

PRÍZEMNÝ OZÓN V PODMIENKACH EXTRÉMNE TEPLÉHO POČASIA

Svetlana Bičárová

Summary

Ground level ozone in the conditions of the extreme warm weather

Ground level ozone variability reveals the extraordinary high level of ozone pollution favoured by special meteorological situation in Slovakia in August 2003. Monitoring stations recorded the following maximal O₃ concentrations: mean hourly values from 127 to 301 µg m⁻³, mean daily values from 72 to 153 µg m⁻³, mean monthly values from 47 to 124 µg m⁻³. The ambient air quality standards were frequently exceeded in SW Slovakia and in the High Tatras mountain: alert threshold IH_{1h} = 240 µg m⁻³ 6 times only in Bratislava, information threshold IH_{1h} = 180 µg m⁻³ 44 times in Bratislava, 8 times at Lomnický štít, total 69 times at all monitoring stations. The target value 8h mean IH_{8h} = 120 µg m⁻³ was exceeded also in Bratislava and Lomnický štít in more than 25 days. Based on the EMEP ground level ozone monitoring network - the highest frequency of exceedance of information threshold value was achieved in Western Europe. Increasing tendency of ground level ozone with decrease of latitude at low altitude and ozone accumulation in layer 500 – 1500 m a.s.l. in Europe is indicated. Summer ozone maximum in August 2003 appears to be associated with special ozone production and distribution due to unusual warm weather situation and transport of abundant ozone precursors over Europe. Decreasing trend of NO_x pollutant suggests ozone and precursors transboundary transport into Slovakia.

Key words: concentration of ground level ozone, exceedance of information threshold value, summer maximum of ground level ozone, air temperature

Úvod

Napriek významnému poklesu emisií prekursorov ozónu za posledných 15 rokov (*Vestreng a kol., 2004* a *Spišáková a kol., 2003*) vysoké koncentrácie prízemného ozónu boli zaznamenané v Európe (*Fiala a kol., 2003*) a na Slovensku (*Hrouzková a kol., 2004*) v roku 2003. Stav znečistenia atmosféry nad Európou v auguste 2003 ovplyvnila mimoriadna poveternostná situácia s extrémne vysokými teplotami (*Rodríguez a kol., 2004*). Modelové výpočty ukazujú, že hemisférické pozadové množstvo prízemného ozónu tvorí 64,4% z celkového O₃ zaťaženia, pričom príspevok antropogénnych zdrojov zo Severnej Ameriky, Ázie a Európy je 10,9%, 7,7%, a 9,4% (*Auvray a Bey, 2004*). Rastúci trend produkcie emisií v Ázii bude potrebné zohľadniť v medzinárodných dohodách zameraných na globálnu reguláciu emisií (*Holloway a kol., 2003*).

Cieľom tejto práce je analýza neobvyklého ozónového znečistenia atmosféry na

Slovensku a v Európe v extrémne teplom počasí v auguste 2003.

Materiály a metódy

Vyhodnotenie koncentrácií prízemného ozónu vychádza z meraní priemerných hodinových koncentrácií O₃ v období od 1. do 31. augusta 2003. Boli spracované údaje z 26 staníc na Slovensku (21 staníc SHMÚ, 5 staníc VS TANAP) a zo 120 staníc monitorovacej siete EMEP (európsky program zameraný na problémy diaľkového prenosu znečistenia ovzdušia). Všetky stanice sú vybavené automatickými ozonovými analyzátormi, ktoré pracujú na princípe UV absorpcie. Prístroje sú pravidelne kalibrované, na Slovensku podľa sekundárneho ozónového kalibračného štandardu SHMÚ, ktorý je porovnávaný s českým primárnym štandardom. Údaje zo slovenských staníc sú zhromažďované a validované v centrálnej databáze SHMÚ.

Dlhodobé cieľové koncentrácie pre prízemný ozón v ovzduší stanovila *Direktíva 2002/3/EC Európskeho parlamentu*. Cieľová hodnota pre ochranu ľudského zdravia: maximálny denný kľzavý 8h priemer $IH_{8h} = 120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ by nemal byť prekročený viac ako 25 dní v roku, priemerne za 3 ročné obdobie. Verejnosť má byť upozornená, ak je prekročený informačný hraničný prah: priemerná hodinová koncentrácia $IH_{1h} = 180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ alebo výstražný hraničný prah: priemerná hodinová koncentrácia $IH_{1h} = 240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Na vyhodnotenie nameraných údajov a analýzu vzťahov boli použité metódy matematickej štatistiky (Anděl, 1985).

Výsledky a diskusia

Mimoriadne teplé počasie s malými zrážkami bolo na území Slovenska v mesiacoch máj až

august r. 2003 (Faško a kol., 2003 a Ostrožlík, 2004). V auguste boli na väčšine nášho územia prekročené dlhodobé priemery teploty vzduchu o 2.3 až 4.8 °C, dĺžka trvania slnečného svitu o 41 až 105%, zatiaľ čo relatívna vlhkosť vzduchu poklesla o 14 h o 11 až 18% a zrážky o 45 mm. Extrémne teploty vzduchu boli namerané najmä v juhozápadnej časti republiky s maximom 38,8 °C v Bratislave, a to 13. augusta 2003. V tomto čase boli zaznamenané tiež vysoké koncentrácie prízemného ozónu takmer na všetkých staniciach monitorovacej siete (obr. 1). Analýza ukázala, že boli dosiahnuté nasledovné koncentrácie prízemného ozónu (tab. 1): priemerné hodinové maximá od 127 do 301 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, priemerné denné maximá od 72 do 153 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a priemerné mesačné hodnoty od 47 do 124 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 1. Sieť monitorovacích staníc prízemného ozónu na Slovensku.

Najvyššia frekvencia prekročenia štandardov kvality ovzdušia bola v juhozápadnej časti Slovenska a vo Vysokých Tatrách: výstražný hraničný prah 6 krát iba v Bratislave; informačný hraničný prah 44 krát v Bratislave, 8 krát na Lomnickom štíte, celkom 69 krát na všetkých monitorovacích staniciach; cieľová hodnota pre ochranu ľudského zdravia viac ako 25 dní.

V rámci európskej monitorovacie siete EMEP bol informačný hraničný prah najčastejšie prekročený v štátoch západnej Európy: Nemecko-DE, Rakúsko-AT, Francúzsko-FR, Švajčiarsko-CH, Belgicko-BE a Veľká Británia-GB, najviac v období od 3.-5. 8. a 10.-14. 8. (obr. 2a). Z hľadiska ochrany ľudského zdravia počet dní s prekročením cieľovej hodnoty (obr. 2b) presiahol 25 dní na staniciach

štátov: Malta-MT, Švajčiarsko-CH, Slovinsko-SI, Rakúsko-AT, Grécko-GR, Francúzsko-FR, Nemecko-DE, Španielsko-ES; naopak, nízky resp. nulový počet dní je charakteristický pre severné krajiny: Dánsko-DK, Holandsko-NL, Švédsko-SE, Írsko-IE, Estónsko-EE, Nórsko-NO, Fínsko-FI, Litva-LT, Lotyšsko-LV.

Ako ukazuje obr. 3, úroveň znečistenia ovzdušia do určitej miery ovplyvňuje zemepisné postavenie monitorovacích staníc. Priemerná augustová koncentrácia O₃ na miestach

s nadmorskou výškou do 500 m n.m. sa zvyšovala od severu na juh Európy približne od 40 do 120 µg.m⁻³. Vyššie položené stanice (obr. 4) indikujú tvorbu akumuláčnej vrstvy ozónového znečistenia vo vrstve 500-1500 m n.m., najvýraznejšie v Alpách (priemerné mesačné hodnoty do 140 µg.m⁻³) potom na Pyrenejskom polostrove (nad 120 µg.m⁻³) a vo Vysokých Tatrách (do 120 µg.m⁻³). V nadmorských výškach od 2000-3000 m n.m. nie je nárast koncentrácie O₃ s nadmorskou výškou taký výrazný.

Tab. 1. Štatistické charakteristiky koncentrácie O₃ [µg.m⁻³] v auguste 2003 (zoradenie staníc podľa klesajúcej priemernej mesačnej hodnoty O₃ a vertikálneho profilu vo Vysokých Tatrách)

Monitorovacia stanica	Nadmorská výška H [m]	Priemerná koncentrácia prízemného ozónu [µg.m ⁻³], august 2003					Frekvencia prekročenia štandardov kvality ovzdušia, august 2003			
		Mesačná	Denná		Hodinová		Prahové hodnoty IH _{1h}		Cieľová hodnota IH _{8h} =120 µg.m ⁻³	
			max	deň	max	deň, hod	180 µg.m ⁻³	240 µg.m ⁻³	Počet dní	
									august	2003
Kojšovská hoľa	1244	121	148	14, 18	174	14, 00:00	0	0	21	97
Chopok	2008	120	150	13	184	13, 21:00	3	0	24	103
Bratislava-Koliba	287	118	148	13	255	12, 11:00	27	3	26	78
Starina	345	94	122	14, 23	177	14, 11:00	0	0	23	67
Košice-Podhradová	248	93	126	23	178	23, 11:00	0	0	18	64
Topoľníky	113	92	127	23	232	13, 16:00	8	0	26	103
Jelšava	255	88	113	14, 23	169	23, 17:00	0	0	20	66
Bratislava-Petržalka	136	88	120	23	301	12, 10:00	17	3	20	55
Humenné	160	85	107	14, 18, 23, 29	179	23, 15:00	0	0	21	68
Hnúšťa	315	85	113	23	174	29, 13:00	0	0	22	79
Žiar nad Hronom	263	79	98	23	172	14, 15:00	0	0	20	66
Prešov	239	76	110	23	186	23, 14:00	2	0	21	61
Prievidza	265	71	110	29	159	13., 16:00	0	0	13	33
Banská Bystrica	343	71	91	23	172	23, 13:00	0	0	20	48
Žilina	362	70	97	29	172	13, 15:00 23, 12:00	0	0	20	57
Martin	383	67	83	23	167	13, 16:00	0	0	16	29
Ružomberok	464	54	72	23	126	23, 11:00	0	0	1	6
Košice-Veľká Ida	248	47	73	23	127	14, 13:00 27, 16:00	0	0	5	-
Vysoké Tatry – vertikálny profil										
Poprad-Gánovce	706	89	124	14	170	13, 15:00	0	0	18	53
Stará Lesná	814	82	121	14	166	23, 14:00	0	0	15	39
Starý Smokovec	1000	89	130	29	176	14, 03:00	0	0	12	53
T. Lomnica - Štart	1200	107	141	14, 23	183	14, 02:00	1	0	20	80
Štrbské Pleso	1361	114	150	23	176	13, 17:00	0	0	22	71
Skalnaté Pleso	1770	113	144	23	174	14, 01:00	0	0	22	87
Solisko	1840	116	144	23	188	13, 22:00	3	0	20	-
Lomnický štít	2635	124	153	13	195	14, 00:00	8	0	28	198

Satelitné snímky SCIAMACHI (The SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric Chartography) umožňujú získať informácie o množstve a globálnej distribúcii dôležitých polutantov, ku ktorým

patrí aj troposférický NO₂. Detailnejší záber na Európu (obr. 5) ukazuje na vysokú hustotu NO₂ v okolí veľkých miest: Londýn, Mníchov, Miláno, Madrid, Praha, Viedeň.

Vysoká úroveň znečistenia ovzdušia nad západnou Európou môže súvisieť s prenosom antropogénnych emisií zo Severnej Ameriky, ktoré zvyšujú koncentrácie v Európe približne o 10–20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, (Li a kol., 2002). Epizódy transatlantického prenosu majú tendenciu vyskytovať sa v čase, kedy sú koncentrácie nad Európou na úrovni hraničných hodnôt štandardov kvality (100-120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), a tým prispievajú k vyššej frekvencii ich prekročenia.

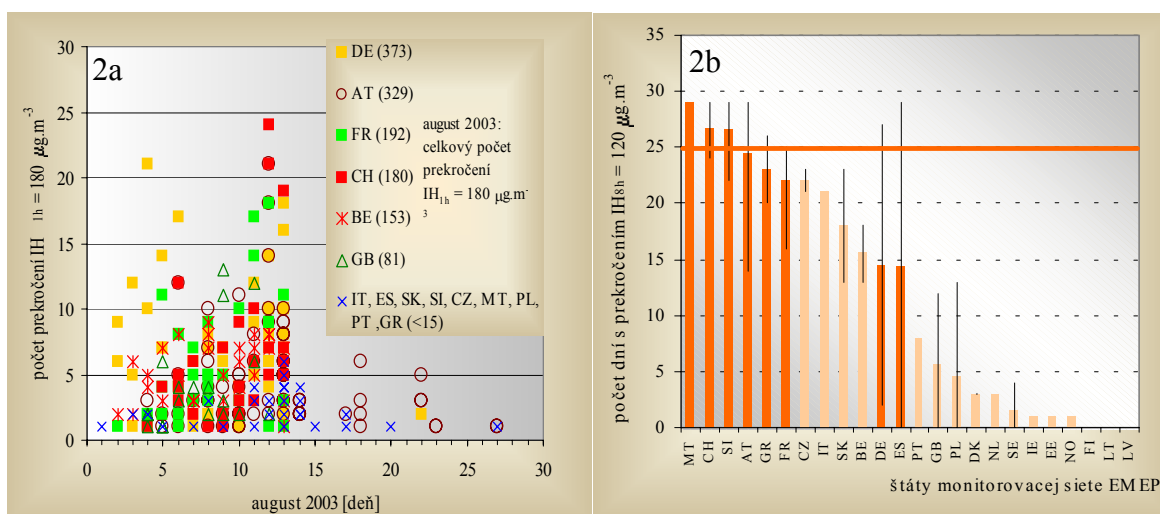
Záver

Mimoriadna poveternostná situácia s extrémnymi teplotami vzduchu v auguste 2003 ovplyvnila úroveň ozónového znečistenia prízemnej vrstvy atmosféry v Európe. Na Slovensku boli dosiahnuté nasledovné koncentrácie prízemného ozónu: priemerné hodinové maximum od 127 do 301 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, priemerné denné maximum od 72 do 153 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, priemerné mesačné hodnoty od 47 do 124 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Štandardy kvality ovzdušia

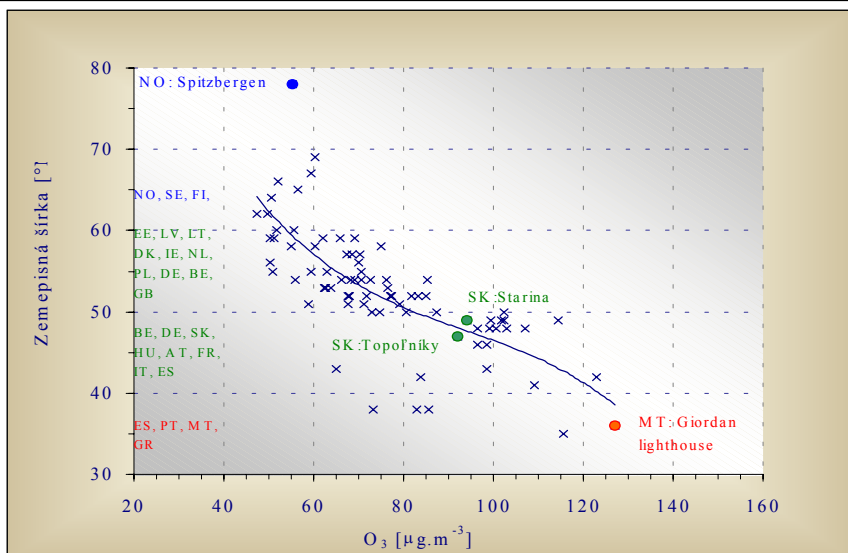
boli najčastejšie prekročené v juhozápadnej časti Slovenska a vo Vysokých Tatrách.

V európskej EMEP sieti boli štandardy kvality ovzdušia najčastejšie prekročené v štátoch západnej Európy. Tendencia poklesu koncentrácie O_3 s rastúcou zemepisnou šírkou sa javí najmä pre oblasti s nadmorskou výškou do 500 m n.m. Vyššie položené stanice indikujú tvorbu akumuláčnej vrstvy ozónového znečistenia vo vrstve 500-1500 m n.m., najvýraznejšie v Alpách. Zábery satelitného zobrazenia troposférického NO_2 korešpondujú s meraniami prízemného ozónu na stanicích siete EMEP a zvyrazňujú vysokú úroveň znečistenia najmä v okolí veľkých mestských a priemyselných aglomerácií západnej Európy.

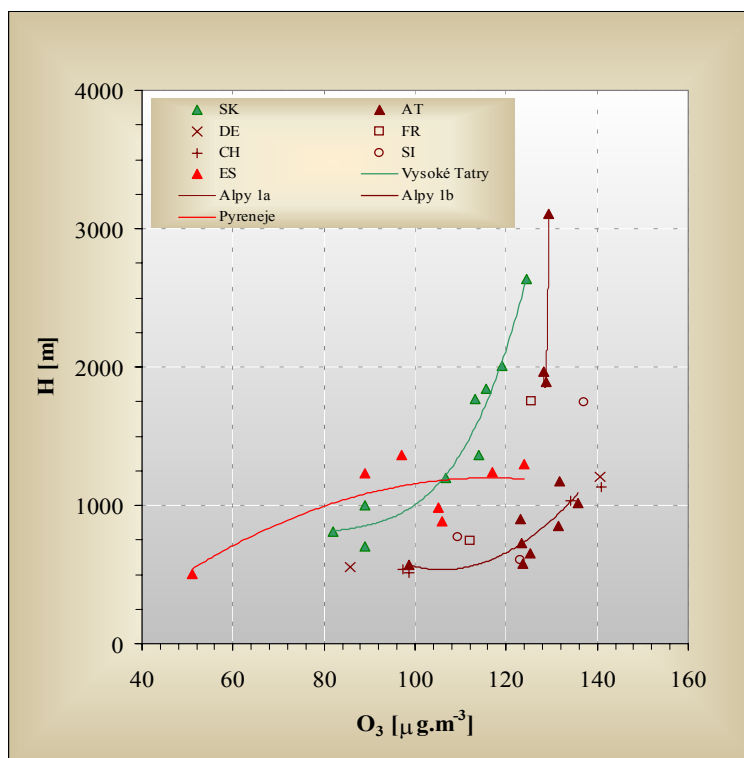
Vzhľadom na významný pokles produkcie prekursorov ozónu na Slovensku v poslednom desaťročí je možné predpokladať, že výskyt vysokých koncentrácií prízemného ozónu v extrémne teplom počasí súvisí so špeciálnou produkciou ozónu z diaľkového prenosu znečistenia.



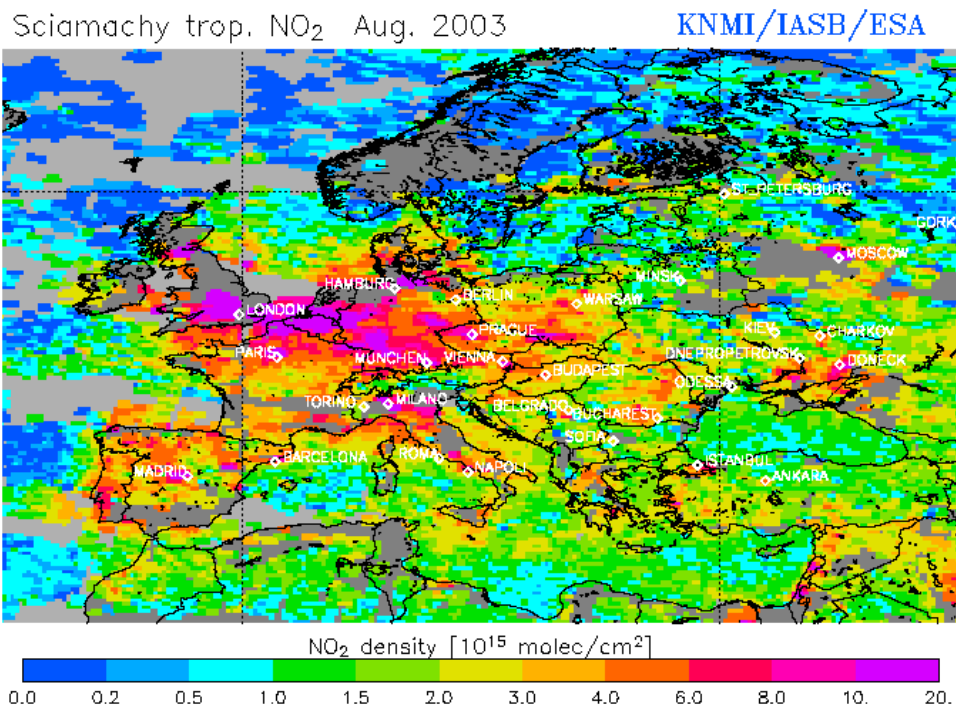
Obr. 2. Počet prekročení štandardov kvality ovzdušia na monitorovacích stanicích prízemného ozónu európskej siete EMEP v auguste 2003: 2a – počet prekročení informačného hraničného prahu $\text{IH}_{1h} = 180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 2b – počet dní s prekročením cieľovej hodnoty pre ochranu zdravia obyvateľstva $\text{IH}_{8h} = 120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 3. Priemerné mesačné koncentrácie prízemného ozónu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] v auguste 2003 na EMEP staniách s nadmorskou výškou do 500 m n.m. v závislosti od zemepisnej šírky [$^{\circ}\text{N}$].



Obr. 4 Priemerné mesačné koncentrácie prízemného ozónu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] v auguste 2003 na EMEP staniách v závislosti od nadmorskej výšky v Alpách, Vysokých Tatrách a na Pyrenejskom polostrove.



Obr. 5. Znečistenie troposféry nad Európou: hustota NO₂ [10^{15} molek.cm⁻²] v auguste 2003 na satelitnej snímke SCIAMACHI (<http://www.temis.nl/airpollution/no2.html>).

Pod'akovanie: Autor ďakuje grantovej agentúre VEGA (grant No. 2/5006/25) za čiastočné sponzorovanie tejto práce a SHMÚ, VS TANAP a Anne-Gunn Hjellbrekke z EMEP NILU Data Centre za sprístupnenie údajov.

Literatúra

- Anděl J., 1985: Matematická štatistika. SNTL/ALFA. Praha, 346 s.
- Auvray M., Bey I., 2004: Long-range transport to Europe: Seasonal variations and implications for the European ozone budget. *Journal of Geophysical Research* (in press).
- Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February, 2002 relating to ozone in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, **67**, 14-30.
- Faško P., Lapin M., Sekáčová Z., Šťastný P., 2003: Extraordinary climatic anomaly in 2003, *Meteorol. čas.*, **6**, 3, 3-7.
- Fiala J., Cernikovský L., de Leeuw F., Kurfuerst P., 2003: Air pollution ozone in Europe in summer 2003, EEA Topic Report N°3/2003. European Environm. Agency. Copenhagen, 8 p.
- Holloway T., Fiore A., Hastings M.G., 2003: Intercontinental transport of air pollution: Will emerging science lead to a new hemispheric treaty? *Environ. Sci. & Technol.*, **37**, 4535-4542.
- Hrouzková E., Kremler M., Sojákova M., Závodský D., 2004: Ground level ozone in Slovakia in 2003. *Meteorol. čas.*, **7**, 1, 17-24.
- Li Q., Jacob D.J., Bey I., Palmer P.I., Duncan B.N., Field B.D., Martin R.V., Fiore A.M., Yantosca R. M., Parrish D.D., Simmonds P.G., Oltmans S. J., 2002: Transatlantic transport of pollution and its effects on surface ozone in Europe and North America. *Journal of Geophysical Research*, **107** (D13) 4166, doi:10.1029/2001JD001422.
- Ostrožlík M., 2004: Výsledky meteorologických pozorovaní na observatóriách GfÚ SAV v r. 2003. GfÚ SAV, Bratislava, SR, 33 s.

- Rodríguez P., Caballero S., Galindo N., Torres J.G., Orza J.A.G., Yubero E., Nicolás J., Crespo J., 2004: Characterization of an episode of high tropospheric ozone levels in the Iberian peninsula in August 2003. In: Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium (Ed. Zeferos). Kos, p. 906.
- Spišáková K., Sajtáková E., Závodský D., 2003: Emission of air pollutants in the Slovak Republic. Meteorol. čas., **6**, 4, 11-16.
- Vestreng V., Adams M., Goodwin J., 2004: Emission data reported to CLRTAP and under the NEC directive, EMEP/EEA Joint Review Report. EMEP/MS-CW Note 1/2004, ISSN 0804-2446.