

Výsledky letových měření koncentrací ozonu a dalších znečišťujících látek podél společné státní hranice ČR a SRN

Autoři:
Evžen Černý
RNDr Josef Keder, CSc

ČHMÚ
Praha, listopad 1995

Úvod

Koncentrace ozónu během letních epizod fotochemického smogu dosahují na velkých oblastech Evropy úrovně, která může mít za následek poškození lidského zdraví a přírodního prostředí. Ve vyspělých evropských státech se proto věnuje velká pozornost přípravě strategií redukce prekursorů ozónu - antropogenních oxidů dusíku a těkavých organických látek. Vedle přípravy a testování modelů pro vznik a transport fotochemických oxidantů zaujímají důležité místo experimentální metody mapování časoprostorové struktury koncentrací ozónu v zájmových oblastech. Při tom jsou v široké míře používána měření koncentrací ozónu a dalších znečišťujících látek pomocí letadel.

V České republice bylo možno navázat na dlouhodobou tradici letových měření "klasických" polutantů, zejména oxidu siřičitého. Cenné zkušenosti s letovými měřeními ozónu byly získány ve spolupráci s Bavorským zemským úřadem pro ochranu životního prostředí a v rámci podílu oddělení letových měření ČHMÚ na projektu VEKDOR (mapování fotochemického znečištění v podunajské oblasti). Tyto zkušenosti byly zhodnoceny při řešení 4. dílčího projektu, řešeného v rámci grantu číslo 49/6.2/1/95 "Koncepte ochrany ovzduší a zajištění mezinárodních závazků".

Cíl dílčího projektu a postup řešení

Cílem dílčího projektu bylo provedení letových měření koncentrací ozónu a dalších znečišťujících látek podél společné státní hranice ČR a SRN, zjištění jejich prostorového rozložení v zájmové oblasti a sledování časových změn tohoto rozložení. K zabezpečení stanoveného cíle byly v průběhu řešení realizovány následující činnosti:

- ♦ Byly vypracovány letové scénáře letových měření horizontálního a vertikálního rozložení koncentrací ozónu a dalších znečišťujících látek v oblasti podél společné státní hranice ČR a SRN. Scénáře zahrnovaly:
 - provedení měřících letů v průběhu srpna 1995 za jasného a suchého počasí, kdy je vysoká pravděpodobnost výskytu zvýšených koncentrací ozónu
 - měření koncentrací SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , teploty a vlhkosti vzduchu na letové trase Děčín - Sokolov ve výšce 200 - 300 m nad zemským povrchem
 - měření koncentrací SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , teploty a vlhkosti vzduchu na okruzích v okolí Litvínova a Sokolova, kde jsou soustředěny závody chemického průmyslu
 - měření vertikálních profilů SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , teploty a vlhkosti vzduchu do nadmořské výšky 2 200 m v oblasti Děčínského Sněžníku a Habartova (okres Sokolov).
- ♦ Pro potřeby měření vertikálních profilů ozónu bylo v kalibrační laboratoři ČHMÚ provedeno seřízení a recalibrace analyzátoru O_3 s ohledem na výrazný pokles tlaku vzduchu při vertikálních výstupech.
- ♦ Byly realizovány měřící lety ve dnech 11., 17., 18. a 19. srpna v ranních a odpoledních hodinách, v celkové délce 20 letových hodin.

Rozsáhlé datové soubory, získané během řešení projektu, jsou uloženy v ČHMÚ pro další analýzu. Pro potřeby prezentace v této zprávě byla data zpracována ve formě grafů. Pro každý letový den a každý termín (ranní, odpolední) byla zpracována jedna sada grafů obsahující:

- Vertikální profily teploty a vlhkosti vzduchu v okolí Děčínského Sněžníku a Habartova.
- Vertikální profily koncentrací měřených znečišťujících látek v těchto lokalitách.
- Průběh koncentrací znečišťujících látek v horizontální hladině při obletech Litvínova a Sokolova.

- Průběh koncentrací znečišťujících látek v horizontální hladině na letové trase rovnoběžně se státní hranicí mezi Děčínem a Sokolovem.

S cílem znázornit časové změny vertikální struktury měřených veličin byla rovněž provedena objektivní analýza naměřených údajů z časově na sebe navazujících vertikálních profilů ze dnů 17., 18. a 19.8.1995. Změny vertikální struktury teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu a koncentrací polutantů jsou zachyceny formou izolinií na barevných grafech. Stručný popis prezentovaných grafů s upozorněním na některé typické rysy je uveden dále.

Popis grafických výstupů pro jednotlivé dny

Letový den 11.8.1995

Měřicí let se v důsledku závady na počítači měřicího systému mohl realizovat až v odpoledních hodinách. Oproti jiným dnům je do sady grafických výstupů včleněn záznam koncentrací z přiblížení do oblasti měření (úsek letové trasy Kostelec nad Labem - Děčín). Úroveň koncentrací SO_2 a oxidů dusíku byla nízká, koncentrace ozónu se pohybovaly v pásmu mezi 120 a 180 $\mu\text{g m}^{-3}$. Zajímavým rysem je oblast zvýšených koncentrací ve vlečce elektrárny Mělník. Koncentrace ozónu naopak v této části horizontálního profilu vykazuje ostrý pokles v důsledku jeho destrukce při reakci s oxidem dusnatým.

Na vertikálních profilech v okolí Děčínského sněžníku a Habartova je zřejmá přítomnost zvednuté teplotní inverze ve výšce přibližně 1800 m nad mořem. Inverze je markantně vyjádřena zejména ostrým poklesem relativní vlhkosti. Nad hranicí inverzní vrstvy nastává výrazný pokles koncentrací, zvláště markantně vyjádřený u ozónu.

Na záznamu koncentrací z obletu Litvínova je vidět zvýšení koncentrací všech měřených látek na trase mezi Horním Jiřetínem a Jirkovem, s výjimkou NO . Destrukce ozónu neprobíhá, jeho koncentrace je naopak rovněž zvýšená, zřejmě v důsledku vyšších koncentrací NO_2 .

V okolí Habartova bylo zaznamenáno zvýšení koncentrací oxidu siřičitého a oxidů dusíku, jehož příčinou jsou exhalace elektráren Tisová a Vřesová. Průměrná hodnota koncentrace ozónu na této trase byla cca 130 $\mu\text{g m}^{-3}$ a nevykazovala výrazné singularity.

Na záznamu z horizontálního letu na trase Děčín - Sokolov je dobře vyjádřená postupná kumulace exhalací z elektráren Tušimice (mezi Litvínovem a Prunéřovem) a elektrárny Prunéřov. Koncentrace ozónu se mírně zvyšují mezi Litvínovem a Prunéřovem, kde je zvýšená úroveň NO_2 , zatímco koncentrace NO stagnují.

Letový den 17.8.1995

Na ranním vertikálním profilu u Děčínského Sněžníku je stabilní vrstva do výšky 100 m nad mořem. Pod její horní hranicí došlo k akumulaci oxidu siřičitého. Koncentrace ozónu roste s výškou a k horní hranici stabilní vrstvy, nad ní je konstantní. Na odpoledním profilu je stabilní vrstva v úrovni 1500 m n.m., kde došlo k mírné kumulaci SO_2 . Koncentrace ozónu nevykazovala žádný výrazný trend změny s výškou.

Na ranním vertikálním profilu v Habartově je markantně vyjádřena přízemní stabilní vrstva, zejména v průběhu koncentrací SO_2 a ozónu. Ranní profil ozónu má stejný tvar jako u Sněžníku - postupný nárůst ve stabilní vrstvě při zemi a konstantní průběh nad ní. Rovněž průběh odpoledních profilů vykazuje shodné rysy jako odpolední profil u Sněžníku.

Na ranním obletu Litvínova je markantně vyjádřen vliv vleček zdrojů, šířících se ve stabilní vrstvě. Koncentrace ozónu osciluje přibližně kolem úrovně $80 \mu\text{gm}^{-3}$. Lokální poklesy korelují se zvýšenými koncentracemi NO. Zcela diametrální změnu v úrovni koncentrací ukazuje záznam odpoledního obletu Litvínova. Koncentrace ozónu se zvýšila a byla v podstatě konstantní, koncentrace ostatních polutantů výrazně poklesly.

Na záznamu ranního obletu Sokolova dominuje vliv elektráren na Sokolovsku. Koncentrace ozónu vykazovaly pokles v oblasti zvýšených koncentrací NO. Při odpoledním obletu Sokolova v podmínkách promíchané mezní vrstvy poklesla úroveň maxima SO_2 v oblasti Staré Role, koncentrace ozónu byly konstantní, s mírným poklesem korelovaným s nárůstem NO.

Při ranním letu na trase Děčín - Sokolov se opět výrazně projevil vliv elektráren Tušimice a Prunéřov. Ostré maximum oxidů dusíku v okolí Litvínova koreluje s lokálním poklesem ozónu, v další části trasy se jeho úroveň vrátila na původní hodnotu. Systematický pokles byl zaznamenán za elektrárnou Prunéřov, kde měl nárůst NO trvalý charakter. Na záznamu odpoledního letu se koncentrace ozónu ustálily na úrovni cca $150 \mu\text{gm}^{-3}$ po přeletu oblasti soustředění čtyř elektráren v Tušimicích a Prunéřově.

Letový den 18.8.1995

Na ranním profilu teploty u Sněžníku je markantně vyjádřena přízemní inverze do 600 m n.m., v níž dochází k rychlému nárůstu koncentrace ozónu směrem k její horní hranici. Od této hladiny je nárůst výrazně pomalejší. Odpolední profil ukazuje dobře promíchanou mezní vrstvu s konstantní úrovní koncentrace ozónu, přičemž v celém profilu došlo k jejímu nárůstu oproti ranním hodinám.

Struktura ranního profilu v Habartově, snímaného o dvě hodiny později, je složitější. Ranní přízemní inverze již není vyjádřena, z vertikálního chodu vlhkosti a koncentrací lze vysledovat dvě zádržné vrstvy s horní hranicí ve výšce zhruba 1300 a 1700 m n.m. Pod prvou z nich je kumulován zejména oxid siřičitý, profil ozónu vykazuje všeobecný pokles až do nadmořské výšky 1600 m. Na vertikálním profilu z poledních hodin zůstává vyjádřena horní hranice zádržné vrstvy zhruba v 1800 m n.m., koncentrace ozónu mírně vzrůstá od země až do hladiny 2000 m n.m.

Ranní a odpolední oblet Litvínova vykazují podobné charakteristické rysy jako předešlý den 17.8.1995, stejně tak jako oblety Sokolova a záznamy z trasy mezi Děčínem a Sokolovem.

Letový den 19.8.1995

Na ranním profilu u Sněžníku je opět dobře vyjádřená přízemní zádržná vrstva s horní hranicí v 1000 m n.m. Pod její horní hranicí byla akumulována vrstva SO_2 a je pozorovatelné i zvýšení koncentrace oxidu dusičitého. Koncentrace ozónu od země narůstá a dosahuje maxima v úrovni 800 m n.m., ve vrstvě se zvýšenou koncentrací SO_2 a NO_2 nastává její pokles a nad zádržnou vrstvou je její hodnota konstantní. Odpolední profil v dobře promíchané mezní vrstvě ukazuje nízké hodnoty oxidů síry a dusíku, koncentrace ozónu nepatrně osciluje kolem hodnoty cca 78 ppb.

Ranní profil v Habartově ukazuje přízemní stabilní vrstvu s horní hranicí okolo 1000 m n.m., v níž dochází k rychlému monotónnímu poklesu oxidu siřičitého, zatímco koncentrace ozónu rychle roste, téměř o 30 ppb. Nad hranicí vrstvy mírně klesá. Odpolední profil teploty ukazuje opět na promíchanou mezní vrstvu. Rozdíl mezi koncentrací ozónu v dolní části

profilu a ve vyšších hladinách se snížil, přestavba profilu na konstantní průběh s výškou však dosud není ukončena.

Záznamy z obletů Litvínova a Sokolova a letů na trase Děčín - Sokolov vykazují opět shodné rysy jako v předešlých dnech. V ranních hodinách při stabilní mezní vrstvě je markantněji vyjádřen vliv jednotlivých zdrojů ve sledované oblasti. V odpoledních hodinách jsou průběhy koncentrací monotónnější, úroveň ozónu narůstá a koncentrace oxidů siřičitého a dusíku klesají.

Časový vývoj vertikálních profilů měřených veličin

Barevné grafy, zkonstruované na základě objektivní analýzy dat časově navazujících vertikálních profilů měřených veličin (vlhkosti, teploty a koncentrací znečišťujících látek), poskytují názornou představu o časových změnách rozložení těchto veličin s výškou během tří denního období 17. až 19.8.1995. Dobře je vyjádřena zejména tvorba zóny akumulace ozónu v nočních hodinách nad přízemní stabilní vrstvou, v níž dochází k destrukci ozónu, a její opětovné promíchávání v denních hodinách. Pro srovnání je připojen graf časových změn výšky směšovací vrstvy podle údajů sodaru v Tušimicích pro zmíněné období. Tento průběh je velmi dobře korelován s časovými změnami profilů teploty vzduchu a koncentrace ozónu.

Závěr

V průběhu řešení projektu byl získán rozsáhlý komplex experimentálních dat, jejichž analýza ukázala řadu zajímavých a v domácích podmínkách dosud neuváděných poznatků o horizontálním i vertikálním rozložení koncentrací ozónu a časovém režimu jeho změn ve vazbě na meteorologické prvky a další znečišťující látky. Z dosud získaných údajů vyplývá, že ve sledované oblasti byla úroveň koncentrací ozónu ovlivňována hlavně koncentracemi oxidů dusíku. Při obletech lokalit s koncentrací chemického průmyslu - potenciálních zdrojů emisí těkavých organických látek (VOC) - nebyly zjištěny žádné singularity v chodu koncentrací ozónu, které by se nedaly vysvětlit vazbou na úroveň koncentrací dusíku. V této fázi se však jedná o první odhad a pro exaktní potvrzení takové domněnky by bylo vhodné v průběhu budoucích měřicích akcí, zaměřených na znečištění ovzduší fotoxidanty, doplnit soubor sledovaných veličin též o VOC. Soubor cenných experimentálních dat, který byl v průběhu letových měření získán pro konstrukci a testování modelů vzniku a šíření fotoxidantů, by se tak dále zkvalitnil.