

PŘEKROČENÍ KRITICKÝCH ÚROVNÍ OZONU NA STANICI MONITORINGU ČISTOTY OVZDUŠÍ V AREÁLU BZA MZLU V BRNĚ V LETECH 2001 AŽ 2006

J. Svoboda

Došlo: 19. ledna 2007

Abstract

SVOBODA, J.: *Transgression of critical ozone level at monitoring station for air cleanliness in BZA MZLU for period 2001–2006*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2007, LV, No. 2, pp. 123–130

Cumulative effects of agricultural crops exposition, forests and other ecosystems for ozone concentration above the threshold is characterized by exposition index AOT. According to expert for EHK, the recent level is 40 ppb. Very dry summer in 2006 and 2003 created good conditions for photochemical reaction as well as ozone transport in Central Europe. Such years can be taken as an example in connection with expected concentration of ground ozone (as a result of global warming). Amount of ozone in troposphere is measured in Botanic garden and MZLU arboretum areas since 2001 by analyzer 41M–LCD. Ozone course correlates with course of air temperature from end of May till end of August. Coefficient of correlation for 2006 was 0,872 and year 2003 was 0,777, which is statistically significant. Similar course was found for summer months of 2004 (0.703), a bit lower as 2006. There were exceeded imission limits for vegetation protection and AOT40 in 2003 and 2004. There were the highest values for vegetation protection in 2006, 2003 and 2004. Immision limits exceeded 90 days in 2006, 61 days in 2003 and 53 days in 2004.

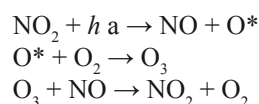
tropospheric ozone, exposition index AOT40, immision limits, vegetation protection, meteorological conditions

Chemické složení troposféry je dané komplexem nelineárních procesů, obsahujících stovky látek a chemických reakcí. Příčiny současných změn, a tím i změn kvality ovzduší, je možno rozdělit do dvou skupin:

- růst antropogenních příměsí
- globální změny klimatu (oteplení, změny vlhkosti ovzduší, oblačnosti, růstu UVB radiace, změny v rozložení srážek a další).

Mezi látky zařazované jako škodliviny v troposféře řadíme vedle oxidu siřičitého, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, prachu (PM10) a dalších i troposférický ozon. Je to v podstatě jediná významná škodlivá látka, která není bezprostředně emitována do atmosféry, ale teprve v ní následně vzniká.

Ozon je jedním z nejsilnějších oxidačních činidel. Podle chemického hodnocení je ozon bezbarvý plyn štiplavého zápachu. V troposféře se tvoří nepřímo účinkem slunečního záření na oxidy dusíku za přítomnosti těkavých organických látek. Neexistují žádné významné přímé antropogenní emise ozonu do ovzduší. Ozon přítomný v atmosféře se tedy vytvořil chemickými reakcemi, k nimž dochází v ovzduší. Procesy produkující a spotřebovávající ozon, které zahrnují absorpci slunečního záření oxidem dusičitým, mohou být charakterizovány těmito reakcemi:



V ustáleném stavu lze tedy koncentrace ozonu popsat vztahem:

$$\text{koncentrace } O_3 = \text{konstanta} * (\text{koncentrace } NO_2) / (\text{koncentrace } NO).$$

Přítomnost hydroxylových radikálů a těkavých organických sloučenin v ovzduší, ať původu přírodního či antropogenního, způsobuje posun rovnováhy ve prospěch mnohem vyšších koncentrací ozonu. Kromě ozonu jsou fotochemickými procesy tvořeny také další oxydanty, např. peroxyacetylnitráty, kyselina dusičná, peroxid vodíku, dále sekundární aldehydy, kyselina mravenčí, jemné částičky radikálů s krátkou dobou existence (US Environmental Protection Agency, 1984).

Maximální koncentrace ozonu, která může být ve znečištěném ovzduší dosažena, pravděpodobně závisí nejen na absolutních koncentracích těkavých organických sloučenin a oxidů dusíku, ale rovněž na jejich poměrném zastoupení. Při středních hodnotách poměrů těchto koncentrací (4 : 1 až 10 : 1) jsou podmínky pro tvorbu vysokých koncentrací ozonu velmi příznivé. Vzhledem k tomu, že poměry koncentrací těkavých organických látek ke koncentracím oxidů dusíku hustě osídleného evropského regionu se obvykle příliš nemění, jsou hlavně meteorologické podmínky v tomto regionu důležitým faktorem, který určuje rychlost fotochemických procesů (US Environmental Protection Agency, 1984).

Koncentrace přírodního pozadí ozonu způsobené nespojitostmi v tropopauze byly měřeny v místech vzdálených od zdrojů znečištění ovzduší. Maximální 24hodinová střední hodnota $120 \mu\text{g.m}^{-3}$ (tedy 0,06 ppm) byla naměřena v Atlantském oceánu ve výši mořské hladiny a v nadmořské výšce 3 000 m v Německu. Stejná koncentrace (jako průměrná 4hodinová hodnota) byla naměřena ve venkovských oblastech Kanady (US Environmental Protection Agency, 1984).

Vyšší koncentrace ozonu byly naměřeny ve venkovských oblastech, kde jsou místní zdroje prekurzorů tvorby ozonu nevýznamné. Tyto pozorované vysoké koncentrace ozonu jsou způsobeny dálkovým přenosem nebo jeho prekurzorů pocházejících z oblastí zdrojů ležících proti směru větru nebo z troposféry. Ve venkovských oblastech Norska a Švédska byly naměřeny maximální koncentrace přesahující $300 \mu\text{g.m}^{-3}$. Maximální hodinové koncentrace ozonu byly naměřeny na území Nizozemska ($380 \mu\text{g.m}^{-3}$) a ve Velké Británii ($520 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Denní koncentrační profily ozonu se mění s místem v závislosti na spolupůsobení faktorů ovlivňujících tvorbu, transport a rozklad ozonu. Časně ráno musí vždy uplynout určitá doba, než se vyvine fotochemický proces. Nejvyšší koncentrace ozonu kolem

$350 \mu\text{g.m}^{-3}$ se proto může objevit až v odpoledních hodinách. Průměrné hodinové koncentrace mohou přesahovat hodnotu $240 \mu\text{g.m}^{-3}$ po dobu 10 i více hodin. V noci je ozon spotřebováván reakcemi s oxidem dusnatým. Je ale třeba poznamenat, že v průběhu ozonových epizod se může vyskytnout několik typických dnů se zvýšenou fotochemickou činností za sebou. Lze si představit, že délka období regenerace mezi dvěma po sobě následujícími ozonovými epizodami a počet těchto epizod v dané sezoně mohou být rovněž důležitými faktory pro charakter a hloubku očekávaných účinků na zdraví obyvatelstva.

Sezonní změny koncentrací ozonu jsou způsobeny zejména změnami meteorologických procesů (tedy vlivem synoptických situací). Čtvrtletní střední koncentrace ozonu jsou nejvyšší v průběhu druhého a třetího čtvrtletí v roce. Vznik troposférického ozonu je vázán též na určité meteorologické podmínky (hlavně za dostatečně intenzivní sluneční radiace) a přítomnost prekurzorů, kterými jsou hlavně NO_x , VOC, CO a C_xH_y (Molnářová, H. Mindáš, Š., 1999; Závodská, E. et al., 1998).

Z dat naměřených v Nizozemsku a USA vyplývá, že denní koncentrační profily peroxyacetylnitrátu jsou kvalitativně podobné cyklům koncentrace ozonu. Na druhé straně byl ve Švédsku pozorován časový rozdíl okolo 5 hodin mezi dobami dosažení maximální koncentrace peroxyacetylnitrátu a ozonu, přičemž koncentrace peroxyacetylnitrátu předchází dobu dosažení maximální koncentrace ozonu. Poměr koncentrací peroxyacetylnitrátu a ozonu není konstantní a navíc je sezonně proměnlivý. Tento poměr se mění od 2 % do 20 % pro střední denní průměry. Koncentrace peroxyacetylnitrátu dosahují maximálních hodnot $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ v USA a $90 \mu\text{g.m}^{-3}$ v Nizozemsku.

Ozon přispívá k tvorbě významného množství organických a anorganických aerosolů. Byly zjištěny korelace mezi koncentracemi ozonu a kyseliny sírové, kyseliny dusičné, síranů a dusičnanů (US Environmental Protection Agency, 1984).

Chemická reaktivita ozonu a peroxyacetylnitrátu je tak vysoká, že poločas jejich existence v pevných a kapalných prostředích je ve skutečnosti zanedbatelný. Příjem obou těchto plynů jinou cestou než vdechováním se proto nepředpokládá.

Toxicita ozonu na člověka působí spojitě, přičemž vyšší koncentrace způsobují větší účinky. Z několika studií plyne, že pro pozorované účinky ozonu neexistuje jednoznačně stanovená prahová úroveň. Krátkodobé akutní účinky ozonu, počínaje drážděním očí působením oxydantů jiných než ozonu, jsou postřehnutelné při koncentracích ozonu $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ (0,1 ppm) nebo i nižších. Symptomatické účinky na dolní a horní cesty dýchací začínají při vyšších koncentracích ozonu, a to u vnímavější části populace. Není pochyb o tom, že při hodinových koncentra-

cích ozonu okolo hodnoty $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,5 ppm) již dochází k vážným akutním škodlivým účinkům. Epidemiologické terénní studie dětí však prokázaly, že ke snižování plicních funkcí může dojít již při koncentracích ozonu okolo hodnoty $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,1 ppm) nebo dokonce i poněkud nižších. Různé příznaky, včetně kašle a bolestí hlavy, byly spojeny s koncentracemi ozonu okolo pouhých 160 až $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,08 až 0,15 ppm) jak uvádějí De Leeuw et. al. (1986).

Změny v hospodářské činnosti na území naší republiky jsou příčinou toho, že znečištění ovzduší v České republice již asi 15 let klesá. Tato skutečnost však určitě neplatí pro výskyt troposférického ozonu. Není to problém jen naší republiky, ale koncentrace ozonu se během minulého století v Evropě zvýšily 3 až 4krát (Low et. al., 1990).

Pro svou malou rozpustnost se ozon ve vodě a atmosféře (tedy v oblacích a srážkách) málo rozpouští. Proto hlavním způsobem snižování jeho koncentrací v troposféře je suchá depozice, jak označujeme zachycení na povrchu.

Přítomnost ozonu v troposféře je známa více než 150 roků (Závodský, D., Závodská, E.; 1994). Troposférický ozon je buď stratosférického původu nebo vzniká v troposféře výše popsanými reakcemi. Při koncentracích $\text{NO}_x > 20$ ppt převládá tvorba ozonu nad jeho rozkladem (Závodský, D. Závodská, E.; 1992).

V předindustriálním období převládal v troposférickém cyklu ozonu přenos ze stratosféry a jeho následný rozklad na zemském povrchu. Troposférická tvorba byla malá až zanedbatelná. Průměrné roční koncentrace přízemního ozonu na území bývalého Československa v druhé polovině 19. století se pohybovaly kolem 10 ppb. S rostoucími emisemi CH_4 , CO, NMHC (nemetanové uhlovodíky), ale i NO_x , začala narůstat troposférická produkce O_3 . Na tvorbě ozonu ve volné atmosféře se podílejí oxid uhelnatý a uhlovodíky s delší dobou setrvání v ovzduší, hlavně metan. Většina uhlovodíků má krátkou dobu setrvání v atmosféře a podílejí se tedy na produkci ozonu jen v hraniční vrstvě atmosféry.

Současné koncentrace troposférického ozonu ve střední Evropě často překračují imisní limity a kritické hodnoty, stanovené příslušnými mezinárodními organizacemi WHO, UN-ECE, CEC (Závodská a kol., 1994) a ohrožují lidské zdraví i vegetaci. Opatření na zastavení růstu koncentrací O_3 v troposféře, častý výskyt epizod vysokých koncentrací O_3 ukazují, že přijatá opatření (zmrazení emisí NO_x v roce 1994 a snížení emisí VOC o 30 % do roku 2000) nejsou dostatečně účinné a jejich efekt bude pravděpodobně kompenzovaný intenzifikací fotochemických procesů v důsledku globálního oteplování a zeslabování ozo-

nové vrstvy (v důsledku toho dojde k nárůstu intenzit UVB radiace).

Nárůst koncentrace ozonu v přízemní vrstvě atmosféry v průmyslových oblastech severní polokoule o 30 až 50 % za posledních 30 roků minulého století je dobře dokumentovaný v mnohých odborných pracích (Oltmans, Levy; 1994). Došlo i ke změně a charakteru sezonního chodu koncentrace ozonu v těchto oblastech – původní jarní maximum spojené s transportem ozonu z vyšších vrstev atmosféry se rozšířilo na prakticky celé letní období. Příčinou je fotochemická produkce ozonu z antropogenních prekurzorů (VOC, NO_x), které přes veškerá opatření emituje automobilová doprava, energetika a průmysl. Přirozené emise uhlovodíků pocházejí hlavně z vegetace. Hlavním zdrojem CO, NO_x , NMHC a metanu je hlavně automobilová doprava, průmyslová a zemědělská výroba.

Přízemní koncentrace ozonu v Evropě jsou v současnosti přibližně dvojnásobné v porovnání s 19. stoletím. Podle nejdelší vyhodnocované řady měření automatickými analyzátory v Evropě (na území bývalé NDR) narůstaly přízemní koncentrace ozonu za posledních 30 roků minulého století až o 2 % ročně (Závodská, 1993). Měření koncentrací přízemního ozonu se na území bývalého Československa v minulosti vykonávaly jen sporadicky a nesystémově. Teprve od začátku 90. let minulého století se začala budovat síť automatického monitorovacího systému pracující dnes v ČR a SR jako pracoviště ČHMÚ a SHMÚ.

Zvýšené koncentrace ozonu v hraniční vrstvě atmosféry jsou nebezpečné pro lidské zdraví, vegetaci a různé materiály. Proto byla příslušnými mezinárodními organizacemi navržena celá řada kritických úrovní, resp. imisních limitů pro hodnocení koncentrace přízemního ozonu. (UN-ECE 1988, UN-ECE 1993). Kritická úroveň ozonu charakterizuje takovou koncentraci, při jejímž překročení se mohou vyskytnout viditelná poškození receptorů (zemědělské plodiny, lesní porosty, přirozená vegetace, materiály, ale i člověk). Tato kritická úroveň není stálá a jednou pro vždy daná, ale stále se upravuje dle nejnovějších vědeckých poznatků. Vyhodnocením naměřených koncentrací v dané lokalitě jsme schopni do jisté míry s ohledem na kritickou úroveň stanovit rizikovost daného území.

V Tab.I. jsou uvedeny imisní limity ozonu podle direktivy EU 92/72/EEG (Závodská, E. et. al., 1996). V České republice pro hodnocení vlivu ozonu na lidské zdraví platí imisní limit $160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (8hodinový průměr). Pro posouzení dlouhodobějšího vlivu ozonu na vegetaci se často používá limit $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ doporučený EHK při OSN a vypočítaný jako průměr koncentrací ozonu z denních hodin (9 až 16 h) ve vegetačním období (duben až září).

I: Imisní limity koncentrace přízemního ozonu doporučené direktivou EU 92/72/EEG

Imisní limity	Koncentrace O ₃ v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Průměr za časový interval
pro ochranu lidského zdraví	110	8 h*
pro ochranu vegetace	200	1 h
	65	24 h
pro informaci obyvatelstva	180	1 h
pro varování obyvatelstva	360	1 h

8 h* průměr je počítáný 4x za den v časových intervalech 0.00 až 9.00 h, 8.00 až 17.00 h, 16.00 až 01.00 h, a 12.00 až 21.00 h.

Podle zákona č. 86/2002 Sb. (zákon o ochraně ovzduší) platí pro troposférický ozon limity uvedené v Tab. II. Podle doporučení Světové zdravotnické organizace se hodinové směrné hodnoty mají pohybovat v rozmezí 150 až 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,076 až 0,1 ppm) a osmihodinová směrná hodnota pro expozici ozonu 100 až 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,05 až 0,06 ppm). Stanovení směrné hodnoty pro peroxyacetylnitrát není v současné době opodstatněné, neboť peroxyacetylnitrát pravděpodobně nepředstavuje významný zdravotní problém.

Podle nařízení vlády č. 350/2002 Sb. platí pro ozon z hlediska ochrany zdraví následující limity:

v časovém intervalu – maximální denní 8hodinový klouzavý průměr je limitní hodnota 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ bez meze tolerance pro roky 2001 až 2003.

Kumulativní účinky expozice zemědělských plodin, lesních porostů i ostatních ekosystémů při koncentraci ozonu nad určitou prahovou úroveň charakterizuje tzv. index expozice AOT (UN ECE 1993). Limitní hodnoty (platné pro ozon) z hlediska ochrany ekosystémů jsou v časovém intervalu za období květen až červen vypočítány jako AOT40 (z jednohodinových hodnot) maximálně 18 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ bez meze tolerance.

Podle expertů EHK při OSN je v současné době navrhovaná prahová úroveň 40 ppb (1 ppb odpovídá 2,144 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Řada autorů používá pro přepočet hodnotu 1 ppb = 2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, čímž mohou vzniknout odlišné úrovně hodnocení vlivu ozonu. Ve spojitosti s ochranou zemědělských plodin je doporučováno uvažovat jako kritickou úroveň hodnotu AOT 40 ve výši 5 300 ppb.h (tedy ve výši 11 363 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), tato odpovídá např. 10% redukci výnosu ječmene jarního. Počítá se pro denní hodiny v měsících květen až červenec. Denní hodiny jsou v tomto případě určovány průměrnou hodnotou globální radiace 50 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Navržená krátkodobá kritická hodnota AOT 40 pro epizodické poškození zemědělských plodin je 700 ppb.h (počítá se pro denní hodiny po dobu tří po sobě následujících dnů).

Pro ochranu ekosystémů podle nařízení vlády č. 350/2002 Sb. je v naší republice platná limitní hodnota AOT 40 za měsíce květen až červenec 18 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, přičemž AOT 40 v tomto případě je součet rozdílů mezi hodinovými koncentracemi vyššími než prahová koncentrace 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (40 ppb) a hodnotou 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v období 8–20 hod. SEČ.

Cílem práce je vyhodnotit překročení kritických úrovní ozonu v areálu BZA MZLU v Brně za období 2001 až 2006.

II. Hodnoty imisní zátěže pro troposférický ozon dle zákona č. 86/2002 Sb.

Účel vyhlášení	Parametr/doba průměrování	Hodnota imisního limitu	Mez tolerance	Datum do něhož musí být limit splněn
Ochrana zdraví lidí	Maximální denní osmihodinový klouzavý průměr	12 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nesmí být překročena ve více jak 25 dnech za kalendářní rok v průměru za 3 roky	90 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (26 %)	1. 10. 2010
Ochrana vegetace	AOT40 vypočtená z osmihodinových hodnot v období od května do července	18000/125 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ zprůměrovaná za 5 let	-	1. 1. 2010
Ochrana zdraví lidí	Aritmetický průměr / kalendářní rok	50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	-	Ode dne nabytí účinnosti tohoto nařízení
Ochrana ekosystémů	Aritmetický průměr/ zimní období (1. 10.–31. 3.)	20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	-	Ode dne nabytí tohoto nařízení

MATERIÁL A METODY

Pro hodnocení vlivu ozonu bude použit expoziční index AOT40 za vegetační období (duben až září včetně) pro roky 2001 až 2006 a vyhodnocen počet překročení imisního limitu $65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (vztaženo k 24hodinovým průměrům) platným pro ochranu vegetace.

Stanoviště pro měření troposférického ozonu se nachází v areálu Botanické zahrady a arboreta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně. Měření koncentrace ozonu je prováděno pomocí analyzátoru O_3 typ 41M – LCD (výrobce ENVIRONNEMENT s.a. – Francie) na stanovišti měřící sítě magistrátu města Brna. Tento analyzátor pracuje na principu absorpce UV záření. Francouzská firma Environment s.a. vyrábí ucelený systém analyzátorů C_xH_y , CO , O_3 , NO – NO_x – NO_2 , SO_2 a některé další. Všechny tyto analyzátory jsou schváleny zkušebnami USA (E.P.A.), SRN (UBA), Francie (AFNOR). Tyto normy jsou uznávány i naší republikou. Tato nová řada analyzátorů je provozována v hlavních evropských sítích monitoringu ovzduší, jako např. v SRN, Francii, Itálii, Španělsku, Belgii, Polsku, Maďarsku, atd. Analyzátor 41M – LCD je vybaven číslicovým výstupem RS 232C/RS 422 umožňujícím připojení na datalogger, autodiagnostikou, automatickou kalibrací v případě zabudovaného interního standardu a navíc umožňuje připojení signálů z dalších čidel (např. snímače meteorologických veličin).

Celý měřicí systém zahrnující jednotlivé analyzátory (včetně analyzátoru O_3) pracuje v režimu „on line“ s průběžným předáváním naměřených hodnot na zpracovatelské pracoviště Odboru životního prostředí magistrátu města Brna, kde jsou analyzovány a výsledné hodnoty (po zpracování) dle smlouvy jsou k dispozici naší univerzitě. Předávaná data jsou využívána diplomanty naší univerzity a také slouží pro potřeby některých doktorandů naší školy.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Je možno zpracovat a vyhodnotit pouze roky 2001 až 2006 (tedy od začátku měření troposférického ozonu analyzátozem 41M–LCD). Pro hodnocení budou použita data změřená tímto analyzátozem. Vzhledem k poskytovaným hodnotám ve formě 24hodinových průměrů bude možno vypočítat pouze hodnotu AOT40 za vegetační období (duben až září včetně) pro roky 2001 až 2006 a počet překročení imisního limitu $65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (vztaženo k 24hodinovým průměrům) platným pro ochranu vegetace.

Rekordně teplé léto roku 2003 vytvořilo příznivé podmínky pro fotochemickou produkci i pro transport ozonu ve střední Evropě.

III: Index expozice AOT40 v areálu BZA MZLU v Brně

Rok	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
2001	8874,5
2002	6780,7
2003	11606,0
2004	10070,0
2005	9276,2
2006	11835,3

IV: Překročení imisních limitů ozonu pro ochranu vegetace v areálu BZA MZLU v Brně

Rok	Počet překročení
2001	26
2002	1
2003	61
2004	53
2005	26
2006	90

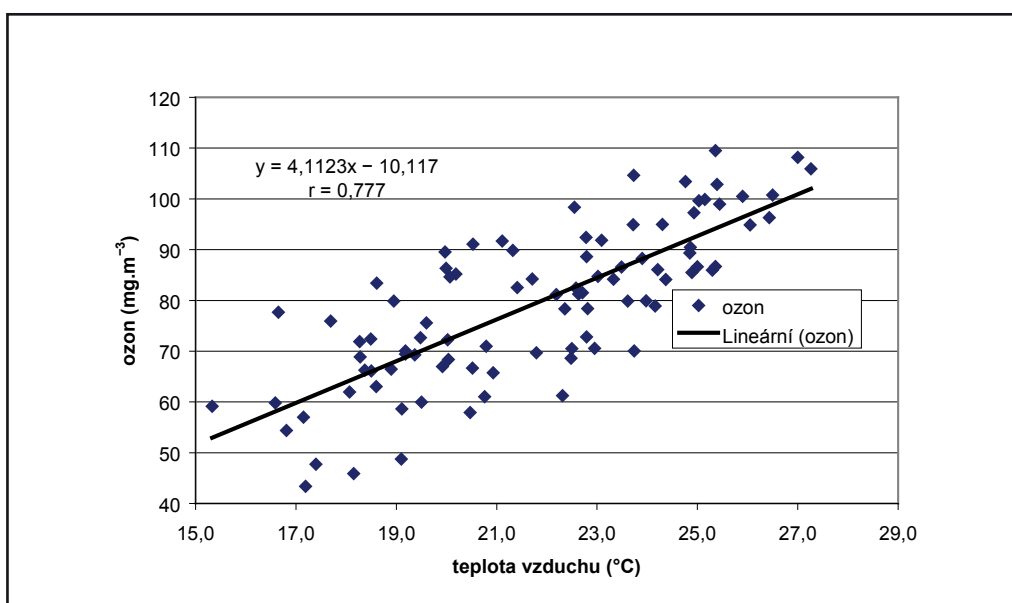
Nejvýraznější epizoda vysokých koncentrací troposférického ozonu se vyskytla ve dnech 12.–14. srpna. Tlaková výše 1020 hPa se středem nad jižním Maďarskem se během sledovaného období přesunula přes severní Itálii nad střední Španělsko a umožnila přemístění frontální zóny ze severní do střední Evropy. V týlu této výše proudil nejprve do západní, uprostřed období i do střední Evropy od jihu velmi teplý vzduch. Koncem období pronikly od severozápadu nad naše území postupně dvě studené fronty a došlo k výměně vzduchové hmoty. Uvnitř velmi teplé vzduchové hmoty, postupující přes naše území od západu směrem na východ, vystoupily dne 12. srpna maximální hodnoty troposférického ozonu nad $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pouze v západní polovině Čech, 13. srpna nastala tato situace téměř na celém území republiky. Nejvyšší hodnota $235 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla naměřena v Pardubicích. Ještě výraznější epizody s koncentracemi přízemního ozonu nad $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v téže době zasáhly západní Evropu, zejména Francii a Německo (Kolektiv autorů, 2004).

Rok 2003 může eventuelně sloužit jako modelový ve spojitosti s očekávaným vývojem koncentrací přízemního ozonu (v důsledku globálního oteplování). Průměrná měsíční teplota v areálu BZA byla v červenci roku 2003 $21,1^\circ\text{C}$ (normálová hodnota za období 1961–1990 je $18,5^\circ\text{C}$) a v srpnu $23,2^\circ\text{C}$ (normál $18,1^\circ\text{C}$) při nízkém srážkovém úhrnu ($28,5 \text{ mm}$ v červenci a 0 mm v srpnu roku 2003). Vyšší hodnoty ozonu v prvních dvou dekádách dubna jsou způsobeny pravděpodobně transportem ozonu z vyšších vrstev atmosféry. Od konce května do konce srpna chod ozonu prakticky koreluje s chodem teploty vzduchu. Hodnota koeficientu korelace dosáhla v tomto roce

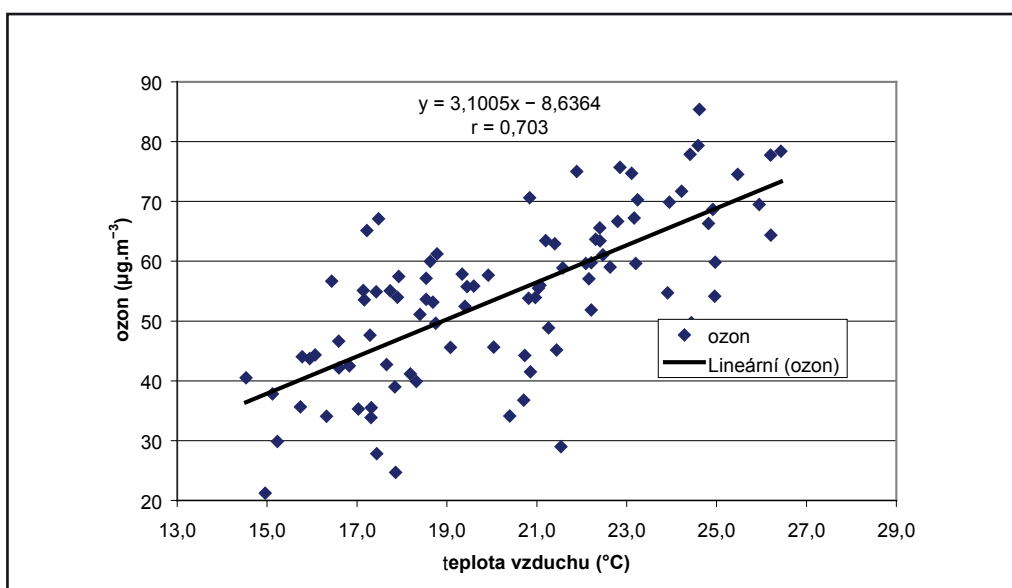
hodnoty 0,777 (Obr. 1), což můžeme hodnotit jako statisticky vysoce významné.

Podobné podmínky pro tvorbu troposférického ozonu byly v roce 2006. Rekordně teplý červenec, během něhož byly opět vytvořeny velmi příznivé podmínky pro fotochemickou tvorbu ozonu. Nejvyšších hodnot dosahoval ozon v období mezi 19. až 28. červencem, kdy byla naše republika pod vlivem rozsáhlé anticyklony. V tomto období maximální teploty vzduchu překračovaly víc jak 25 °C s trváním slunečního svitu kolem 14 hodin. Hodnota korelace v tomto roce dosáhla nejvyšší hodnoty $r = 0,8272$ (za vyhodnocované období), jak je zobrazeno na Obr. 4.

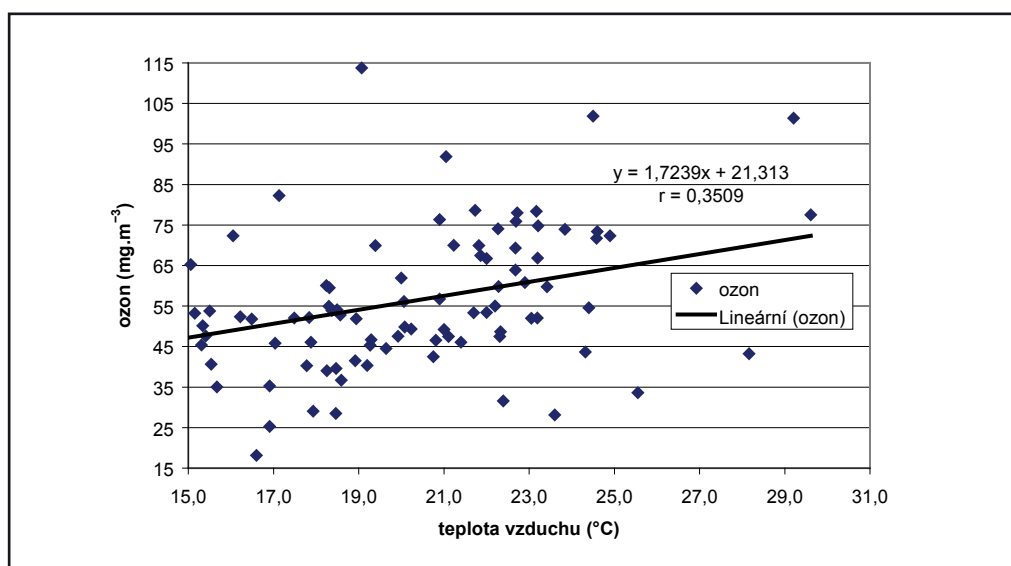
Podobný chod i korelace vykazuje chod ozonu a teploty vzduchu v letních měsících roku 2004, i když nedosahuje hodnot jako v roce 2003. Hodnota koeficientu korelace v roce 2004 dosáhla hodnoty 0,703 (Obr. 2), což je též hodnota statisticky vysoce významná. V roce 2005 nedosahovaly teploty (až na tři hodnoty) hodnot jako v roce 2003, resp. 2004, což se projevilo na hodnotě koeficientu korelace mezi chodem ozonu a teploty. V tomto roce je hodnota koeficientu korelace 0,3509 (Obr. 3), což je podstatně nižší hodnota než v letech 2003 a 2004. V roce 2001 byla hodnota koeficientu korelace 0,4905 a v roce 2002 byla 0,1706.



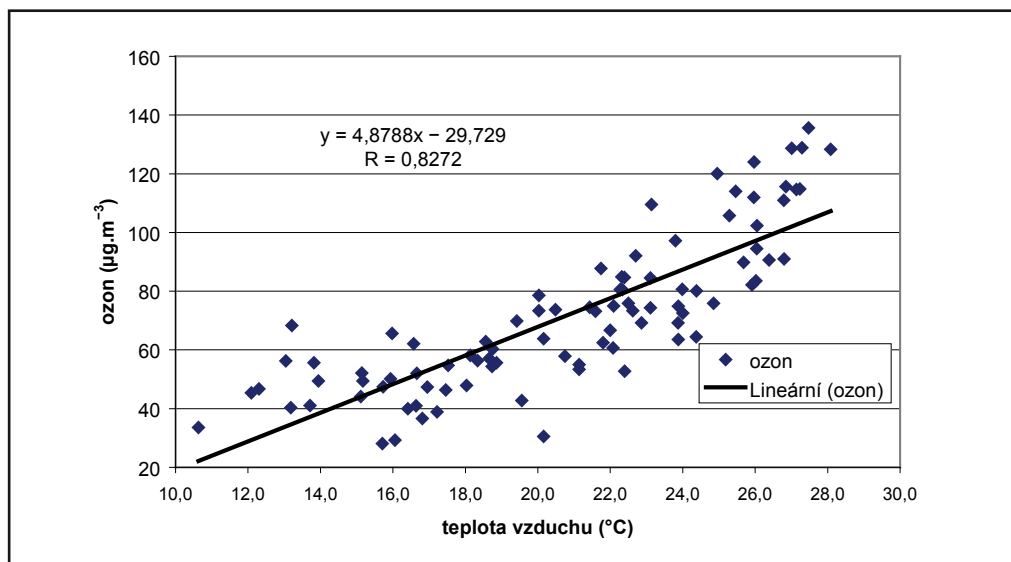
1: Závislost chodu ozonu na teplotě v roce 2003 v měsících červen až srpen BZA MZLU v Brně



2: Závislost chodu ozonu na teplotě v roce 2004 v měsících červen až srpen BZA MZLU v Brně



3: Závislost chodu ozonu na teplotě v roce 2005 v měsících červen až srpen BZA MZLU v Brně



4: Závislost chodu ozonu na teplotě v roce 2006 v měsících červen až srpen BZA MZLU v Brně

V roce 2003 a 2004 byly překročeny imisní limity pro ochranu vegetace a též byla překročena hodnota indexu expozice AOT40 pro ochranu zemědělských plodin, Tab. III a Tab. IV. V roce 2003 došlo také k nejvyššímu překročení imisních limitů pro ochranu vegetace za sledované roky, následované rokem 2004 a rokem 2005. V roce 2003 byly překročeny imisní limity v 61 dnech a v roce 2004 v 53 dnech.

ZÁVĚR

Kumulativní účinky expozice zemědělských plodin, lesních porostů i ostatních ekosystémů při koncentraci ozonu nad určitou prahovou úroveň charakterizuje tzv. index expozice AOT. Podle expertů EHK při OSN je v současné době navrhovaná prahová úroveň 40 ppb.

Rekordně teplé léto roku 2006 a 2003 vytvořilo příznivé podmínky pro fotochemickou produkci i pro transport ozonu ve střední Evropě. Tyto roky mohou eventuálně sloužit jako modelové ve spojitosti s očekávaným vývojem koncentrací přízemního ozonu (v důsledku globálního oteplování).

Obsah ozonu v přízemní vrstvě troposféry se měří v areálu Botanické zahrady a arboreta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně od roku 2001 pomocí analyzátoru 41M-LCD.

Od konce května do konce srpna chod ozonu prakticky koreluje s chodem teploty vzduchu. Hodnota koeficientu korelace dosáhla v roce 2006 hodnoty $r = 0,872$ a v roce 2003 $r = 0,777$, což můžeme hodnotit jako statisticky vysoce významné. Podobný průběh i korelaci vykazují chod ozonu a teploty vzduchu

v letních měsících roku 2004 i když nedosahuje takových hodnot jako v roce 2006. Hodnota koeficientu korelace v roce 2004 dosáhla hodnoty 0,703, což je též statisticky vysoce významné.

V roce 2006, 2003 a 2004 byly překročeny imisní limity pro ochranu vegetace a též byla překročena

hodnota indexu expozice AOT40 pro ochranu zemědělských plodin.

V roce 2006 došlo také k nejvyššímu překročení imisních limitů pro ochranu vegetace za sledované roky, následované rokem 2003, rokem 2004 a 2005. V roce 2003 byly překročeny imisní limity v 90 dnech, v roce 2003 v 61 dnech a v roce 2004 v 53 dnech.

SOUHRN

Překročení primárních a sekundárních imisních limitů ozonu v Botanické zahradě a arboretu Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně jasně dokumentuje vysokou úroveň koncentrace přízemního ozonu v rekordně teplém létě roku 2003. Rok 2003 může eventuelně sloužit jako modelový ve spojitosti s očekávaným vývojem koncentrací přízemního ozonu v důsledku globálního oteplování. V roce 2003 došlo také k nejvyššímu překročení imisních limitů pro ochranu vegetace za sledované roky, následované rokem 2004. V roce 2003 došlo k překročení imisních limitů v 61 dnech a v roce 2004 v 53 dnech. Úrovní kritického překročení AOT40 v roce 2003 ($11606 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se blíží rok 2004 ($10070 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V létě 2003 dosáhla hodnota koeficientu korelace ozonu na teplotě vzduchu statisticky významné hodnoty 0,777 a roce 2004 0,703. Z toho plyne vysoká závislost obsahu troposférického ozonu na teplotě vzduchu a tím i na sluneční radiaci.

troposférický ozon, index expozice AOT40, imisní limity, ochrana vegetace, meteorologické podmínky

Analyzátor O_3 41M-LCD umístěný v sestavě ostatních analyzátorů v kontejneru situovaného v areálu BZA byl získán z prostředků grantu F4 0214 FRVŠ v roce 2000.

LITERATURA

- Air quality criteria for ozone and the other photochemical oxidants. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, 1984, 4 Volume (Report No. EPA-600/8-84-010F)
- De LEEUW, F. A. A. M. et al.: Meetplan aerosolen: interpretatie episode metingen (Measurement plan for aerosol: interpreting episode measurement) Bilthoven, National Institute of Public Health and Environment Hygiene, 1986.
- Kolektiv autorů: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2003. ČHMÚ Praha 2004.
- MOLNÁROVÁ, H., MINDÁŠ, J.: Výsledky merania koncentracií ozonu v oblasti BR Polana'. In: Sborník konference Ovzduší 99. Masarykova univerzita Brno 1999. s. 73–76. ISBN 80-210-2018-0.
- LOW, P. S. et al.: Trends in surface ozone at Hohenpeissenberg and Artona. 1990 J. Geophys. Res., 95, 22441–22453.
- Nařízení vlády č. 350/2002 Sb.
- OLTMANS, S. J., LEVY, H.: Surface ozone measurements a global network. Atmospheric Environment 28, s. 9–24.
- UN ECE, 1988: Critical levels for ozone. Workshop report, Bern, Switzerland.
- UN ECE, 1993: Critical levels for ozone. Workshop report. Bern, Switzerland.
- Zákon č. 309/1991 Sb.
- Zákon č. 86/2002 Sb.
- ZÁVODSKÁ, E., ZÁVODSKÝ, D., KREMLER, M.: Exposure of surface ozone in Slovakia 1992–1996. In: Contributions of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Series of Meteorology, Vol. 18 Veda, Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, s. 19–30. ISBN 80-224-0538-8.
- ZÁVODSKÁ, E.: Predpokladané zmeny prízemného ozónu v strednej Európe. In: Sborník konference Klimatické zmeny a lesní hospodářství Brno 1993, s. 58–64.
- ZÁVODSKÁ, E., BILČÍK, D., ZÁVODSKÝ, D., BABUŠÍK, I.: Surface ozone at Stará Lesná. Contr. Geophys. Inst., SAS, Ser. Meteorolog., 14, 1994, s. 103–122.
- ZÁVODSKÝ, D., ZÁVODSKÁ, E.: Kvalita ovzdušia a zmeny klímy. Národní klimatický program ČSFR, sv. 7, Praha, ČHMÚ 1992, s. 4–50.

Adresa

Ing. Jan Svoboda, CSc., Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: svobodaj@mendelu.cz