

KONCENTRACE TUHÝCH ČÁSTIC V OVZDUŠÍ V BEZSRÁŽKOVÝCH EPIZODÁCH

The concentration of airborne in episode without precipitation

Gražyna Knozová, Robert Skeřil

Český hydrometeorologický ústav, Brno

Abstrakt:

Cílem předkládané práce je analýza koncentrací PM_{10} v suchých obdobích, charakteristika epizod zvýšené koncentrace PM_{10} způsobené re-emisí, a dalších meteorologických podmínek. Ve studii byly použity materiály ze stanice Brno-Tuřany z období 1996 – 2009. Byly to denní průměrné koncentrace PM_{10} a také denní hodnoty meteorologických prvků jako jsou srážky, teplota vzduchu, rychlost větru a relativní vlhkost vzduchu. Pro vymezení epizod sucha bylo využito jednoduché metody bezsrážkových období. Bezsrážkové období bylo určeno jako minimálně pět po sobě jdoucích dnů, kdy nebyla naměřena žádná srážka.

Ve výsledku analýzy bylo zjištěno, že existuje návaznost velikosti koncentrace PM_{10} na počet dnů v bezsrážkových epizodách. Reemise částic v bezsrážkových epizodách přispívá ke zvýšení koncentrace PM_{10} nejvíce v únoru, březnu, srpnu a září. V průběhu bezsrážkových epizod koncentrace PM_{10} zpravidla roste, ale při zvětšování rychlosti větru se pole koncentrace suspendovaných částic značně diferencuje a v následku koncentrace PM_{10} nejčastěji klesá.

Klíčová slova: bezsrážkové epizody, re-emise, PM_{10}

Abstract:

The aim of this paper was an analysis of PM_{10} concentration in dry periods and a characteristic of the episodes of high PM_{10} concentration, which were the result of reemission. It was provide on the base of characteristic of the meteorological conditions. The data from Brno-Tuřany station, from period 1996 – 2009, were used in the study. There were daily averages of PM_{10} concentration and daily values of such meteorological elements as precipitation, air temperature, air relative humidity and wind speed. The dry episodes were defined as periods when were no precipitation in minimum five following days.

In the results the relation between the concentration of PM_{10} and number of days in period without precipitation was find out. The reemission contributed to increase of PM_{10} concentration in February, March, August and September in the most. The concentration of PM_{10} generally increased in dry periods, but in the cases when wind speed raised there followed differentiation of the field of particulate matter concentration and often the PM_{10} concentration decreased.

Key words: periods without precipitation, reemission, PM_{10}

Úvod

V měřítku mikro- i mezoklimatu probíhají rozmanité procesy, které navazují na krajinnou strukturu. Jedním z takových procesů, označovaným termínem re-emise, je přechod tuhých částic z aktivního povrchu do ovzduší. Tento děj je všeobecný, probíhá všude, ale jeho intenzita závisí úzce na druhu aktivního povrchu. V oblastech, kde aktivní povrch není pokryt vegetací, může být re-emise velmi výrazná a může vést k zřetelnému zvětšování koncentrace suspendovaných částic, a ve zvláštních meteorologických podmínkách i k překračování limitních hodnot znečištění. Mezi oblasti nejvíce ohrožené re-emisí patří skládky sypkých materiálů, oblasti povrchové těžby, místa, kde probíhají zemní a stavební práce, urbanizované oblasti a zóny s intenzivním pozemním provozem, a také zemědělské oblasti.

Re-emise vzniká mechanickým způsobem a hlavní její příčinou je prudký pohyb vzduchu. Roney a White (2006) udávají, že suspence (zavěšování v ovzduší) částic probíhá dvěma způsoby: ve výsledku abrazí a bezprostředně přes působení větru mechanickou silou větru anebo silou turbulence. Pro iniciaci re-emisi jsou charakteristické síly zdvíhající a unášející částice. Experiment v aerodynamickém tunelu dokazuje, že 80% částic je zvednutých z povrchu do ovzduší během počátečních 2,5 minut (Braaten et al., 1993). Suspendované částice jsou poté transportované a postupně deponované na povrchu. Významným faktorem pro dynamiku procesu re-emise je velikost a morfologie samotných částic a mikro-měřítkové vlastnosti rozhraní částic a aktivního povrchu, jako jsou chemismus a objem vody (Loosmore, 2003).

Re-emise je jedním ze zdrojů znečištění ovzduší. Její podíl na celkové koncentraci suspendovaných částic nebyl doposud vyhodnocen, ale mnohé studie uvádějí, že odehrává nezanedbatelnou roli. Například Jaecker-Voirol a Pelt (2000) udávají, že doprava způsobuje několikanásobně větší znečištění ovzduší v procesu re-emise než prostřednictvím výfukových plynů. Velký význam přikládají re-emisi Hosiokangas et al. (2004) a Salonen et al. (2004), kteří dokazují, že ve zvláštních meteorologických podmínkách re-emise, doprovázející úklid silnic, vede v jarních měsících k výskytu epizod zvýšené koncentrace suspendovaných částic a k překračování dovolených zákonných limitů. Mezi nejpříznivější podmínky pro re-emisi započítávají zmínění autoři sucho.

Předkládaná studie je zaměřena na analýzu koncentrace suspendovaných částic v suchých obdobích, které lze definovat jako období bez atmosférických srážek. Cílem práce je podrobná charakteristika epizod zvýšené koncentrace PM_{10} způsobených re-emisí, a doprovázejících meteorologických podmínek.

Materiál a metody

V práci byla vyhodnocena data z profesionální klimatologické stanice a ze stanice Automatizovaného Imisního Monitoringu (AIM) v Brně-Tuřanech, z let 1996 – 2009. Jedná se o denní průměrné koncentrace PM_{10} a denní hodnoty několika meteorologických prvků, jako jsou srážky, teplota vzduchu, rychlost větru, relativní vlhkost vzduchu a sluneční svit. Stanice je lokalizována na letišti položeném na jihovýchodním okraji města. Dle klasifikace stanic monitoringu znečištění ovzduší EoI je tato stanice charakterizovaná jako pozad'ová, typ zóny předměstská, charakteristika zóny obytná. Reprezentativnost lokality je v rámci oblastního měřítka - městské nebo venkovní (4 - 50 km).

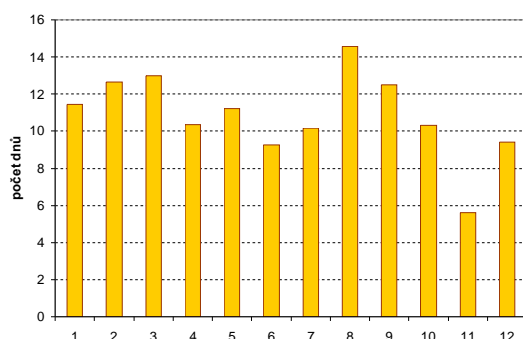
Pro vymezení epizod sucha byla použita jednoduchá metoda bezsrážkových období. Bezsrážkové období bylo určeno jako minimálně pět po sobě jdoucích dnů, kdy nebyla naměřena žádná srážka. Ve zpracování nebyl rozlišován druh ani intenzita srážek. Základním údajem byl tedy denní úhrn srážek.

V práci byla provedena základní statistická charakteristika výskytu bezsrážkových epizod. Dále pro každou epizodu byla charakterizována koncentrace PM_{10} a vypočítané průměrné hodnoty jednotlivých meteorologických prvků.

Výsledky a diskuse

V průběhu čtrnáctiletého období se v Brně-Tuřanech vyskytlo 202 bezsrážkových epizod. Největší počet dnů započítaných k bezsrážkovým epizodám byl zaznamenán v roce 2007 a to 146 dnů. Naopak nejméně takových dnů bylo v roce 2004 a to 84 dnů. Nejkratší doba trvání bezsrážkové epizody byla dána definicí, což je 5 dnů. Nejdelší epizoda trvala 23 dnů, zatímco průměrná délka bezsrážkové epizody byla vypočítána na 8 dnů.

Bezsrážkové epizody se nejčastěji vyskytují v předjaří: v únoru a březnu a na konci léta s maximem v srpnu, které dosahuje v průměru ze všech let 15 dnů (Obr. 1). Průměrná teplota vzduchu v analyzovaných dnech je rovna $10,8^{\circ}\text{C}$, průměrná relativní vlhkost vzduchu dosahuje 68%, průměrný denní úhrn slunečního svitu je 7,4 hodiny a průměrná rychlost větru $3,4\text{ m/s}$.

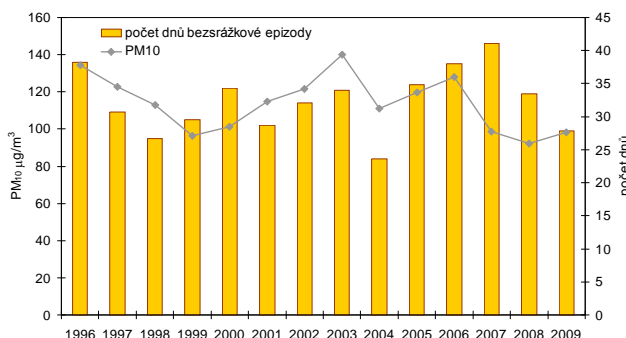


Obr. 1: Průměrný počet dnů bezsrážkových epizod (1996-2009) v jednotlivých měsících

Vztah atmosférických srážek a koncentrace suspendovaných částic v ovzduší je možno sledovat ve třech aspektech. Za prvé, suspendované částice jsou kondenzačními jádry pro srážky a přítomnost částic v ovzduší přispívá k výskytu srážek. Za druhé, výskyt srážek působí mokrou depozici a proto při srážkách koncentrace PM_{10} klesá. Za třetí, nepřítomnost srážek přispívá re-emisi a kvůli tomu v suchých obdobích koncentrace PM_{10} roste. Dva poslední aspekty zůstávají spolu v souladu a mají značně větší význam nežli první aspekt. Vliv výskytu srážek na snižování koncentrace PM_{10} byl potvrzen v mnohých pracích (kupříkladu Blažek et al., 2008). Předkládaná studie toto zjištění rovněž dosvědčuje. Průměrná roční koncentrace PM_{10} v zásadě navazuje na počet dnů, započítaných k bezsrážkovým epizodám (Obr. 2), i když v některých letech tento vztah není těsný, což je způsobeno skutečností, že dominantním činitelem ovlivňujícím úroveň znečištění je teplota vzduchu a rychlost větru, zatímco přítomnost nebo nepřítomnost srážek hraje vedlejší roli.

Role atmosférických srážek ve vývoji koncentrace suspendovaných částic pojatá globálně je sice menší než vliv jiných meteorologických podmínek, ale v některých obdobích je klíčová a to právě ve většině bezsrážkových epizod. Analýza koncentrace PM_{10} v bezsrážkových epizodách v Brně-Tuřanech ukázala, že v průběhu jednotlivých epizod znečištění se nejčastěji zvětšuje. Růst koncentrace PM_{10} byl zjištěn v 78 % bezsrážkových epizodách. Průměrná změna koncentrace PM_{10} v průběhu epizody činí $+10,8\text{ }\mu\text{g/m}^3$. V extrémních případech změna koncentrace PM_{10} dosáhla $+132,6\text{ }\mu\text{g/m}^3$ v případě růstu koncentrace částic v ovzduší a $-114,2\text{ }\mu\text{g/m}^3$ v případě jejího poklesu. Statistická charakteristika několika příkladových epizod z největšími změnami koncentrace PM_{10} se

nachází v tab. 1. Zmíněné epizody se vyskytly většinou v zimním období, v měsících od prosince po březen, a pouze jedna epizoda v září. Meteorologické podmínky odpovídaly ročnímu období. Pro sledované epizody byla typická velká průměrná koncentrace PM₁₀, na jednu výjimku překračující limitní hodnotu 50 µg/m³. Je možno konstatovat, že dominantní význam z meteorologických činitelů ovlivňujících úroveň koncentrace PM₁₀, měly v těchto případech termické podmínky (teplota vzduchu a teplotní stratifikace přízemní vrstvy vzduchu: obzvláště výskyt inverzi teploty), zatímco příspěvek re-emise byl druhotný.



Obr. 2: Průměrná roční koncentrace PM₁₀ [µg/m³] a souhrn dnů bezsrážkových epizod

Tab. 1: Charakteristika bezsrážkových epizod s největší změnou koncentrace PM₁₀ v Brně-Tuřanech v období 1996-2009. Znaménko „-“ označuje pokles koncentraci PM₁₀ v průběhu epizody a „+“ růst koncentrace PM₁₀ v průběhu epizody.

Změna koncentrace PM ₁₀ v průběhu epizody [µg/m ³]	-114,2	-91,5	-52,4	...	+53,1	+55,0	+58,8	+72,2	+124,4	+132,6
Měsíc výskytu	3	1	3	x	9	3	2	1/2	2/3	12
Délka epizody [dny]	5	5	8	x	9	5	10	11	14	8
Průměrná koncentrace PM ₁₀ [µg/m ³]	102,7	80,3	40,1	x	51,3	51,2	53,7	52,5	72,6	77,1
Průměrná rychlost větru [m/s]	3,0	1,9	3,5	x	3,0	2,7	4,4	3,7	3,3	5,1
Průměrná teplota vzduchu [°C]	-0,1	-6,5	10,4	x	18,3	3,8	-3,8	-2,1	-0,9	-7,1
Průměrná relativní vlhkost vzduchu [%]	83	96	72	x	59	68	73	80	73	83
Průměrný denní úhrn slunečního svitu [h]	3,6	0,0	5,7	x	10,2	8,1	4,6	3,5	6,4	2,9

Logicky lze očekávat, že podíl re-emise na celkové koncentraci PM₁₀ bude významnější v déle trvajících bezsrážkových epizodách. Z tohoto důvodu byla provedena analýza několika nejdelších epizod, kupříkladu s dobou trvání nad 15 dnů. V tab. 2 se nachází jejich charakteristika. Ve většině těchto případů byl zaznamenán růst koncentrace PM₁₀ během epizody, největší dosáhl +41,4 µg/m³. Ve čtyřech případech byl zaznamenán pokles koncentrace suspendovaných částic ale ve dvou z nich bylo zmenšení velmi malé (menší než 2 µg/m³). Epizody, ve kterých došlo k růstu koncentrace PM₁₀ charakterizovalo větší průměrné znečištění suspendovanými částicemi nežli v epizodách s poklesem PM₁₀,

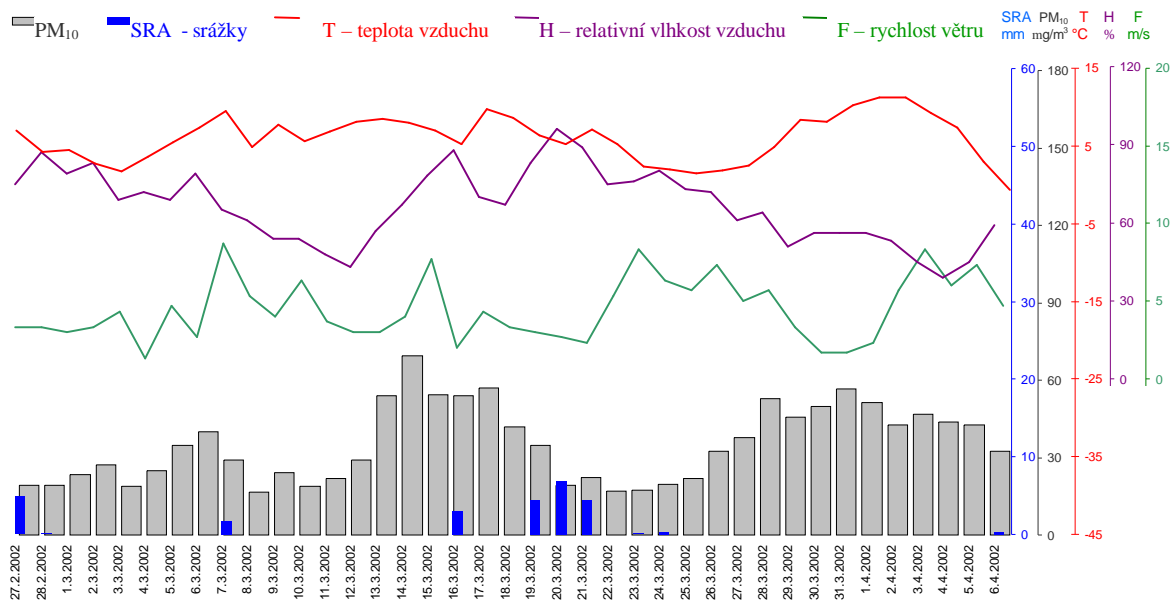
překračující ve dvou případech denní limitní hodnotu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nejdelší bezsrážkové epizody se vyskytovaly ve všech ročních obdobích, nejčastěji však v březnu a dubnu a doprovázely je různé meteorologické podmínky. Typ počasí ve sledovaných obdobích měl ale některé společné atributy; většinou to byly jasné nebo polojasné dny, se slabým nebo mírným větrem.

Tab. 2: Charakteristika nejdelších bezsrážkových epizod v Brně-Tuřanech v období 1996-2009

Délka epizody [dny]	16	16	16	16	17	18	18	20	22	23
Měsíc výskytu	10	9	2	4/5	3/4	3/4	8/9	2/3	12/1	3/4
Změna koncentrace PM_{10} v průběhu epizody [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	16,3	-0,9	4,0	-11,4	16,0	16,6	-1,7	41,4	31,0	-18,1
Průměrná koncentrace PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	43,6	23,0	48,2	27,4	41,4	51,5	36,9	64,9	48,8	35,1
Průměrná rychlost větru [m/s]	3,2	2,7	2,6	3,5	4,4	3,8	2,9	4,0	3,8	3,8
Průměrná teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]	10,5	12,3	1,6	11,9	14,1	6,4	18,3	-2,8	-3,5	10,1
Průměrná relativní vlhkost vzduchu [%]	68	69	78	45	57	58	67	73	86	50
Průměrný denní úhrn slunečního svitu [h]	7,9	8,8	4,6	11,2	10,0	8,2	8,1	5,0	0,5	8,8

Jak už bylo řečeno, pro zavěšování částic v ovzduší má zásadní význam síla větru, která, zdvíhaje částice s povrchu, je činitelem působícím růst koncentrace suspendovaných částic. Proto během bezsrážkových období, kdy je povrch suchý a síla adheze mezi částicemi usazenými na povrchu je malá, proces re-emise může probíhat i při nevelké rychlosti větru. Takováto situace se kupříkladu vyskytla v Brně-Tuřanech ve dnech 11. až 14. března 2002 roku (obr. 3), kdy při teplotě 6,8 až 8,5 $^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkosti vzduchu 43 až 67 %, denním úhrnu slunečního svitu 9 až 10 hodin a rychlosti větru 3 až 4 m/s koncentrace PM_{10} stoupala od 22 až po 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, což je možno považovat za typickou epizodu způsobenou právě procesem re-emise, a zakončenou překročením denního limitu koncentrace suspendovaných částic. Při stoupání rychlosti větru, koncentrace PM_{10} už však většinou klesá. Silnější vítr působí nejenom zvedání tuhých částic z povrchu ale hlavně jejich transport. Pole koncentrace suspendovaných částic se značně diferencuje a v následku se nejčastěji koncentrace PM_{10} snižuje, jak tomu bylo na příklad v období 31. března po 5. dubna 2002 (obr. 3), kdy při teplotě 11 až 3 $^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkosti vzduchu 56 až 39 %, denním úhrnu slunečního svitu 7 až 11 hodin rychlost větru se zesilovala od 1,7 po 8,3 m/s a koncentrace PM_{10} klesla z 57 na 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuhé částice emitované z aktivního povrchu v Brně-Tuřanech byly v tom případě odnesené do jiných oblastí; je možné, že způsobily narůst koncentraci na mnohých lokalitách v oblasti města Brna. Mnohé studie totiž dokazují, že vysoká koncentrace PM_{10} ve městě má původ právě v transportu znečištění ze sousedního venkovského prostředí (Grima et al. 2002; Braniš, Domasová 2003). Kromě re-emise má velký význam také sekundární prášnost. Lenschow et al. (2001) zjistili, že v Berlíně je kolem 50% městského pozadí znečištění PM_{10} výsledkem dálkového transportu hlavně sekundárních částic (dusičnan amonný a síran amonný) a přírodních zdrojů. K podobnému závěru přišli také Charron, Harrison i Quincey

(2007), kteří zjistili, že v UK sekundární prašnost má největší podíl na celkovém množství PM₁₀ a epizody překračování denní limitní hodnoty jsou svázány s vysokým regionálním pozadím znečištění. Dálkový přenos znečištění nad městské oblasti potvrzují taktéž Vardoulakis a Kassomenos (2008).



Obr.3: Koncentrace PM₁₀ a meteorologické podmínky v období 27.02-6.04.2002

Provedený rozbor vztahu koncentrace PM₁₀ a meteorologických podmínek na příkladu z období 27.02-6.04.2002 ukazuje velkou složitost sledovaných procesů. Analýza koncentrace suspendovaných částic v bezsrážkových epizodách ale svědčí o tom, že delší nepřítomnost atmosférických srážek skutečně přispívá k dostávání se do ovzduší většího množství částic. Dokazuje to také srovnání průměrné koncentrace PM₁₀ v dnech započítaných k bezsrážkovým epizodám s průměrnou koncentrací PM₁₀ stanovenou ze všech dní. Rozdíl zmíněných hodnot v období 1996-2009 v Brně-Tuřanech činil 6,1 μg/m³.

Závěr

Předmětem předkládané práce byla analýza koncentrace PM₁₀ v suchých obdobích, zvláště epizod zvýšené koncentrace suspendovaných částic způsobené re-emisí, a charakteristiky dalších meteorologických podmínek. Ve studii byly použity materiály ze stanice Brno-Tuřany, která reprezentuje předměstí brněnské aglomerace. Pro vymezení epizod sucha bylo využito jednoduché metody bezsrážkových období.

Ve výsledku analýzy bylo zjištěno, že existuje návaznost velikosti koncentrace PM₁₀ na počet dnů v bezsrážkových epizodách. Re-emise částic v bezsrážkových epizodách přispívá zvýšení koncentraci PM₁₀, o čemž svědčí skutečnost, že průměrná koncentrace PM₁₀ v dnech započítaných k bezsrážkovým epizodám je větší nežli průměrná koncentrace PM₁₀ stanovená ze všech dní. Největší počet bezsrážkových epizod se vyskytuje v únoru, březnu, srpnu a září. V průběhu bezsrážkových epizod koncentrace PM₁₀ zpravidla roste ale při zvětřování rychlosti větru pole koncentrace suspendovaných částic se značně diferencuje a v následku toho koncentrace PM₁₀ nejčastěji klesá.

Re-emise zdá se být vedlejší problémem oproti vysokým koncentracím suspendovaných částic v zimních obdobích, kdy hlavní příčinou znečištění jsou intenzivní

spalovací procesy, svázané s vytápěním obytných prostor při nízké teplotě vzduchu. Nicméně, v souvislosti ze stále rostoucím silničním provozem, který je jedním z činitelů inicializujících re-emisi a zároveň zdrojem prekurzorů sekundárních částic, je otázka přírodních zdrojů znečištění velmi aktuální. Tento problém se týká v největší míře urbanizovaných oblastí, ale zdá se významný pro celý Jihomoravský kraj, kde nejvýznamnějším zdrojem prašnosti je právě doprava.

Navíc, re-emise nabírá většího významu v kontextu měnících se klimatických podmínek. Klimatické modely poukazují na oteplování a změnu srážkových podmínek. Patrný je zvláště proces intenzifikace sucha. V tomto kontextu lze očekávat, že problém re-emise tuhých částic bude v oblastech České republiky narůstat.

Dedikace

Studie byla vyhotovena s finančním příspěvkem grantu GAČR „Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst“ [GA205/09/1297](#).

Použitá literatura

- Blažek Z., Černíkovský L., Krejčí B., Volná V., (2008): Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi v oblasti ostravsko-karvinska. In: Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu. Praha: ČHMÚ, sv. 53.
- Braaten, D.A., Shaw, R.H., Paw, U.K.T. (1993): Boundary-layer flow structure associated with particle reentrainment. *Boundary- Layer Meteorology* 65, 255–272.
- Braniš M., Domasová M., (2003): PM10 and black smoke in a small settlement: case study from the Czech Republic. *Atmospheric Environment* 37: 83–92.
- Grima R., Micallef A., Colls J.J., (2002): External Contribution to Urban Air Pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 73, 291-314.
- Hosiokangas J., Vallius M., Ruuskanen J., Mirme A., Pekkanen J. (2004): Resuspended dust episodes as an urban airquality problem in subarctic regions. *Scand. J. Work Environ. Health* 30 suppl. 2, 28–35.
- Charron A., Harrison R., Quincey P. M., (2007): What are the sources and conditions responsible for exceedences of the 24 h PM10 limit value (50 mgm₃) at a heavily trafficked London site? *Atmospheric Environment* 41, 1960–1975.
- Jaecker-Voirol A., Pelt P., (2000): PM10 emission inventory in Ile de France for transport and industrial sources: PM10 re-suspension, a key factor for air quality, *Environmental Modelling & Software* 15, 575–581.
- Lenschow P., Abraham H.-J., Kutzner K., Lutz M., Preu J.-D., Reichenbacher W., (2001) Some ideas about the sources of PM10. *Atmospheric Environment* 35, Supplement No. 1 S23–S33.
- Loosmore G. A. (2003): Evaluation and development of models for resuspension of aerosols at short times after deposition, *Atmospheric Environment* 37, 639–647.
- Roney J. A., White B. R., (2006): Estimating fugitive dust emission rates using an environmental boundary layer wind tunnel. *Atmospheric Environment* 40, 7668–7685.

Salonen R.O., Hälinen A.I., Pennanen A.S., Hirvonen M-R, Sillanpää M., Hillamo R., Shi T., Borm P., Sandell E., Koskentalo T., Aarnio P. (2004): Chemical and in vitro toxicologic characterization of wintertime and springtime urban-airparticles with an aerodynamic diameter below 10 μm in Helsinki. *Scand. J. Work Environ. Health* 30 suppl. 2, 80–90.

Vardoulakis S., Kassomenos P., 2008, Sources and factors affecting PM₁₀ levels in two European cities: Implications for local air quality management, *Atmospheric Environment*, 42, Issue 17, 3949-3963.

Kontaktní adresa 1. autora:

Dr Gražyna Knozová, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 61 667 Brno, e-mail: grazyna.knozova@chmi.cz