentrácie ozónu v medziach od 61 do $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s výnimkou Lomnického štítu, kde boli najčastejšie hodnoty ozónu od 121 do $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Kľúčové slová: koncentrácia prízemného ozónu, denný chod, výškový profil

PodĎakovanie: Autori ďakujú grantovej agentúre VEGA (grant. č. 2/2063/20), agentúre USDA Forest (grant č. FG-PO-407) za čiastočné sponzorovanie vypracovania tejto práce a SHMÚ za poskytnutie údajov.

Literatúra:

- Fleischer P., 2003: Monitorovanie ozónu v Tatrách. Tatry, **62**, 2-3.
- Kremler M., 2002: Daily and annual course of surface ozone concentrations at Slovak monitoring stations. Meteorol. časopis, **5**, 29-36.
- Kremler, M., 2001: Prízemný ozón na Slovensku. In: Extrémy prostredia (počasia) - limitujúce faktory bioklimatologických procesov. CD-ROM, ISBN 80-7137-910-7.
- Stohl A., Spichtinger-Rakowsky N., Bonasoni P., Feldmann H., Memmesheimer M., Scheel H. E., Trickl T., Hübener S., Ringer W., Mandl M., 2000: The influence of stratospheric intrusions on alpine ozone concentrations. Atm. Environment, **34**, 1323-1354.
- Závodský D., 1998: Surface ozone monitoring and modeling in the Slovak Republic. Acta Met. Univ. Comenianae, **27**, 1-150.
- Závodský D., Medveď M., Ďurec F., 2001: Chémia atmosféry a modelovanie znečisťovania ovzdušia. Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica.

Kontaktná adresa:

Ing. Svetlana Bičárová,
Meteorologické observatórium Stará Lesná, GFÚ SAV
059 60 Tatranská Lomnica
bicarova@ta3.sk

Ing. Peter Fleischer, PhD
Výskumná stanica ŠL TANAP
059 60 Tatranská Lomnica
fleischer@vstanap.sk