

# PRÍZEMNÝ OZÓN NA SLOVENSKU - EXPOZIČNÉ INDEXY AOT 40

## TROPOSPHERIC OZONE IN SLOVAKIA – AOT 40 EXPOSURE INDEXES

**Kremler, M.,**

Katedra meteorológie a klim. MFF UK, Mlynská dolina, 842 15, Bratislava.

### **Abstract**

The AOT 40 exposure index is applied to evaluate the harmful effects of tropospheric ozone on vegetation. The paper presents AOT 40 values for forests and crops obtained by a Slovak station for ozone measurements in 1992-1996. Using a calculated elevation dependence function of AOT 40 in the environment of the geographical informational system, maps of exposure indexes for forests and crops in Slovakia were created. The level of ozone critical for forests (10000 ppb.h) was exceeded in a large part of Slovakia. The level critical for agricultural crops (3000 ppb.h) was exceeded throughout the Slovak territory.

### **Úvod**

V súčasnosti je prízemný ozón najväznejším problémom regionálneho znečistenia ovzdušia nad Európou. Historické záznamy meraní koncentrácií ozónu v Európe a Severnej Amerike svedčia o tom, že za posledných sto rokov došlo v mestách k viac ako ich zdvojnásobeniu. V posledných desaťročiach sa však zvyšovali koncentrácie nielen lokálne v mestách a ich okolí, ale aj regionálne v mnohých oblastiach severnej pologule.

Väčšina atmosférického ozónu (90-95 %) sa nachádza v stratosfére. Maximum sa nachádza vo výškach 20-25 km, odkiaľ difunduje do nižších vrstiev a rozkladá sa na povrchu. Preto v troposfére koncentrácie  $O_3$  s výškou rastú. Popísaný mechanizmus prevládal v preindustriálnom období, keď bola fotochemická produkcia ozónu v troposfére nízka. Súčasné zvýšené koncentrácie  $O_3$  sú spôsobené nárastom tejto produkcie. Tvorba ozónu je ovplyvňovaná emisiami prekursorov, medzi ktoré patria oxidy dusíka, oxid uhoľnatý, metán a ďalšie prchavé uhľovodíky.

Ozón je vo vyšších koncentráciách škodlivý ľudskému zdraviu a je jedným z najvýznamnejších stresových faktorov pre vegetáciu. Keďže vegetácia je vystavená jeho účinkom dlhodobo, na ohodnotenie škodlivého vplyvu sa nevyužívajú priamo hodinové koncentrácie  $O_3$ , ale vhodnejšou charakteristikou je expozičný index AOT 40. AOT 40 pre

poľnohospodárske plodiny sa počíta ako suma hodinových koncentrácií O<sub>3</sub> nad úroveň 40 ppb (zodpovedá to 80 µg.m<sup>-3</sup>) pre denné hodiny počas troch mesiacov od mája do júla. Za kritickú úroveň bola stanovená hodnota AOT 40 rovná 3 000 ppb.hodín, pri takejto expozícii dochádza k 5% stratám úrody pšenice. Pre lesy bola zvolená kritická úroveň AOT 40 = 10 000 ppb.h, počítaná rovnako ako pri poľnohospodárskych plodinách len pre denné hodiny, ale počas šesťmesačného vegetačného obdobia od apríla do septembra.

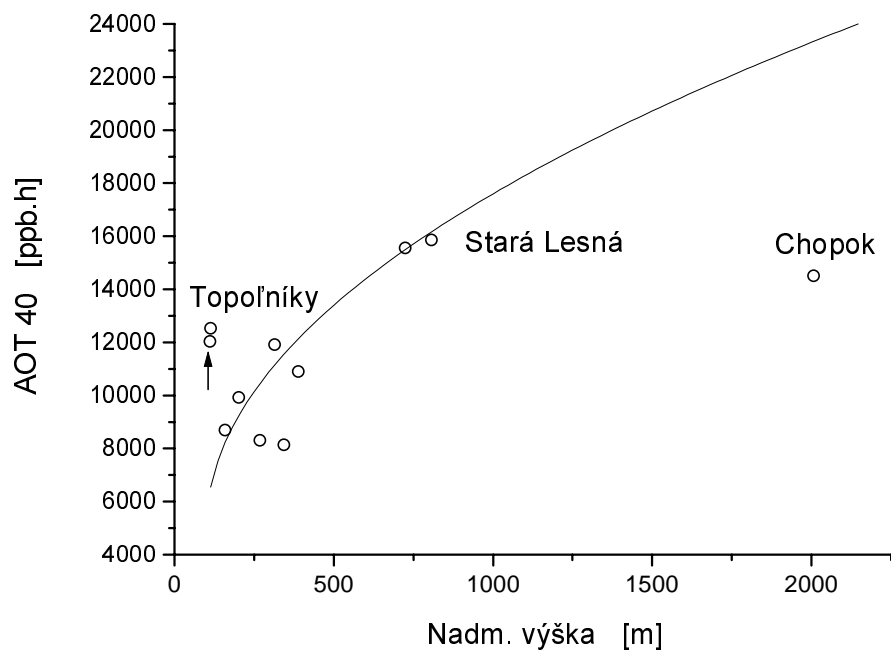
## Údaje a metodika

Na Slovensku sa začali nepretržité merania prízemného ozónu v roku 1992 v rámci zavádzania automatického imisného monitorovacieho systému znečistenia ovzdušia. V období 1992-1996 pracovalo spolu 20 ozónometrických staníc (počas celého obdobia však len 5). Sú medzi nimi mestské, prímestské aj regionálne stanice. Pozad'ové stanice: Chopok, Stará Lesná a Starina sú zahrnuté do siete EMEP. Údaje z mestských staníc sú ovplyvňované čerstvými emisiami prekurzorov ozónu. Produkcia O<sub>3</sub> je zložitou funkciou koncentrácií oxidov dusíka a uhl'ovodíkov (Závodský et al., 1994). Pri vysokých úrovniach NO<sub>x</sub>, čo je prípad lokálnych emisií z dopravy v malej vzdialenosti od zdroja, dochádza ku znižovaniu koncentrácií O<sub>3</sub>. Preto údaje z typicky mestských staníc nie sú vhodné na hodnotenie znečistenia ovzdušia ozónom na regionálnej úrovni.

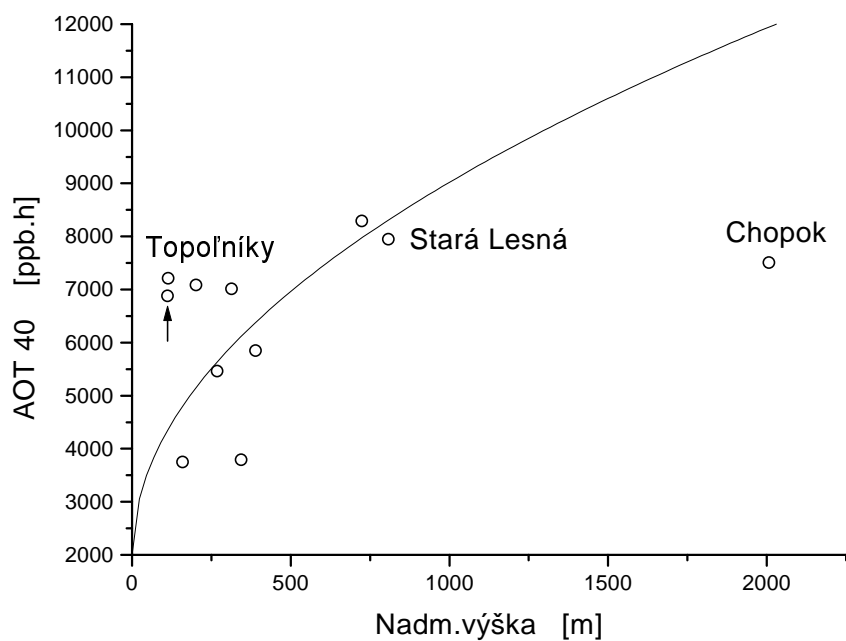
Keďže merania prízemného ozónu sa len zavádzali, ich kvalita, a to najmä v prvých rokoch nebola postačujúca. Mnohé stanice mali dlhé výpadky v meraniach, vyskytli sa prípady, keď počas roka chýbala aj polovica hodnôt hodinových koncentrácií, čo značne prispelo k neurčitosti odhadov AOT 40 na týchto staniciach. Nekompletnosť údajov ešte viac zvýraznila už aj tak dosť veľkú medziročnú premenlivosť úrovni expozície O<sub>3</sub> na staniciach, ktorá je zapríčinená chodom počasia v jednotlivých rokoch. Lepšiu predstavu o indexoch expozície na staniciach poskytujú 5-ročné priemery z daného obdobia (1992-1996). Expozičné indexy pre lesy aj poľnohospodárske plodiny sú v tabuľkách 1 a 2.

Na základe priemerných hodnôt AOT 40 z 11 prímestských a regionálnych staníc boli vytvorené empirické funkcie vyjadrujúce závislosť AOT 40 pre lesy (obr.1) a pre poľnohospodárske plodiny (obr.2) od nadmorskej výšky.

Na základe týchto závislostí a využitím digitálneho modelu terénu Slovenska v prostredí geografického informačného systému boli vytvorené mapy indexov expozície pre lesy aj poľnohospodárske plodiny v rozlíšení 500x500 m.



**Obrázok 1** Hodnoty AOT 40 pre lesy na staniách v závislosti od nadmorskej výšky



**Obrázok 2** Hodnoty AOT 40 pre poľnohospodárske plodiny na staniách v závislosti od nadm. výšky

**Tabuľka 1.** Indexy expozície AOT 40 pre lesy v období 1992 - 1996

Monitorovacia stanica	Nadm.v. [m]	1992	1993	1994	1995	1996	Priemer
Banská Bystrica	343	4677	7234	5238	9907	2190	5849
Bratislava-Koliba	286					5436	5436
Bratislava-Petržalka	136	4522	12834	19573	5460	730	8624
Hnúšťa	315		8278	6336	16906	16068	11897
Humenné	160			11156	6204		8680
Chopok	2008				15988	11452	13720
Košice-Podhradová	248	4224		4895		6646	5255
Martin	390					10893	10893
Prievidza	269	7690	10276	19344	3025	1125	8292
Ružomberok	485	1968			17080	2952	7333
Senica	203			3038	12702	14004	9915
Stará Lesná	808	18567	10776	13381	17164	19342	15846
Starina	345			7345	7066	9968	8126
Svit	725			18260	10716	17642	15539
Šaľa	115			19540	8156	9845	12514
Topoľníky	113			15766	10499	9810	12025
Žiar nad Hronom	263	3934	4405	15890	4602	10946	7955
Žilina	390		10348	11566	8579	2348	8210

**Tabuľka 2.** Indexy expozície AOT 40 pre poľnohospodárske plodiny v období 1992 - 1996

Monitorovacia stanica	Nadm.v. [m]	1992	1993	1994	1995	1996	Priemer
Banská Bystrica	343	3031	3407	3446	6842	1090	3563
Bratislava-Koliba	286					2966	2966
Bratislava-Petržalka	136	3264	6876	16358	4694	416	6322
Hnúšťa	315		3632	4058	11320	9010	7005
Humenné	160			3768	3716		3742
Chopok	2008				8958	4874	6916
Košice-Podhradová	248	1204		3274		3664	2714
Martin	390					5840	5840
Prievidza	269	6350	6682	12299	1548	412	5458
Ružomberok	485	1776			8713	1620	4036
Senica	203			2557	10578	8109	7081
Stará Lesná	808	8311	5814	4292	9788	11502	7941
Starina	345			2327	3524	5506	3786
Svit	725			8615	7348	8883	8282
Šaľa	115			10044	5805	5774	7208
Topoľníky	113			8373	6629	5626	6876
Žiar nad Hronom	263	2491	2776	11596	1422	5758	4809
Žilina	390		3900	6221	6055	1470	4412

## Výsledky a diskusia

Koncentrácie prízemného ozónu majú veľkú priestorovú variabilitu. Hoci je Slovensko malá krajina, existuje tu malý priestorový gradient priemerných koncentrácií O<sub>3</sub> (hodnoty klesajú zo

západu na východ). Pri mapovaní AOT 40 nebol gradient zohľadnený z dôvodu nemožnosti jeho presnejšieho odhadu vzhľadom na malý počet staníc na Slovensku.

Na obrázkoch 1 a 2 je vidieť dosť veľký rozptyl priemerov AOT 40, zapríčinený do istej miery výpadkami v meraniach a zanedbaním priestorového gradientu. Nevýhodou pri hľadaní najvhodnejšej závislosti bola tiež skutočnosť, že v nadmorských výškach nad 500 m sú na Slovensku len tri stanice. Index expozície na Chopku je nižší ako v Starej Lesnej, skutočná hodnota by mala byť podstatne vyššia. Merania boli poznamenané výpadkami počas obdobia, kedy prízemný ozón dosahuje v ročnom chode maximum, v roku 1996 chýbalo dokonca 50% letných údajov. Chopok ako vrcholová stanica má vysokohorský chod koncentrácií O<sub>3</sub> s nočným maximom a denným minimom. Dennú amplitúdu má malú v porovnaní s nižšie ležiacimi stanicami. Keďže AOT 40 sa počíta len pre denné hodiny, maximálne nočné koncentrácie nie sú v sume zahrnuté.

Mapy indexov expozície AOT 40 pre lesy a poľnohospodárske plodiny na Slovensku pre obdobie 1992-1996 sú v prílohách 1 a 2. Mapy svedčia o značnom prekračovaní kritických úrovní pre ozón na našom území. Kritická úroveň pre poľnohospodárske plodiny je prekračovaná na celom území Slovenska, najmenej v hlavných produkčných oblastiach na Podunajskej a Východoslovenskej nížine. Skoro na celom strednom Slovenku (okrem oblasti Juhoslovenskej kotliny) a v západnej časti východného Slovenska je kritická úroveň prekračovaná dvojnásobne. Najvyššie hodnoty prekročení sú v horských oblastiach, no tie sa poľnohospodársky využívajú len málo. Kritická úroveň pre lesy je okrem časti Podunajskej a Východoslovenskej nížiny tiež prekračovaná na celom Slovensku. Značné prekročenia sú na Kysuciach, Orave, v Malej a Veľkej Fatre, Slovenskom Rudohorí, Spišskej Magure, Levočských vrchoch a na Čergove. Najvážnejšia situácia je vo Vysokých, Západných a Nízkych Tatrách. Z hľadiska nadmorskej výšky sú lesy v nižších polohách ohrozené menej, vo výškach nad 700 m je už riziko poškodenia vyššie (hodnoty AOT 40 sú nad 15 000 ppb.h) a najvyššie je v exponovaných polohách v blízkosti hornej hranice lesa a v pásme kosodreviny (hodnoty AOT 40 dosahujú úroveň 20 000 ppb.h), kde pri poškodzovaní stromov hrajú významnú úlohu aj ostatné meteorologické faktory.

## **Záver**

Kritická úroveň expozičného indexu AOT 40 pre lesy (10 000 ppb.h) je prekračovaná na väčšine územia a kritická úroveň pre poľnohospodárske plodiny (3 000 ppb.h) na celom

Slovensku. Vysoké indexy expozície na Slovensku predstavujú značné riziko škodlivých efektov pre vegetáciu. K presnejšiemu a detailnejšiemu zmapovaniu AOT 40 na Slovensku by bol potrebný väčší počet ozónometrických staníc s kompletnejšími údajmi, aby sa dal ohodnotiť západo-východný gradient hodnôt expozícií. Zriadenie niekoľkých staníc v nadmorských výškach 500 až 700 m a nad 900 m by bolo prospešné pre lepšie poznanie denných a ročných chodov koncentrácií prízemného ozónu a ich zmien s výškou.

## **Súhrn**

Na ohodnotenie škodlivého vplyvu prízemného ozónu na vegetáciu sa používa expozičný index AOT 40. V článku sú uvedené AOT 40 pre lesy a poľnohospodárske plodiny pre slovenské stanice merajúce ozón v období 1992 - 1996. Na základe vypočítaných empirických závislostí hodnôt AOT 40 od nadmorskej výšky boli vytvorené pomocou GIS-u mapy indexov expozície pre lesy aj poľnohospodárske plodiny na Slovensku. Pri lesoch nie je kritická úroveň (10 000 ppb.h) prekročená iba na časti Podunajskej a Východoslovenskej nížiny, pri poľnohospodárskych plodinách je kritická úroveň (3 000 ppb.h) prekročená na celom území Slovenska.

*Článok vznikol v rámci riešenia grantu (č. UK/147/2000). Autor ďakuje Univerzite Komenského za podporu výskumu mladých vedeckých pracovníkov.*

**Kľúčové slová:** prízemný ozón, AOT 40, lesy, poľnohospodárske plodiny.

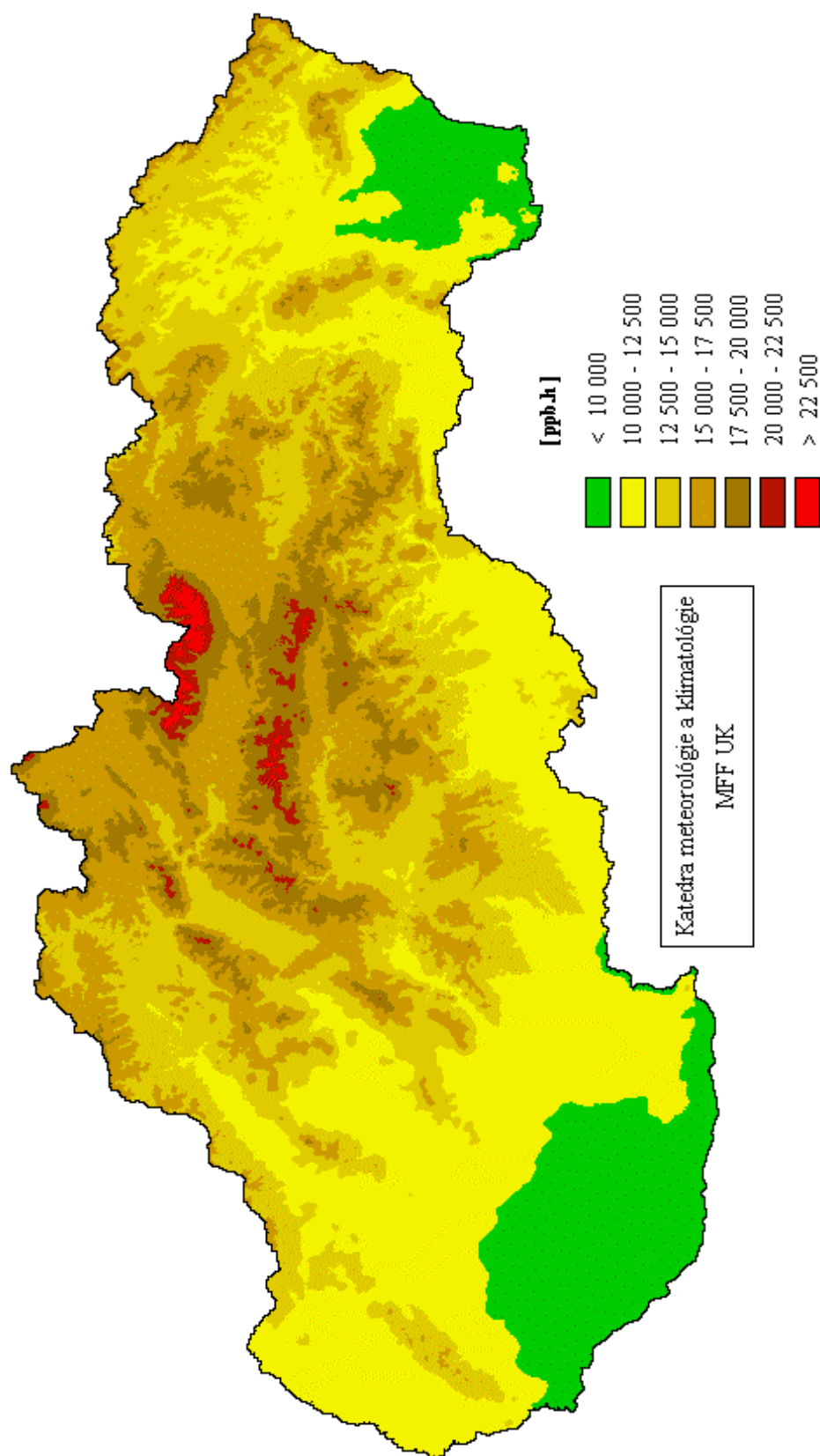
## **Literatúra**

Závodská, E. - Závodský, D. - Kremler, M. 1998. Exposure of surface ozone in Slovakia, 1992 - 1996. In: Contribution of the Geophysical Institute of SAS, Series of Meteorology. Bratislava: Veda, vol. 18, 1998, s. 19 - 30.

Závodský, D. - Pukančíková, K. - Závodská, E. - Bilčík, D. 1994. Dôsledky zmien teploty vzduchu a UVB slnečného žiarenia na zmeny chemizmu hraničnej vrstvy atmosféry na Slovensku. In: NKP SR. Bratislava: SHMÚ, 1994, 1, s. 17-54.

Martin Kremler, Katedra meteorológie a klim. MFF UK, Mlynská dolina, 842 15, Bratislava.

Príloha 1. Expozičný index AOT 40 pre lesy v Slovenskej republike v r. 1992 - 1996



Príloha 2. Expozičný index AOT 40 pre poľnohospodárske plodiny v Slovenskej republike v r. 1992 - 1996

