

Sezónní variabilita hrubého aerosolu ($> 1\mu\text{m}$) v obci Březno u Chomutova

Mgr. Petra Pokorná, RNDr. Jan Hovorka, Ph.D., Mgr. Michal Grégr, Ing. Jiří Kroužek

Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Petra.M.Pokorna@email.cz

Přijato: 26. 7. 2011, recenzováno: 9. 8. a 15. 8. 2011

Abstrakt

V obci Březno u Chomutova byla vyhodnocována sezónní variabilita 24hodinové koncentrace hrubé frakce aerosolu o velikosti částic $1-10\mu\text{m}$ (PM_{1-10}) odebírané osobním kaskádovým impaktorem Sioutas po dobu tří letních kampaní (2008, 2009 a 2010) a dvou zimních kampaní (2009 a 2010). Zimní a letní kampaň se od sebe statisticky liší. Medián PM_{10} byl pro zimní období vyšší ($28,2\mu\text{g}/\text{m}^3$) než pro období letní ($18,3\mu\text{g}/\text{m}^3$). Naopak medián PM_{1-10} byl v zimě nižší ($1,8\mu\text{g}/\text{m}^3$) než v létě ($4,7\mu\text{g}/\text{m}^3$). V létě, při převládajícím Z až SZ větru, činil podíl PM_{1-10} v průměru 36 % PM_{10} a nezávisel na koncentraci PM_{10} . Naopak v zimě, při převládajícím V až JV větru, se podíl PM_{1-10} pohyboval v rozsahu 2-25 % PM_{10} , přičemž s rostoucí koncentrací PM_{10} klesal.

Seasonal variability of coarse aerosol ($> 1\mu\text{m}$) in Březno near Chomutov

Seasonal variability of the 24 hour concentration of coarse aerosol including particle sizes 1 to $10\mu\text{m}$ (PM_{1-10}) was assessed in Březno, a village near Chomutov. Aerosol particles were taken by use of a Personal Cascade Impactor Sioutas during three summer sampling campaigns (in the years 2008, 2009, and 2010) and two winter campaigns (2009 and 2010). Statistically, the summer and winter campaigns were different. PM_{10} median was higher in winter campaigns ($28.2\mu\text{g}/\text{m}^3$) compared to summer periods ($18.3\mu\text{g}/\text{m}^3$). In contrast, PM_{1-10} median was lower in winter ($1.8\mu\text{g}/\text{m}^3$) than in summer ($4.7\mu\text{g}/\text{m}^3$). In summer with prevailing W to NW wind, the ratio of PM_{1-10} formed 36 % of PM_{10} in average and was not dependant on PM_{10} levels. Compared to winter with prevailing E to SE wind, the ratio of PM_{1-10} reached 2 to 25 % of PM_{10} , while decreased with increasing PM_{10} levels.

Saisonvariabilität des Aerosols mit großen Kernen ($> 1\mu\text{m}$) in der Gemeinde Březno bei Chomutov

Die Saisonvariabilität der 24-Stunden-Konzentration mit der Partikelgröße $1-10\mu\text{m}$ (PM_{1-10}) wurde in der Gemeinde Březno bei Chomutov bewertet. Sie wurde mit dem persönlichen Kaskade-Impaktor Sioutas im Zeitraum von drei Sommerkampagnen (2008, 2009 und 2010) und zwei Winterkampagnen (2009 und 2010) abgenommen. Die Winter und die Sommerkampagnen unterscheiden sich statistisch voneinander. Der Median PM_{10} war in der Winterperiode höher ($28,2\mu\text{g}/\text{m}^3$) als in der Sommerperiode ($18,3\mu\text{g}/\text{m}^3$). Im Gegenteil war der Median PM_{1-10} im Winter niedriger ($1,8\mu\text{g}/\text{m}^3$) als im Sommer ($4,7\mu\text{g}/\text{m}^3$). Im Sommer, bei vorherrschendem westlichem bis nordwestlichen Wind, betrug der PM_{1-10} -Anteil am PM_{10} Durchschnitt 36 % von und war von der Konzentration PM_{10} nicht abhängig. Umgekehrt war es im Winter, wenn sich der PM_{1-10} -Anteil bei vorherrschendem östlichem bis südöstlichem Wind im Bereich von 2-25 % des PM_{10} bewegte, wobei er mit der steigenden PM_{10} -Konzentration sank.

Klíčová slova: PM_{10} , PM_{1-10} , osobní kaskádový impaktor Sioutas, poletavý prach, kvalita ovzduší venkova.

Keywords: PM_{10} , PM_{1-10} , Sioutas personal cascade impactor, airborne dust, rural ambient air quality.

1 Úvod

Atmosférický aerosol je soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic suspendovaných v atmosféře o velikosti pohybující se v rozmezí od 1 nm do $100\mu\text{m}$. Jejich velikostní distribuce je dána zdrojem a je, s ohledem na různorodý původ, proměnlivá [1,2].

Doba setrvání aerosolu v atmosféře se pohybuje v řádech vteřin až týdnů dle velikosti částic. U hrubého aerosolu (částice $> 1\mu\text{m}$) se doba setrvání v atmosféře počítá od hodiny po jeden až dva dny a je dána rovnováhou mezi sedimentací a turbulentním promícháváním v mezní vrstvě atmosféry (do výšky 2 km) [3]. Z tohoto důvodu se zdroje hrubé frakce aerosolu, ovlivňující kvalitu ovzduší lokality, nacházejí v místě či blízkém okolí [4,5,6,7]. Díky vědeckým poznatkům došlo za posledních čtyřicet let nejen v americké legislativě k vývoji standardů regulujících kvalitu vnějšího ovzduší od stanovování celkové koncentrace prašného aerosolu bez velikostního rozlišení částic TSP (*Total Suspended Particles*) k měření velikostních skupin aerosolu PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ (vzorek aerosolu představuje soubor částic, kde částice o aerodynamickém průměru 10 nebo $2,5\mu\text{m}$ jsou předřazeným odběrovým zařízením separovány s účinností právě 50 % [8]).

V současnosti americká Agentura pro ochranu prostředí (*U.S. Environmental Protection Agency, EPA*) zvažuje vyhlášení národního standardu kvality vnějšího ovzduší (*National Ambient Air Quality Standards, NAAQS*) pro vdechovatelné (*inhalable*) hrubé částice $\text{PM}_{10-2,5}$ (částice 10 - $2,5\mu\text{m}$ mikrometrů v průměru), jež by v důsledku vedlo ke změně definice standardu PM_{10} na $\text{PM}_{10-2,5}$ [9-11]. Tato plánovaná změna uznává význam měření hrubých částic a důležitost identifikace jejich zdrojů.

V obci Březno, která se nachází v blízkosti povrchového dolu Nástup, lze předpokládat, že hrubá frakce aerosolu je emitována při těžební činnosti (těžba hnědého uhlí), výrobě elektrické energie, dopravě, stavební a zemědělské aktivitě a resuspenzi.

Těžební činnost zahrnující odstraňování nadložní zeminy, dobývání a transport vytěženého materiálu má negativní dopady na životní prostředí. Závažnost a význam znečištění životního prostředí způsobené těžbou závisí na druhu těženého materiálu, používaných metodách těžby a mnoha jiných faktorech [12,13,14]. Hlavní těžební aktivity, zvláště povrchová těžba uhlí, přispívají přímo či nepřímo k problémům znečištění ovzduší [15].



Obr. 1: Mapa sledovaného území.

Významným zdrojem částic hrubé frakce je také výroba elektrické energie, neboť při skládkování energosádrovce a popílku na úložištích a při úletech elektrárenských popílků dochází k uvolňování aerosolových částic do okolního ovzduší [16,17].

Hrubé frakci aerosolu emitované dopravou, pocházející z otěru pneumatik, brzdových destiček a povrchu vozovky, je v současné době věnována zvýšená pozornost, neboť částice emitované otěrem přispívají v oblastech zatížených dopravou téměř stejnou měrou ke koncentracím PM_{10} jako částice produkované spalovacími motory [18].

Stavební aktivita představuje jeden z hlavních zdrojů hrubé frakce aerosolu městských aglomerací obtížně odlišitelný od resuspenze půdy vzhledem k velmi podobnému chemickému složení [19].

Zemědělská aktivita, především činnost spojená s obděláváním polí (orba, setba a sklizeň), produkuje aerosolové částice hrubé frakce o vysokých koncentracích v bezprostřední blízkosti a nižších koncentracích ve větších vzdálenostech od obdělávaného pole (> 1 km) s ohledem na směr a rychlost proudění větru. Ve většině případů se jedná o pohyblivý zdroj částic vzhledem k nepřetržitému pohybu zemědělské techniky při obdělávání polí [20].

Resuspenze je velmi důležitý zdroj hrubé frakce aerosolu označované jako prach [21].

Odhadovanými zdroji jemné frakce aerosolu na sledované lokalitě jsou tepelné elektrárny (vysokoteplotní spalovací procesy), lokální topeniště a doprava.

Česká republika, jako člen Evropské unie, je zavázána dodržováním imisních limitů pro PM_{10} a $PM_{2,5}$ vyplývajících ze směrnice 1999/30/EC [22].

V předkládané práci jsme hledali odpovědi na tyto otázky:

1. Jak se liší 24hodinové koncentrace PM_{10} a PM_{1-10} měřené

v letních kampaních od zimních, případně zda dochází ke statisticky významné meziroční změně?

2. Jaký je podíl PM_{1-10} na 24hodinové koncentraci PM_{10} pro jednotlivé sezony?

2 Experiment

2.1 Odběrová lokalita

Měření byla prováděna v centru obce Břežno u Chomutova (50°24' SŠ, 13°25' VD, obr. č. 1) nedaleko povrchového dolu Nástup (ve vzdálenosti 3 km od hranice obce) během tří letních kampaní v letech 2008 (11.-27.07.), 2009 (05.-19.08.) a 2010 (12.-24.08.) a dvou zimních v letech 2009 (21.01.-09.02.) a 2010 (13.-27.01.).

2.2 Sběr dat

Po dobu kampaní byl prováděn 24hodinový odběr pěti velikostních frakcí: $< 0,25$; $0,25-0,5$; $0,5-1,0$; $1,0-2,5$ a $2,5-10$ μm osobním kaskádovým impaktorem „Sioutas“ (*Personal Cascade Impactor Sampler, PCIS; SKC Inc.*) [23]. Součet všech velikostních frakcí odpovídá PM_{10} a PM_{1-10} je brán jako součet velikostních frakcí $1,0 - 2,5$ a $2,5 - 10$ μm .

Současně byla zaznamenávána 5minutová meteorologická data: rychlost a směr větru, teplota, relativní vlhkost a globální radiace.

Kaskádní impaktor byl umístěn uvnitř izotermické stanice a připojen na vertikální nerezové potrubí o délce 2 m a průměru 0,5 cm umožňující odběr venkovního vzduchu ve výšce cca 4,5 m nad zemí. Konec odběrového potrubí byl opatřen sítí proti hmyzu a krytem proti dešti.

Filtry do impaktoru o průměru 25 mm (4 vnitřní stupně) a 37 mm (poslední „backup“ stupeň) byly vždy před a po expozici ekvilibrovány při 50% relativní vlhkosti (RH) a váženy

v klimatizované váhově (20 °C, 50% RH) na mikrováhách (Mettler Toledo MX5). Elektrický náboj byl odstraněn vysoko-napěťovým rámem (Hauck).

Následně byly počítány 24hodinové koncentrace PM_{10} a detekční limity (tabulka č. 1). Detekční mez byla stanovena jako 3σ rozdílu hmotnosti slepých vzorků (filtry, se kterými jsou provedeny shodné úkony jako s filtry určenými k odběru vzorků, s 5vteřinovou expozicí) před a po expozici (vztaženo k objemu vzduchu přefiltrovanému za 24 hodin), při celkovém počtu 7 sad slepých vzorků.

3 Výsledky

3.1 24hodinové koncentrace a sezónní variabilita PM_{10} a PM_{1-10}

Po dobu letních kampaní v letech 2008, 2009 a 2010 činily průměrné 24hodinové koncentrace PM_{10} 23,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 17,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 16,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (grafy č. 1-3). Průměrná hodnota pro letní období byla 19,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Po dobu zimních kampaní v letech 2009 a 2010 činily průměrné 24hodinové koncentrace PM_{10} 22,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 40,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (grafy č. 4-5). Průměrná hodnota pro zimní období byla 30,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

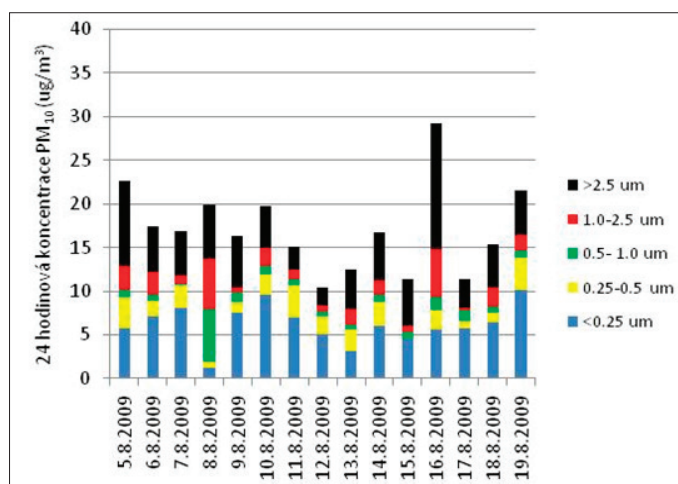
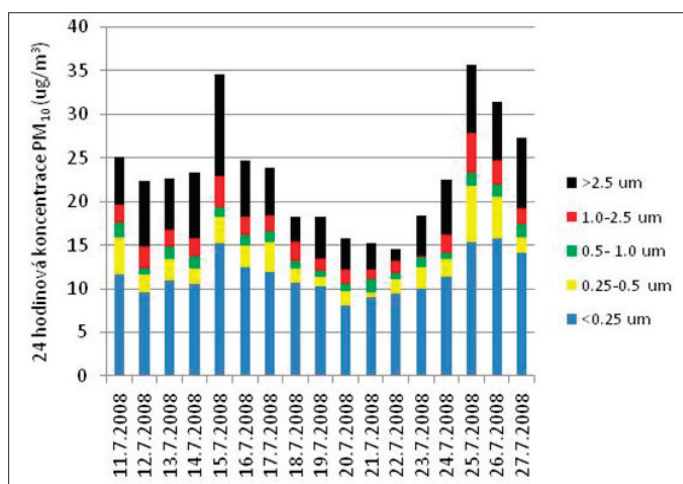
Tab. 1: Detekční limit PCIS.

Osobní kaskádový impaktor Sioutas (PCIS)	
Velikostní frakce	Detekční limit
> 2,5 μm	0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2,5 - 1,0 μm	0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1,0 - 0,5 μm	1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0,5 - 0,25 μm	0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
< 0,25 μm	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

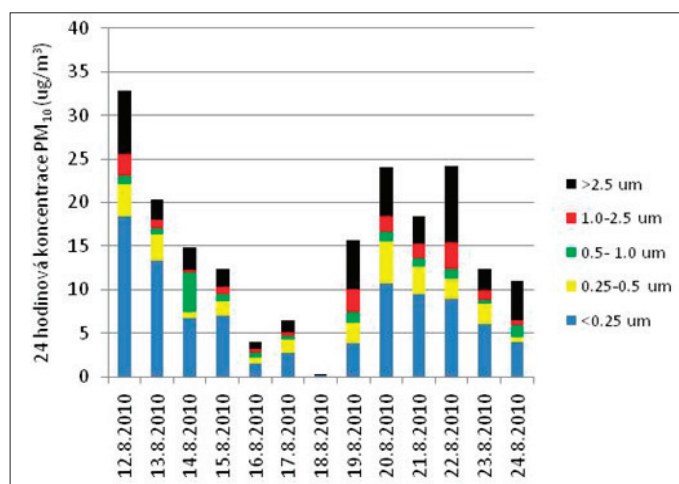
Odlišnost hodnot 24hodinové koncentrace PM_{10} naměřených meziročně v rámci letních kampaní je statisticky nevýznamná: hodnota mediánů 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2008), 16,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2009) a 15,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2010). Odlišnost v rámci kampaní zimních je statisticky významná: hodnota mediánů 20,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2009) a 36,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2010).

K vyšetření sezónní variability průměrných hodnot 24hodinových koncentrací PM_{10} s ohledem na PM_{1-10} byl použit Kruskal-Wallisův test.

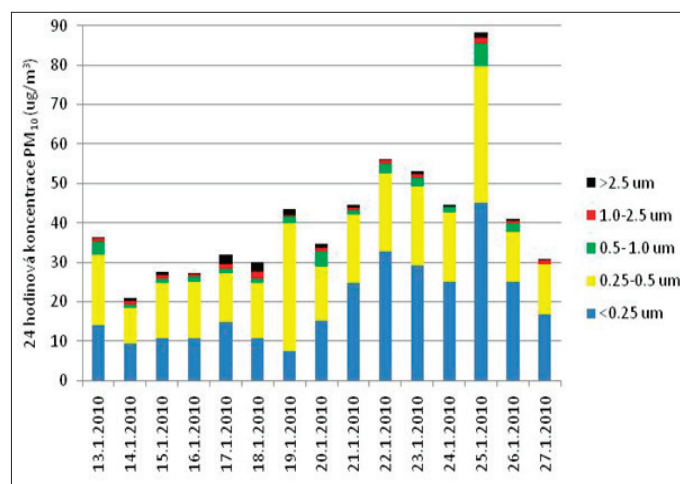
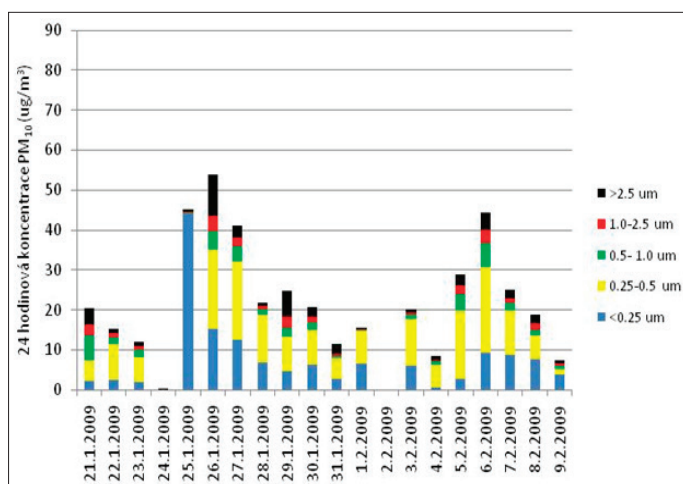
V použitých krabicových grafech je umístění dvou protilehlých stran krabicového diagramu určeno hodnotami prvního a třetího kvartilu (kvantily 25 % a 75 %), střední příčka je na úrovni mediánu. Tykadla, která vyběhají ven z obdélníku, představují rozšíření kvantilového rozpětí o 1,5násobek hodnot prvního a tře-



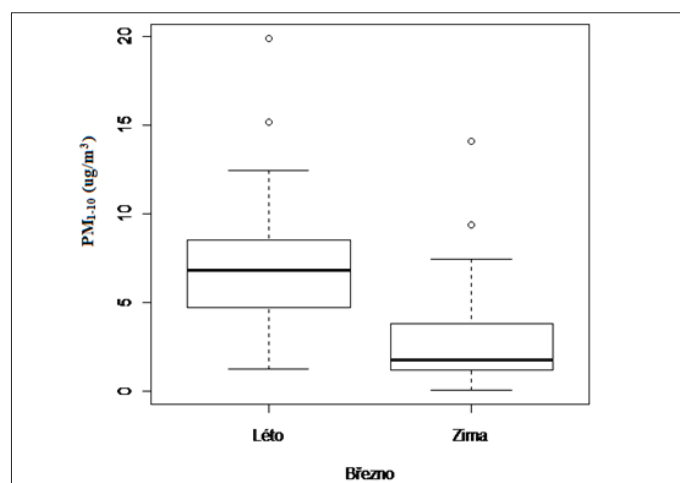
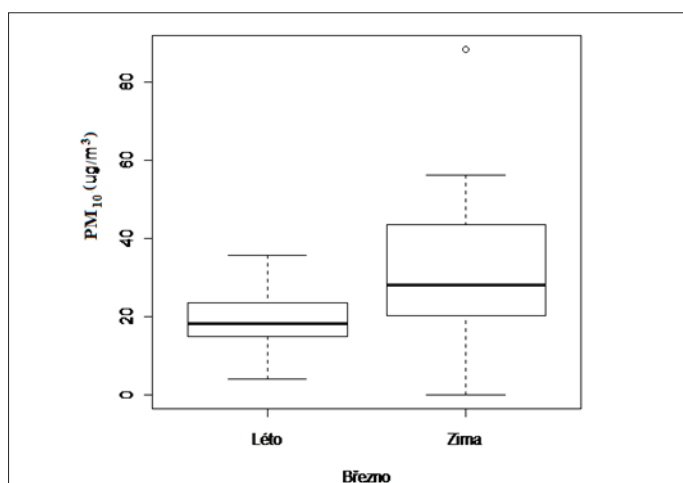
Graf 1 - 2: Hodnoty 24hodinové koncentrace PM_{10} naměřené v průběhu letní měřicí kampaně 2008 a 2009.



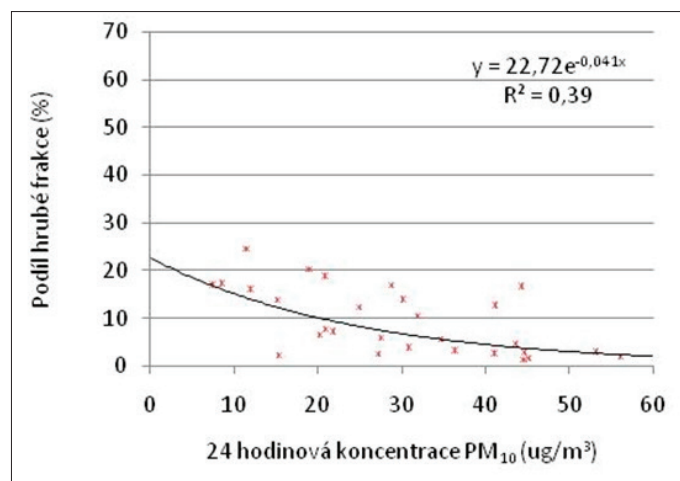
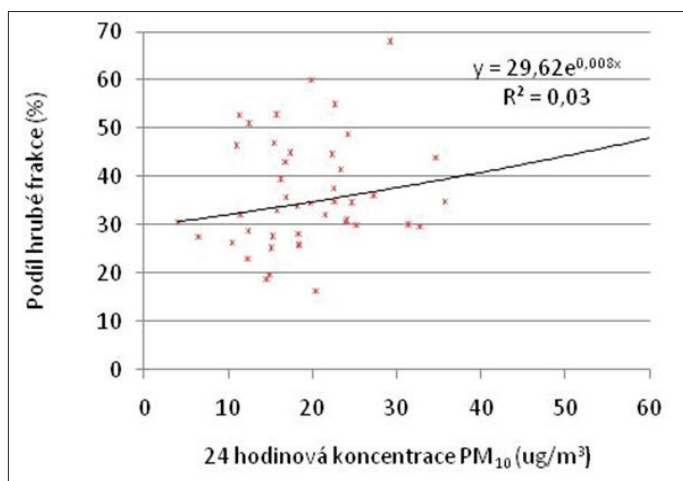
Graf 3: Hodnoty 24hodinové koncentrace PM_{10} naměřené v průběhu letní měřicí kampaně 2010.



Graf 4-5: Hodnoty 24hodinové koncentrace PM_{10} naměřené v průběhu zimní měřicí kampaně 2009 a 2010.



Graf 6-7: Sezónní variabilita 24hodinové koncentrace PM_{10} a PM_{1-10} .



Graf 8-9: Procentuální podíl PM_{1-10} na PM_{10} v průběhu letní a zimní měřicí kampaně.

tího kvartilu. Pokud jsou výsledky mimo uvedené rozšířené kvantilové rozpětí, jsou vyznačeny zvlášť jako odlehlá pozorování.

Zimní a letní kampaně se od sebe v obou případech (PM_{10} a PM_{1-10}) statisticky liší: medián PM_{10} je významně vyšší v zimě ($28,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) než v létě ($18,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a medián PM_{1-10} je nižší v zimě ($1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) než v létě ($4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Podíl PM_{1-10} na celkové 24hodino-

vé koncentraci PM_{10} byl významně vyšší v období letních kampaní ve srovnání s kampaněmi zimními ($7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respektive $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) jak znázorňují grafy č. 6-7.

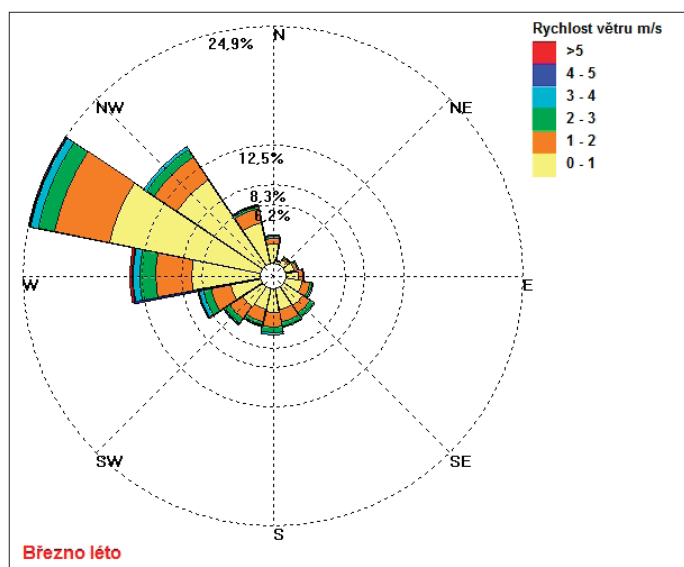
Hodnoty 24hodinové PM_{1-10} se meziročně v rámci letních i zimních kampaní od sebe statisticky neliší. V letních měsících podíl PM_{1-10} s rostoucí koncentrací PM_{10} zdánlivě roste, ale není

statisticky signifikantní (graf č. 8). Naopak v zimním období podíl PM_{1-10} výrazně klesá. V případě 24hodinového limitu $PM_{10} - 50 \mu g/m^3$ - by podíl PM_{1-10} pro zimní období činil přibližně 5 % (graf č. 9).

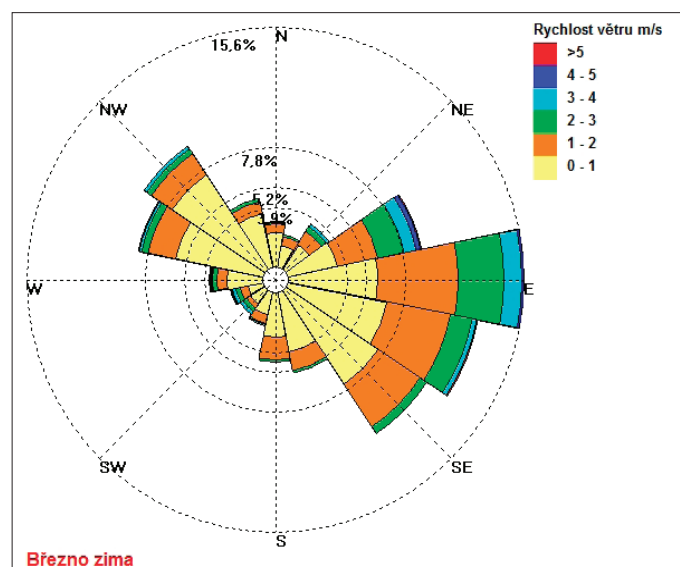
Podíl PM_{1-10} po dobu letních kampaní tvořil v letech 2008 33 %, 2009 43 % a 2010 32 % a po dobu kampaní zimních v letech 2009 19 % a 2010 4 %, což v průměru odpovídá podílu 36 % respektive 12 %.

3.2 Vliv meteorologie

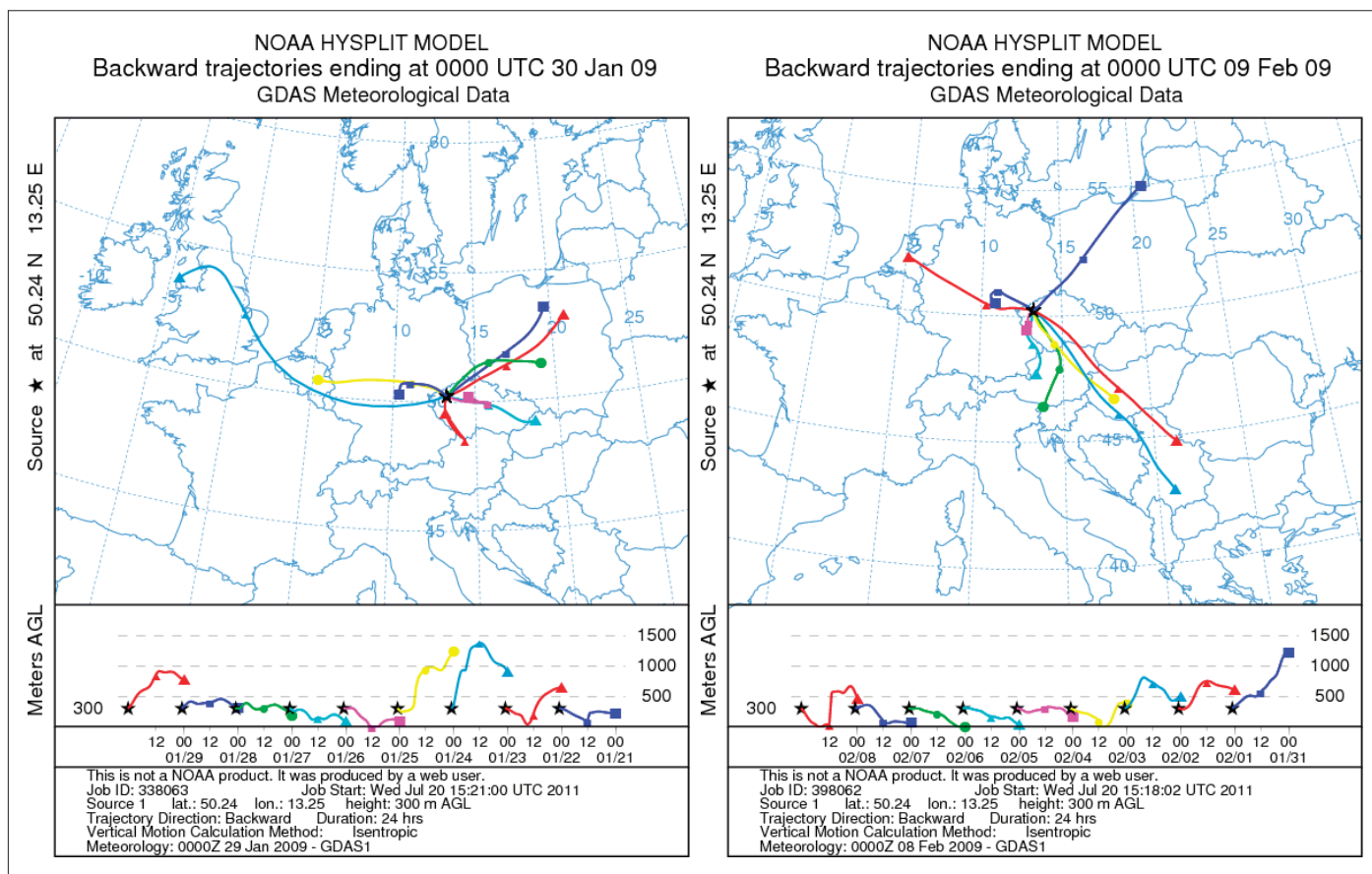
Z větrných růžic je zřejmé převládající Z až SZ proudění větru po dobu letních měřicích kampaní, tedy směrem od povrchového dolu (obr. č. 2). V průběhu zimních měřicích kampaní byl při převládajícím V až JV proudění větru naměřen malý podíl PM_{1-10} (obr. č. 3).



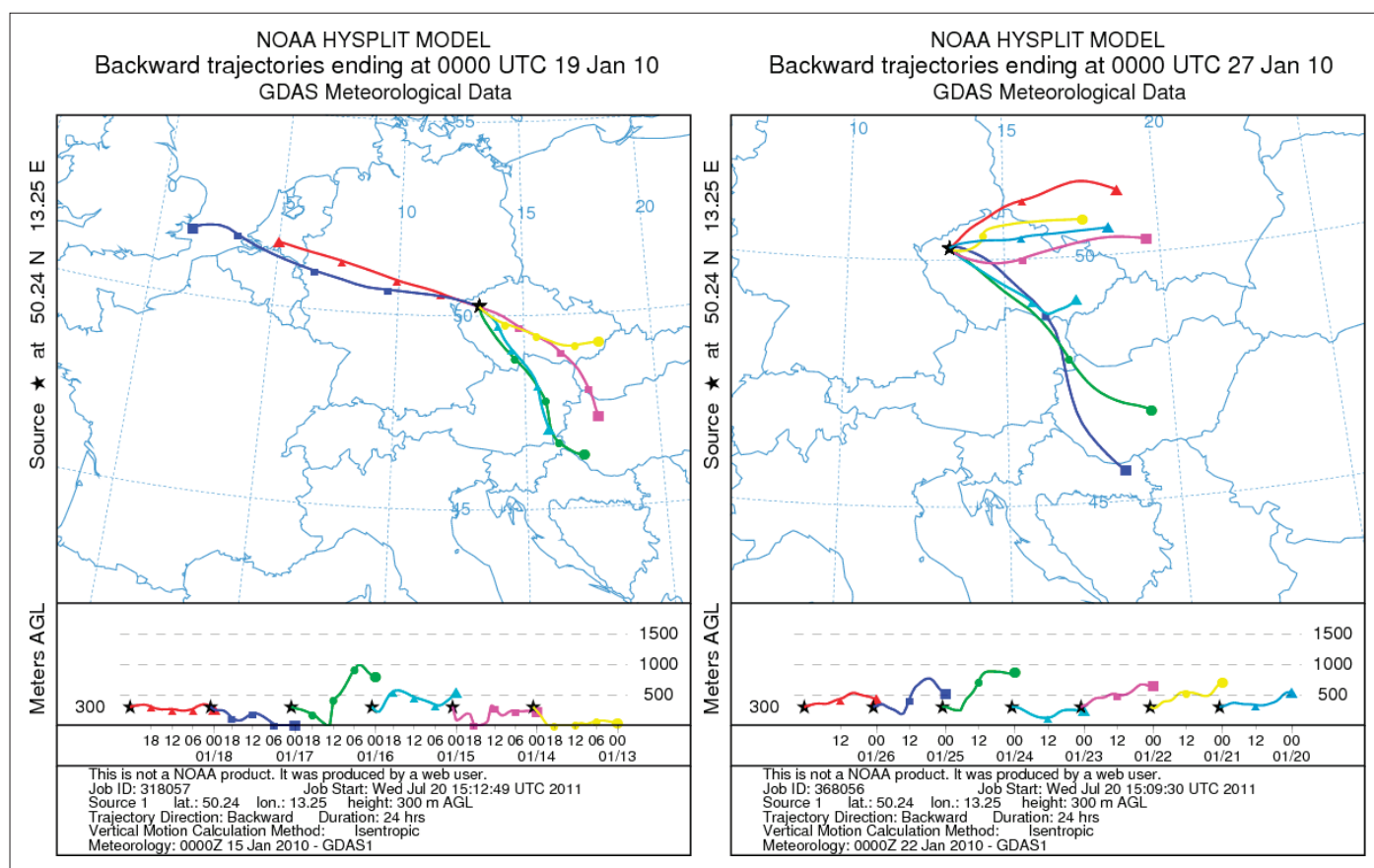
Obr. 2: Větrná růžice pro letní období.



Obr. 3: Větrná růžice pro zimní období.



Obr. 4-5: Proudění vzdušných mas po dobu zimní měřicí kampaně v roce 2009 [24].



Obr. 6-7: Proudění vzdušných mas po dobu zimní měřicí kampaně v roce 2010 [24].

K ověření shody globálního proudění vzdušných mas s naměřeným prouděním větru v obci Březno byl použit model zpětných trajektorií vzdušných mas Hysplit (obr. č. 4-7).

Závislost 24hodinové koncentrace hrubé frakce na relativní vlhkosti vzduchu testovaná lineární regresí pro obě roční období nebyla prokázána.

4 Závěr

Odlíšnost zimních a letních kampaní pro 24hodinové koncentrace PM_{10} i PM_{1-10} byla statisticky významná, což dokládá medián PM_{10} pro léto $18,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a zimu $28,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a medián PM_{1-10} pro léto $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a pro zimu $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Průměrně vyšší koncentrace PM_{1-10} v letních měsících jsou dány větší prašností běžnou pro toto roční období.

Hodnoty 24hodinové PM_{1-10} se meziročně v rámci letních i zimních kampaní od sebe statisticky neliší. V letních měsících podíl PM_{1-10} s rostoucí koncentrací PM_{10} zdánlivě roste, ale není statisticky signifikantní. Naopak v zimním období podíl PM_{1-10} výrazně klesá.

V letním období tvořily částice PM_{1-10} v průměru 36 % z PM_{10} při převládajícím Z až SZ proudění ze směru od povrchového dolu. V zimě pak tvořily částice PM_{1-10} v průměru pouhých 12 % při převládajícím V až JV proudění ze směru od dopravní komunikace. Vzhledem k této skutečnosti není možné v zimních měsících považovat těžební činnost za hlavní zdroj PM_{1-10} ve sledované lokalitě. Naopak, výrazný pokles podílu hrubé frakce při rostoucí koncentraci PM_{10} ukazuje, zejména během epizod inverzního

teplotního zvrstvení mezní vrstvy atmosféry, že kvalitu ovzduší během těchto epizod zásadně ovlivňují zdroje emitující jemnou frakci aerosolu. Takovými zdroji jsou vysokoteplotní procesy využívané například při výrobě elektřiny.

Pro detailnější odhad zdrojů PM_{1-10} v ovzduší obce Březno, zejména jedná-li se o rozlišení úletového popílku od surového uhlí, je nezbytná chemická analýza odebraných vzorků doplněná o analýzu mikroskopickou.

Poděkování

Práce vznikla v rámci projektu VaV SP/1a3/149/08 MŽP „Stanovení koncentrací atmosférického aerosolu s vysokým časovým rozlišením za účelem odhadu jeho zdrojů a toxicity“.

Literatura

- [1] HARRISON, R. M., SHI, J.P. AND JONES, M. R.: *Continuous measurements of aerosol physical properties in the urban atmosphere*. Atmospheric Environment, 33, pp. 1037-1047, 1999.
- [2] MORAWSKA, L., STEPHEN, TH., JAMRISKA, M. AND JOHNSON, G.: *The modality of particle size distribution of environmental aerosols*, Atmospheric Environment, 33, pp. 4401-4411, 1999.
- [3] BRANIŠ, M., HUŇOVÁ, I.: *Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší*. Karolinum, str. 75-77, 2009. ISBN 978-80-2461-598-1.

- [4] TURNBULL, A. B. AND HARRISON, R. M.: *Major component contributions to PM_{10} composition in the UK atmosphere*. Atmospheric Environment, 34, pp. 3129-3137, 2000.
- [5] HARRISON, R. M., JONES, A. M. AND LAWRENCE, R.G.: *Major component composition of PM_{10} and $PM_{2.5}$ from roadside and urban background sites*. Atmospheric Environment, 38, pp. 4531-4538, 2004.
- [6] HARRISON, R. M., YIN, J., MARK, D., STENDMA, J., APPLEBY, R. S., BOOKER, J. AND MOORCROFT, S.: *Studies of the coarse particle (2.5 - 10 μ m) component in UK urban atmospheres*. Atmospheric Environment, 35, pp. 3667-3679, 2001.
- [7] MONN, CH., CARABIAS V., JUNKER, M., WAEBER, R. KARRER, M. AND WANNER, H.U.: *Small-scale spatial variability of particulate matter < 10 μ m (PM_{10}) and nitrogen dioxide*. Atmospheric Environment, 31(15), pp. 2243-2247, 1997.
- [8] VANDERPOOL, R., ELLESTAD, T., HANLEY, T., SHEFFE, R., HUNIKE, E., SALOMON, P., MURDOCH, R., NATARAJAN, S. AND NOBEL, CH.: *Multi-site evaluations of candidate methodologies for determining coarse particulate matter (PMc) concentration*. USEPA and RTI International, 2004.
- [9] HWANG, I., HOPKE, P. K. AND PINTO, J. P.: *Source apportionment and spatial distributions of coarse particles during regional pollution study*. Environ. Sci. Technol., 42, pp. 3524-3530, 2008.
- [10] YIN, J. AND HARRISON, R. M.: *Pragmatic mass closure study for PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_{10} at roadside, urban background and rural sites*. Atmospheric Environment, 42, pp. 980-988, 2008.
- [11] Proposal to Revise the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter : EPA 71 FR 2620. U.S. Environmental Protection Agency, Fact Sheet [online]. 2006, [cit. 2011-07-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.epa.gov/air/particles/fs20051220pm.html>>.
- [12] GHOSE, M. K.: *Generation and quantification of hazardous dusts from coal mining in the Indian context*. Environ. Monit. Assess., 130, pp. 35-45, 2007.
- [13] GHOSE, M. K.: *Opencast coal mining in India: Development of emission factors and quantification of mine dust emission*. Environmental Quality Management, 17(2), pp. 51-58, 2007.
- [14] ONDER, M. AND YIGIT, E.: *Assessment of respirable dust exposure in an opencast coal mine*. Environ. Monit. and Assess., 152, pp. 393-401, 2009.
- [15] JONES, A. M., HARRISON, R. M. AND BAKER: *The wind speed dependence of the concentrations of airborne particulate matter and NO_x* . Atmospheric Environment, 44, pp. 1682-1690, 2010.
- [16] FISHMAN, N.S., RICE, C.A., BREIT, G.N. AND JOHNSON, R.D.: *Sulfur-bearing coatings on fly ash from a coal-fired power plant: composition, origin, and influence on ash alteration*. Fuel, 78, pp. 187-196, 1999.
- [17] BHANARKAR, A.D., GAVANE, A.G., TAJNE, D.S., TAMHANE, S.M. AND NEMA, P.: *Composition and size distribution of particulates emissions from a coal-fired power plant in India*. Fuel, 87, pp. 2095-2101, 2008.
- [18] GIETL, J.K., LAWRENCE, R., THORPE, A.J. A HARRISON, R.M.: *Identification of brake wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road*. Atmospheric Environment, 44, pp. 141-146, 2010.
- [19] BEGUM, B.A., BISWAS S.K., KIM, E., HOPKE, P.K. AND KHALIQUZZAMAN M.: *Investigation of Sources of Atmospheric Aerosol at a Hot Spot Area in Dhaka, Bangladesh*. J. Air & Waste Manage. Assoc., 55, pp. 227-240, 2005.
- [20] WANG, J., HISCOX, A.L., MILLER, D.R., MEYER, T.H. A SAMMIS T.W.: *Aerodynamic Lagrangian, field-scale model of dust dispersion from agriculture tilling operations*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 51(5), pp. 1763-1774, 2008.
- [21] CIVIŠ, M., HOVORKA, J., THIMMAIAH, D.: *Stanovení velikostní distribuce částic resuspendovatelné složky vzorků z povrchového hnědouhelného dolu v resuspenzní komoře*. Zpravodaj Hnědé uhlí 1/2011, pp. 34-44, ISSN 1213 – 1660.
- [22] EU Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphure dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, 1999.
- [23] MISRA, CH., SINGH, M., SHEN, S., SIOUTAS, C. AND HALL, P. M.: *Development and evaluation of personal cascade impactor sampler (PCIS)*. Journal of Aerosol Science, 33, pp. 1027-1047, 2002.
- [24] HYSPLIT transport and dispersion model, NOAA Air Resources Laboratory (ARL) [online]. [cit. 2011-07-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.arl.noaa.gov/ready.html>>.