

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Benátská 2, 128 01 Praha 2

**Vybrané charakteristiky atmosférického aerosolu
v ovzduší malého sídla**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Mgr. Markéta Domasová

Praha, 2007

Prohlašuji, že disertační práci, kterou předkládám k obhajobě, jsem vypracovala samostatně. U všech poznatků, které jsem převzala z literárních pramenů, je v textu uveden jejich autor a citované prameny jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, dne 29. 3. 2007

.....

Prohlašuji, že disertační práci, kterou předkládám k obhajobě, jsem nepředložila ani její podstatnou část k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 29. 3. 2007

.....

Ráda bych na tomto místě poděkovala především svému školiteli Doc. RNDr. Martinu Branišovi, CSc., za odbornou pomoc, cenné rady a věcné připomínky, jimiž velkou měrou přispěl k vytvoření této disertační práce. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Janu Hovorkovi, Ph.D. za rady při práci v laboratoři a Doc. RNDr. Martinu Mihaljevičovi, CSc. z Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK za provedení analýzy prvků metodou ICP-MS.

Abstrakt

Ve vybraném malé venkovském sídle (163 obyvatel) s převládajícím vytápěním domácností založeném na spalování hnědého uhlí byly ve dvou zimních (topných) sezónách (12/97–4/1998 a 11/1998–3/1999), v jedné letní sezóně (4-10/1998) a během měření v centru obce a v pozad'ovém místě obce (3.-21.4.2003) odebrány 24-hodinové vzorky atmosférického aerosolu, frakce PM₁₀, PM_{2,5} a BS. Odebrané vzorky PM₁₀ a PM_{2,5} byly následně mineralizovány a pomocí ICP-MS byly stanoveny koncentrace vybraných prvků (Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, As, Se, Sr, Cd a Pb). Naměřené průměrné koncentrace PM₁₀ v zimních období (38 a 41 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a v letní období (27 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byly v porovnání s koncentracemi PM₁₀ naměřenými v okolních městech, včetně Prahy, stejně vysoké nebo i vyšší. Průměrné koncentrace PM₁₀, PM_{2,5} a BS naměřené v centru obce (38, 28 a 27 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byly vyšší než koncentrace naměřené v pozad'ové lokalitě (31, 24 a 13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). U koncentrací BS, PM₁₀ a prvky (As, Pb, Ni, Se a V) byla prokázána výrazná sezónní variabilita s vyššími koncentracemi v zimním období, což naznačuje spojitost mezi původem těchto látek a vytápěním domácností. V porovnání s ostatními místy v ČR byla ve sledované obci v zimním období naměřena velmi vysoká koncentrace As, který má původ především ve spalování hnědého uhlí. Koncentrace PM₁₀ naměřené ve sledovaném sídle velmi výrazně s koncentracemi PM₁₀ naměřenými v okolních městech korelovaly. Výrazné korelace byly nalezeny také mezi frakcemi PM₁₀ a PM_{2,5} v centru obce i v pozad'ové lokalitě (0,804 a 0,853), nicméně nalezené korelační koeficienty v rámci jedné frakce mezi sledovanými místy byly ještě vyšší (pro PM₁₀ 0,917 a pro PM_{2,5} 0,929). Z hlediska zastoupení sledovaných prvků byly podobně nejvýznamnější rozdíly nalezeny v porovnání frakcí PM₁₀ a PM_{2,5}, přitom nejvyšší rozdíly představovaly prvky hrubých částic mající původ v půdním materiálu (Al, Mn, Ti). V rámci frakce PM_{2,5} nebyly nalezeny výraznější rozdíly mezi sledovanými místy. Tyto výsledky naznačují, že většina jemných částic v obou místech je ovlivněna podobnými zdroji. Navíc mezi frakcí PM_{2,5} v obou měřicích místech obce a PM₁₀ naměřenou v Berouně byla nalezena výrazná korelace (0,932 pro pozad'ovou oblast a 0,929 pro centrum obce), což by potvrzovalo vliv dálkového přenosu pro jemné sekundární částice. Mimořádné události zvýšených koncentrací atmosférického aerosolu zachycené během měřicí kampaně v pozad'ové lokalitě ovlivnily koncentraci PM ve sledované obci i v Berouně. Stanovený 24-hodinový imisní limit pro PM₁₀ (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

byl v zimních období překročen ve 27% a 32% případů měření, v letním období ve 4% a v paralelním odběru v centru obce a v pozad'ové lokalitě ve 265 a v 11% případů měření.

Předkládaná práce ukázala, že množství emisí je třeba omezovat nejen ve větších městech, ale i v malých obcích a potvrdila představu o existenci určité hladiny koncentrace atmosférického aerosolu vyskytující se v oblasti České kotliny, která může být v místech výskytu lokálních zdrojů, především v zimní části roku, výrazně navýšena. Ve venkovských sídlech v České republice, kde stále převládá tradiční vytápění domácností založené na spalování uhlí, proto mohou koncentrace atmosférického aerosolu obohacené o zdraví nebezpečné látky představovat pro exponovanou populaci výrazné zdravotní riziko.

Abstract

24-hour concentrations of atmospheric particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} a BS) were measured during two winter (heating) periods (12/1997–4/1998 a 11/1998–3/99), one summer period (4-10/1998) and during a separate measuring campaign (3.-21.4.2003) performed in a central part and at a nearby background location of a selected small settlement (163 inhabitants), where brown coal is a dominant fuel for domestic heating. PM₁₀ and PM_{2.5} samples were mineralized and concentrations of selected elements (Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, As, Se, Sr, Cd a Pb) were determined by ICP-MS technique. Average PM₁₀ winter (38 a 41 µg.m⁻³) and summer (27 µg.m⁻³) concentrations were comparable with PM₁₀ concentrations in neighbouring towns, including Prague. Average PM₁₀, PM_{2.5} and BS concentrations were higher in the central part of the village (38, 28 a 27 µg.m⁻³) than at the nearby background location (31, 24 a 13 µg.m⁻³). Concentrations of BS, PM₁₀ and elements (As, Pb, Ni, Se a V) demonstrated a considerable seasonal variability with high concentrations in winter and lower in summer. This phenomenon indicates a good relation between sources of air pollution and local heating. In comparison with other places in the Czech Republic very high winter concentration of As, that originates first of all from brown coal combustion, was found in this settlement. PM₁₀ concentrations in the village were highly correlated with PM₁₀ concentrations in neighbouring towns. Both PM₁₀ and PM_{2.5} were reasonably correlated in the central part of the village and also at the nearby background location (0,804 a 0,853), however, correlation between same fractions from the two monitoring sites was even higher (for PM₁₀ 0,917 and for PM_{2.5} 0,929). The most considerable differences of elemental composition were found between PM₁₀ and PM_{2.5} for crustal elements (Al, Mn, Ti) in both places. Elemental composition of PM_{2.5} in the central part of the village and PM_{2.5} at the nearby background location were not found very different. These results indicate that most of the aerosol in both locations is influenced by similar sources. In addition PM_{2.5} concentrations in both places were highly correlated with PM₁₀ concentrations in Beroun, the nearest larger town, (0,929 for the central part of a village and 0,932 for the nearby background location). It supports the idea that long range transport of fine particles can play an important role in regional aerosol concentration. Special events of increased air particulate matter concentrations recorded during the 2003 measuring campaign at the nearby background location influenced PM concentrations not only in the village but also in Beroun. 24-h limit for

PM₁₀ (50 µg.m⁻³) was exceeded in 27 and 32% of days during the two winter periods, in 4% of days during the summer period and in 26 and 11% of days during the last measuring campaign in the central part of the village and at the nearby background location.

The results of the present study show that aerosol pollution may not necessarily be restricted to larger cities but is also common in villages. Considering relatively dense distribution of small and mid-sized settlements over the Czech territory, local heating may be considered namely in winter a large-scale non-point air pollution source which may in some instance substantially increase the overall background levels of ambient particulate matter. Small particles containing various health hazardous substances can play a large role in affecting human health of inhabitants living in small settlements in the Czech Republic, where coal combustion for domestic heating is still widely used.

Obsah

1. Úvod	11
2. Metoda	20
2.1 Základní pojmy v oblasti atmosférického aerosolu	20
2.2 Lokalita	25
2.3 Metodika	30
3. Výsledky.....	39
3.1 Měřicí kampaně 1997 – 1999	39
3.1.1 Koncentrace PM ₁₀ , BS	39
3.1.2 Koncentrace PM ₁₀ ve srovnání s okolními městy.....	43
3.1.3 Koncentrace vybraných prvků	47
3.1.4 Vzájemné vztahy (korelace) mezi PM ₁₀ a BS	54
3.1.5 Vzájemné vztahy (korelace) mezi koncentracemi sledovaných prvků a PM ₁₀ a BS.....	56
3.1.6 Vzájemné vztahy (korelace) mezi meteorologickými parametry (teplota vzduchu, rychlost větru) a koncentracemi PM ₁₀ , BS a sledovaných prvků	60
3.1.7 Souvislost mezi směrem větru a koncentracemi PM ₁₀ , BS a sledovaných prvků	68
3.1.8 Rozdíly mezi koncentracemi PM ₁₀ , BS a sledovaných prvků naměřených během víkendů a pracovních dnů	70
3.2 Měřicí kampaň 2003	73
3.2.1 Koncentrace PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS	73
3.2.2 Koncentrace vybraných prvků	75
3.2.3 Vzájemné vztahy (korelace) mezi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS.....	82
3.2.4 Vzájemné vztahy (korelace) mezi koncentracemi sledovaných prvků a PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS.....	84
3.2.5 Vzájemné vztahy (korelace) mezi meteorologickými parametry (teplota vzduchu, rychlost větru) a koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} , BS a sledovaných prvků	87
3.2.6 Srovnání naměřených koncentrací PM ₁₀ , PM _{2,5} , BS a prvků v pozadové lokalitě s lokalitou v centru obce a s okolními městy.....	92
4. Diskuse	96
4.1 Měřicí kampaně 1997 - 1999	96
4.1.1 Koncentrace PM ₁₀ ve srovnání s okolními městy.....	96
4.1.2 Vzájemné vztahy mezi koncentracemi PM ₁₀ a BS	101
4.1.3 Koncentrace vybraných prvků v částicích PM ₁₀	103

4.1.4 Vztah prvků k PM ₁₀ , BS a mezi prvky navzájem	112
4.1.5 Vztah PM ₁₀ , BS a prvků k meteorologickým parametrům	113
4.1.6 Vztah PM ₁₀ , BS a prvků k pracovním dnům a víkendům	116
4.2 Měřicí kampaň 2003	117
4.2.1 Srovnání koncentrací PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS naměřených v pozad'ové lokalitě s koncentracemi naměřenými v centru obce a ostatními městy.....	117
4.2.2 Koncentrace vybraných prvků a jejich vztah ke koncentracím PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS a mezi sebou navzájem.....	122
4.2.3 Popis vybrané mimořádné události.....	124
4.2.4 Vztah PM ₁₀ , PM _{2,5} , BS a prvků k meteorologickým parametrům.....	125
4.3 Shrnutí.....	126
5. Závěr	128
6. Seznam citované literatury	130
7. Seznam zkratk	140
8. Seznam obrázků	141
9. Seznam tabulek	144

1. Úvod

Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM₁₀ zůstává jedním z hlavních problémů zajištění kvality ovzduší. Stejně jako ostatní škodliviny přítomné v ovzduší mají tyto částice negativní vliv na lidské zdraví, vegetaci nebo stavební materiály a mohou mít také závažný dopad na životní prostředí v globálním měřítku (IPCC, 2001; Henning et al., 1998). Kromě toho způsobují nepříjemnosti typu snížené viditelnosti, obtěžování zápachem nebo zvýšené prašnosti. Na rozdíl od plyných polutantů, nemají suspendované částice přítomné v ovzduší specifické složení, nýbrž představují různorodou směs organických a anorganických částic kapalného a pevného skupenství, různé velikosti a s různými účinky. Současně působí jako vektor pro plyné škodliviny. Obecně lze původ těchto částic charakterizovat jako příspěvek lokálních primárních emisí částic (především doprava, lokální topeniště a jiné stacionární zdroje), reemise a také příspěvek sekundárních anorganických i organických částic, které vznikly chemickou transformací plyných složek antropogenního a přírodního původu (Hinds, 1999).

Jelikož jsme znečištěnému ovzduší vystaveni dlouhodobě, představuje znečištění ovzduší stále jedno z nejvýznamnějších rizik pro lidské zdraví. Po významném snížení emisí plyných sloučenin síry v Evropě se atmosférický aerosol stal jednou z nejvýznamnější znečišťujících příměsí ve venkovním ovzduší a to zejména v souvislosti s negativními dopady na lidské zdraví. Výsledky celé řady epidemiologických studií jednoznačně prokázaly asociaci mezi expozicí aerosolu a zdravotními účinky (Dockery et al., 1993). Význam je stále kladen zejména na zohlednění velikosti částic, která je rozhodující pro průnik a depozici v dýchacím traktu.

Sledování účinků atmosférického aerosolu na lidské zdraví má velmi bohatou a zajímavou historii (Pope and Dockery, 2006). Za prvotní impulsy vedoucí ke sledování spojitostí mezi škodlivinami v ovzduší a zvýšenou morbiditou a mortalitou v populaci jsou považovány dobře popsání smogové epizody s extrémně vysokými koncentracemi znečištění ovzduší. Jedná se zejména o události popsání během epizod v údolí řeky Maasy v Belgii v prosinci 1930, v Donoře v USA v říjnu 1948 a především v Londýně v prosinci 1952. Zejména po roce 1990 bylo publikováno velké množství epidemiologických studií shrnujících nové poznatky ve sledování zdravotních účinků ve

spojitosti s expozicí již nečekaně nízkým koncentracím PM (Particulate Matter). Publikované výsledky popisující zdravotní účinky způsobené krátkodobými i dlouhodobými expozicemi byly srovnatelné ve studiích z USA, Německa, Kanady, Finska i České republiky (Pope and Dockery, 2006) a vedly mimo jiné ke konstatování, že z hlediska účinků na zdraví člověka jsou za nebezpečné považovány částice do velikosti 10 μm . V polovině 80. let došlo poprvé k tomu, že jak US EPA (US Environmental Protection Agency) v USA tak i WHO (World Health Organization) v Evropě nastavily normy a směrnice soustředící se na velikostní frakci PM₁₀ (Smith et al., 2002). Původní národní limity NAAQS (National Ambient Air Quality Standards) v USA pro celkové množství suspendovaných částic (TSP) z roku 1971 tak byly v roce 1987 nahrazeny novými limity pro PM₁₀ a postupně v zemích Severní Ameriky a Evropy docházelo k přechodu na sledování koncentrací jednotlivých frakcí PM nikoliv koncentrací celkového množství suspendovaných částic. Za další významný bod v problematice PM částic lze považovat rok 1997, kdy byly, vzhledem k prokázaným účinkům ještě menších velikostních frakcí PM na lidské zdraví, stanoveny národní limity NAAQS v USA pro frakci atmosférického aerosolu PM_{2,5}. V České republice se v národní síti automatického imisního monitoringu ČHMÚ přešlo z původního měření celkového vzorku prachu (TSP) na měření thorakální frakce PM₁₀ v roce 1996. První dceřiná direktiva 1999/30/EC (EC, 1999) upravující imisní limity a měření frakce PM₁₀ v rámci států EU byla vydána v roce 1999. V české legislativě byly stanoveny imisní limity pro PM₁₀ v roce 2002 (NV ČR, 2002) a nové imisní limity reflektující požadavky EU jsou platné od 1.11.2005 (NV ČR, 2005 zrušeno a nahrazeno NV ČR, 2006).

Biologické účinky a zdravotní rizika suspendovaných částic není možné jednoznačně definovat, neboť stejná koncentrace částic na dvou různých lokalitách nemusí představovat stejné zdravotní riziko. Poznatky o účincích suspendovaných částic vycházejí zejména z výsledků epidemiologických studií z posledních 10 let, které ukazují na ovlivnění nemocnosti a úmrtnosti již při velmi nízkých expozicích, přičemž není možné jasně stanovit prahovou koncentraci, která by byla bez účinku. Výsledky epidemiologických studií potvrdily, že účinky na zdraví člověka jsou kromě výše koncentrace PM částic závislé také na délce expozice a díky kumulativním vlivům jsou dlouhodobé expozici prisuzovány větší a trvalejší účinky než u krátkodobé expozice (Pope and Dockery, 2006). Při krátkodobé expozici byly zjištěny zdravotní

účinky jako jsou obtíže při dýchání, zhoršení zdravotního stavu u astmatiků a dalších plicních onemocnění, zvýšená nemocnost dětí, zvýšení počtu hospitalizací, nepříznivé účinky na kardiovaskulární systém, zvýšení počtu zánětlivých onemocnění, zvýšení úmrtnosti a další. Dlouhodobá expozice, která má z hlediska účinku na lidské zdraví nesrovnatelně vyšší význam, je spojována především s účinky jako snížení plicních funkcí u dětí i dospělých, zvýšení výskytu kardiovaskulárních a chronických onemocnění plic, zvýšení úmrtnosti a zkrácení délky života (Pope and Dockery, 2006; WHO, 2004; Schwarz et al., 1993; Pope et al., 1995; Pope et al., 1993; Donaldson et al., 2001; Dockery, 2001; Dockery and Schwartz, 1995).

Hlavní význam ve sledování částic PM ve spojitosti s účinky na zdraví člověka se klade na zohlednění jejich velikosti, neboť ta je rozhodující pro průnik a depozici v dýchacím traktu. Nezanedbatelný vliv má samozřejmě i složení, tvar a skutečný počet vdechnutých částic. Větší částice (nad 100 μm) sedimentují velmi rychle a do dýchacích cest se prakticky nedostanou, částice v rozmezí 10 – 100 μm jsou většinou zachyceny v horních cestách dýchacích a teprve částice menší než 10 μm jsou schopné pronikat do dolních dýchacích cest, proto také bývají často nazývány torakálními částicemi. Částice této frakce (PM_{10}) jsou rozdělovány do dvou skupin na základě odlišné velikosti, mechanismu vzniku, složení a chování v atmosféře. První skupinu tvoří částice s průměrem menším než 2,5 μm (jemné částice, $\text{PM}_{2,5}$), které vznikají v důsledku chemických reakcí, nukleací, kondenzací plynných směsí na povrchu vzniklých částic či koagulací nejjemnějších částic a jsou považovány za příčinu největšího poškození lidského zdraví (Pope and Dockery, 2006). Usazují se hluboko v plicích, blokují reprodukci buněk a způsobují respirační nemoci. Důvodů proč je frakce $\text{PM}_{2,5}$ považována za škodlivější v porovnání s PM_{10} z hlediska účinků na zdraví člověka uvádí Pope and Dockery (2006) ve své práci hned několik: složení (představuje především sírany, dusičnany, kyseliny, kovy), schopnost pronikat hlouběji do plic, delší životnost, možnost přemístování na větší vzdálenosti nebo snadnější průnik do vnitřního prostředí. Druhou skupinu tvoří částice o velikosti v rozmezí 2,5 až 10 μm (hrubé částice, $\text{PM}_{10-2,5}$), které se vyznačují nepravidelným tvarem, vznikají zpravidla mechanickým obrušováním a vířením prachu. Měření této frakce se provádí přímo nebo nepřímo, tj. odečtem frakce $\text{PM}_{2,5}$ od PM_{10} . Účinky hrubé frakce na lidské zdraví ve své práci velmi dobře popisuje Brunekreef and Forsberg (2005). Ve své studii se na základě

znalosti, že frakce $PM_{2,5}$ s frakcí $PM_{10-2,5}$ (na rozdíl od frakce PM_{10}) výrazně nekoreluje, snaží odhadnout účinky na zdraví člověka samostatně pouze pro frakci hrubých částic. Při sledování úmrtnosti a nemocnosti se ukázalo, že expozice frakcí hrubých částic významněji ovlivňuje počet hospitalizací způsobených kardiovaskulárními onemocněními a má silnější nebo alespoň stejně silné krátkodobé účinky jako jemné částice na astma, chronická plicní onemocnění nebo respirační potíže. Krátkodobý i dlouhodobý vliv hrubé frakce na úmrtnost zatím není zcela zřejmý. Frakce hrubých i jemných částic jsou dosud vyhodnocovány a regulovány společně, neboť se převážně pracuje s hodnotou PM_{10} . Vzhledem ke skutečnosti, že obě frakce pocházejí z různých zdrojů, mohou mít různé účinky a z koncentrace jedné frakce nelze odvodit velikost frakce druhé, se Brunekreef and Forsberg (2005) ve své práci, stejně jako Wilson et al. (1997), přiklání k názoru, že jemné a hrubé částice je vhodnější měřit a regulovat odděleně.

Jelikož při vzniku částic PM_{10} hrají hlavní roli průmyslové aktivity a doprava, jsou stanice imisních monitorovacích systémů přednostně umisťovány do měst a i celá řada publikovaných studií sledujících atmosférický aerosol byla zpracována právě pro městské oblasti a velká sídla. Vzhledem ke svému zaměření, lze studie rozdělit do dvou základních skupin:

Mezi nejčetnější skupinu patří epidemiologické studie, které sledují vztahy mezi koncentrací suspendovaných částic a mortalitou a morbiditou sledované populace. Obecně se uvádí, že zvýšení celkové denní mortality o 1% je spojováno se zvýšením průměrné denní koncentrace PM_{10} o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Harrison and Yin, 2000; Simpson et al., 2000). Souvislost mezi koncentrací PM_{10} částic a mortalitou byla prokázána například ve 4 největších městech v Nizozemí (Hoek et al., 2000), v teplých měsících v Melburn v Austrálii (Simpson et al., 2000), ve studii analyzující výsledky z 94 různých měst Severní Ameriky, Jižní Ameriky a Mexika, Evropy, Asie, Austrálie a Nového Zélandu (Stieb et al., 2002) nebo v 6 městech v USA (Dockery et al., 1993), kde bylo prokázáno, že mortalita způsobená rakovinou plic a kardiopulmonárními nemocemi je pozitivně spojována s koncentracemi škodlivin v ovzduší nejvíce však s jemnými částicemi a sírany. Spojitost mezi zvýšenou mortalitou a koncentrací PM_{10} byla prokázána také v České republice v severočeské uhelné pánvi (Peters et al., 2000). Kromě mortality se

řada studií zaměřila na sledování specifických zdravotních účinků spojených s expozicí koncentracím PM částic. Například Schwartz et al. (1993) ve studii ze Seattlu vysledoval statisticky velmi významnou souvislost mezi koncentrací PM₁₀ a hospitalizacemi v nemocnicích způsobených astmatem. Z Boloni v Itálii zase pochází studie snažící se odhadnout množství deponovaných částic v dýchacím traktu člověka na základě jejich velikosti (Berico et al., 1997). V České republice byly sledovány zdravotní účinky karcinogenních polycyklických aromatických uhlovodíků (c-PAU), u kterých se předpokládá, že jsou vázány na částice PM_{2,5}, z hlediska poškození genetického materiálu (zvýšení množství DNA aduktů, výskyt chromozómových aberací a snížení schopnosti reparovat poškození DNA) u sledované skupiny pražských městských strážníků v porovnání s pracujícími v uzavřených prostorách. Z dlouhodobého hlediska bylo v této studii prokázáno, že c-PAU mohou představovat významné riziko především pro populaci Prahy a severních Čech (Šrám, 2005).

Druhou významnou skupinu tvoří studie, které se zabývají hmotnostními koncentracemi PM částic, zejména vztahy mezi jednotlivými frakcemi PM (PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀) (Harrison et al., 2001; Vallius et al., 2000; Chow et al., 1996), vztahy mezi PM a TSP (Röösli et al., 2000; Brook et al., 1997), Black Smoke (Muir and Laxen, 1995; Heal et al., 2005), dálkovým přenosem (ApSimon et al., 2001) či vzájemnými vztahy s ostatními polutanty přítomnými v ovzduší (Muir, 1998). V řadě studií byla publikována data sledující chemické složení odebraného aerosolu a především faktory, které jeho koncentraci a složení ovlivňují. Sleduje se například vliv meteorologických parametrů (teplota vzduchu, vlhkost, množství srážek, rychlost větru, směr větru apod.) (Wróbel et al., 1999; Thomaidis et al., 2003; Väkevä et al., 2000), stabilita atmosféry a nadmořská výška (Röösli et al., 2000), sezónní vlivy (Viana et al., 2003; Harrison et al., 1997) nebo vliv odlišných lidských aktivit prováděných během pracovních dnů a víkendů (Monn et al., 1997). Jiné studie se zabývají odhadem zdrojů, z nichž pocházejí analyzované částice na základě jejich chemického složení (Manoli et al., 2002; Salvador et al., 2004), velikostní distribucí odebraných PM vzorků (Salma et al., 2005), stoupajícími a klesajícími trendy v chemickém složení PM₁₀ za delší časovou řadu (Salma and Maenhaut, 2006) a celou řadou dalších parametrů.

Ačkoliv hodnoty koncentrací suspendovaných částic ve městech vyspělých zemí v druhé polovině 20. století dramaticky poklesly, v rozvojových zemích (př. Čína, Indie, Brazílie) sdružující většinu světové populace lze naopak se stoupající životní úrovní obyvatel sledovat růst spotřeby energie, dopravy a dalších lidských aktivit, které vedou k produkci vysokého množství zplodin. Hladiny koncentrací PM tak ve většině měst rozvojových zemí nyní dosahují koncentrací, které se objevovaly ve městech vyspělých zemí v 80. letech tohoto století. Srovnání mezi 20 americkými městy dříve s nejvyššími koncentracemi PM₁₀ a s 20 současnými městy v Indii ukazují, že nejhorší městská oblast v USA byla čistší než sledovaná městská lokalita v Indii s nejnižší koncentrací (Smith et al., 2002). Ve studii se mimo jiné uvádí, že kromě vysokých venkovních koncentrací je populace v rozvojových zemích vystavována také vysokým vnitřní koncentracím PM díky používání pevných paliv pro vaření a vytápění domácností. Vnitřní koncentrace škodlivin v ovzduší ve venkovských oblastech Číny jsou často několikanásobně vyšší než koncentrace venkovní a její složení je odlišné v porovnání s vyspělými státy světa (Florig, 1997). Podstatně vyšší hodnoty denních koncentrací PM₁₀ ve srovnání se státy Evropy nebo Severní Ameriky jsou například uváděny ve studii z Tchaj-wanu (Yang, 2002), která se mimo jiné zabývá překročením 24-hodinového limitu pro PM₁₀ stanoveného na 150 µg/m³. Studie z Jižní Afriky, která se zabývá sledováním zdrojů suspendovaných částic a za největší zdroj PM₁₀ i PM_{2,5} jednoznačně označuje spalování uhlí v domácnostech, uvádí limity pro PM₁₀ platné v Jižní Africe do roku 2006, které dosahují 180 µg/m³ pro 24 hodinovou koncentraci (Engelbrecht et al., 2002). Ve srovnání s limitem platným v Evropě a USA je to více než trojnásobek. Chemickým složením částic atmosférického aerosolu se zabývají studie z Brazílie (Maenhaut et al., 2002), Tchaj-wanu (Tsai and Cheng, 2004) nebo Vietnamu (Gatari et al., 2006). V posledních letech je problematika znečištění ovzduší v rozvojových zemích spojována především s mobilními zdroji, neboť zatímco ve vyspělých zemích jsou emise z dopravy účinně omezovány modernizací a nápravnými opatřeními, v rozvojových zemích s nárůstem počtu aut emise z dopravy stále stoupají. Za hlavní příčiny lze považovat především používání vozidel s dvoutaktními motory, dopravní zácpy v důsledku omezené kapacity a propustnosti silniční sítě, kvalita povrchu silnic, pohonné hmoty s vysokým obsahem olova, nedostatečná kontrola emisí, špatný technický stav a vysoké stáří vozidel.

I v městských oblastech vyspělých států dochází k překračování imisní limitů stanovených pro koncentrace suspendovaných částic a přestože dosud není pro suspendované částice jasně stanovena prahová koncentrace, která by představovala „bezpečnou“ hladinu, tedy hodnotu nezpůsobující žádné škodlivé účinky, představuje překračování imisních limitů významné zdravotní riziko pro exponovanou populaci. Vyšší podíl exponované populace je také jedním z důvodů, proč je celá řada studií soustředěna právě do městských oblastí. Navíc jsou v porovnání s venkovskými oblastmi v městských lokalitách sledovány vyšší koncentrace suspendovaných částic, jak potvrzuje např. projekt PEACE prováděný na 28 místech v 10 státech Evropy (Hoek et al., 1997). Uvádí se zde, že naměřené koncentrace PM_{10} ve městech byly v průměru o 22% vyšší než ve venkovských oblastech, nejnižší koncentrace byly naměřeny ve venkovských oblastech ve Skandinávii nejvyšší v Aténách. K podobným závěrům, kdy byly prokázány vyšší koncentrace v městských oblastech než ve venkovských, došly například i studie z Kanady (Cheng et al., 2000) nebo Švýcarska (Monn et al., 1995).

Koncentrace atmosférického aerosolu ve studiích zaměřených na porovnávání městských lokalit s venkovskými lokalitami jsou většinou měřeny v centrálních částech měst a srovnávány s koncentracemi naměřenými v okrajových částech měst nebo ve venkovských oblastech vzdálených zpravidla 20-30 km od sledovaného města bez výraznějších zdrojů znečištění. Někde jsou za „venkovské oblasti“ považována místa bez jakýchkoliv zdrojů znečištění (Röösli et al., 2001) nebo jsou to menší města okolo 30 tis. obyvatel (Van der Zee et al., 1998) nebo i větším počtu obyvatel (Hoek et al., 1997). Za venkovskou lokalitu Hoek et al. (1997) v PEACE studii považuje vybraná místa s podobnými meteorologickými podmínkami jako sledovaná městská oblast avšak bez významných lokálních zdrojů, například v České republice byla v této studii za venkovské lokality vybrána města Benešov (93 tis. obyv.) a Prachatice (51 tis. obyv.). Ačkoliv se tedy zdá, že existuje řada informací o částicích atmosférického aerosolu ze všech typů lokalit, dat z lokalit na první pohled bezproblémových (malá sídla do 2 případně 10 tis. obyvatel) je stále nedostatek. Měření je soustředěno do oblastí s vysokou hustotou obyvatel a databáze informací o kvalitě venkovního ovzduší tak zahrnují pouze města případně pozadřové lokality nikoliv lokality s výrazným podílem lokálních zdrojů.

Relativně hustá síť měřících stanic v ČR dostatečně pokrývá městské oblasti nikoliv však již zmíněná venkovská sídla. Data o expozici venkovské populace škodlivinám v ovzduší prakticky téměř neexistují a přitom v obcích pod 10 tisíc obyvatel žije téměř polovina obyvatel České republiky (4,5 mil. obyvatel). Hlavním zdrojem znečištění ovzduší v malých sídlech jsou lokální topeniště. Řada sídel v České republice je navíc umístěna ve špatně provětrávaných údolích a v lokálních topeništích je kromě paliv (často nekvalitních) spalován i domácí odpad, jako jsou různé plasty, PET lahve, stavební materiály, papíry a podobně. V malých sídlech tak může docházet k výskytu velmi vysokých koncentrací škodlivin v ovzduší způsobených současně vlivem místních zdrojů a koncentracím, které jsou do sídel přinášeny dálkovým transportem. Jednou z významných vlastností suspendovaných částic je totiž schopnost přetrvávat v atmosféře několik dnů až týdnů a vytvářet tak více či méně stabilní aerosol, který může být transportován stovky až tisíce kilometrů daleko. Dochází tak k rozptýlení částic na velkém území a snižování rozdílů mezi jednotlivými oblastmi. V závislosti na meteorologických podmínkách tak může docházet k jevu, kdy se škodliviny pocházející z lokálních topenišť malých sídel mohou podílet na koncentracích škodlivin v ovzduší měst (Grima et al., 2002) a naopak (Müller, 1999). I když existuje několik možností, jak v malých sídlech snížit riziko výskytu vysokých koncentrací škodlivin v ovzduší, například pořízením modernějších spalovacích zařízení (kotle a kamna), v nichž dochází k dokonalejšímu spalování, nebo používáním kvalitnějšího paliva, přechod k jiným způsobům vytápění (elektřina nebo plyn), či kvalitnější zateplování budov, stále zůstává prioritní ekonomické hledisko zmiňovaných opatření. Z těchto důvodů lze lokální topeniště hned vedle dopravy a velkých stacionárních zdrojů řadit mezi tři nejvýznamnější zdroje znečištění vzduší u nás. Skutečnost, že se koncentrace částic PM_{10} v zimním období v malých sídlech České republiky, kde převládá vytápění domácností založené na spalování tuhých paliv, vyrovná koncentracím naměřeným ve městech, potvrdily již publikované výsledky (Braniš a Domasová, 2003). V rámci této studie byla vybraná malá obec na Berounsku během zimních období 1997/98 a 1998/99 srovnávána s okolními městy Beroun, Slaný a Praha. Kvalitou ovzduší v malých sídlech v České republice se na přelomu let 2002/2003 zabýval také projekt „Charakterizace zátěže obyvatel malých sídel škodlivinami z ovzduší a znečištění ovzduší bioaerosoly“ (Kotlík et al., 2005). Úroveň znečištění ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM_{10} ve sledovaných třech sídlech

(200 obyvatel, 850 obyvatel a 4,5 tis. obyvatel) s různým převládajícím typem používaných paliv (dřevo, uhlí, plyn) byla prokázána jako srovnatelná s velkými městy ČR, ale s výrazně vyšší mezisezónní variabilitou.

Předkládaná práce navazuje na diplomovou práci „Měření kvality ovzduší metodou PM₁₀ v malé obci na Berounsku během zimních období 1997/98 a 1998/99“ (Domasová, 1999), která vznikla jako součást projektu „Koncentrace aspirabilní frakce prašného aerosolu ve venkovním ovzduší malých sídel“. Hlavním cílem práce bylo získat detailnější informace o aspirabilní frakci PM₁₀ atmosférického aerosolu ve zvolené lokalitě, zejména z hlediska obsahu zvolených stopových prvků, odhadu jejich možných zdrojů a chování sledované frakce aerosolu ve vztahu k meteorologickým podmínkám. Součástí práce byla rovněž 19-denní měřicí kampaň, která byla uskutečněna ve zvolené lokalitě v dubnu 2003 a to paralelně na dvou měřicích místech (v exponované oblasti v centru obce a pozad'ové oblasti obce). Cílem této měřicí kampaně bylo na základě srovnání mezi oběma místy potvrdit existenci určité pozad'ové koncentrace suspendovaných částic a odhadnout původ této koncentrace ve spojitosti s dálkovým přenosem nebo lokálními zdroji. Kromě frakce PM₁₀, byla měřena i koncentrace frakce PM_{2,5} a Black smoke (BS).

Tato práce byla finančně podporována z výzkumného grantu Karlovy Univerzity č. 244/2002/B-CH/PRF.

2. Metoda

2.1 Základní pojmy v oblasti atmosférického aerosolu

V oblasti atmosférických aerosolů je laickou i odbornou veřejností používána celá řada pojmů, proto považují za vhodné na tomto místě uvést a vysvětlit několik základních termínů, které jsou v této práci dále uváděny. Rozdíly v terminologii lze nalézt také v porovnání mezi českou a zahraniční literaturou, jako příklad je možné uvést používání termínů pro atmosférický aerosol. V české literatuře je možné se setkat s pojmy jako tuhé znečišťující látky, pevný aerosol, prašný aerosol, tuhý aerosol, polétavý prach a další na rozdíl od zahraniční literatury, kde se nejčastěji užívá termínů atmosférický aerosol, PM (Particulate Matter), suspendované částice (SPM, Suspended Particulate Matter), celkové suspendované částice (TSP, Total Suspended Particles), případně černý kouř (BS, Black Smoke). Mimoto je lze najít v publikacích termíny pro atmosférický aerosol určitých definovaných vlastností jako mlha, opar, kouř, dým, prach, smog a další. V této práci jsou výhradně užívány termíny atmosférický aerosol a jeho frakce (PM_x) nebo suspendované částice atmosférického aerosolu.

Atmosférický aerosol je obecně definován jako soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic o velikosti od 1 nm až do 100 μm . Obvykle jsou tyto částice stabilní alespoň několik sekund, ale v některých případech mohou vydržet v atmosféře i několik týdnů. Atmosférický aerosol je všudypřítomnou složkou atmosféry Země a významně se podílí na důležitých atmosférických dějích jako je vznik srážek a teplotní bilance Země. Koncentrace atmosférického aerosolu jsou předmětem sledování především z hlediska působení na lidské zdraví, vegetaci, živočichy a lidské výtvoř.

Particulate matter (PM_x), touto zkratkou je označována velikostní skupina aerosolu, která představuje soubor částic o aerodynamickém průměru x mikrometrů, které jsou od okolního aerosolu separovány předřazeným odběrovým zařízením (impaktor, cyklon) a jsou odebírány s účinností právě 50%. Částice menší jsou ve vzorku obsaženy s téměř 100% pravděpodobností a naopak částice větší než x s pravděpodobností blízkou 0. x zpravidla představuje hodnoty 10, 2,5 nebo 1 v mikrometrech.

Aerodynamický průměr je definován jako průměr kulové částice s hustotou 1 g.cm^{-3} o stejné pádové rychlosti jako původní uvažovaná částice. Aerodynamický průměr nejčastěji užívaný tzv. ekvivalentní průměr, který představuje průměr hypotetické kulové částice s jednotkovou hustotou, která má stejné fyzikální vlastnosti jako uvažovaná částice. Částice stejné velikosti a tvaru ale různé hustoty budou mít tedy odlišný aerodynamický průměr (Wilson et al., 2002).

Hrubá frakce atmosférického aerosolu (coarse particles) je tvořena částicemi s aerodynamickým průměrem od $2,5 \text{ }\mu\text{m}$ do $10 \text{ }\mu\text{m}$. Tyto částice vznikají zpravidla mechanickou destrukcí (např. drcením, broušením, abrazí povrchů), výparem kapek a suspenzí prachu. Částice jsou většinou tvořeny resuspendovaným prachem (př. zvětrávání půdy, zvířený prach cest, zemědělská a stavební činnost, některé druhy průmyslu, těžba), popílkem ze spalování uhlí a olejů, oxidy kovů (Si, Al, Ti, Fe), CaCO_3 , NaCl, mořskou solí, pylem, sporami plísní a částmi těl rostlin a živočichů. Částice se vyznačují nepravidelným tvarem a jsou nerozpustné a nehygroskopické. Doba setrvání hrubých částic v atmosféře se udává v minutách až hodinách, částice jsou přenášeny do vzdáleností menších než 1 km až desítky kilometrů.

Jemná frakce atmosférického aerosolu (fine particles) je tvořena částicemi s aerodynamickým průměrem menším než $2,5 \text{ }\mu\text{m}$. Tyto částice vznikají chemickými reakcemi plynů, nukleací, kondenzací par za vysokých teplot během spalovacích procesů (např. spalování benzínů a nafty, spalování uhlí, olejů, dřeva, spalovny, průmysl, lokální topeniště), koagulací a evaporací kapek, v nichž jsou plyny rozpuštěné. Vzhledem k mechanismu vzniku mají částice kulový tvar. V základním složení těchto jemných částic převládají sírany, dusičnany, amonné ionty, elementární uhlík a organické látky a kovy (např. Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn a Fe). Velmi významnou skupinu představují částice, jejichž jádro je tvořené elementárním uhlíkem s na povrchu vázanými organickými látkami. Částice přetrvávají v atmosféře poměrně dlouhou dobu (dny až týdny), což umožňuje jejich transport na velké vzdálenosti, udává se stovky až tisíce kilometrů.

Ultrajemná frakce atmosférického aerosolu (ultrafine particles) je tvořena částicemi s aerodynamickým průměrem menším než $0,1 \text{ }\mu\text{m}$.

Primární aerosol představuje atmosférický aerosol, jehož částice jsou do atmosféry emitovány přímo ze zdroje (např. elektrárny, průmyslové procesy, doprava). Může se jednat o částice uhlíkaté, organické ale i minerálního původu.

Sekundární aerosol představuje atmosférický aerosol, který vznikl chemickou reakcí plyných složek atmosféry, přičemž chemické a fyzikální vlastnosti sekundárních částic závisí na lokalitě, ročním období a počasí v době jejich vzniku. Tyto částice jsou tvořeny především sírany, dusičnany a amonnými ionty.

Nukleační mod, je jeden z modů idealizovaného trimodálního schématu distribuce povrchu částic atmosférického aerosolu a je nejvíce zastoupen částicemi o velikosti aerodynamického průměru 20 nm. Částice nukleačního modu vznikají zejména jako důsledek vysokoteplotních procesů (hoření, tavení rud a kovů, svařování) a fotochemických reakcí v atmosféře. Kondenzací horkých par vznikají převážně kulové částice, které vzájemnou koagulací vytvářejí řetězovité agregáty a jejich shluky nebo koagulují s částicemi akumulárního modu. Částice jsou velmi reaktivní a jejich doba setrvání v atmosféře se pohybuje řádově od vteřin po desítky minut.

Akumulační mod, je jeden z modů idealizovaného trimodálního schématu distribuce povrchu částic atmosférického aerosolu a je nejvíce zastoupen částicemi o velikosti aerodynamického průměru 300 nm. Částice akumulárního modu jsou nejpočetnější skupinou částic v atmosféře, vznikají zejména kondenzací plynů, chemickými reakcemi, kondenzací vody nebo ostatních par na již existující částice a koagulací částic nukleárního modu. Jejich doba setrvání v atmosféře je řádově dny až týdny.

Mod hrubých částic, je jeden z modů idealizovaného trimodálního schématu distribuce povrchu částic atmosférického aerosolu a je nejvíce zastoupen částicemi o velikosti aerodynamického průměru kolem 10 μm . Částice tohoto modu primárně vznikají působením mechanických sil, jedná se zejména o prach vytvářený větrem nebo dopravní a stavební aktivitou, emisí současně s plynými produkty při spalování uhlí nebo zpracování rud. Doba setrvání těchto částic v atmosféře se pohybuje řádově od hodin po jeden až dva dny.

Black Smoke (BS), tímto pojmem jsou označovány jak částice tak i metoda, jejíž pomocí lze odhadnout koncentrace elementárního uhlíku v ovzduší. Tato metoda je velmi jednoduchá a je již velmi dlouhou dobu používána ve Velké Británii. Koncentrace elementárního uhlíku v odebraném vzorku vzduchu se standardizovaným postupem vypočítá na základě reflektance (odrazivosti světla) zachyceného aerosolu, plochy skvrny se zachyceným aerosolem a objemem prosátého vzduchu (OECD, 1964). BS částice odebrané metodou BS představují částice přibližně o velikosti 4 μm (Mc Farland et al. (1982) ex Heal et al., 2005), přičemž částice elementárního uhlíku představují především částice submikronových velikostí (Horvath et al., 1996, Blackmore et al., 2001) pocházející z nedokonalého spalování fosilních paliv. Jednu důležitou skupinu zdrojů představuje vytápění domácností, kdy množství vzniklých uhlíkatých částic závisí na faktorech jako je typ paliva, typ a stáří kotle, úroveň údržby hořáku či instalace kontrolních zařízení (Blackmore et al., 2001), druhou významnou skupinu zdrojů představují automobily s dieslovým motorem (Roemer et al., 2001). Pro dnešní charakter znečištění ovzduší (odlišný podíl zdrojů) a skutečnosti, že uhlíkaté částice představují především částice submikronových velikostí, se tato metoda z roku 1964 ukázala pro stanovení hmotnostní koncentrace BS částic již jako nevhodná (Hamilton et al., 1995; Roemer et al., 2001; Laskus, 1983), pro přibližný odhad obsahu elementárního uhlíku v atmosférickém aerosolu je však postačující. V některých studiích (Roemer et al., 2001; Muir and Laxen, 1995; Vallius et al., 2000; Damiá et al., 1999) jsou koncentrace BS částic považovány za vhodnějšího ukazatele účinků suspendovaných částic v ovzduší na zdraví člověka než částice PM_{10} .

Elementární uhlík, Elemental Carbon (EC), je uhlík, který absorbuje světlo na 632,5 nm vlnové délky, na rozdíl od organického uhlíku, který na této vlnové délce světlo neabsorbuje.

Lokální topeniště, v této práci dominantní zdroj aerosolových částic ve sledované venkovské lokalitě s převažujícím spalováním hnědého uhlí. Pro tento druh spalování je charakteristické bimodální rozdělení emitovaných částic podle jejich velikostí. Hrubé částice, s velikostmi v jednotkách až desítkách mikrometrů jsou tvořeny částicemi popela uvolněnými spálením organického podílu uhlí. Jemné částice, o velikosti desítek až stovek nanometrů, jsou zpravidla značně obohaceny těžkými kovy a vzhledem ke své velikosti se vyznačují dlouhou dobou setrvání v atmosféře. Vznikají

v důsledku složitých fyzikálně chemických procesů probíhajících na povrchu a v okolí hořících částic uhlí (redukce oxidů, vypařování těkavých složek s následkem oxidací par, nukleace, koagulace a heterogenní kondenzace). Těžké kovy (As, Pb, Zn, Cd, Co, Ni atd.) a jejich sloučeniny se během hoření uhlí vypařují díky vysokým teplotám a střídavě-oxidačně redukční atmosféře. Při chladnutí spalin tyto páry kondenzují na povrchu tuhých částic (popílků) nebo homogenní kondenzací vedou ke vzniku malých submikronových částic aerosolu. Často je takto vzniklý aerosol obohacen i S a Cl. Při nedokonalém hoření v kamnech dochází k významnému úniku sazí bohatých na polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs), u kterých byly prokázány toxické a karcinogenní vlastnosti.

Těžké kovy, jedná se o vžitý termín pro skupinu prvků správně definovanou jako stopové chemické prvky určitých vlastností. Mezi těžké kovy, kterými se rozumí kovy o hustotě vyšší než 5 g.m^{-3} , patří např. Hg, Cu a Pb, nicméně mezi skupinu prvků takto označovaných se řadí i prvky, které takto označovat nelze např. Be, Al, Ba, ale i polokovy např. As, Se, Te, Tl nebo nekovy jako B, Cl a S. V plynné formě se vyskytují v ovzduší jen výjimečně, zpravidla jsou ve formě chemických sloučenin silně obohaceny na povrchu částic. Pro živé organismy jsou některé z těchto prvků nezbytné (např. Fe, Cu, Zn), ovšem při vyšších koncentracích mohou být toxické, jiné prvky jsou toxické při všech koncentracích (např. Hg, Pb, Cd). Z hlediska působení na zdraví člověka jsou za karcinogenní považovány kovy As, Cr, Ni a Cd.

2.2 Lokalita

Popis lokality

Za sledované sídlo byla vybrána typická obec s údolní expozicí Žloukovice, která se nalézá asi 35 km západním směrem od Prahy na železniční trati Beroun-Rakovník. Orograficky patří lokalita k soustavě Poberounské vrchoviny, rozkládá se v hluboce zaříznutém údolí řeky Berounky v nadmořské výšce kolem 250 metrů nad mořem, okolní kopce mají nadmořskou výšku přibližně od 300 do 430 metrů nad mořem (Obr. 1). Na levém břehu řeky obec obklopují lesy, na pravém břehu jsou pole a louky, na které rovněž navazují lesy. Obec Žloukovice je součástí CHKO Křivoklátsko a po klimatické stránce patří toto území do mírně teplé oblasti, mírně suché, převážně s mírnou zimou, průměrná roční teplota vzduchu je 8,2°C.

V době odběru vzorků bylo v obci registrováno 163 trvale bydlících obyvatel, 97 rodinných domků a 565 rekreačních objektů. V obci ani v jejím nejbližším okolí není kromě lokálních topenišť žádný jiný významný zdroj znečištění ovzduší. V době odběru vzorků projíždělo přes vesnici 22 osobních vlaků a 5-10 nákladních vlaků za den, všechny byly taženy diesellovou lokomotivou. Z hlediska automobilové dopravy je vesnice ovlivněna pouze jedinou silnicí, která v obci končí. Pro odhad intenzity dopravy bylo provedeno sčítání všech jedoucích automobilů v centru vesnice během dne, v průměru bylo zaznamenáno 16 – 17 aut za hodinu. Sčítání probíhalo na jaře a v létě v době od 6:00 do 19:00 hodin. Počet aut byl nižší v noci a během zimního období, maximum 49 automobilů za hodinu bylo zaregistrováno v neděli v červnu mezi 17. a 18. hodinou, kdy chataři odjíždějí z chat zpět do měst. Nejbližší větší město je Beroun, vzdálen asi 11 km jihovýchodním směrem od Žloukovic. Hlavní město Praha se nachází přibližně ve vzdálenosti 35 km západním až severozápadním směrem. Vzhledem k převaze západních a jihozápadních větrů na území naší republiky je přímý vliv a průmyslových, městských a jiných oblastí významně eliminován.

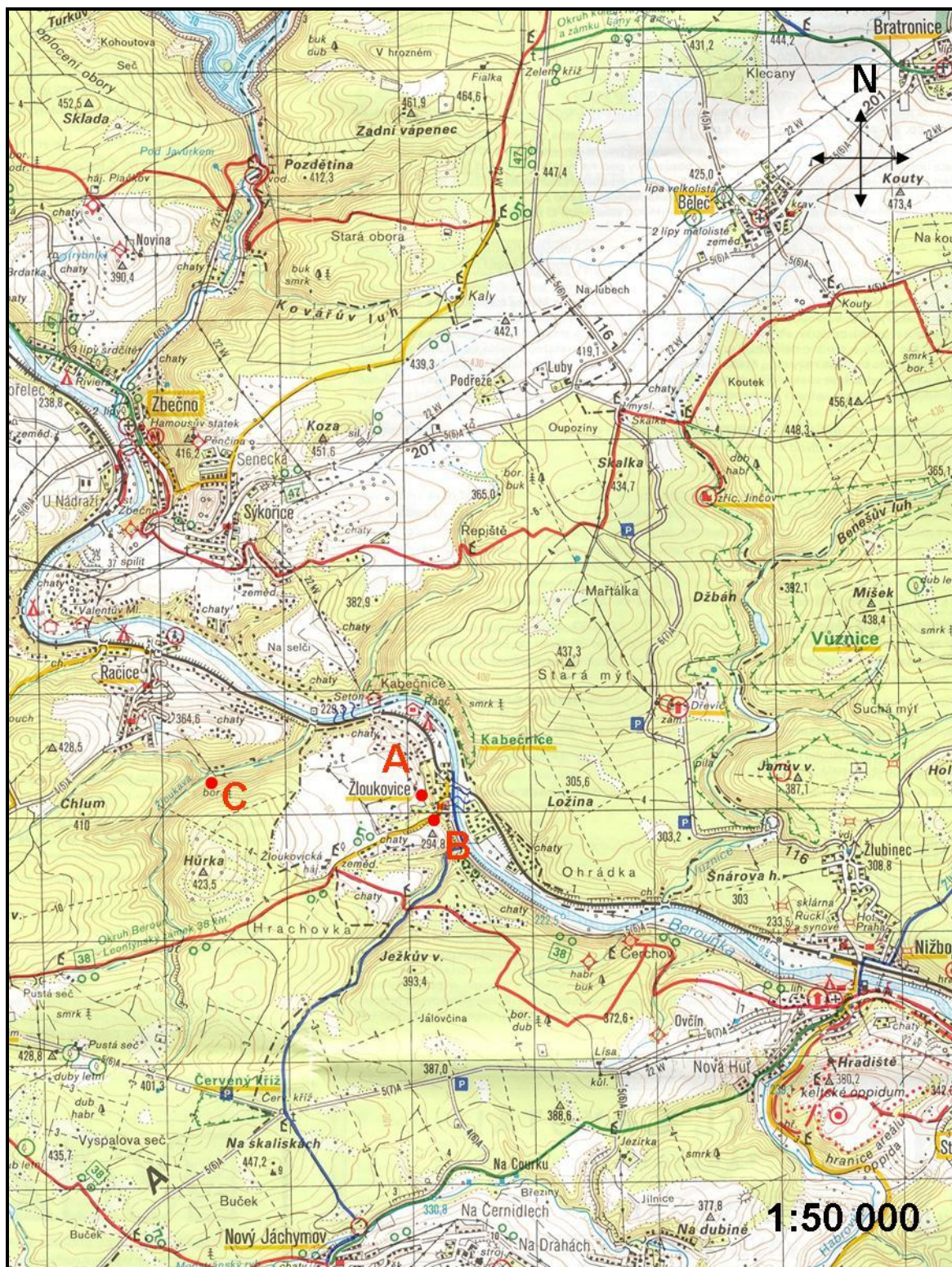
Pro přibližnou představu o způsobu vytápění domácností v obci bylo ve Žloukovicích na konci topné sezóny v roce 1998 provedeno jednoduché dotazníkové šetření. Celkem bylo osloveno 97 domácností, odpověď byla získána od 26 dotázaných domácností, výsledky jsou následující:

- v průměru na jednu rodinu došlo za zimní topné období (od října do dubna 1997/98) k spálení 38,7 metrických centů uhlí a 6,2 plnometrů dřeva;
- přibližně 61,5% domácností ve Žloutkovicích topí uhlím i dřevem, 19,2% topí hlavně uhlím, 15,4% topí hlavně dřevem a pouze 3,8% domácností je vytápěno elektrickými kamny;
- převážně je spalováno hnědé uhlí - 69,2% domácností, černým uhlím topí v průměru 11,5% domácností, koks nespaluje nikdo;
- domácí odpad spaluje v průměru každý den 3,8% domácností, často odpad spaluje rovněž 3,8%, občas 34,6%, zřídka 34,6% a nikdy nespaluje odpad 19,2% domácností.

Umístění měřící aparatury

Měřící aparatura byla během měřících kampaní v letech 1997 – 1999 umístěna v centru obce ve vzdálenosti asi 50 m od železniční trati a asi 40 m od nejbližšího vytápěného domu a 100 m od hlavní silnice. Během měřící kampaně v roce 2003, kdy probíhalo měření současně na dvou místech, byla v obci aparatura umístěna přibližně 50 m od příjezdové silnice do obce, 30 m od nejbližšího vytápěného domu a 250 m od železniční trati. Za požadovou lokalitu byla vybráno místo vzdálené přibližně 2 km proti směru větru od vesnice uprostřed lesa na pozemku rekreační chaty vytápěné elektrickým proudem, která v době měření byla mimo provoz. Asi 2,5 km jihozápadním směrem od zvoleného požadového místa se nachází funkční milíř na výrobu dřevěného uhlí a zhruba 300 m severovýchodním směrem stojí 1 dům využívaný k rekreaci. Žádné jiné zdroje znečištění ovzduší ve sledovaném požadovém místě nejsou. Všechna tři vytypovaná měřící místa jsou zakreslena v situačním plánu (Obr. 1).

Obr. 1 Topografická mapa (měřítko 1:50 000), A – umístění aparatury pro měřicí kampaně v letech 1997 – 1999, B – umístění aparatury v centru obce v měřicí kampani 2003, C - umístění aparatury v pozadové lokalitě v měřicí kampani 2003



Zhodnocení meteorologických podmínek pro sledované období

Celkově byl prosinec 1997 oproti jiným letům teplejší (odchylka od normálu byla +1,8 °C), nepříznivé rozptylové podmínky se vyskytly na začátku druhé poloviny měsíce. Rok 1998, jehož roční průměrná teplota dosáhla 8,3 °C, se vyznačoval celkově teplejším počasím oproti roku 1997, s výjimkou posledních dvou měsíců, které byly chladnější se zápornými odchylkami od dlouhodobého normálu. Průměrná roční odchylka teploty od normálu činila 0,9 °C. Zimní měsíce na začátku roku byly teplé, v závěru roku bylo poměrně chladněji s vydatnějšími srážkami. Výrazně nepříznivé rozptylové podmínky se v průběhu roku na území České republiky nevyskytly. Dvě poněkud netypické povětrnostní situace nastaly v lednu, v prvním případě tlaková výše měla střed přímo nad naším územím, ve druhém případě se anticyklona nalézala nad Britskými ostrovy. V obou případech byla pozorována vrstva inverze teploty, převážně však ve vyšších hladinách atmosféry.

Na podzim roku 1998 byly zjištěny opět dva případy nepříznivých rozptylových podmínek, první situace trvala zhruba 4 dny (od 24.11.1998), v této době bylo území Čech ovlivňováno mohutnou oblastí vyššího tlaku vzduchu se středem nad evropskou částí Ruska. Po zadní straně této výše k nám proudil teplejší vzduch z jihovýchodu a ve výšce zhruba kolem 1000 až 1200 m se vytvořila slabá inverze, dosahující výšky cca do 3000 m. 27.11.1998 po přechodu frontálního systému začal na naše území proudit poněkud chladnější vzduch ze severozápadu s mnohem nižšími koncentracemi škodlivých látek. Podobná situace nastala i v prosinci, kdy se 9.12.98 vytvořila tlaková výše se středem nad Šumavou. Výraznější změna nastala až 12.12.98, kdy v jihozápadním proudění nad naše území postoupila frontální porucha spojená s hlubokou tlakovou níží. Rok 1999 byl celkově teplejší než dlouhodobý normál, z hlediska srážkové bilance byl jediným rokem z celkovým úhrnem nižším než je normál za posledních pět let, za celý rok nebyly sledovány tak špatné rozptylové podmínky, aby bylo nutné vyhlášovat jakékoliv signály v rámci smogového regulačního systému. Měsíce leden a březen byly teplejší než dlouhodobý normál o + 2,0 °C v obou případech, únor byl v průměru chladnější o -0,2 °C.

Meteorologické podmínky během měřicí kampaně v dubnu 2003 byly velmi proměnlivé, zejména první polovina sledovaného období se vyznačovala nízkou teplotou vzduchu (několik dní převládaly hodnoty pod bodem mrazu) a nejvyššími hodnotami rychlosti větru za celou měřicí kampaň. Ve dnech 6.-7. dubna byly zaznamenány sněhové srážky. Naopak pro druhou polovinu sledovaného období bylo charakteristické slunečné počasí s odpoledními teplotami vzduchu kolem 16°C.

Období odběru

Odběr vzorků PM₁₀ a BS ve zvolené lokalitě probíhal během zimní topné sezóny 1997/98 denně od 8. prosince 1997 do 5. dubna 1998. V době od 27.12.1997 do 4.1.1998 byla měření přerušena. Druhé měřené zimní období bylo zahájeno 7. listopadu 1998 a ukončeno 31. března 1999, odběry byly prováděny rovněž denně. Odběry vzorků v mimotopné sezóně probíhaly v době od dubna do října 1998, vždy jeden náhodně vybraný týden v měsíci (28.4.-4.5., 1.6.-8.6., 27.6.-3.7., 3.8.-9.8., 30.8.-5.9., 3.10.-12.10.). Filtry v aparatuře byly vyměňovány v době od 15.00 do 15.15 hod., doba expozice byla přibližně 24 hod. Během 19-denní měřicí kampaně v roce 2003 probíhaly paralelní odběry vzorků PM₁₀, PM_{2,5} a BS od 3.4.2003 do 21.4. 2003, exponované filtry byly z aparatury vyjímány v době kolem 9.00 hod. v pozad'ové lokalitě a kolem 10.30 hod. v centru obce, doba expozice byla přibližně 24 hod.

Chemická analýza byla provedena u všech odebraných vzorků kromě několika vzorků z první zimní topné sezóny. V této měřicí kampani byla chemická analýza provedena pouze pro dny od 12.1.1998 do 4.4.1998, a to ze dvou důvodů, jednak aby nebyla přerušena časová řada tím, že na přelomu roku byly odběry dočasně přerušeny a dále z důvodu pravděpodobného znehodnocení ještě nezanalyzovaných vzorků uložených v Petriho miskách v chladničce během skladování.

2.3 Metodika

Použitá metoda odběru

Frakce PM₁₀ a PM_{2,5}

V předkládané práci byla pro hodnocení aerosolových frakcí PM₁₀ a PM_{2,5} použita gravimetrická metoda s využitím aktivního maloodběrového zařízení Harvard Impaktoru (Turner et al., 2000) (Obr. 2), jehož principem je nasávání vzduchu (kritický otvor dává průtok 10 l/min) přes membránový teflonový filtr (PFTE; Andersen) o průměru 37 mm a velikosti pórů 2 μm, na němž je aerosol zachytáván. Vlastnímu filtru v impaktorové hlavici byla předržena tzv. impakční destička která díky svému specifickému tvaru a zvlhčení silikonovým olejem způsobuje, že částice větší než 10 μm (případně 2,5 μm) nejsou schopny díky své setrvačnosti sledovat zakřivení proudění a narážejí do impakční destičky. Na filtru jsou tak částice aerosolu o aerodynamickém průměru 10 μm (případně 2,5 μm) zachytávány s 50% účinností, jemnější částice jsou zachytávány s účinností téměř stoprocentní. Přístroj byl mnohokrát použit při mezinárodních studiích a kompatibilita výsledků s referenční metodou byla dostatečně prokázána. Ústav pro životní prostředí PŘF UK převzal tuto metodu odběru frakce PM₁₀ z projektu PEACE „Effects of short-term changes in urban air pollution on the respiratory health of children with chronic respiratory symptoms“ (Brunekreef, 1993). Množství zachyceného aerosolu bylo stanoveno gravimetricky, vážením filtru ekvilibrovaného na konstantní vzdušnou vlhkost před a po expozici, výsledná koncentrace v μg/m³ byla určena z množství zachyceného aerosolu a objemu vzduchu prošlého aparaturou.

Obr. 2 Odběrová aparatura pro odběr aerosolové frakce PM_{10} , $PM_{2,5}$ a BS použitá v pozad'ové lokalitě během měřicí kampaně 2003

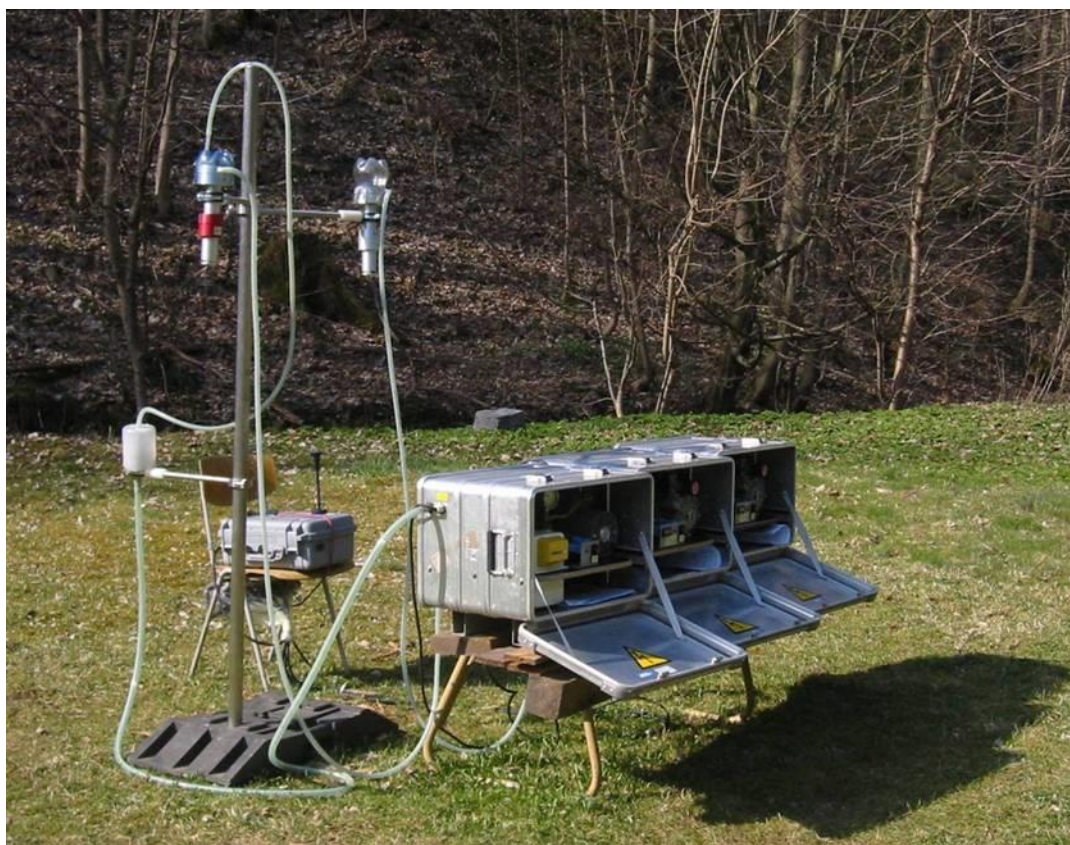


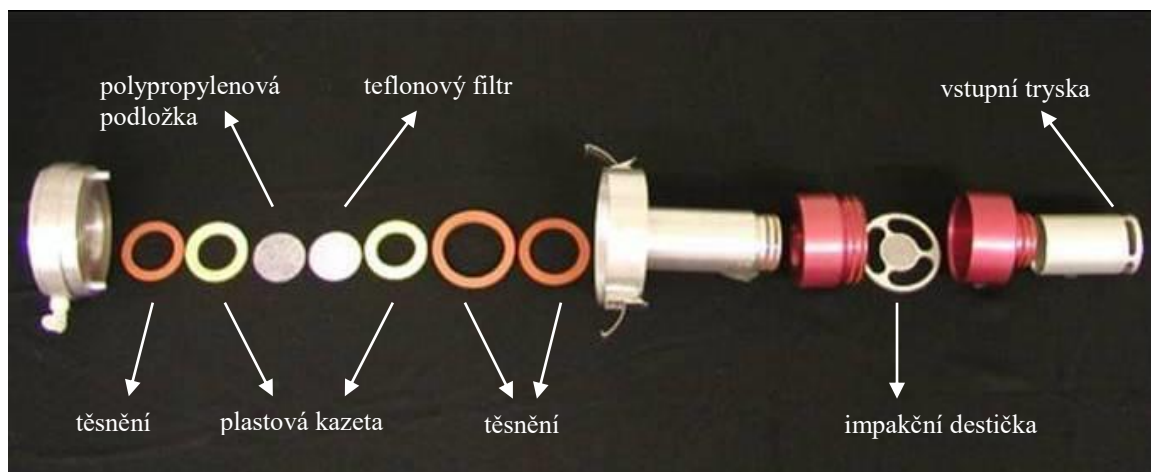
foto M. Braniš

Vlastní měřicí jednotka Harvard Impaktoru byla složena z pumpy, dvou větráků, časoměru a impaktorové hlavice, jednotlivé části byly propojeny plastovými hadicemi, jejichž poloměry ohybu byly zachovávány co největší, přístroj byl napájen elektrickým proudem (220 V). Impaktorová hlavice (Obr. 3), byla umístěna na stojanu ve svislé poloze základnou vzhůru ve výšce kolem 160 cm (místo vdechování člověka průměrné výšky). Kazeta s filtrem a podložkou umístěná v základně impaktoru byla utěsněna dvěma plochými těsněními a fixačním gumovým kroužkem. V další části impaktoru byla vložena impakční destička (vždy zdrsňeným terčem navlhčeným silikonovým olejem čelně proti vstupní trysce). Impaktor byl ukončen vstupním nástavcem, který byl snadno snímatelný pro připojení průtokoměru. Všechny díly impaktoru byly na sebe nasouvateľné a utěsněny gumovými o-kroužky. Pro snadnější manipulaci byla těsnění lehce natřena silikonovým olejem. Průtok Harvard Impaktorem byl regulován tzv. “kritickým otvorem”, což je skleněná trubice zužující se do kapiláry umístěná v hadici před pumpou. Maximální možný průtok plynu byl dán průměrem otvoru, délkou kapiláry a tlakovým rozdílem na vstupu a výstupu kritického otvoru. K měření průtoku

byl používán přenosný průtokoměr (rotametr) a měření byla prováděna vždy dvakrát. Poprvé asi po minutovém “zahřívacím” běhu pumpy na počátku měření a podruhé asi minutu před ukončením chodu pumpy. Hodnota průtoku v $l \cdot min^{-1}$ byla získána přepočtem z kalibrační křivky. Vzhledem k tomu, že byl použitý rotametr kalibrován na teplotu $21^{\circ}C$, bylo nutné provést korekci hodnot podle teploty, při níž byl průtok měřen (Donkelaar et al., 1996). Při poklesu průtoku pod přípustnou mez $9 l \cdot min^{-1}$ (způsobeno částečným ucpáním filtru zachyceným aerosolem), byly hodnoty naměřených koncentrací vyloučeny. V období extrémně vysokých koncentrací byl do obvodu zařazen časový spínač přerušující elektrický příkon pumpy v přibližně půlhodinových intervalech.

Před vážením bylo nutné filtry ekvilibrovat na konstantní vlhkost vzduchu (při $24^{\circ}C$ – přibližně 50% vlhkost), proto byly vloženy minimálně na 24 hodin do exikátoru s nasyceným roztokem uhličitanu draselného (K_2CO_3). Takto připravené filtry byly zváženy na vahách Sartorius s přesností na setiny miligramu (chyba měření 4,3%). Do impaktoru byly filtry vkládány v plastových kazetách podložené polypropylenovou podložkou, která mechanicky bránila prohýbání filtru vlivem podtlaku. Do místa odběru byly kazety s filtry převáženy ve sterilních Petriho miskách zabaleny v mikrotenových sáčkách, aby bylo zabráněno případné kontaminaci. Po 24-hodinové expozici byl filtr i s kazetou opatrně vyndán z impaktoru, vložen do Petriho misky a odvezen zpět do laboratoře. Zde byly filtry opět alespoň na 24 hodin vloženy do exikátoru s roztokem uhličitanu draselného, poté byly za konstantní vlhkosti zváženy s přesností na setiny miligramu. Množství zachyceného aerosolu na filtru bylo zjištěno z rozdílu hmotností filtru před a po expozici. Zvážené exponované filtry byly pro další analýzu uchovány v označených Petriho miskách v ledničce při $4^{\circ}C$.

Obr. 3 Jednotlivé části impaktorové hlavičky Harvard Impaktoru



Black Smoke

K odhadu obsahu elementárního uhlíku v atmosférickém aerosolu byla použita metoda Black Smoke založena na aktivním odběru aerosolu, kdy výsledná koncentrace BS v ovzduší byla vypočítána standardizovaným postupem na základě reflektance (odrazivosti světla) zachyceného aerosolu, plochy skvrny se zachyceným aerosolem a objemem prosátého vzduchu (OECD, 1964). Vzduch byl prosáván rychlostí $1425 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ přes papírový filtr (Whatman No.1) maloodběrovým zařízením (navrženo Holandským národním ústavem veřejného zdraví a životního prostředí) a reflektance byla stanovena „Smoke stain“ reflektometrem M43D. Výsledná koncentrace byla spočítána dle vztahu $C = A \cdot S \cdot (V_1 - V_0)$, kde C = koncentrace BS frakce ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), A = plocha exponované části filtru (cm^2), S = koncentrace uhlíkatých částic v zachyceném aerosolu ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) a $V_1 - V_0$ = objem prosátého vzduchu (m^3). Koncentrace uhlíkatých částic v aerosolu zachyceném na filtru (S) byla stanovena na základě naměřené reflektance R (%) podle následujícího polynomu: $S = 602,40 - 21,89 \cdot R + 3,26 \cdot 10^{-1} \cdot R^2 - 2,32 \cdot 10^{-3} \cdot R^3 + 6,48 \cdot 10^{-6} \cdot R^4$ (Christolis et al., 1992). Pro dnešní charakter znečištění ovzduší se tato metoda z roku 1964 ukázala již jako nevhodná (Hamilton et al., 1995; Roemer et al., 2001; Laskus, 1983), pro přibližný odhad obsahu elementárního uhlíku v atmosférickém aerosolu je však postačující.

Odběrová aparatura pro BS frakci atmosférického aerosolu byla složena z pumpy, plynoměru, kritického otvoru, ukazatele podtlaku, odběrové nálevky a kazety s filtrem. Nálevka směřovala směrem svisle dolů a byla umístěna ve výšce kolem 160 cm (přibližně úroveň vdechování člověka průměrné výšky). Reflektance exponovaných filtrů byla měřena v procentech reflektometrem, který je tvořen wolframovou lampou s fotonásobičem. 100 %-ní reflektance byla nastavena pro čistý papírový filtr, u exponovaných filtrů platilo, že čím byl filtr tmavší, tím byla reflektance nižší. Vzhledem k tomu, že aerosol není na filtru rozmístěn homogenně, byla reflektance měřena vždy na 10 místech filtru a poté zprůměrnována. Koeficient variance z těchto 10 naměřených hodnot činil v průměru 2,6%.

Meteorologická data

Během první zimní měřicí kampaně (1997/98) a letní kampaně (1998) byla v místě odběru měřena teplota vzduchu v době výměny filtru a minimální/maximální denní teplota pomocí min-max teploměru. Od 7.10.1998 byl na stojan aparatury nainstalován automatický teploměr, anemometr a větrná růžice firmy Envitech Bohemia. Změny teploty vzduchu, směru a rychlosti větru byly snímány v pravidelných 5 minutových intervalech a ukládány do dataloggeru. Během měřicí kampaně (2003) byly automatický teploměr (COMMETER D3121), anemometr a větrná růžice umístěny přibližně v polovině vzdálenosti mezi oběma měřícími místy. Pro jednotnost původu dat pro všechny sledované kampaně byly provedeny následné analýzy s daty o směru a rychlosti větru poskytnutými ČHMÚ z meteorologické stanice v Ruzyni. Převládající směr větru během dne byl spočítán metodou zavedenou A.A. Kaminským a upravenou E.S. Rubinštejnovou na základě rozdělení četností směrů větru během dne (Nosek, 1972).

Metoda mineralizace

K rozkladu zachyceného aerosolu byla použita metoda mineralizace za zvýšeného tlaku a teploty (Hovorka, 1996). Z membránových filtrů se zachyceným

aerosolem byl opatrně odříznut plastový okraj a po té byla exponovaná část filtru společně se skleněnou kuličkou vložena do malé PTFE víálky (objem 3 ml, Savillex). K filtrům bylo přidáno 0,5 ml kyseliny dusičné (Ultrapure) a 10 µl kyseliny sírové (Ultrapure) a uzavřeny PTFE víčkem. Takto připravené víálky byly vloženy do větších PTFE viálek (60 ml, Savillex) společně s 5 ml kyseliny dusičné a opět důkladně uzavřeny PTFE víčkem. Víálky byly vždy po 6 umístěny do mineralizační jednotky (mikrovlnná trouba MSD-81 D, CEM), kde s pomocí předem ověřeného programu uloženého v paměti přístroje byla provedena mineralizace v mikrovlnném poli. Tento program je dvoukrokový a trvá 14 minut. Po jeho skončení byly víálky ochlazeny ve vodní lázni. Obsah malých viálek byl po té převeden do 20 ml polyethylenových vzorkovnic a doplněn deionizovanou vodou na 20 ml roztoku. Paralelně se vzorky byl mineralizován čistý neexponovaný filtr, který byl použit jako blank. Veškeré procedury s exponovanými filtry byly prováděny v laminárním boxu třídy 100 (Holten 2448). Takto připravené vzorky byly skladovány v chladničce a po té poslány k analýzám na ICP-MS.

Stanovení koncentrací stopových prvků – metoda ICP – MS

Koncentrace vybraných stopových prvků (Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, As, Se, Sr, Cd a Pb) byly stanoveny metodou ICP-MS (hmotnostní spektrometr s indukčně vázanou plazmou) na Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK za těchto podmínek měření:

- použitá aparatura: Spektrometr PQ 3 (fy VG Elemental GB), peristaltická pumpa, podavač,
- podmínky měření: průtok Ar (čistota 5.0) chladicí 13,8 l/min, přídavný 1,2 l/min, průtok zmlžovače 0,7 l/min, výkon ICP 1350 W,
- napětí na iontové optice – optimalizované roztokem 10 ppb ¹¹⁵In,
- měření “peak jump”, počet bodů na píku 3, dwell time 10,24 ms,
- doba měření 3x40 s,
- standard Merck 30, Astatol mix 30 (Analytika, ČR),
- chyba měření (RSD) < 1%,
- referenční materiál NIST 1575 (jehlice borovic), NIST 1515 (listy jabloně).

„Blank“ vzorky

Spolehlivost měření byla ověřována prováděním „blank“ měření. Celkem bylo získáno vzhledem k počtu exponovaných filtrů kolem 7% „blank“ filtrů, z nichž byla vypočtena mez detekce. Mez detekce byla stanovena jako trojnásobná směrodatná odchylka (3σ) průměrné hodnoty rozdílů hmotností slepých pokusů (Janssen et al., 1997) pro obě aerosolové frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$. Jako trojnásobek směrodatné odchylky (3σ) průměrné hodnoty koncentrace pro každý měřený prvek z blank vzorků byly spočteny rovněž meze detekce pro koncentrace sledovaných prvků. Z důvodů velkého množství hodnot pod mezí detekce u Cu v měřící kampani v roce 2003 nejsou hodnoty Cu této měřící kampani vůbec uváděny (Tab. 1).

Tab. 1 Meze detekce a podíl hodnot pod mezí detekce

1997-1999			2003		
	mez detekce (MD)	počet hodnot pod MD v % - PM_{10}	mez detekce (MD)	počet hodnot pod MD v % - PM_{10}	počet hodnot pod MD v % - $PM_{2,5}$
PM_{10}	$\mu g \cdot m^{-3}$ 4,6	-	$\mu g \cdot m^{-3}$ 4,6	-	-
$PM_{2,5}$	$\mu g \cdot m^{-3}$ neměřeno	-	$\mu g \cdot m^{-3}$ 4,6	-	-
Al	$\mu g \cdot l^{-1}$ neměřeno	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 1,463	-	3
As	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,028	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,072	-	-
Cd	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,007	1	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,020	-	-
Co	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,009	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,017	3	3
Cr	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,207	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,077	-	-
Cu	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,095	2	$\mu g \cdot l^{-1}$ 1,740	55	45
Mn	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,046	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,157	-	6
Ni	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,940	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,127	-	18
Pb	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,029	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,233	-	6
Se	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,459	2	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,246	8	12
Sr	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,005	2	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,040	3	-
Ti	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,342	1	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,112	-	-
V	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,013	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,061	-	-
Zn	$\mu g \cdot l^{-1}$ 0,507	-	$\mu g \cdot l^{-1}$ 2,165	3	6

Data ze srovnávaných městských lokalit

Data použitá ke srovnání znečištění ovzduší atmosférickým aerosolem malého sídla s ovzduším okolních větších měst byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým

ústavem. Denní koncentrace PM_{10} v okolních městech ve Slaném (16 tis. obyvatel), v Berouně (18 tis. obyvatel) a v Praze (1 200 tis. obyvatel) byla měřena v rámci automatického imisního monitoringu (AIM), přičemž hodnota pro Prahu byla spočtena jako průměrná hodnota ze 13 měřících míst v Praze. Měření bylo prováděno kontinuální radiometrickou metodou, která je založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtračním materiálu. Konečný údaj o koncentraci PM_{10} byl odvozen z rozdílu absorpce beta záření mezi exponovaným a neexponovaným filtračním materiálem, tento rozdíl byl úměrný hmotnosti zachyceného prašného aerosolu. Pro měření byl použit automatický analyzátor Verewa s mezí detekce $3,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Fiala et al. (2000) ex Hůnová and Šantroch, 2000).

Statistické zpracování dat

Vzhledem k nenormálnímu rozdělení sledovaných dat, byl kromě aritmetického průměru, směrodatné odchylky a rozsahu uváděn i medián. Významné funkční závislosti mezi předpokládanou závisle proměnnou (např. denní koncentrace PM_{10} , denní koncentrace BS, denní koncentrace vybraných prvků) a nezávisle proměnnou (např. průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) byla vyjádřena pomocí rovnice regresní přímky (křivky). Hledaná závislost byla potvrzena či zamítnuta na základě hodnoty odpovídající hladině významnosti Spearmanova korelačního koeficientu. Zároveň byly hledány vzájemné závislosti mezi naměřenými koncentracemi PM, vzájemné závislosti mezi naměřenými koncentracemi sledovaných prvků a mezi naměřenými koncentracemi PM a stanovenými prvky. Jednalo se o proměnné nezávislé zatížené pouze náhodnou variabilitou. Míra těsnosti tohoto vztahu - korelace byla rovněž vyjádřena pomocí Spearmanova korelačního koeficientu s odpovídající hladinou významnosti. Pro porovnání koncentrací PM, BS a prvků mezi sledovanou lokalitou a okolními městy a mezi dvěma měřícími místy v obci byla použita neparametrická obdoba párového t-testu, Wilcoxonův test, srovnávající soubory dat pomocí mediánů a pořadí pozorování nikoliv pomocí průměrů. Pro určení statisticky významných rozdílů při sledování souvislostí mezi naměřenými koncentracemi

a faktory, jako je směr větru a den v týdnu, byl použit Kruskal-Wallis test. Veškeré výpočty byly prováděny pomocí programu Excel a statistického programu Statistica.

3. Výsledky

3.1 Měřicí kampaně 1997 – 1999

V letech 1997 až 1999 byly během tří měřících kampaních, ve dvou zimních a jedné mimotopné sezóně, sledovány 24-hodinové koncentrace PM₁₀ a BS. Následně byla provedena chemická analýza odebraného PM₁₀ materiálu a byla stanovena koncentrace vybraných prvků.

3.1.1 Koncentrace PM₁₀, BS

Zimní období (8.12.1997 – 5.4. 1998)

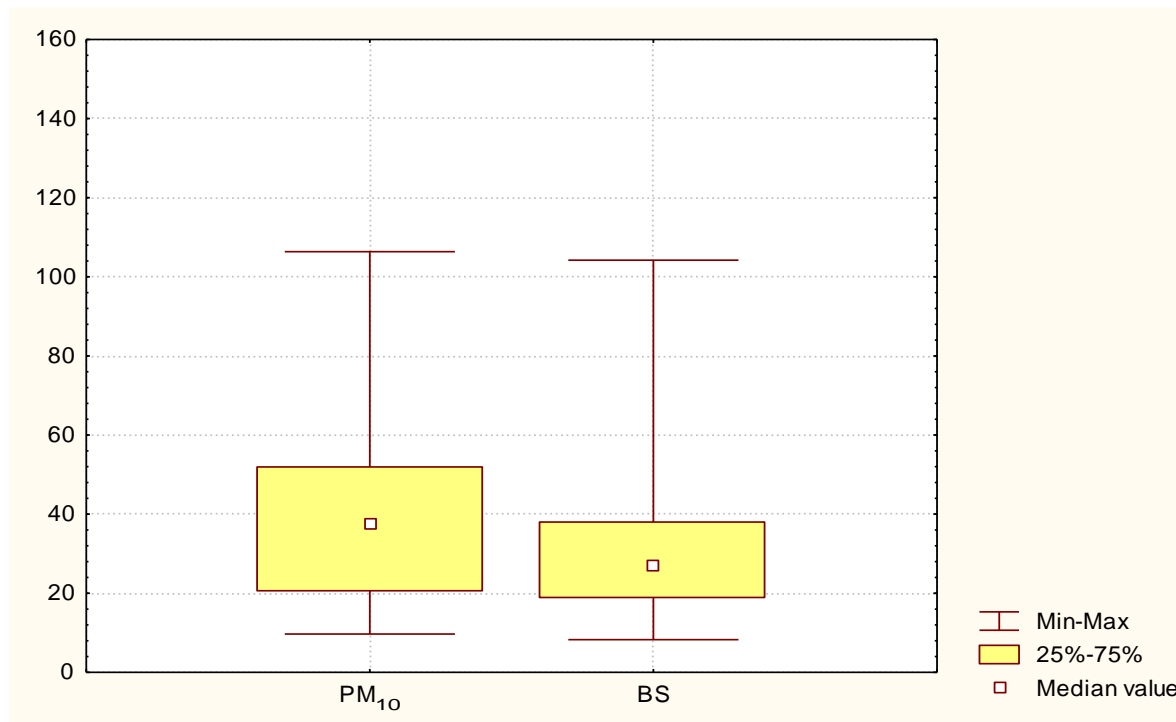
Během tohoto sledovaného zimního období se 24-hodinové koncentrace ve Žloutkovicích pohybovaly od 9,7 do 106,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro PM₁₀ a od 8,3 do 104,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS (Tab. 2). Průměrná koncentrace za celé období byla naměřena 41,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro PM₁₀ a 31,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS. V době odběru navržený (dnes již platný) denní limit pro PM₁₀ (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl během prvního zimního období překročen ve 27 případech měření (27%).

Tab. 2 Koncentrace PM₁₀ a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřená ve Žloutkovicích v prvním zimním období od 8.12.1997 do 5.4.1998

Zimní období 8.12.1997 - 5.4.1998 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)								
	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	101	38,2	21,0	37,7	9,7	106,4	34,1	42,4
BS	109	31,5	18,5	27,1	8,3	104,2	28,0	35,0

Medián koncentrace PM₁₀ představuje hodnotu 37,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 27,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS koncentraci (Obr. 4).

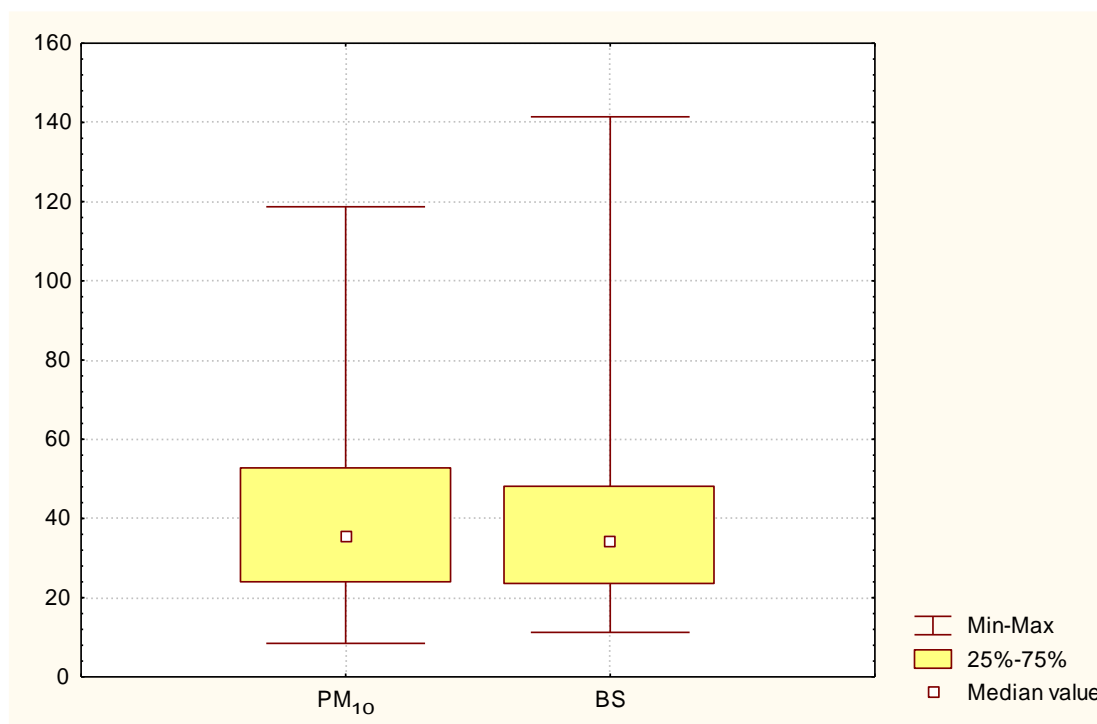
Obr. 4 Koncentrace PM₁₀ a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřená ve Žloutkovicích v období od 8.12.1997 do 5.4.1998



Zimní období (7.11.1998 – 31.3.1999)

Ve druhém sledovaném zimním období byla naměřena 24-hodinová koncentrace PM₁₀ ve Žloutkovicích v rozmezí od 8,5 do 118,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, koncentrace BS se pohybovala od 11,3 do 141,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Tab. 3). Průměrná koncentrace PM₁₀ za sledované období byla ve zvolené obci naměřena 41 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a koncentrace BS 39 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ve 42 případech (31,6%) byl během druhého zimního období překročen denní limit EU pro koncentrace PM₁₀ 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V několika případech (nejvýrazněji je to patrné ve dnech: 8.11., 28.11., 19.12., 28.12., 6.1., 8.1., 17.1., 1.2., 11.2., 19.-21.2, 28.2) byly v tomto období naměřeny vyšší koncentrace pro BS než pro PM₁₀, v březnu již k tomuto jevu téměř nedošlo. Pro březen je také typické, že vyšších hodnot dosahovala pouze koncentrace PM. Období zvýšených koncentrací jak pro PM tak i pro BS bylo zaznamenáno v období od 22.11.-4.12.1998.

Obr. 5 Koncentrace PM₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloutkovicích během období od 7.11.1998 do 31.3.1999



Mediány obou sledovaných veličin byly v tomto období vyrovnané, pro PM₁₀ představuje hodnotu 35,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a 34,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pro BS koncentraci (Obr. 5).

Tab. 3 Koncentrace PM₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloutkovicích během období od 7.11.1998 do 31.3.1999

Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)								
	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	133	41,0	22,9	35,3	8,5	118,7	37,1	44,9
BS	143	39,0	22,3	34,3	11,3	141,4	35,4	42,7

Mimotopná sezóna (duben – říjen 1998)

V mimotopném období (tj. vybrané, zpravidla týdenní, měřicí kampaně od dubna do října) byly 24-koncentrace PM₁₀ a BS v porovnání se zimním obdobím naměřeny výrazně nižší. V průměru byly koncentrace BS téměř o polovinu nižší (0,6-krát) než koncentrace PM₁₀. Naměřené koncentrace se ve Žloutkovicích pohybovaly od 11,8 do 66,9 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pro PM₁₀ a od 7,9 do 37,9 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pro BS (Tab. 4). Denní limit EU pro koncentrace PM₁₀ (50 $\mu\text{g.m}^{-3}$) byl během mimotopné sezóny překročen pouze ve dvou případech (ve 4,4% měření). Nejvýraznější rozdíly mezi koncentracemi PM a BS byly naměřeny v letních měsících (červen, červenec, srpen). V porovnání s prvním

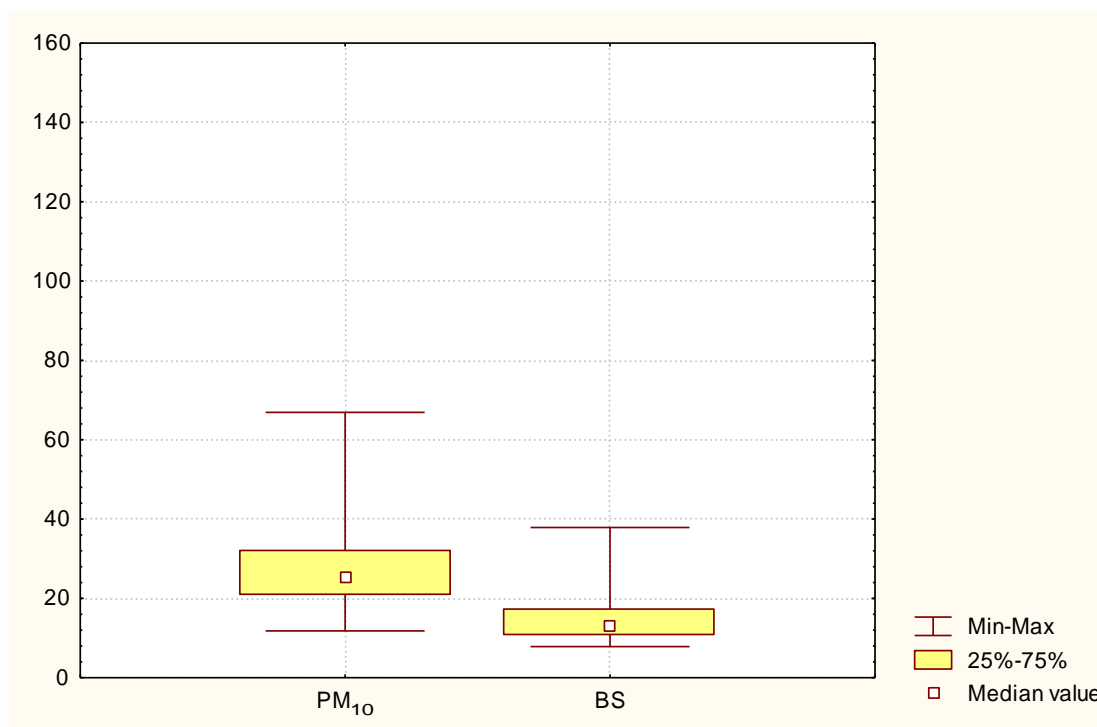
zimním obdobím byly v průměru koncentrace PM₁₀ nižší 0,7-krát, pro BS 0,5-krát, ve druhém zimním období stejně 0,7-krát nižší pro PM₁₀ a 0,4-krát nižší pro BS.

Tab. 4 Koncentrace PM₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovicích ve vybraných dnech v období od dubna do října 1998

Mimotopná sezóna duben-říjen 1998 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)								
	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	45	27,5	10,9	25,2	11,8	66,9	24,3	30,8
BS	44	15,2	6,6	13,0	7,9	37,9	13,2	17,2

V tomto období se jak průměry tak i mediány sledovaných škodlivin (PM₁₀, BS) od sebe výrazně lišily, průměrná koncentrace PM₁₀ za sledované období dosáhla ve zvolené obci 27,5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a 15,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pro koncentrace BS. Medián koncentrace PM₁₀ představuje hodnotu 25,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a 13,0 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pro BS koncentraci (Obr. 6).

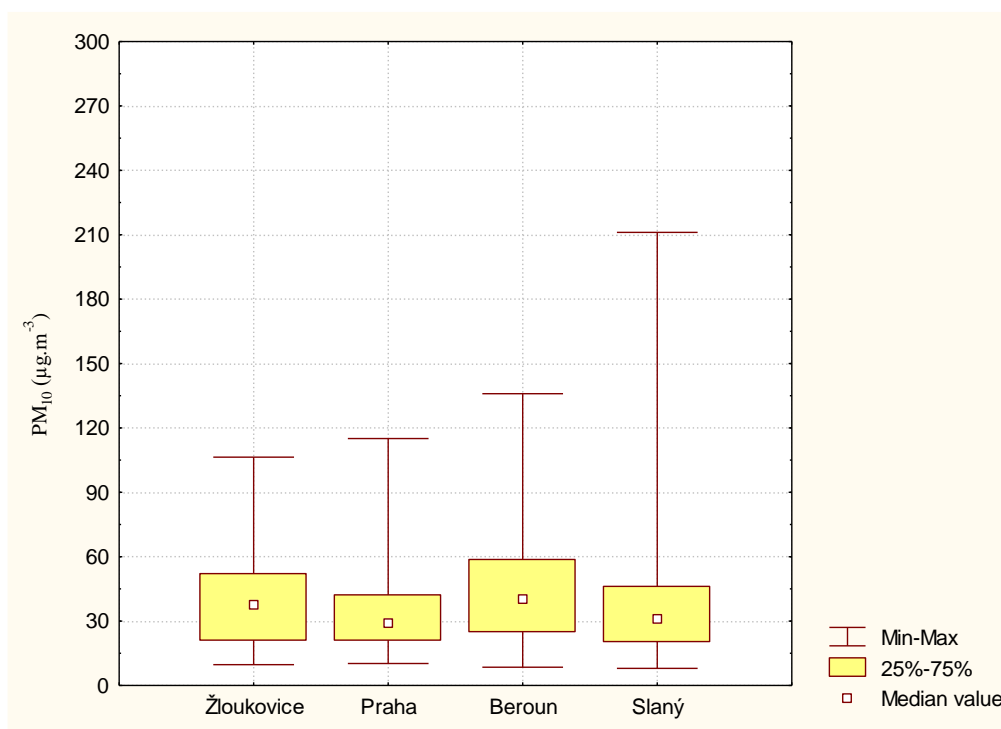
Obr. 6 Koncentrace PM₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovicích ve vybraných dnech v období od dubna do října 1998



3.1.2 Koncentrace PM₁₀ ve srovnání s okolními městy

Naměřené 24-hodinové koncentrace PM₁₀ ve zvolené venkovské lokalitě v obou sledovaných zimních obdobích dosahovaly podobných hodnot jako koncentrace PM₁₀ naměřené v rámci automatického imisního monitoringu v okolních větších městech v Praze, v Berouně a ve Slaném (Obr. 7 a 8). Průměrná koncentrace naměřená ve Žloutkovicích (38 a 41 μg.m⁻³) dosáhla dokonce vyšších hodnot než průměrná hodnota charakteristická pro Prahu (34 a 32 μg.m⁻³) a to v obou zimních obdobích (Tab. 5). Zároveň byla vyšší i než průměrná koncentrace naměřená ve Slaném v druhém zimním období (29 μg.m⁻³) (Tab. 5).

Obr. 7 Koncentrace PM₁₀ v μg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném od 8.12. 1997 do 5.4. 1998



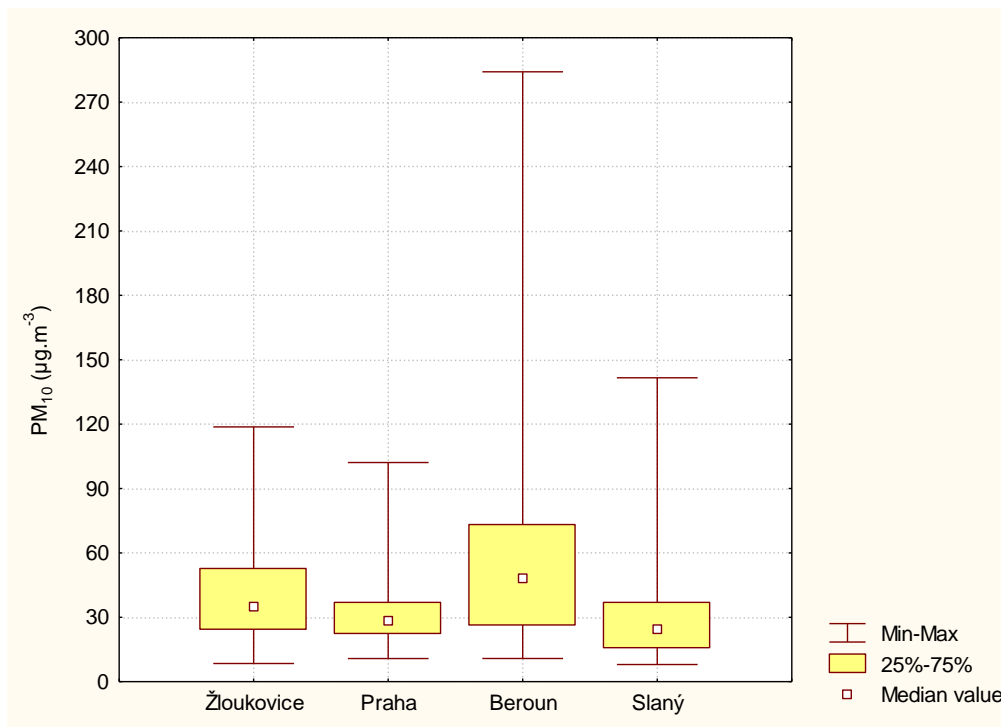
Rozdíly mezi lokalitami byly statisticky průkazné, je ovšem nutno ovšem podotknout, že průměrná hodnota pro Prahu byla spočtena ze všech měřicích stanic v Praze, tedy i z okrajových částí.

Tab. 5 Koncentrace PM₁₀ v µg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném od 8.12. 1997 do 5.4. 1998 a od 7.11.1998 – 31.3.1999

Zimní období 8.12.1997 - 5.4.1998 (µg.m ⁻³)										
	Lokalita	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)	
PM ₁₀	Žloutkovice	101	38,2	21,0	37,7	9,7	106,4	34,1	42,4	
	Praha	119	33,9	19,1	29,1**	10,2	115,0	30,4	37,3	
	Beroun	117	44,9	27,1	40,4*	8,5	135,9	39,9	49,9	
	Slaný	118	42,8	38,3	30,9	8,0	211,1	35,8	49,8	
	Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999 (µg.m ⁻³)									
	Žloutkovice	133	41,0	22,9	35,3	8,5	118,7	37,1	44,9	
	Praha	145	32,1	15,8	28,3***	10,8	102,1	29,5	34,7	
	Beroun	139	59,7	47,3	47,8***	10,8	284,1	51,7	67,6	
Slaný	131	28,9	19,5	24,2***	8,0	141,6	25,6	32,3		

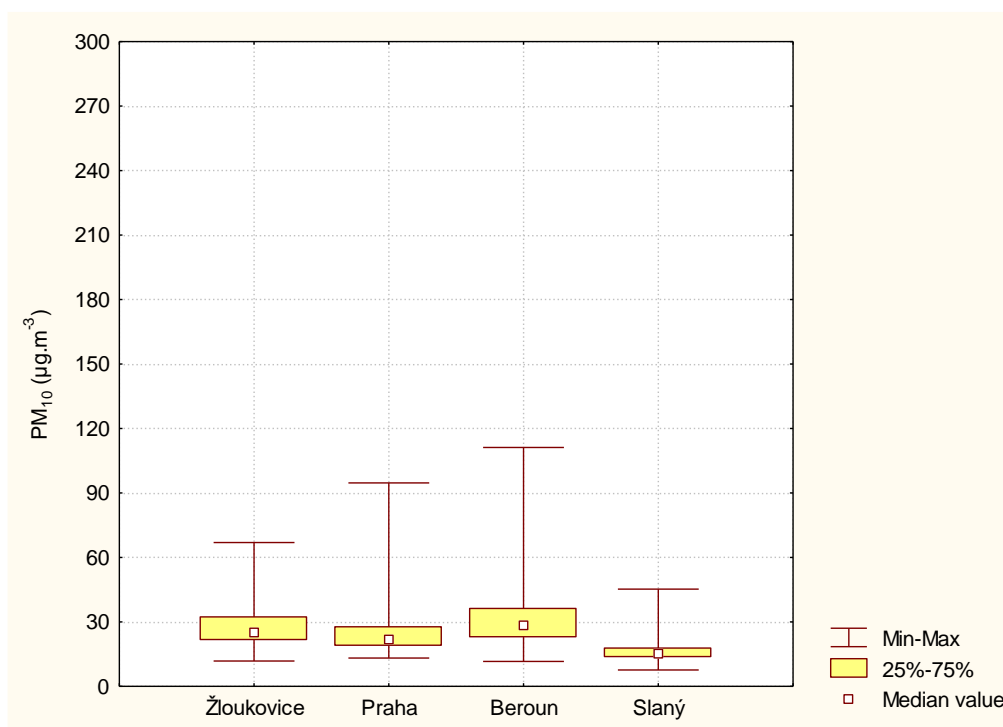
Poznámka: statisticky průkazný rozdíl mezi obcí a městskou lokalitou *p<0,1, ** p<0,01, *** p<0,0001

Obr. 8 Koncentrace PM₁₀ v µg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném od 7.11.1998 – 31.3.1999



Koncentrace PM₁₀ ve venkovské lokalitě dosahovaly úrovně koncentrací PM₁₀ ve vybraných městech i během mimotopné sezóny (Obr. 9). Průměrná koncentrace za mimotopnou sezónu byla ve Žloutkovicích shodná s průměrnou koncentrací získanou v Praze a odpovídala 27 µg.m⁻³ (Tab. 6).

Obr. 9 Koncentrace PM₁₀ v µg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném ve vybraných dnech v době od dubna do října 1998



Tab. 6 Koncentrace PM₁₀ v µg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném ve vybraných dnech v době od dubna do října 1998

Mimotopná sezóna duben-říjen 1998 (µg.m ⁻³)									
	Lokalita	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	Žloutkovice	45	27,5	10,9	25,2	11,8	66,9	24,3	30,8
	Praha	44	27,4	17,7	21,8	13,2	94,6	22,0	32,8
	Beroun	44	36,5	24,6	28,4*	11,6	111,2	29,1	44,0
	Slaný	44	16,2	6,2	15,4***	7,6	45,2	14,3	18,1

Poznámka: statisticky průkazný rozdíl mezi obcí a městskou lokalitou *p<0,1, *** p<0,0001

Naměřené koncentrace PM₁₀ ve Žloutkovicích s koncentracemi PM₁₀ naměřenými za stejné časové období v Praze, Berouně a Slaném velmi silně korelovaly (Tab. 7 a 8). Mezi koncentracemi PM₁₀ ve všech sledovaných lokalitách byly nalezeny velmi vysoké korelační koeficienty, statisticky průkazné již na 0,0001 hladině významnosti. Nejsilnější korelace byla objevena mezi Berounem a Prahou (0,85 a 0,87), sledovaná lokalita ve Žloutkovicích nejsilněji korelovala s Berounem (0,72) v prvním zimním období a se Slaným ve druhém zimním období (0,58).

Tab. 7 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ naměřenými ve čtyřech sledovaných lokalitách v období od 8.12.1997 do 5.4.1998

Zimní období 8.12.1997 - 5.4.1998						
	Žloukovice		Praha		Beroun	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Praha	0,688	0,0000	1			
Beroun	0,720	0,0000	0,850	0,0000	1	
Slaný	0,692	0,0000	0,755	0,0000	0,793	0,0000

Hodnoty Spearmanových korelačních koeficientů mezi koncentracemi PM₁₀ naměřenými během druhého zimního období nedosahovaly již tak vysokých hodnot jako v prvním zimním období, přesto byly ve všech případech statisticky průkazné již na 0,0001 hladině významnosti (Tab. 8).

Tab. 8 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ naměřenými ve čtyřech sledovaných lokalitách v období od 7.11.1998 – 31.3.1999

Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999						
	Žloukovice		Praha		Beroun	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Praha	0,541	0,0000	1			
Beroun	0,487	0,0000	0,866	0,0000	1	
Slaný	0,581	0,0000	0,825	0,0000	0,784	0,0000

Během mimotopné sezóny nebyly nalezené korelace mezi sledovanými lokalitami již tak průkazné jako v zimním období (Tab. 9), korelační vztah statisticky významný na hladině významnosti menší než 0,0001 byl nalezen jen mezi lokalitami Beroun a Praha (0,740, $p < 0,0001$). Kromě vztahu mezi koncentrací ve Žloukovicích a v Berouně byly všechny ostatní korelace průkazné na hladině významnosti menší než 0,01 (Tab. 9). V mimotopném období PM₁₀ v lokalitě Žloukovice nejsilněji korelovala s koncentracemi naměřenými v Praze (0,515, $p < 0,001$).

Tab. 9 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ naměřenými ve čtyřech sledovaných lokalitách v mimotopné sezóně

Mimotopná sezóna duben-říjen 1998						
	Žloukovice		Praha		Beroun	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Praha	0,515	0,0003	1			
Beroun	0,326	0,0307	0,740	0,0000	1	
Slaný	0,401	0,0069	0,460	0,0017	0,426	0,0040

3.1.3 Koncentrace vybraných prvků

Zimní období (12.1.1998 – 5.4.1998)

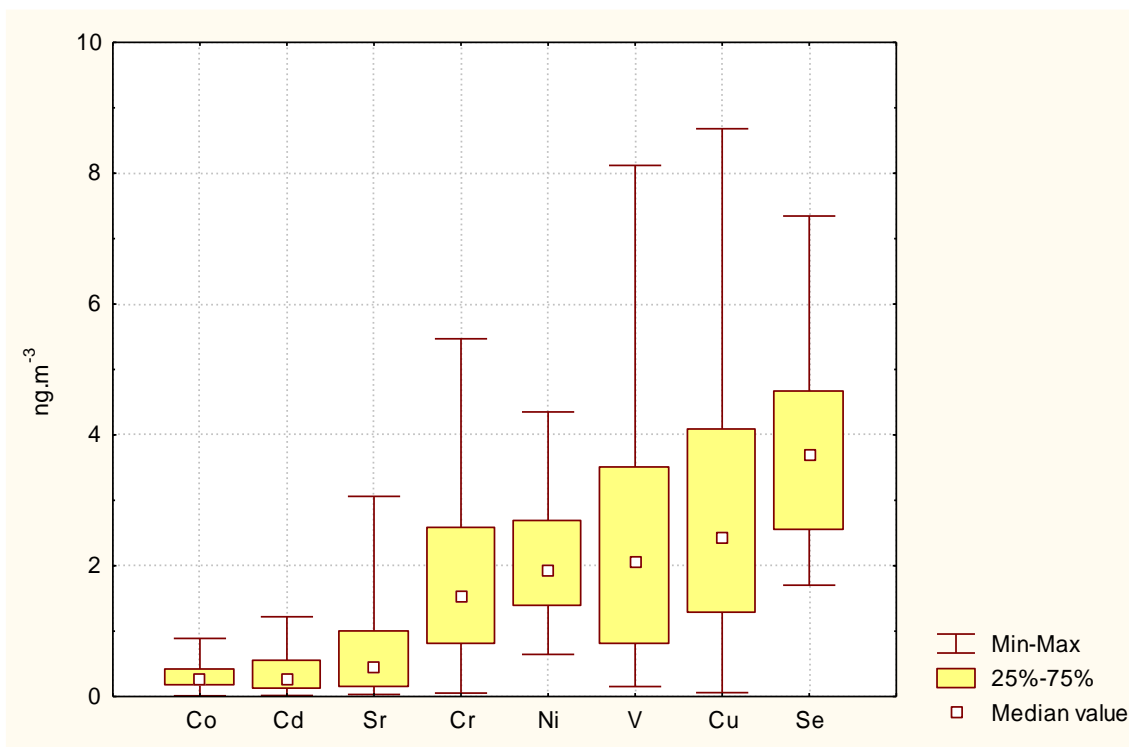
Koncentrace vybraných prvků byly v prvním zimním období z technických důvodů sledovány v nižším počtu vzorků než bylo původně odebráno (viz kapitola 2.). Celkem bylo ze zkráceného prvního zimního období k dispozici 80 exponovaných filtrů, z toho chemická analýza byla úspěšně provedena u 79 filtrů (99%). Naměřené koncentrace vybraných prvků (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V a Zn) jsou uvedené v Tab. 10.

Tab. 10 Koncentrace PM₁₀, BS a vybraných prvků v ng.m⁻³ naměřené ve Žloutkovicích v době od 12.1.1998 do 5.4.1998

Zimní období 12.1.1998 – 5.4.1998 (ng.m ⁻³)								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Minimum	Maximum	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	80	41 220	22 000	40 790	9 710	106 360	36 320	46 110
BS	84	31 270	19 050	26 680	8 280	104 210	27 130	35 400
As	79	7,36	6,16	5,19	0,33	23,02	5,98	8,74
Cd	78	0,37	0,33	0,26	0,02	1,22	0,30	0,45
Co	79	0,30	0,21	0,26	0,01	0,89	0,26	0,35
Cr	79	1,77	1,27	1,52	0,05	5,47	1,49	2,05
Cu	77	3,11	2,50	2,44	0,06	8,68	2,54	3,68
Mn	79	7,16	5,54	5,62	0,08	21,16	5,92	8,40
Ni	79	2,17	0,97	1,94	0,64	4,35	1,96	2,39
Pb	79	34,50	34,60	22,23	0,19	121,27	26,75	42,25
Se	78	3,69	1,39	3,70	1,70	7,35	3,36	4,02
Sr	77	0,70	0,76	0,44	0,03	3,06	0,52	0,89
Ti	78	21,59	11,50	18,50	0,16	52,80	19,01	24,16
V	79	2,33	1,78	2,05	0,15	8,12	1,93	2,73
Zn	79	83,09	77,51	51,11	0,21	282,00	65,72	100,45

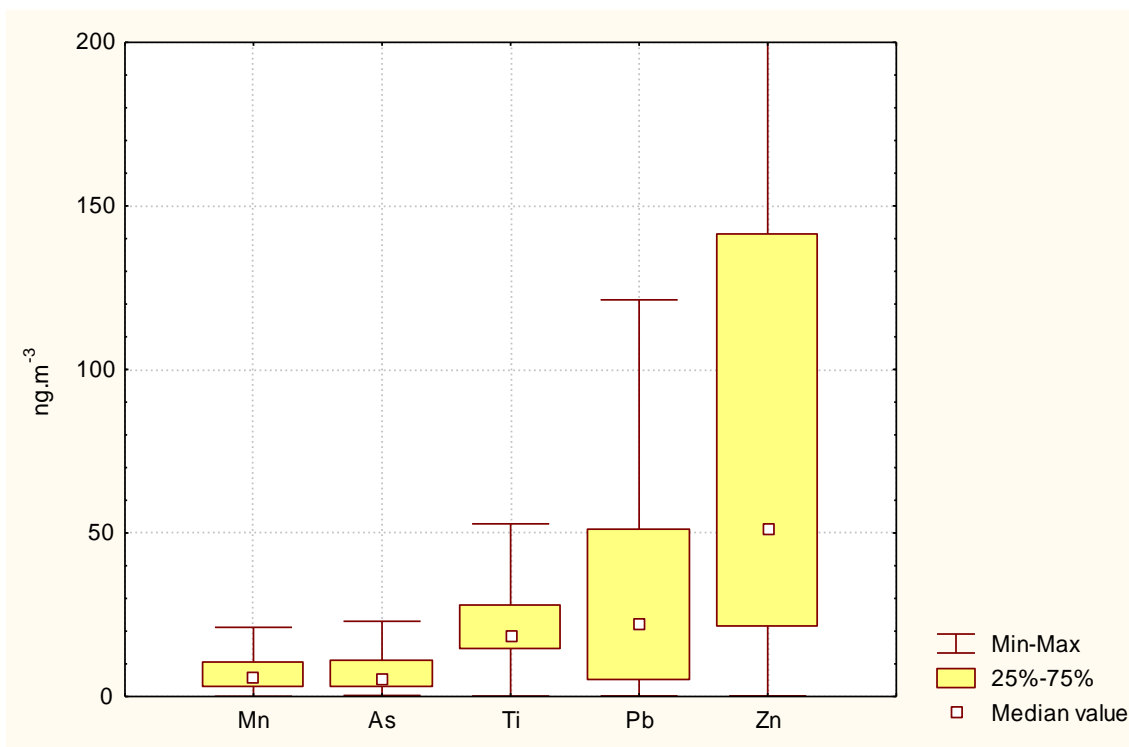
Průměrné hodnoty koncentrací prvků nižší než 1 ng.m⁻³ byly zjištěny u prvků Sr, Cd a Co u prvků V, Cr, Ni, Se, Cu byly průměrné koncentrace za sledované období naměřeny nižší než 4 ng.m⁻³ (Obr. 10).

Obr. 10 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Sr, Cr, Ni, V, Cu, Se) v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve Žloutkovicích v době od 12.1.1998 do 5.4.1998



Nejvyšší zastoupení ve sledovaném materiálu měly kovy Zn, Pb, Ti, As a Mn (Obr. 11)

Obr. 11 Koncentrace vybraných prvků (Mn, As, Ti, Pb, Zn) v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve Žloutkovicích v době od 12.1.1998 do 5.4.1998



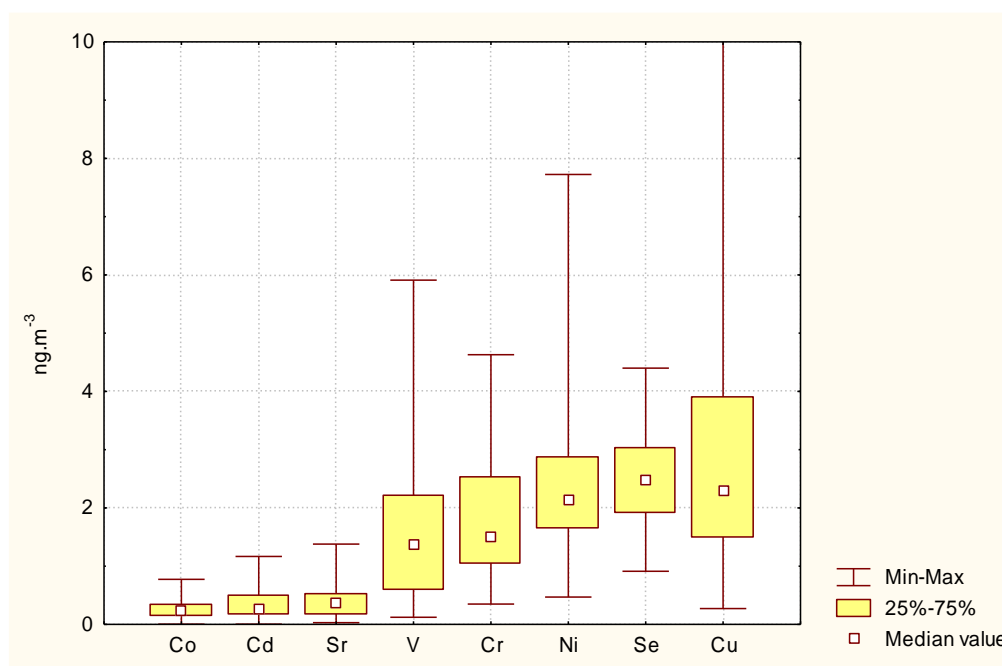
Zimní období (7.11.98 – 31.3.99)

Ve druhém zimním období bylo k dispozici celkem 133 vzorků, úspěšná chemická analýza proběhla u 131 vzorků PM₁₀ (98,5%). Zastoupení prvků ve sledovaných vzorcích odebrané frakce PM₁₀ bylo podobné jako v prvním zimním sledovaném období (Tab. 11). Nejnižší koncentrace byly zjištěny u prvků Sr, Cd a Co (Obr. 12).

Tab. 11 Koncentrace PM₁₀, BS a vybraných prvků v ng.m⁻³ naměřené ve Žloukovicích v době od 7.11.1998 – 31.3.1999

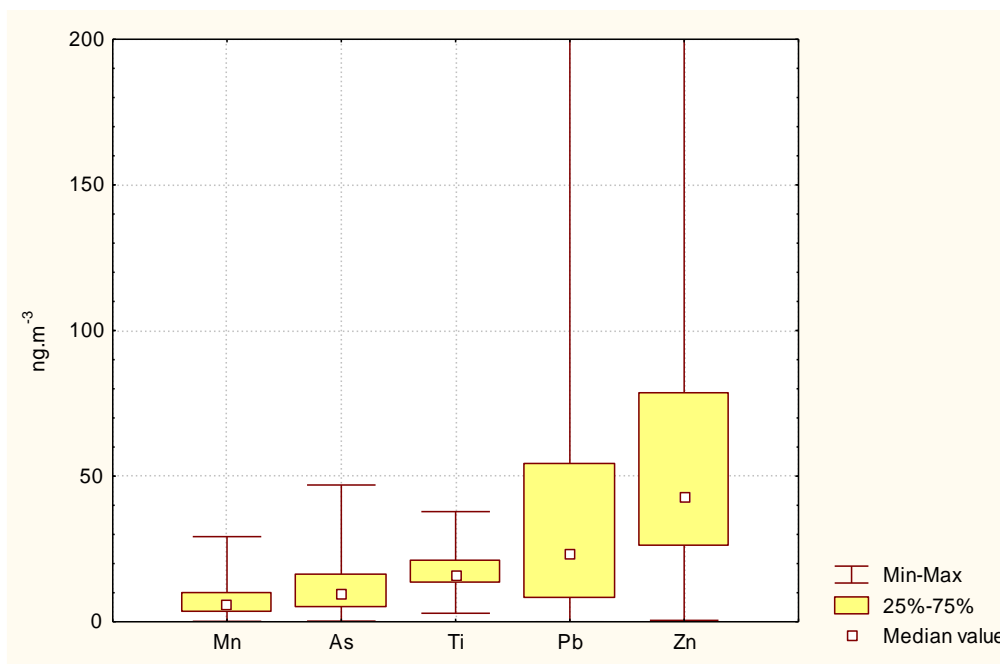
Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999 (ng.m ⁻³)								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Minimum	Maximum	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	133	40 990	22 850	35 300	8 480	118 710	37 070	44 910
BS	143	39 050	22 270	34 340	11 260	141 410	35 370	42 730
As	131	11,36	8,95	9,54	0,24	46,97	9,81	12,91
Cd	131	0,34	0,27	0,28	0,00	1,17	0,30	0,39
Co	131	0,26	0,16	0,23	0,00	0,77	0,23	0,28
Cr	131	1,84	1,05	1,49	0,35	4,63	1,66	2,02
Cu	130	2,98	2,34	2,29	0,27	12,30	2,58	3,39
Mn	131	7,79	6,26	6,06	0,16	29,24	6,71	8,88
Ni	131	2,42	1,19	2,15	0,47	7,72	2,22	2,63
Pb	131	42,15	53,01	23,50	0,01	270,60	32,98	51,31
Se	128	2,48	0,73	2,48	0,91	4,40	2,35	2,61
Sr	130	0,42	0,31	0,36	0,03	1,38	0,36	0,47
Ti	130	17,72	6,31	15,91	2,93	37,83	16,63	18,82
V	131	1,61	1,23	1,38	0,12	5,91	1,39	1,82
Zn	131	63,22	61,86	42,90	0,49	330,00	52,52	73,91

Obr. 12 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Sr, V, Cr, Ni, Se, Cu) v ng.m⁻³ naměřené ve Žloukovicích v době od 7.11.1998 – 31.3.1999



Nejvyšší koncentrace sledovaných prvků byly naměřeny pro Pb, Zn, Ti a As (Obr. 13).

Obr. 13 Koncentrace vybraných prvků (Mn, As, Ti, Pb a Zn) v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve Žloukovicích v době od 7.11.1998 – 31.3.1999



Mimotopná sezóna (duben – říjen 1998)

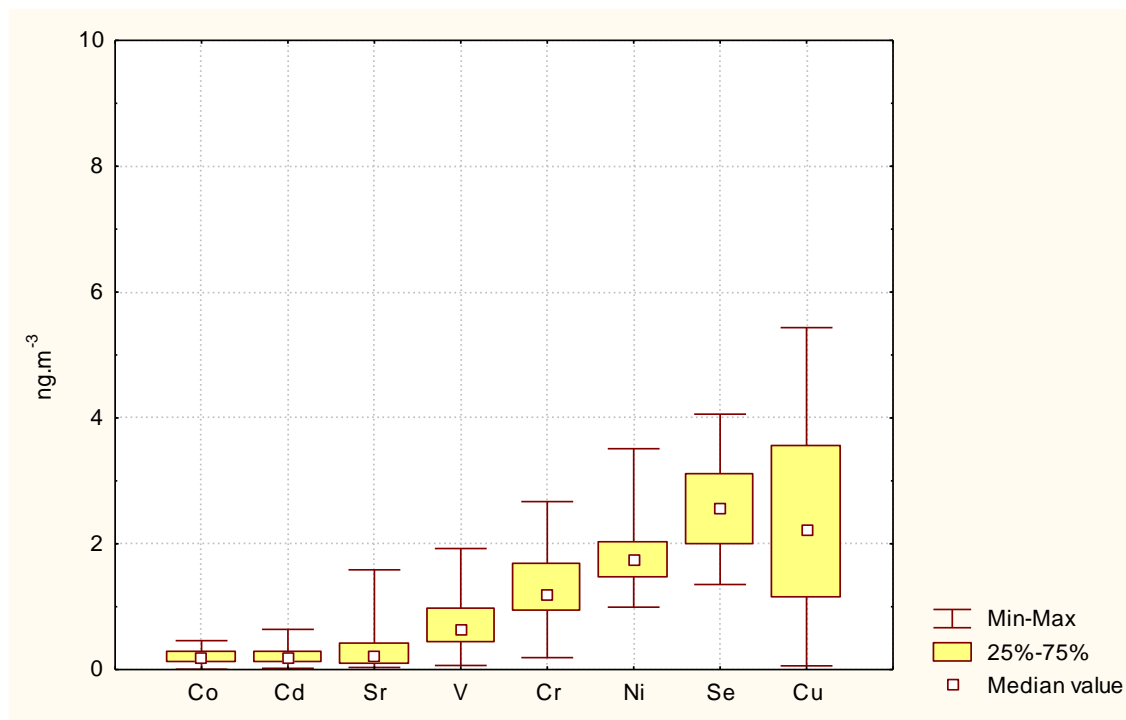
Celkem bylo v tomto období odebráno 45 vzorků PM_{10} , z toho chemická analýza byla úspěšně provedena u 41 filtrů (91%). Naměřené koncentrace sledovaných prvků v letním období (mimotopné sezóně) jsou vedeny v Tab. 12.

Tab. 12 Koncentrace PM_{10} , BS a vybraných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve Žloukovicích v mimotopné sezóně v době od dubna do října 1998

Mimotopná sezóna duben-říjen 1998 ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$)								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Minimum	Maximum	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM_{10}	45	27 530	10 900	25 150	11 800	66 910	24 250	30 800
BS	44	15 200	6 600	13 020	7 850	37 870	13 200	17 210
As	41	1,93	1,26	1,50	0,48	5,01	1,53	2,32
Cd	40	0,22	0,16	0,19	0,02	0,64	0,17	0,27
Co	41	0,20	0,12	0,19	0,01	0,46	0,16	0,24
Cr	41	1,31	0,65	1,18	0,19	2,67	1,11	1,52
Cu	40	2,28	1,40	2,21	0,06	5,44	1,83	2,73
Mn	41	6,46	4,81	5,05	0,27	19,04	4,95	7,98
Ni	41	1,84	0,56	1,74	0,99	3,51	1,66	2,01
Pb	41	12,98	12,13	9,56	0,61	40,70	9,15	16,81
Se	41	2,57	0,68	2,56	1,35	4,06	2,34	2,79
Sr	41	0,37	0,41	0,22	0,03	1,59	0,23	0,50
Ti	41	18,48	9,70	16,23	0,12	41,20	15,42	21,54
V	41	0,76	0,50	0,62	0,07	1,92	0,60	0,92
Zn	41	44,43	33,09	36,98	0,65	145,56	33,98	54,87

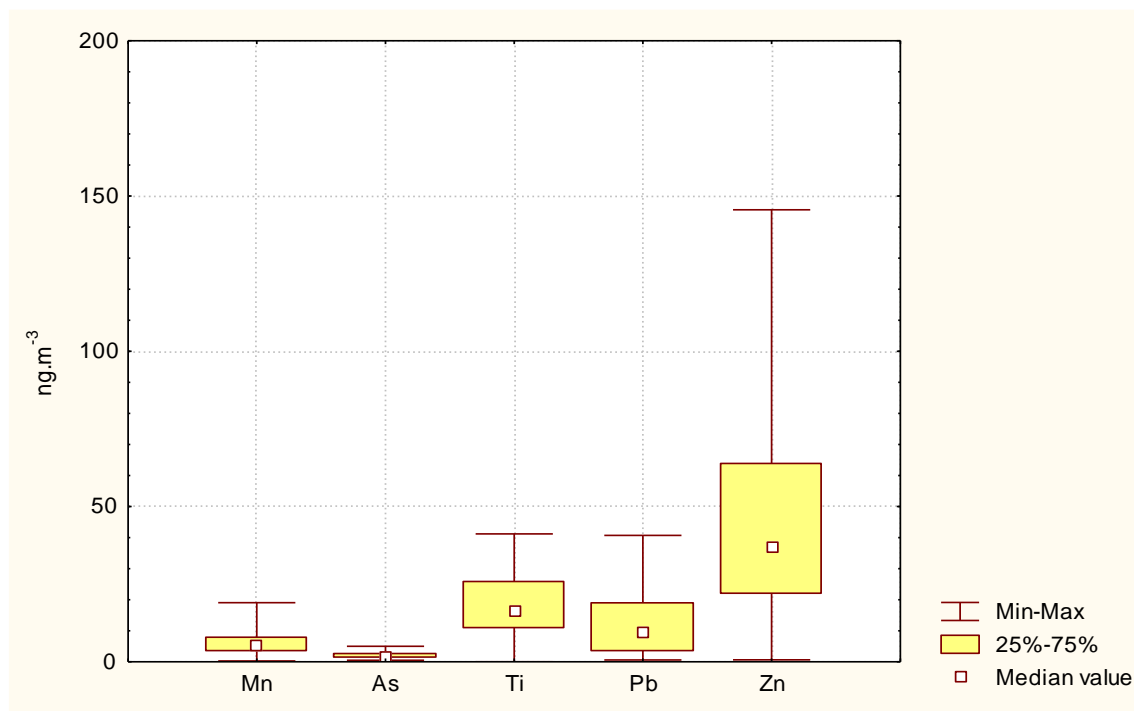
Průměrné koncentrace nižší než 1 ng.m^{-3} byly nalezeny u V, Sr, Cd a Co (Obr. 14).

Obr. 14 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Sr, V, Cr, Ni, Se, Cu) v ng.m^{-3} naměřené ve Žloukovicích v mimotopné sezóně v době od dubna do října 1998



Nejvyšší koncentrace byly naměřeny pro Zn, Ti, Pb a Mn (Obr. 15).

Obr. 15 Koncentrace vybraných prvků (Mn, As, Ti, Pb a Zn) v ng.m^{-3} naměřené ve Žloukovicích v mimotopné sezóně v době od dubna do října 1998



Nejvýznamnější sezónní charakter se projevil u As, jeho koncentrace (medián) byla ve druhém zimním období více než 6-krát vyšší než v mimotopné sezóně (Tab. 13). Poměr mezi koncentrací As v prvním zimním období a v mimotopné sezóně byl kolem 3,4. Statisticky významná ($p < 0,0001$) byla nalezena sezónní variabilita (s vyššími koncentracemi v zimě) v obou zimních období kromě koncentrací BS a As také pro V a Se. Významné rozdíly ($p < 0,001$) byly potvrzeny pro Pb a pro koncentrace PM_{10} a Ni ($p < 0,01$). Méně statisticky průkazné ($p < 0,1$) byly nalezeny rozdíly také pro Cd, Co, Cr, Sr a Ti. Prvky, u nichž byly prokázány statisticky významné rozdíly (alespoň $p < 0,01$), jsou v tabulce 13 zvýrazněny tučně.

Tab. 13 Poměr mediánů koncentrací prvků naměřených v mimotopné sezóně a v zimních období

	Medián koncentrace $ng \cdot m^{-3}$			Poměr (Z1/MS)	Poměr (Z2/MS)
	Mimotopná sezóna (MS)	První zimní období (Z1)	Druhé zimní období (Z2)		
PM_{10}	25 150	40 790	35 300	1,62	1,40
BS	13 020	25 820	34 340	1,98	2,64
As	1,50	5,19	9,54	3,46	6,36
Cd	0,19	0,26	0,28	1,37	1,47
Co	0,19	0,26	0,23	1,37	1,21
Cr	1,18	1,52	1,49	1,29	1,26
Cu	2,21	2,44	2,29	1,10	1,04
Mn	5,05	5,62	6,06	1,11	1,20
Ni	1,74	1,94	2,15	1,11	1,24
Pb	9,56	22,23	23,50	2,33	2,46
Se	2,56	3,70	2,48	1,45	0,97
Sr	0,22	0,44	0,36	2,00	1,64
Ti	16,23	18,50	15,91	1,14	0,98
V	0,62	2,05	1,38	3,31	2,23
Zn	36,98	51,11	42,90	1,38	1,07

Koncentrace námi sledovaných prvků ve venkovské lokalitě v zimním i v letním období byly srovnávány s koncentracemi prvků naměřených ve venkovských a městských lokalitách z jiných evropských zemí, přehled je uveden v tabulce 14. Je nutné připomenout, že data z jednotlivých studií, z kterých byla čerpána, jsou pouze orientační, neboť vybrané lokality se mohou výrazně lišit lokálními podmínkami či počtem obyvatel. Sledované kampaně navíc pocházejí z různých let, doby odběru jsou různě dlouhé a koncentrace daných prvků byly analyzovány z různých frakcí PM materiálu (viz vysvětlivky pod tabulkou). Z českých lokalit jsou v tabulce kromě třech již zmíněných obcí (Kotlík et al., 2005) uvedeny také lokality Bílý kříž, Beroun a Praha.

Tab. 14 Koncentrace vybraných prvků naměřených v různých místech Evropy (ng.m⁻³)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
Žloukovice (1. zim. ob.)^a	7,4	0,4	0,3	1,8	3,1	7,2	2,2	34,5	3,7	0,7	21,6	2,3	83,1
Žloukovice (2. zim. ob.)^b	11,3	0,3	0,3	1,8	3,0	7,8	2,4	42,2	2,5	0,4	17,7	1,6	63,2
Žloukovice (letní ob.)^c	1,9	0,2	0,2	1,3	2,3	6,5	1,8	13,0	2,6	0,4	18,5	0,8	44,4
Třešť^d	0,8	0,5	-	-	-	11,0	-	16,6	-	-	-	-	-
Havlovice^e	5,0	0,6	-	-	-	8,3	-	21,1	-	-	-	-	-
Habartice^f	1,1	0,1	-	-	-	0,3	-	2,4	-	-	-	-	-
Bílý Kříž^g	4,0	-	-	-	4,7	5,9	1,3	29,0	1,0	-	7,1	2,3	51
Beroun^h	5,6	0,6	-	8,6	9,6	6,0	52,5	-	-	-	-	-	-
Prahaⁱ	1,4	1,6	-	4,7	63,2	17,6	5,8	19,1	-	-	-	-	141,3
Madrid^j	-	-	-	9	112	22	4	118	-	8	56	4	93
Solun^k	1,5	0,9	-	4,8	168	23	17	127	-	-	-	41	521
Sevilla^l	3,4	0,5	-	-	-	-	2,9	14	-	-	-	-	-
Athény^m	0,8	0,3	-	-	-	-	4,6	143	-	-	-	-	-
Erbaⁿ	-	-	-	15	75	35	8	140	-	-	75	7	170
Miláno^o	-	-	-	15	60	50	10	170	-	-	55	10	220
Florencie^p	4	-	-	4	16	10	5	64	1	3	25	9	36
Víden^r	-	-	-	11	17	38	5	16	-	-	13	7	13
Víden^s (venkov)	-	-	-	12	15	25	6	11	-	-	13	6	11
Gent^t	-	-	-	-	4,2	5,3	3,9	37	-	-	3,4	11	38
Gent^u (venkov)	-	-	-	-	3,3	4,9	2,4	34	-	-	3,8	5,8	37
Debrecín^v	9,5	-	-	1,8	4,1	4,5	2,1	40	-	-	3,9	3,8	32
Debrecín^x (venkov)	5,3	-	-	2,5	3,2	4,7	1,8	29	-	-	4,1	2,6	23
Žloukovice^y (obec)	3,1	0,2	0,1	0,7	-	4,5	1,4	13,1	0,7	1,0	6,4	0,8	19,2
Žloukovice^z (pozdí)	1,4	0,5	0,3	0,7	-	3,1	0,5	4,8	0,8	1,1	3,8	0,8	10,8

Vysvětlivky:

(u písmen, je vždy vedena frakce aerosolu, z které byly prvky analyzovány, doba měření a citace):

^a PM₁₀, 1-3/1997

^b PM₁₀, 11/1998 – 3/1999

^c PM₁₀, 4-10/1998

^d TSP, 9/2002 – 9/2003, Kotlík et al., 2005

^e TSP, 9/2002 – 9/2003, Kotlík et al., 2005

^f TSP, 9/2002 – 9/2003, Kotlík et al., 2005

^g PM <2 μm, 3/1993 – 4/1994, Swietlicki and Krejci, 1996

^h PM₁₀, 1-12/2001, ČHMÚ, 2001

ⁱ PM₁₀, 1-12/2001, ČHMÚ, 2001

^j PM₁₀, 6/1999 – 5/2000, Salvador et al., 2004

^k PM<3 μm, 11/1994-4/1995, Manoli et al., 2002

^l PM₁₀, 1/2000 – 6/2001, Álvarez et al., 2004

^m PM_{2,5}, 3/1995-3/1996, Thomaidis et al., 2003

ⁿ PM₁₀, 1/2000 – 2/2001, Marcazzan et al., 2002

^o PM₁₀, 1/2000 – 2/2001, Marcazzan et al., 2002

^p PM₁₀, 1/1997 – 1/1998, Lucarelli et al., 2000

^r PM<1 µm, 5/1994, Horvath et al., 1996

^s PM<1 µm, 5/1994, Horvath et al., 1996

^t Maenhaut and Cafmeyer (1997) from Borbély-Kiss, et al., 1998

^u Maenhaut and Cafmeyer (1997) from Borbély-Kiss, et al., 1998

^v PM<2 µm, 2/1995 – 3/1996, Borbély-Kiss, et al., 1998

^x PM<2 µm, 2/1995 – 3/1996, Borbély-Kiss, et al., 1998

^y PM₁₀, 3. – 21.4.2003

^z PM₁₀, 3. – 21.4.2003

3.1.4 Vzájemné vztahy (korelace) mezi PM₁₀ a BS

Zimní období (8.12.1997 – 5.4. 1998)

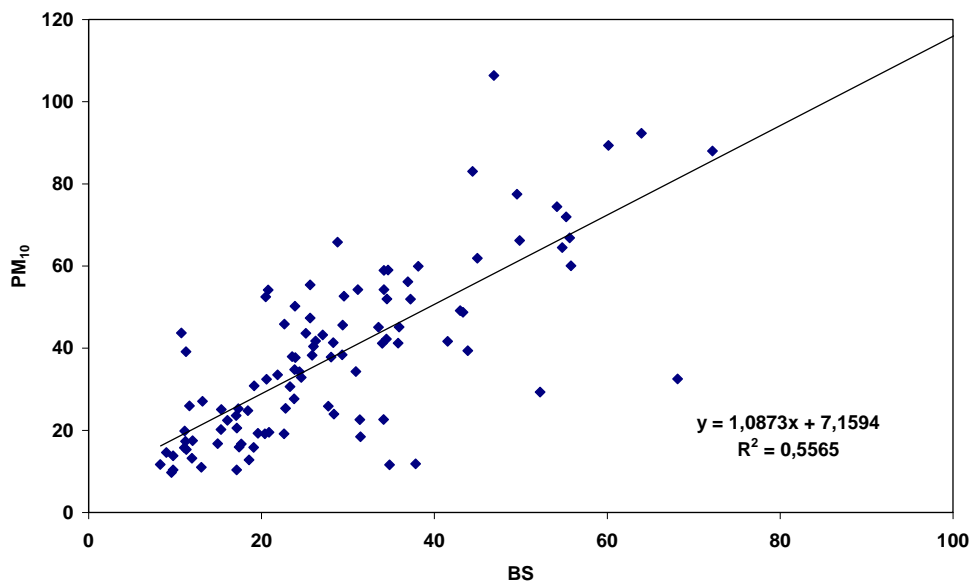
V prvním zimním období byla nalezena velmi silná korelace mezi koncentracemi PM₁₀ a BS (Tab. 15). Spearmanův korelační koeficient dosáhl hodnoty 0,732 (p<0,0001).

Tab. 15 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ a BS v období od 12.1.1998 do 5.4.1998

	Počet měření	Spearmanův korelační koeficient	Hladina významnosti	Rovnice regresní přímky
BS x PM ₁₀	101	0,732	0,0000	PM ₁₀ = 1,09*BS + 7,16

Vzájemný vztah mezi denní koncentrací PM₁₀ a denní koncentrací BS naměřenými ve Žloutkovicích během prvního zimního období je graficky zobrazen na následujícím grafu (Obr. 16).

Obr. 16 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM₁₀ a BS v zimním období od 8.12.1997 do 5.4.1998 v µg.m⁻³



Zimní období (7.11.1998 – 31.3.1999)

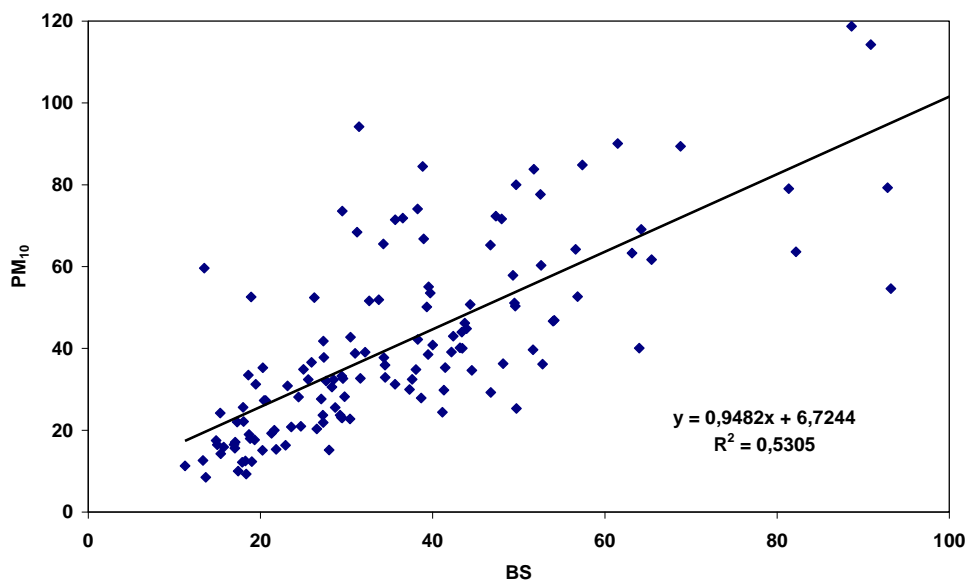
Stejně jako v prvním zimním období byla ve druhém zimním období nalezena velmi silná korelace mezi koncentracemi PM₁₀ a BS (Tab. 16).

Tab. 16 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ a BS v období od 7.11.1998 do 31.3.1999

	Počet měření	Spearmanův korelační koeficient	Hladina významnosti	Rovnice regresní přímky
BS x PM ₁₀	133	0,763	0,0000	PM ₁₀ = 0,95* BS + 6,72

Spearmanův korelační koeficient dosáhl hodnoty 0,763 ($p < 0,0001$). Korelační vztah pro sledované škodliviny je graficky vyjádřen na Obr. 17.

Obr. 17 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM₁₀ a BS pro zimní období od 7.11.1998 do 31.3.1999 v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$



Mimotopná sezóna (duben – říjen 1998)

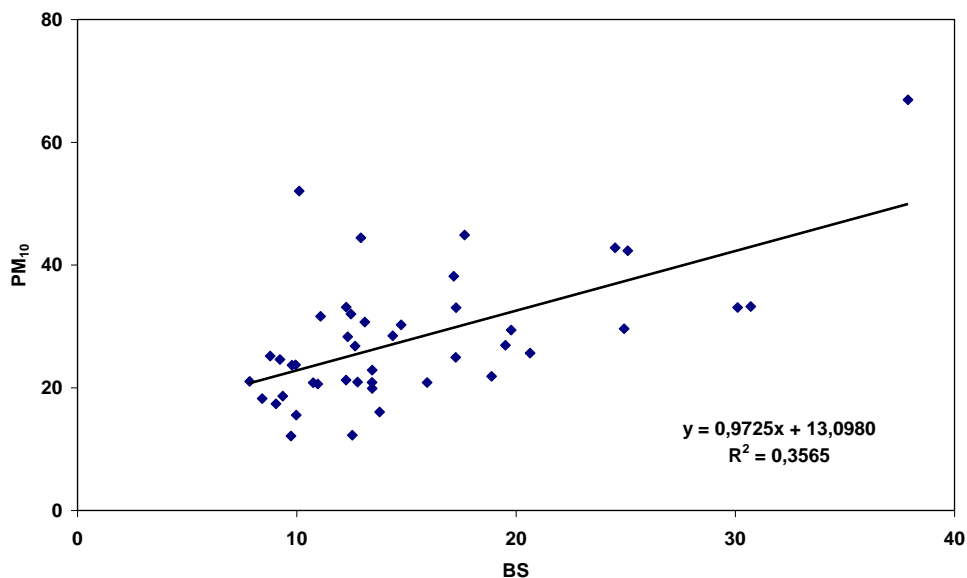
Rovněž v letní (mimotopné) sezóně byla prokázána významná pozitivní závislost mezi naměřenými 24-hodinovými koncentracemi pro PM₁₀ a BS (Tab. 17).

Tab. 17 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ a BS v mimotopné sezóně duben – říjen 1998

	Počet měření	Spearmanův korelační koeficient	Hladina významnosti	Rovnice regresní přímky
BS x PM ₁₀	44	0,537	0,0002	PM ₁₀ = 0,97* BS + 13,10

Spearmanův korelační koeficient mezi koncentracemi PM₁₀ a BS nedosáhl v letním období tak vysoké hodnoty jako pro zimní období (0,537, p<0,001), nicméně korelace byla průkazná na hladině významnosti nižší než 0,001. Vzájemný vztah sledovaných škodlivin je graficky znázorněn na Obr. 18.

Obr. 18 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM₁₀ a BS pro v době od dubna do října 1998 v µg.m⁻³



3.1.5 Vzájemné vztahy (korelace) mezi koncentracemi sledovaných prvků a PM₁₀ a BS

Zimní období (12.1.1998 – 5.4.1998)

V následující tabulce (Tab. 18) jsou uvedeny Spearmanovy korelační koeficienty ve vztahu 24-hodinové koncentrace sledovaných prvků s 24-hodinovými koncentracemi PM₁₀ a BS.

Tab. 18 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, BS a koncentracemi sledovaných kovů v období od 12.1.1998 do 5.4.1998

Zimní období 12.1.1998 - 5.4.1998				
	PM ₁₀		BS	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
As	0,650	0,0000	0,841	0,0000
Cd	0,527	0,0000	0,530	0,0000
Co	0,482	0,0000	0,443	0,0000
Cr	0,638	0,0000	0,559	0,0000
Cu	0,628	0,0000	0,548	0,0000
Mn	0,545	0,0000	0,460	0,0000
Ni	0,623	0,0000	0,448	0,0000
Pb	0,578	0,0000	0,690	0,0000
Se	0,591	0,0000	0,597	0,0000
Sr	0,527	0,0000	0,461	0,0001
Ti	0,658	0,0000	0,568	0,0000
V	0,719	0,0000	0,664	0,0000
Zn	0,448	0,0000	0,476	0,0000

Všechny sledované kovy prokázaly velmi silnou pozitivní korelaci s PM₁₀ i BS, kromě Sr s BS, byly všechny korelace průkazné na hladině významnosti $p < 0,0001$. Kromě hledání vzájemných souvislostí mezi koncentracemi prvků ve vztahu koncentracím PM₁₀ a BS, byly hledány souvislosti i mezi prvky navzájem, jak ukazuje následující tabulka (Tab. 19)

Tab. 19 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků v období od 12.1.1998 do 5.4.1998

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
As	1												
Cd	0,61	1											
Co	0,52	0,71	1										
Cr	0,59	0,72	0,78	1									
Cu	0,57	0,84	0,74	0,81	1								
Mn	0,51	0,81	0,79	0,85	0,91	1							
Ni	0,43	0,44	0,38	0,55	0,63	0,53	1						
Pb	0,88	0,74	0,65	0,69	0,73	0,69	0,41	1					
Se	0,73	0,34	0,30	0,47	0,37	0,32	0,42	0,61	1				
Sr	0,55	0,60	0,71	0,72	0,68	0,71	0,37	0,67	0,55	1			
Ti	0,63	0,49	0,51	0,66	0,67	0,56	0,52	0,67	0,74	0,80	1		
V	0,71	0,65	0,64	0,74	0,68	0,67	0,50	0,73	0,76	0,80	0,77	1	
Zn	0,44	0,77	0,65	0,58	0,79	0,73	0,34	0,61	0,31	0,51	0,42	0,42	1

Většina prvků v prvním zimním období spolu výrazně korelovala ($p < 0,0001$), pro přehlednost byly korelační koeficienty vyšší než 0,7 v tabulce vyznačeny tučně.

Zimní období (7.11.1998 – 31.3.1999)

Stejně jako v prvním zimním období všechny sledované kovy velmi silně korelovaly s koncentracemi PM₁₀ i BS. V tabulce (Tab. 20) jsou uvedeny Spearmanovy korelační koeficienty a příslušné hladiny významnosti pro toto sledované období. Všechny uvedené korelace byly průkazné na hladině významnosti menší než 0,0001.

Tab. 20 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, BS a koncentracemi sledovaných prvků v období od 7.11.1998 do 31.3.1999

Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999				
	PM ₁₀		BS	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
As	0,614	0,0000	0,789	0,0000
Cd	0,748	0,0000	0,666	0,0000
Co	0,565	0,0000	0,610	0,0000
Cr	0,717	0,0000	0,569	0,0000
Cu	0,724	0,0000	0,637	0,0000
Mn	0,699	0,0000	0,646	0,0000
Ni	0,684	0,0000	0,531	0,0000
Pb	0,640	0,0000	0,703	0,0000
Se	0,437	0,0000	0,520	0,0000
Sr	0,471	0,0000	0,558	0,0000
Ti	0,471	0,0000	0,431	0,0000
V	0,587	0,0000	0,431	0,0000
Zn	0,736	0,0000	0,664	0,0000

Také ve druhém zimním období byly hledány souvislosti mezi koncentracemi jednotlivých prvků, většina prokázaných vztahů byla statisticky významná na hladině významnosti $p < 0,0001$ (Tab. 21). Stejně jako v prvním zimním období nejvýrazněji s ostatními prvky korelovalo Cd, Co, Cr, Cu, Mn, V a Zn (korelační koeficienty vyšší než 0,7 jsou v tabulce vyznačeny tučně).

Tab. 21 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi prvků v období od 7.11.1998 do 31.3.1999

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
As	1												
Cd	0,73	1											
Co	0,63	0,76	1										
Cr	0,59	0,82	0,73	1									
Cu	0,66	0,87	0,81	0,82	1								
Mn	0,63	0,83	0,74	0,82	0,85	1							
Ni	0,55	0,74	0,55	0,77	0,74	0,64	1						
Pb	0,89	0,75	0,62	0,61	0,71	0,68	0,60	1					
Se	0,63	0,44	0,34	0,33	0,45	0,37	0,33	0,53	1				
Sr	0,66	0,58	0,57	0,52	0,63	0,63	0,44	0,67	0,67	1			
Ti	0,52	0,47	0,44	0,45	0,50	0,46	0,42	0,50	0,69	0,73	1		
V	0,50	0,72	0,64	0,74	0,75	0,67	0,71	0,54	0,50	0,67	0,50	1	
Zn	0,68	0,89	0,71	0,76	0,84	0,85	0,66	0,71	0,41	0,54	0,41	0,64	1

Mimotopná sezóna (duben – říjen 1998)

Na rozdíl od zimních období byly korelační vztahy mezi koncentracemi sledovaných prvků a koncentracemi PM₁₀ i BS v mimotopné sezóně průkazné na nižší hladině významnosti. Kromě dvou prvků (Se a Ti ve vztahu k PM₁₀) byly všechny vztahy průkazné minimálně na $p < 0,001$ (o jeden řád vyšší hladina významnosti než v zimních období). Spearmanovy korelační koeficienty včetně příslušných hladin významnosti jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 22).

Tab. 22 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, BS a koncentracemi sledovaných prvků v mimotopné sezóně duben-říjen 1998

Mimotopná sezóna duben-říjen 1998				
	PM ₁₀		BS	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
As	0,521	0,0005	0,712	0,0000
Cd	0,615	0,0000	0,653	0,0000
Co	0,432	0,0048	0,495	0,0012
Cr	0,540	0,0003	0,482	0,0016
Cu	0,590	0,0001	0,545	0,0003
Mn	0,640	0,0000	0,545	0,0003
Ni	0,568	0,0001	0,410	0,0086
Pb	0,606	0,0000	0,668	0,0000
Se	0,277	0,0966	0,549	0,0005
Sr	0,521	0,0010	0,546	0,0006
Ti	0,248	0,1222	0,637	0,0000
V	0,575	0,0001	0,434	0,0051
Zn	0,502	0,0008	0,488	0,0014

Na rozdíl od zimních sezón nebyly korelační vztahy mezi prvky v mimotopné sezóně již tak těsné ($p < 0,001$), nicméně i zde řada prvků spolu výrazně korelovala (Tab. 23). Jako nejvýrazněji korelovatelný prvek se i v tomto období projevil Cd.

Tab. 23 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků v období v mimotopné sezóně duben-říjen 1998

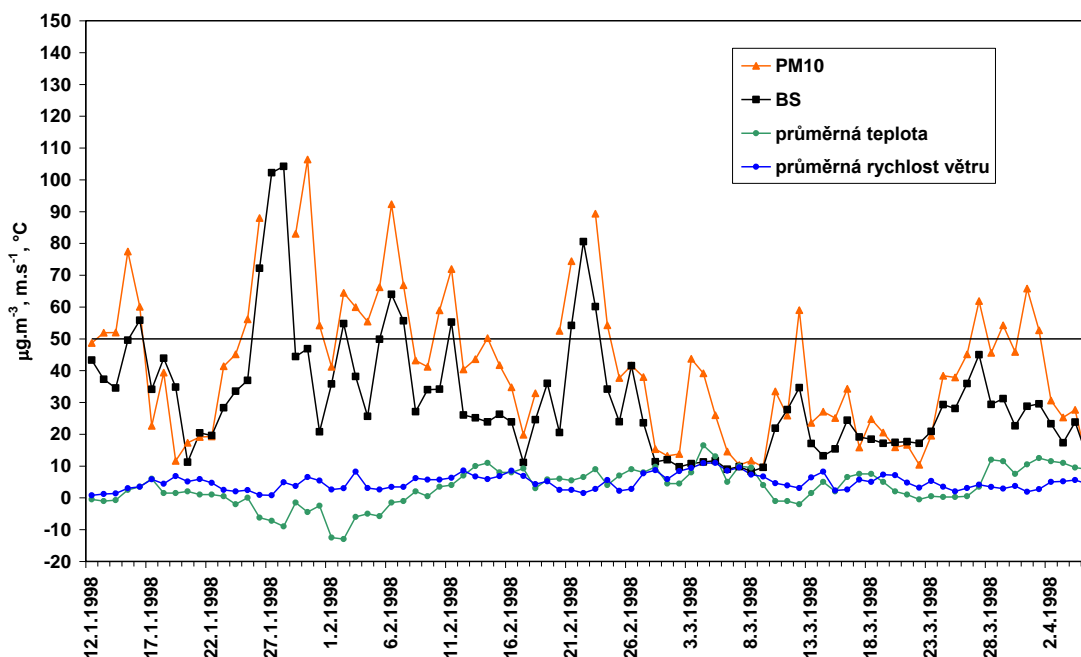
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
As	1												
Cd	0,75	1											
Co	0,59	0,66	1										
Cr	0,57	0,71	0,74	1									
Cu	0,72	0,81	0,71	0,73	1								
Mn	0,64	0,76	0,74	0,73	0,83	1							
Ni	0,47	0,59	0,58	0,68	0,65	0,59	1						
Pb	0,81	0,76	0,52	0,51	0,71	0,76	0,42	1					
Se	0,65	0,47	0,58	0,51	0,59	0,50	0,31	0,61	1				
Sr	0,64	0,72	0,59	0,60	0,72	0,76	0,42	0,83	0,60	1			
Ti	0,64	0,47	0,51	0,43	0,57	0,49	0,37	0,63	0,83	0,75	1		
V	0,69	0,66	0,61	0,71	0,84	0,80	0,55	0,65	0,63	0,62	0,48	1	
Zn	0,46	0,71	0,76	0,70	0,68	0,75	0,49	0,52	0,28	0,58	0,38	0,55	1

3.1.6 Vzájemné vztahy (korelace) mezi meteorologickými parametry (teplota vzduchu, rychlost větru) a koncentracemi PM₁₀, BS a sledovaných prvků

Zimní období (12.1.1998 – 5.4.1998)

Teplota vzduchu naměřená během prvního zimního období se pohybovala v rozmezí od -22 do 24°C, průměrná teplota za celé sledované období byla naměřena 3,4°C. Průměrná denní rychlost větru byla naměřena v rozmezí od 0,8 do 11,0 m.s⁻¹, průměrná hodnota rychlosti větru představovala hodnotu 4,8 m.s⁻¹. Grafické znázornění průběhu koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných meteorologických parametrů (průměrnou denní teplotou a průměrnou denní rychlostí větru) je uvedeno na Obr. 19.

Obr. 19 Časové řady koncentrací PM₁₀ a BS (μg.m⁻³), průměrné denní teploty (°C), průměrné rychlosti větru (m.s⁻¹) naměřených ve Žloutkovicích v období od 12.1.1998 do 5.4.1998



Mezi koncentracemi PM₁₀, BS a oběma meteorologickými parametry byla nalezena velmi silná ($p < 0,0001$ a $p < 0,01$) průkazná negativní korelace (Tab. 24). U ostatních prvků nebyla průkazná korelace s průměrnou denní teplotou, kromě prvků As a Se ($p < 0,001$) a Pb a V ($p < 0,1$), nalezena. S průměrnou denní rychlostí větru negativně

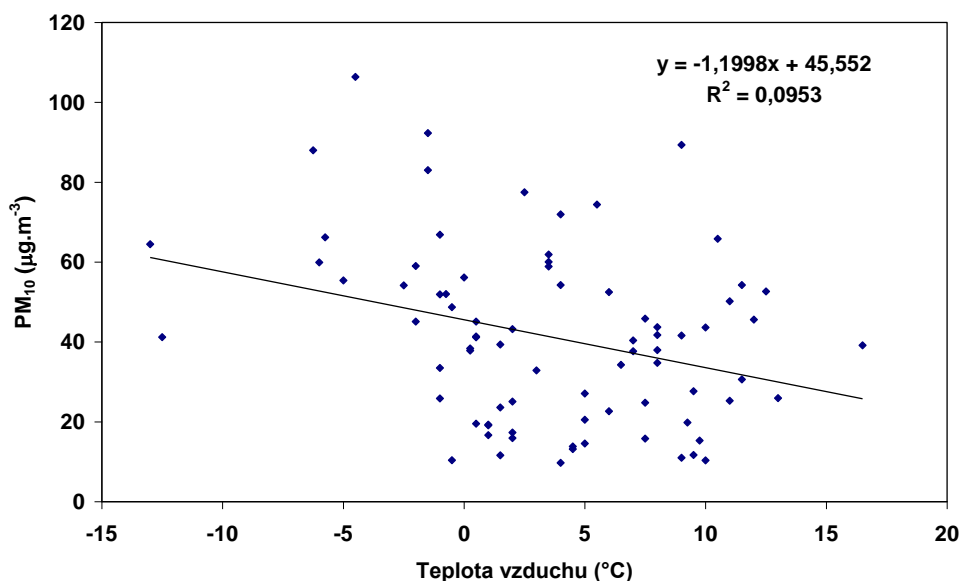
korelovaly prvky: As, Cd, Cu, Pb, V, Zn ($p < 0,0001$), Co ($p < 0,001$) a Cr, Mn, Se, Ti ($p < 0,01$).

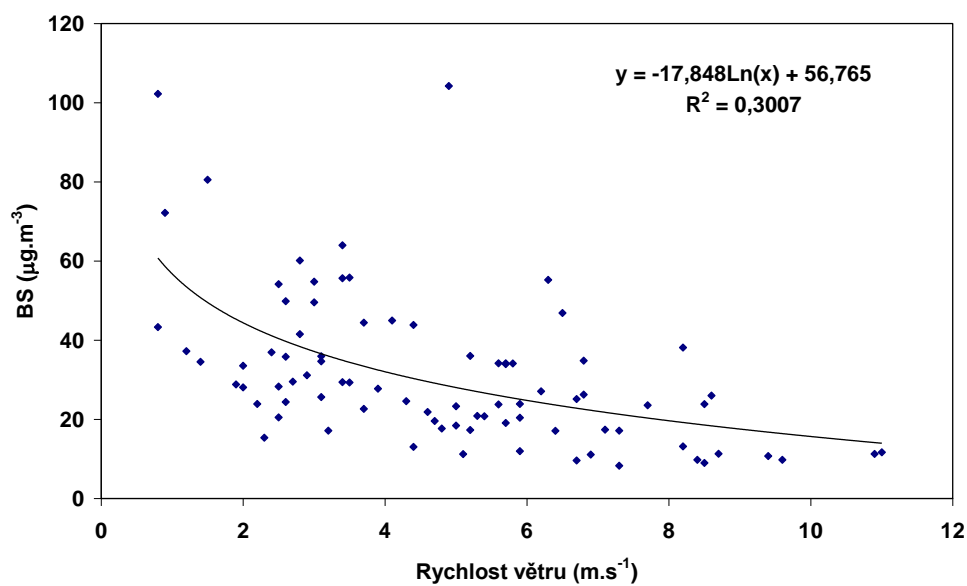
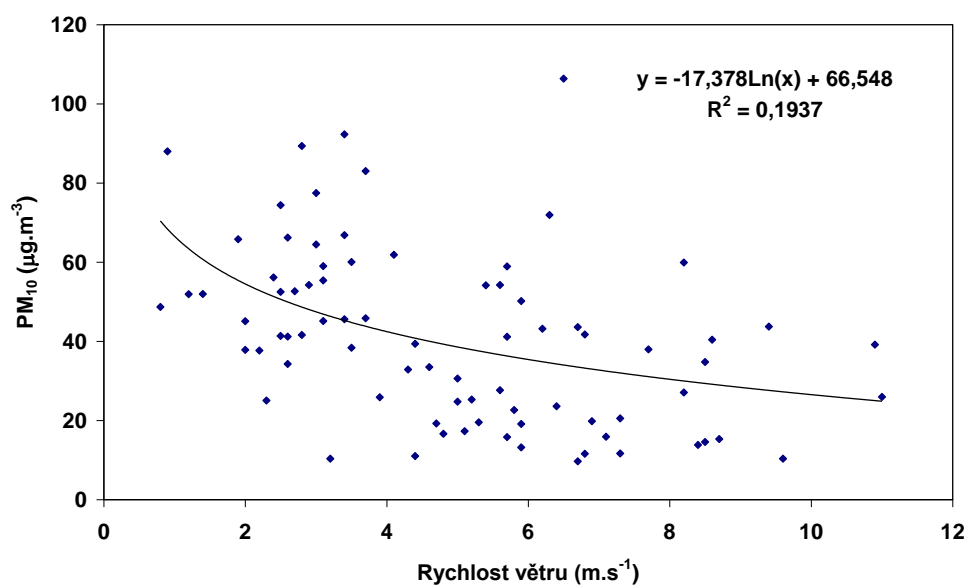
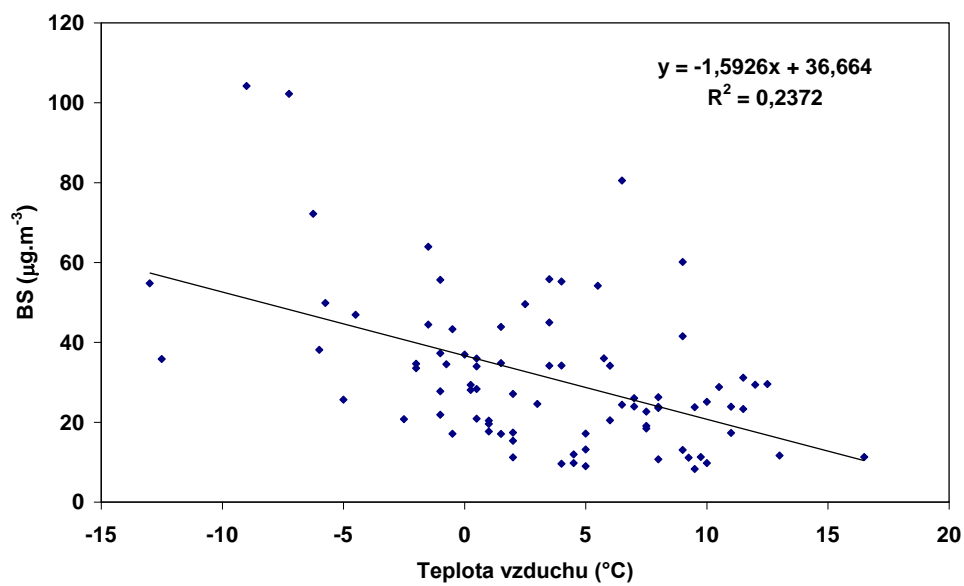
Tab. 24 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM₁₀, BS a sledovaných prvků pro zimní období od 12.1.1998 do 5.4.1998

	Zimní období 12.1.1998 - 5.4.1998			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
PM ₁₀	-0,293	0,0083	-0,483	0,0000
BS	-0,457	0,0000	-0,578	0,0000
As	-0,379	0,0006	-0,512	0,0000
Cd	-0,167	0,1405	-0,556	0,0000
Co	-0,109	0,3411	-0,400	0,0003
Cr	-0,059	0,6057	-0,363	0,0010
Cu	-0,048	0,6808	-0,449	0,0000
Mn	0,057	0,6207	-0,329	0,0030
Ni	-0,103	0,3641	-0,206	0,0679
Pb	-0,207	0,0666	-0,496	0,0000
Se	-0,357	0,0026	-0,323	0,0067
Sr	-0,107	0,3800	-0,234	0,0532
Ti	-0,135	0,2347	-0,353	0,0014
V	-0,246	0,0292	-0,443	0,0000
Zn	-0,167	0,1402	-0,525	0,0000

Grafické znázornění průkazných korelací mezi koncentracemi PM₁₀ a BS a průměrnou denní teplotou vzduchu a průměrnou denní rychlostí větru je zobrazeno na Obr. 20.

Obr. 20 Vzájemné vztahy mezi denními koncentracemi PM₁₀, BS a průměrnou denní teplotou vzduchu a průměrnou denní rychlostí větru v prvním zimním období od 12.1.1998 do 5.4.1998

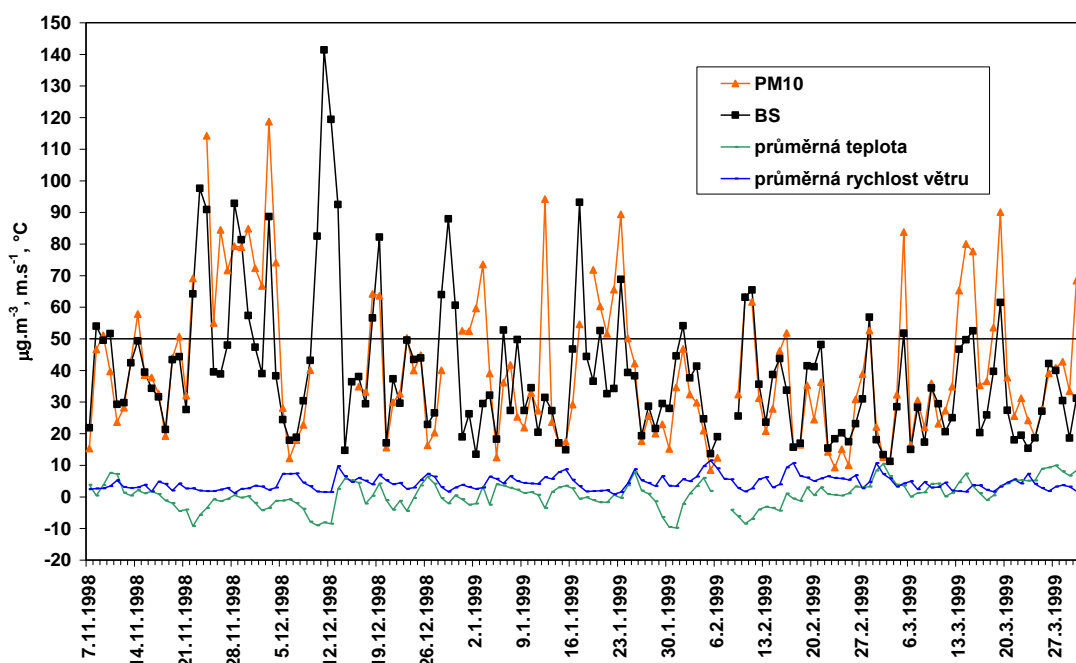




Zimní období (7.11.1998 – 31.3.1999)

Teplota vzduchu během druhého zimního období se pohybovala od -16 do 21°C , průměrná teplota za celé sledované období byla naměřena $0,7^{\circ}\text{C}$. V porovnání s prvním zimním obdobím bylo toto sledované období v průměru o $2,7^{\circ}\text{C}$ chladnější. Průměrná denní rychlost větru byla naměřena od $0,8$ do $11,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, průměrná hodnota rychlosti větru byla $4,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Obr. 21 Časové řady koncentrací PM_{10} a BS ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), průměrné denní teploty ($^{\circ}\text{C}$) a průměrné rychlosti větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) naměřených ve Žloukovicích v období od 7.11.1998 do 31.3.1999



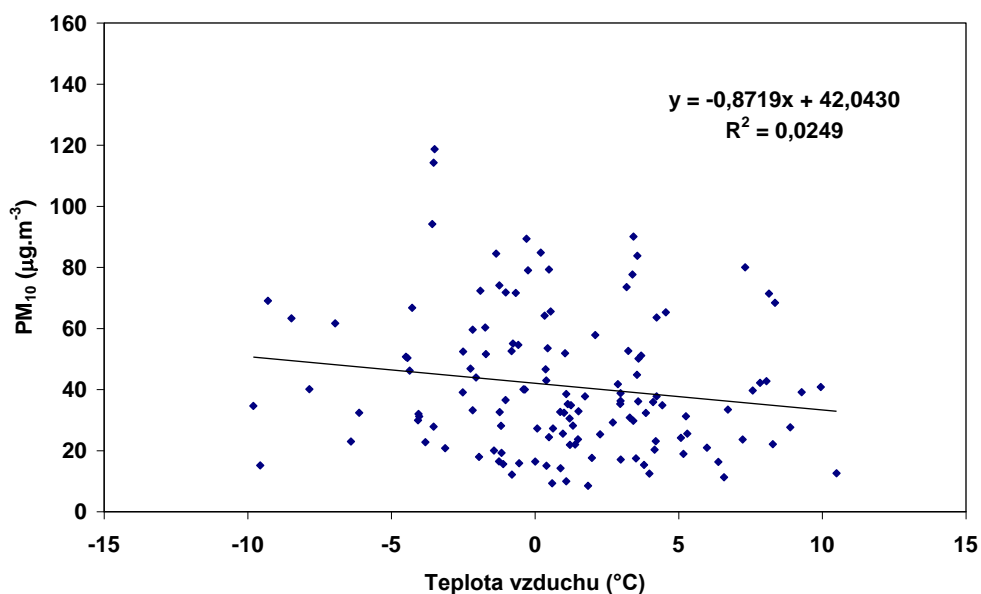
Mezi průměrnou denní teplotou a koncentracemi sledovaných škodlivin byla nalezena průkazná významná negativní korelace ($p < 0,01$) pro koncentrace BS a Ni (v tabulce 25 zvýrazněny tučně). Na nižší hladině významnosti ($p < 0,1$) byla průkazná závislost s koncentracemi PM_{10} , As , Cd , Co , Cr , V a Zn . V souvislosti s hledáním vztahů mezi rychlostí větru a koncentracemi PM_{10} , BS a sledovaných prvků (kromě Sr) byla nalezena silná negativní korelace ($p < 0,0001$ a $p < 0,001$, Tab. 25). Pro lepší vyjádření byla závislost mezi koncentracemi PM_{10} , BS a rychlostí větru v grafu (Obr. 22) proložena logaritmickou křivkou.

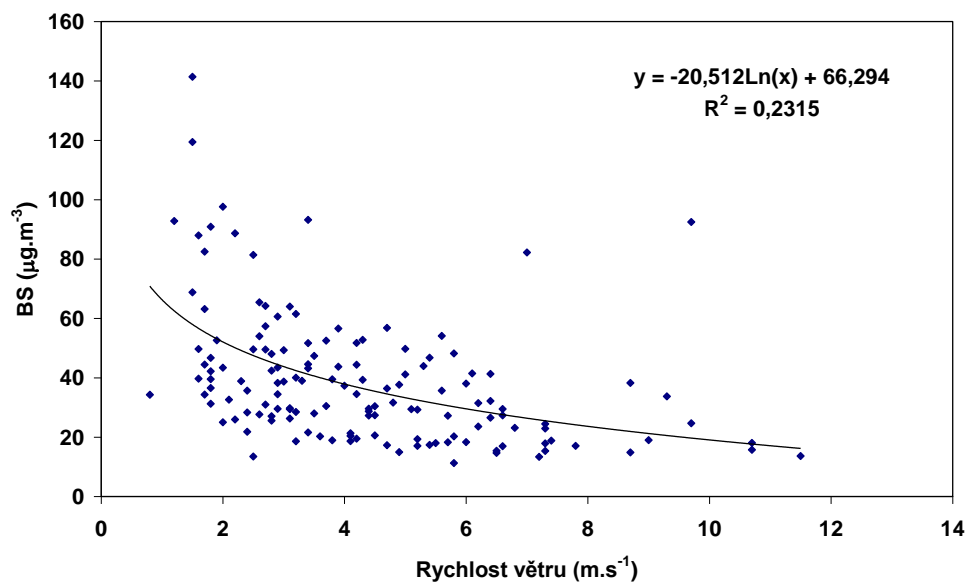
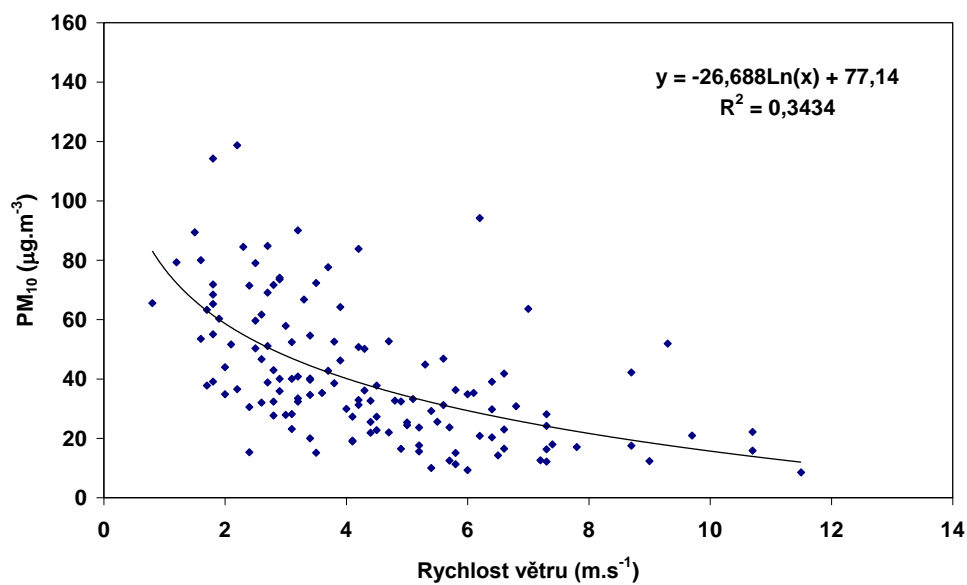
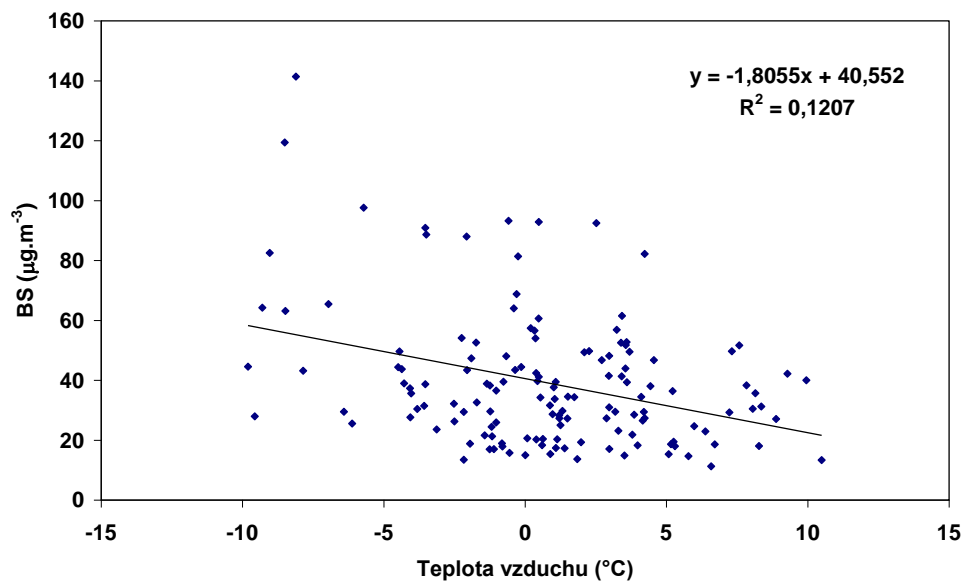
Tab. 25 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM₁₀, BS a sledovaných prvků pro zimní období od 7.11.1998 do 31.3.1999

	Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
PM ₁₀	-0,163	0,0624	-0,622	0,0000
BS	-0,256	0,0021	-0,486	0,0000
As	-0,191	0,0290	-0,328	0,0001
Cd	-0,169	0,0543	-0,466	0,0000
Co	-0,174	0,0468	-0,346	0,0001
Cr	-0,192	0,0277	-0,461	0,0000
Cu	-0,122	0,1666	-0,519	0,0000
Mn	-0,056	0,5219	-0,490	0,0000
Ni	-0,299	0,0005	-0,445	0,0000
Pb	-0,126	0,1524	-0,346	0,0001
Se	-0,034	0,7093	-0,329	0,0002
Sr	0,056	0,5355	-0,223	0,0129
Ti	0,043	0,6290	-0,294	0,0007
V	-0,207	0,0178	-0,383	0,0000
Zn	-0,146	0,0957	-0,490	0,0000

Grafické znázornění průkazných korelací mezi koncentracemi PM₁₀, BS a průměrnou denní teplotou vzduchu a průměrnou denní rychlostí větru je zobrazeno na Obr. 22.

Obr. 22 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM₁₀, BS a průměrnou denní teplotou vzduchu a průměrnou denní rychlostí větru v prvním zimním období od 7.11.1998 - 31.3.1999

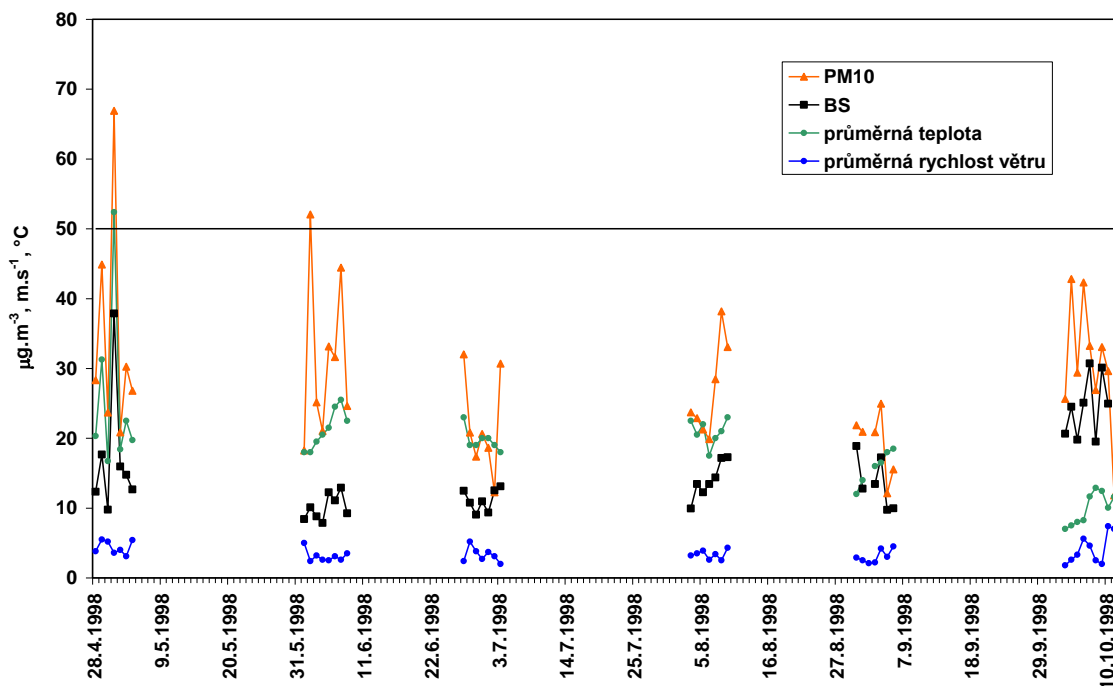




Mimotopná sezóna (duben – říjen 1998)

Teplota vzduchu během mimotopné sezóny se pohybovala od 4,0 do 36,0°C, průměrná teplota za celé sledované období byla naměřena 16,8°C. Průměrná denní rychlost větru byla naměřena od 1,8 do 7,4 m.s⁻¹, průměrná hodnota rychlosti větru za sledované období byla 3,6 m.s⁻¹.

Obr. 23 Časové řady koncentrací PM₁₀ a BS (μg.m⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné denní rychlosti větru (m.s⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v období mimotopné sezóny

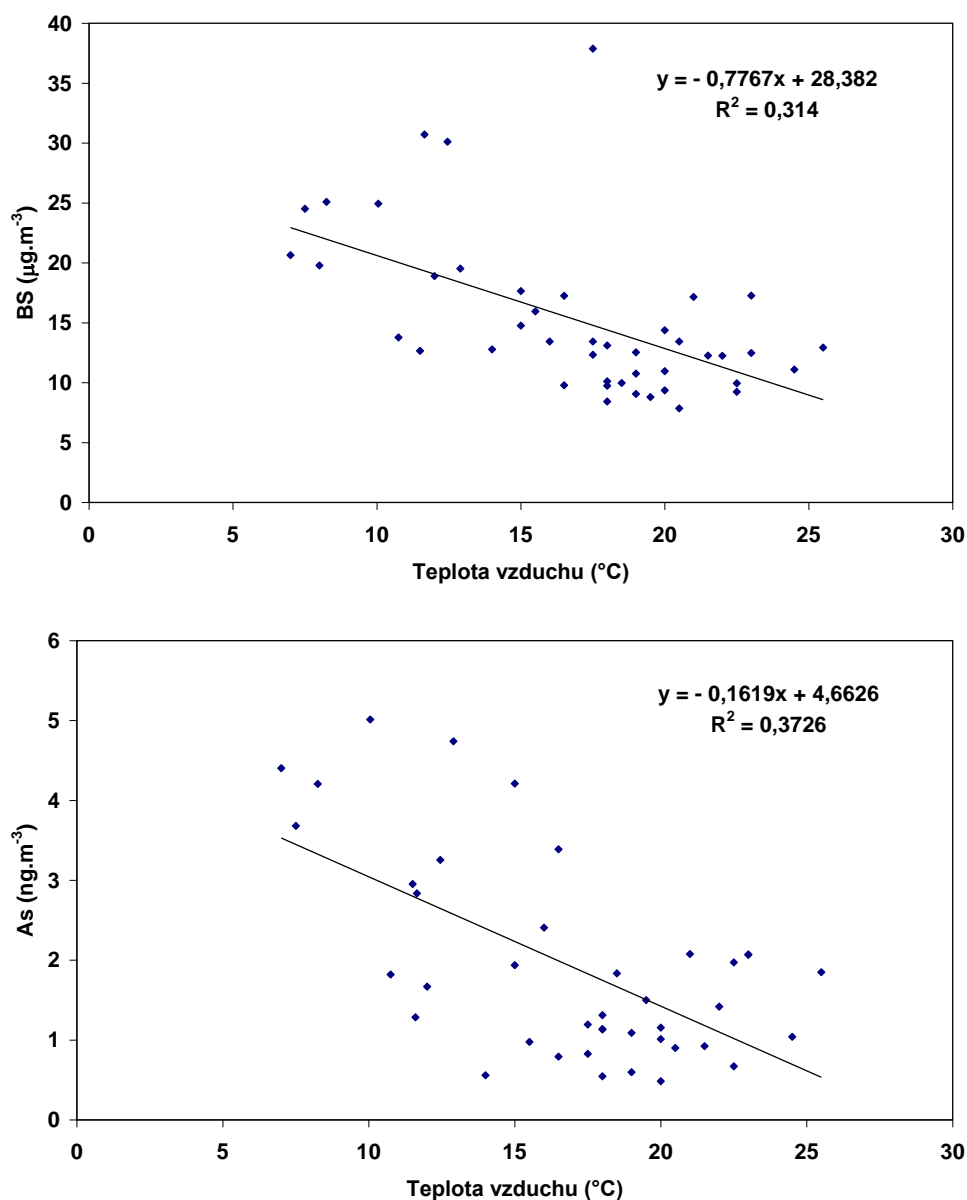


Tab. 26 Spearmanův korelační koeficient mezi průměrnou denní teplotou, průměrnou denní rychlostí větru a koncentracemi PM₁₀, BS a sledovaných prvků v mimotopné sezóně

	Mimotopná sezóna duben-říjen 1998			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
PM ₁₀	-0,021	0,8902	-0,216	0,1543
BS	-0,601	0,0000	-0,009	0,9518
As	-0,448	0,0033	-0,004	0,9819
Cd	-0,266	0,0973	-0,125	0,4440
Co	0,017	0,9181	-0,138	0,3910
Cr	0,105	0,5130	-0,125	0,4351
Cu	-0,027	0,8693	-0,091	0,5770
Mn	0,107	0,5035	-0,130	0,4169
Ni	0,010	0,9500	0,067	0,6770
Pb	-0,222	0,1624	-0,141	0,3784
Se	-0,215	0,2015	-0,131	0,4379
Sr	-0,122	0,4733	-0,156	0,3579
Ti	-0,352	0,0240	0,006	0,9729
V	0,104	0,5186	-0,213	0,1812
Zn	-0,007	0,9668	-0,162	0,3111

Pro koncentrace naměřené během mimotopné sezóny byla nalezena průkazná záporná korelace s průměrnou denní teplotou a koncentrací BS ($p < 0,0001$), prvky As ($p < 0,01$), Cd a Ti ($p < 0,1$) (Tab. 26). Mezi průměrnou denní rychlostí větru a naměřenými koncentracemi nebyla průkazná žádná korelace. Grafické znázornění průkazných korelací mezi koncentracemi BS, As a průměrnou denní teplotou vzduchu je zobrazeno na Obr. 21.

Obr. 21 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací BS, As a průměrnou denní teplotou vzduchu v mimotopné sezóně



3.1.7 Souvislost mezi směrem větru a koncentracemi PM₁₀, BS a sledovaných prvků

Zimní období (12.1.1998 – 5.4.1998)

Ve sledovaném prvním zimním období převládal vítr jihozápadního směru (37%). Statisticky významné rozdíly byly nalezeny jen u některých prvků (zvýrazněny tučně), nicméně z naměřených mediánů koncentrací je patrný jistý trend. Nejnižší koncentrace (označeny zeleně) PM₁₀, BS i většiny sledovaných prvků byly naměřeny při převaze severo-západních větrů (Tab. 27), naopak nejvyšší koncentrace (označeny žlutě) byly nalezeny při převaze jihovýchodního a východního větru.

Tab. 27 Převažující četnost směru větru během prvního zimního období a medián koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných kovů ve vztahu k převažujícímu směru větru

Zimní období 12.1.1998 - 5.4.1998 (ng.m ⁻³)								
Směr větru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Četnost (%)	4,9	4,9	3,7	11,1	9,9	37,0	12,4	16,1
PM₁₀	37 830	48 750	54 250	45 850	57 100	40 790	32 380	20 540
BS	44 180	31 140	31 160	34 820	44 140	25 630	16 840	17 670
As	4,45	7,82	6,26	8,72	6,94	6,34	2,77	2,63
Cd	0,54	0,49	0,36	0,56	0,16	0,26	0,11	0,24
Co	0,27	0,33	0,37	0,35	0,21	0,26	0,23	0,17
Cr	2,46	1,84	1,67	1,89	1,83	1,84	1,01	0,88
Cu	3,51	4,2	2,99	4,25	2,38	2,82	1,79	1,70
Mn	9,40	6,36	6,35	12,71	6,47	6,71	3,42	3,83
Ni	2,20	1,97	1,75	1,94	2,38	2,07	1,91	1,76
Pb	12,47	23,33	58,34	48,36	35,89	22,23	8,95	6,02
Se	4,26	5,06	4,22	3,33	4,33	3,97	4,13	2,24
Sr	0,44	0,62	0,97	0,51	0,16	0,56	0,65	0,15
Ti	18,43	21,90	20,22	19,72	24,33	19,32	23,18	14,45
V	2,34	3,57	3,64	2,18	2,15	1,99	2,28	0,77
Zn	62,18	58,52	54,40	178,19	100,95	41,98	31,99	30,26

Zimní období (7.11.1998 – 31.3.1999)

Ve druhém sledovaném zimním období stejně jako v předchozím období výrazně převládal vítr jihozápadního směru (43,6%). Rozdíly mezi mediány koncentrací charakteristické pro různé směry proudění byly v tomto zimním období statisticky průkazné pro větší počet prvků (v tabulce zvýrazněny tučně). Výrazně nejnižší koncentrace PM₁₀, BS a téměř všech prvků (označeny zeleně) byly naměřeny při

převaze západních větrů. Nejvyšší koncentrace (označeny žlutě) většiny sledovaných škodlivin byly zjištěny při severovýchodním proudění vzduchu (Tab. 28).

Tab. 28 Převažující četnost směru větru během druhého zimního období a medián koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných kovů ve vztahu k převažujícímu směru větru

Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999 (ng.m ⁻³)								
Směr větru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Četnost (%)	8,3	4,5	5,3	9,8	9,8	43,6	14,3	4,5
PM ₁₀	32 020	78 400	66 740	51 600	51 100	32 390	20 000	37 760
BS	29 480	43 540	46 720	34 470	39 330	30 120	21 290	32 980
As	6,72	10,25	7,73	10,17	13,66	10,53	4,21	11,54
Cd	0,20	0,57	0,52	0,38	0,54	0,22	0,15	0,23
Co	0,20	0,25	0,32	0,32	0,28	0,23	0,14	0,19
Cr	1,35	2,52	2,03	2,42	2,70	1,39	1,07	1,22
Cu	1,84	3,61	4,59	3,32	3,58	2,08	1,53	1,90
Mn	3,88	13,12	9,12	9,32	10,82	5,92	2,46	4,50
Ni	2,27	3,08	2,33	2,84	2,26	2,02	1,88	1,91
Pb	12,71	40,42	31,95	40,33	37,40	25,79	8,35	19,68
Se	2,35	3,07	2,84	2,30	2,67	2,32	2,42	3,19
Sr	0,35	0,35	0,41	0,34	0,43	0,34	0,30	0,37
Ti	15,51	21,70	18,50	13,97	15,78	16,78	13,12	15,17
V	1,71	2,50	2,00	1,96	1,84	0,99	0,73	1,67
Zn	34,88	122,71	81,00	52,92	101,63	40,04	30,22	41,88

Mimotopná sezóna (duben – říjen 1998)

Ve sledované mimotopné sezóně převládal stejně jako v obou zimních období vítr jihozápadního směru (33%). Nejnižší koncentrace (označeny zeleně) PM₁₀, i většiny prvků byly naměřeny při převaze jižních větrů, nejnižší koncentrace BS a prvků (Cd, Co, Cr) byly objeveny za převládajícího jihovýchodního větru. Nejvyšší koncentrace (označeny žlutě) PM₁₀, BS a prvků As, Cd, Cu byly naměřeny za přítomnosti severovýchodního proudění vzduchu, nejvyšší koncentrace ostatních kovů se nejčastěji vyskytovaly při převaze severozápadních větrů (Tab. 29), na rozdíl od prvního zimního období. Statisticky významné rozdíly byly průkazné u několika prvků (As, Cd, Cu, Pb, Se, V) a BS, nikoliv u PM₁₀ (v tabulce zvýrazněné tučně).

Tab. 29 Převažující četnost směru větru během mimotopné sezóny a medián koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných kovů ve vztahu k převažujícímu směru větru

Mimotopná sezóna duben - říjen 1998 (ng.m-3)								
Směr větru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Četnost (%)	6,7	2,2	20,0	13,3	2,2	33,3	13,3	8,9
PM ₁₀	25 640	42 310	29 390	26 730	20 840	20 930	26 530	24 020
BS	12 250	25 100	19 520	10 430	15 950	11 720	13 910	12 600
As	1,97	4,21	3,39	1,17	0,98	1,19	1,14	2,95
Cd	0,19	0,55	0,40	0,09	0,14	0,16	0,17	0,34
Co	0,20	0,20	0,18	0,10	0,10	0,19	0,26	0,30
Cr	1,62	1,38	1,50	0,92	0,95	1,09	1,04	1,70
Cu	2,10	3,84	3,19	1,11	0,95	1,43	2,48	3,77
Mn	4,18	5,50	7,49	3,79	2,39	5,04	5,10	11,86
Ni	1,96	1,74	1,82	1,77	1,85	1,66	1,52	2,19
Pb	7,96	34,55	36,58	10,54	1,46	5,35	6,76	15,20
Se	3,16	3,45	2,92	1,98	1,62	2,32	2,27	3,57
Sr	0,23	0,39	0,38	0,14	0,08	0,19	0,25	0,57
Ti	19,01	25,01	26,09	10,33	10,05	12,76	18,16	28,72
V	0,98	0,80	0,91	0,53	0,28	0,47	0,47	1,07
Zn	29,52	63,99	39,09	23,41	17,45	42,77	51,54	62,49

3.1.8 Rozdíly mezi koncentracemi PM₁₀, BS a sledovaných prvků naměřených během víkendů a pracovních dnů

Zimní období (12.1.1998 – 5.4.1998)

Při hledání rozdílů mezi koncentracemi sledovaných látek naměřených ve všedních dnech a o víkendech byly statisticky významné rozdíly potvrzeny pouze u několika prvků (Cd, Co, Cr, Cu, Mn a V) a to na nízké hladině významnosti ($p < 0,1$). Nicméně je z tabulky patrné, že vyšší koncentrace škodlivin (zvýrazněny žlutě) se v ovzduší nacházejí ve všední dny (Tab. 30). V případě, že bychom neuvažovali pátek samostatně, ale jako všední den, statisticky významný rozdíl ($p < 0,1$) by byl naměřen také pro Pb, Se a Zn.

Tab. 30 Mediány koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných kovů naměřený ve všedních dnech (Po-Čt), v pátek a o víkendu (So – Ne) v období od 12.1.1998 do 5.4.1998

Zimní období 12.1.1998 - 5.4.1998 (ng.m ⁻³)			
	Pracovní dny (Po – Čt)	Pátek	Víkend (So – Ne)
PM ₁₀	40 400	42 480	39 360
BS	27 740	23 880	24 330
As	5,67	5,81	4,62
Cd	0,28	0,26	0,20
Co	0,27	0,27	0,16
Cr	1,84	2,22	0,98
Cu	2,96	2,71	1,46
Mn	6,71	7,06	3,64
Ni	1,94	2,56	1,95
Pb	38,83	24,74	12,85
Se	3,49	4,42	3,75
Sr	0,49	0,60	0,23
Ti	18,43	18,79	19,97
V	2,28	2,78	1,07
Zn	63,28	50,29	30,12

Zimní období (7.11.1998 – 31.3.1999)

Ve druhém zimním období nebyl statisticky průkazný rozdíl u žádného sledovaného prvku ani koncentrace PM₁₀ a BS, nicméně je z naměřených koncentrací u většiny prvků i PM₁₀ a BS patrná tendence zvýšených hodnot v pátek (zvýrazněny žlutě, Tab. 31).

Tab. 31 Mediány koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných kovů naměřené ve všedních dnech (Po-Čt), v pátek a o víkendu (So – Ne) v období zimním období od 7.11.1998 - 31.3.1999

Zimní období 7.11.1998 - 31.3.1999 (ng.m ⁻³)			
	Pracovní dny (Po – Čt)	Pátek	Víkend (So – Ne)
PM ₁₀	33 450	42 960	36 280
BS	30 410	41 460	34 500
As	9,54	12,09	9,16
Cd	0,28	0,28	0,26
Co	0,23	0,26	0,23
Cr	1,43	2,10	1,57
Cu	2,42	2,19	2,11
Mn	6,06	4,86	6,18
Ni	2,11	2,13	2,34
Pb	22,61	33,56	19,69
Se	2,51	2,73	2,38
Sr	0,34	0,49	0,36
Ti	15,75	17,97	15,91
V	1,30	1,53	1,38
Zn	43,01	49,69	41,54

Letní období (duben – říjen 1998)

Ani v mimotopné sezóně nebyly (kromě Co, $p < 0,1$) nalezeny statisticky významné rozdíly mezi koncentracemi naměřenými ve všedních dnech a o víkendech. Nicméně je z vyšších koncentrací (označeny žlutě) patrný trend, kdy byly na rozdíl od zimních období vyšší koncentrace naměřeny během víkendu (Tab. 32).

Tab. 32 Mediány koncentrací PM₁₀, BS a sledovaných kovů naměřené ve všedních dnech (Po-Čt), v pátek a o víkendu (So – Ne) v mimotopné sezóně

Mimotopná sezóna duben - říjen 1998 (ng.m-3)			
	Pracovní dny (Po – Čt)	Pátek	Víkend (So – Ne)
PM ₁₀	23 660	30 700	29 920
BS	12 540	13 110	15 950
As	1,36	1,14	1,89
Cd	0,15	0,16	0,23
Co	0,18	0,22	0,24
Cr	1,15	1,09	1,47
Cu	1,94	2,80	2,25
Mn	4,96	5,30	6,38
Ni	1,68	1,65	1,90
Pb	5,49	12,42	12,62
Se	2,32	2,56	3,08
Sr	0,20	0,42	0,20
Ti	13,06	22,75	23,78
V	0,56	0,78	0,68
Zn	30,72	62,48	40,98

3.2 Měřicí kampaň 2003

V době od 3.4. do 21.4. 2003 byla uskutečněna na dvou místech, přímo v centru obce Žloukovice a v pozad'ové lokalitě (viz kapitola měřicí lokalita) měřicí kampaň, v rámci níž byly sledovány koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$, BS a byla provedena chemická analýza vybraných prvků obsažených v odebraných vzorcích atmosférického aerosolu (Al, As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V a Zn). Hlavním cílem této kampaně bylo na základě srovnání mezi oběma sledovanými místy ověřit předpoklad existence určité uniformní pozad'ové koncentrace suspendovaných částic.

3.2.1 Koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$ a BS

Pozad'ová lokalita

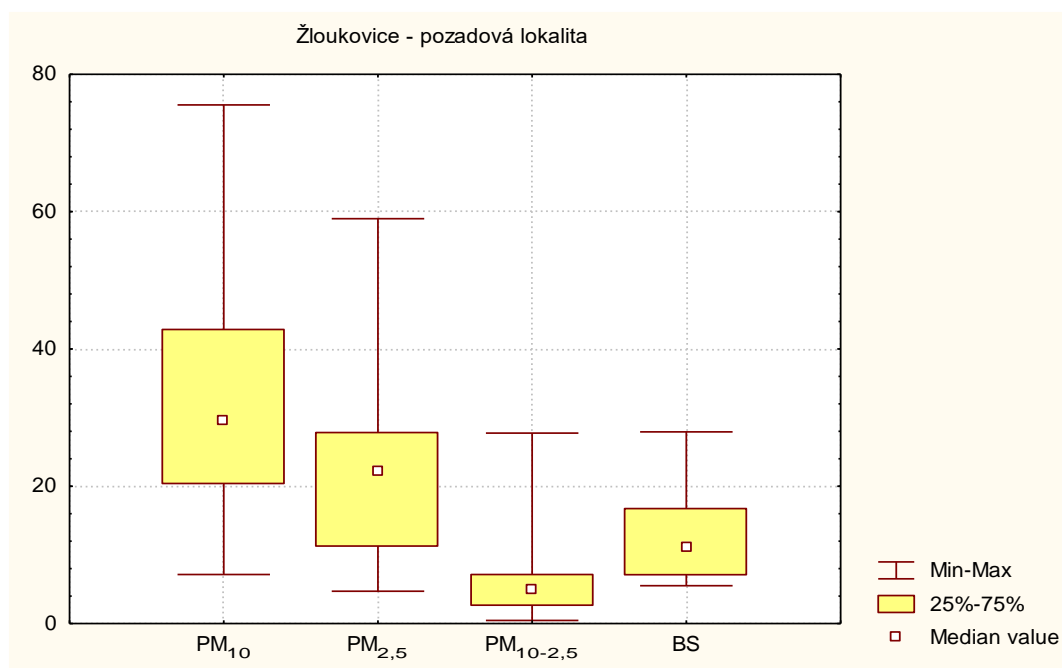
Během sledovaného období byly v pozad'ové lokalitě naměřeny 24-hodinové koncentrace v rozmezí od 7 do 76 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro PM_{10} , od 5 do 59 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro $PM_{2,5}$ a od 6 do 28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS. Průměrná hodnota za sledované období dosáhla 31 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro PM_{10} , 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro $PM_{2,5}$ a pouhých 13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS (Tab. 33). Denní limit pro PM_{10} (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl v pozad'ové lokalitě Žloukovic v době od 3.4. do 21.4. 2003 překročen ve 2 případech (11%) měření. Poměr mezi průměry PM_{10} a $PM_{2,5}$ v tomto období činil 1,3, poměr průměrů mezi PM_{10} a BS dosáhl 2,4.

Tab. 33 Koncentrace PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{10-2,5}$ a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)

Pozad'ová lokalita ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)								
	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM_{10}	18	31,3	18,6	29,6	7,1	75,5	22,1	40,6
$PM_{2,5}$	18	23,6	16,0	22,2	4,7	59,0	15,6	31,5
$PM_{10-2,5}$	18	7,7	7,7	5,0	0,5	27,7	3,9	11,6
BS	18	12,9	6,7	11,2	5,5	27,9	9,6	16,2

Medián koncentrací PM_{10} dosáhl hodnoty téměř 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 22 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS. Hodnota mediánu pro koncentrace BS v porovnání s koncentracemi PM byla naměřena poloviční 11 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Obr. 24).

Obr. 24 Koncentrace PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS v µg.m⁻³ naměřené ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)



Lokalita - centrum obce

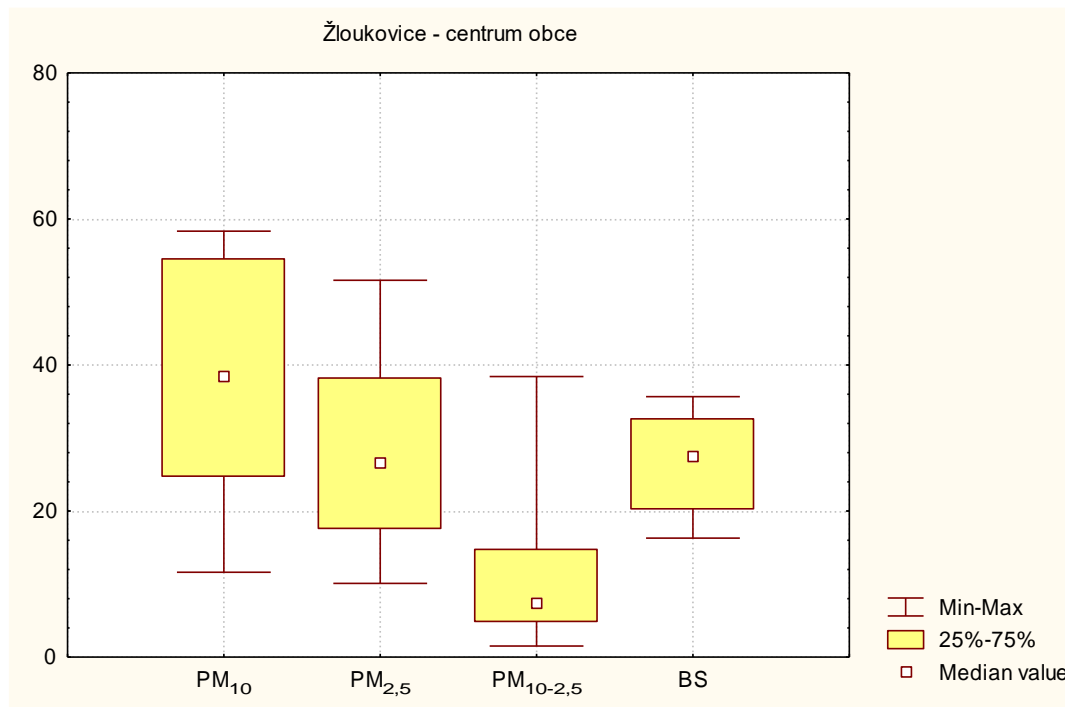
V centru obce byly v době od 3.4. do 21.4. 2003 naměřeny 24-hodinové koncentrace v rozmezí od 12 do 58 µg.m⁻³ pro PM₁₀, od 10 do 51 µg.m⁻³ pro PM_{2,5} a od 16 do 36 µg.m⁻³ pro BS. Průměrná hodnota za sledované období dosáhla 38 µg.m⁻³ pro PM₁₀, 28 µg.m⁻³ pro PM_{2,5} a 27 µg.m⁻³ pro BS (Tab. 34). Denní limit pro PM₁₀ (50 µg.m⁻³) byl v pozad'ové lokalitě Žloutkovic překročen ve 5 případech (26%) měření. Poměr mezi průměry PM₁₀ a PM_{2,5} v tomto období činil shodně jako v pozad'ové lokalitě 1,3, poměr mezi průměry PM₁₀ a BS byl podobný 1,4. Poměr mezi koncentracemi PM₁₀ i PM_{2,5} naměřenými v centru obce a v pozad'ové lokalitě byl pro obě PM frakce shodný 1,2, pro koncentrace BS byl výraznější, dosáhl hodnoty 2,1.

Tab. 34 Koncentrace PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS v µg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)

Centrum obce (µg.m ⁻³)								
	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	19	38,3	15,0	38,4	11,6	58,3	31,0	45,5
PM _{2,5}	17	27,9	12,7	26,6	10,1	51,6	21,4	34,4
PM _{10-2,5}	19	13,3	12,1	7,3	1,5	38,4	7,5	19,1
BS	19	26,5	6,6	27,5	16,3	35,7	23,3	29,7

Mediány koncentrací dosáhly hodnot $38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro PM_{10} , $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro $\text{PM}_{2,5}$ a $28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS (Obr. 25).

Obr. 25 Koncentrace PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{10-2,5}$ a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)



3.2.2 Koncentrace vybraných prvků

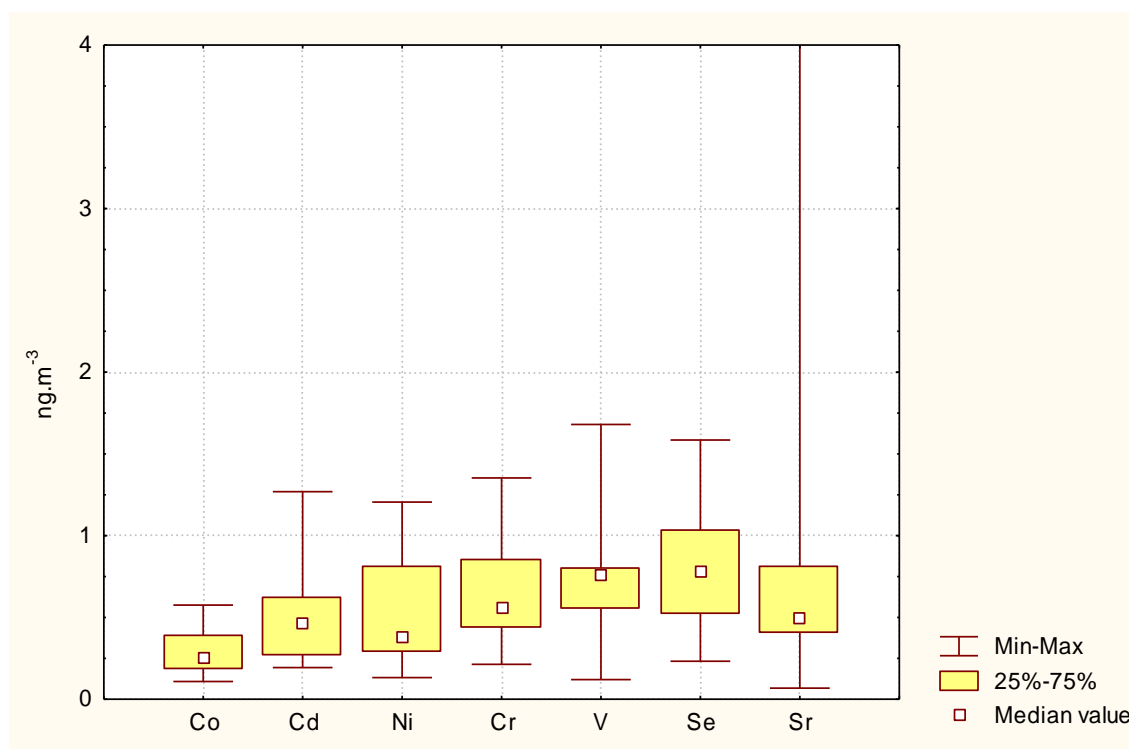
Pozad'ová lokalita – PM_{10}

Koncentrace vybraných prvků v PM_{10} naměřené v pozad'ové lokalitě jsou uvedeny v Tab. 35. O řád vyšší koncentrace byly naměřeny u Al (z tohoto důvodu není uveden v grafech). Grafické znázornění prvků obsažených v PM_{10} , jejichž průměrné hodnoty za sledované období nedosáhly $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, jsou uvedeny v následujícím grafu (Obr. 26).

Tab. 35 Koncentrace vybraných prvků v ng.m^{-3} naměřené ve frakci PM_{10} ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)

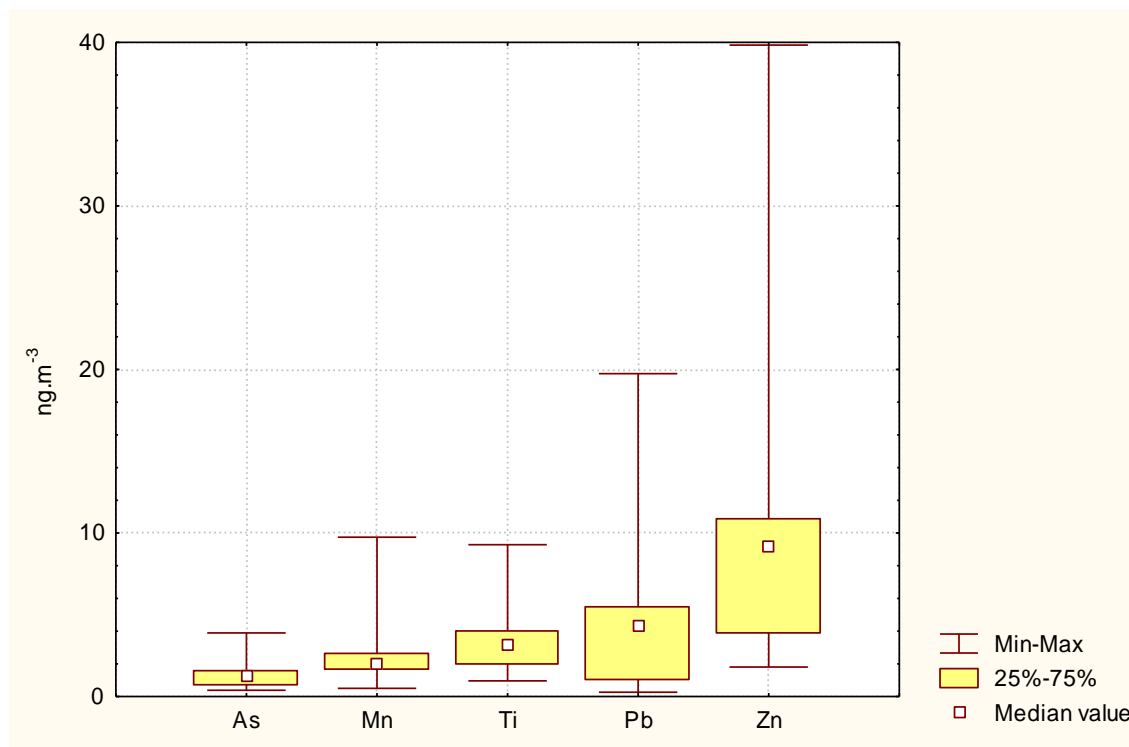
Pozad'ová lokalita (ng.m^{-3}) – PM_{10}								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min	Max	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
Al	17	71,14	88,35	34,88	7,83	335,09	25,72	116,57
As	17	1,36	0,89	1,30	0,38	3,89	0,91	1,82
Cd	15	0,51	0,30	0,47	0,19	1,27	0,34	0,68
Co	17	0,29	0,13	0,26	0,11	0,58	0,22	0,36
Cr	17	0,68	0,34	0,56	0,21	1,35	0,50	0,85
Mn	17	3,13	2,84	2,00	0,50	9,74	1,67	4,59
Ni	17	0,52	0,34	0,38	0,13	1,21	0,34	0,69
Pb	17	4,82	5,23	4,35	0,27	19,74	2,13	7,50
Se	16	0,80	0,38	0,78	0,23	1,59	0,59	1,00
Sr	17	1,13	1,67	0,49	0,07	6,47	0,27	1,98
Ti	17	3,75	2,57	3,22	0,96	9,29	2,43	5,08
V	17	0,79	0,41	0,77	0,12	1,68	0,58	1,00
Zn	17	10,22	9,20	9,20	1,81	39,84	5,49	14,96

Obr. 26 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Ni, Cr, V, Se a Sr) v ng.m^{-3} naměřené ve frakci PM_{10} ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)



Ostatní sledované prvky v PM_{10} , jejichž průměrné koncentrace se pohybovaly do 10 ng.m^{-3} , jsou graficky znázorněné v následujícím grafu (Obr. 27).

Obr. 27 Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb a Zn) v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM_{10} ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)



Pozad'ová lokalita – $\text{PM}_{2,5}$

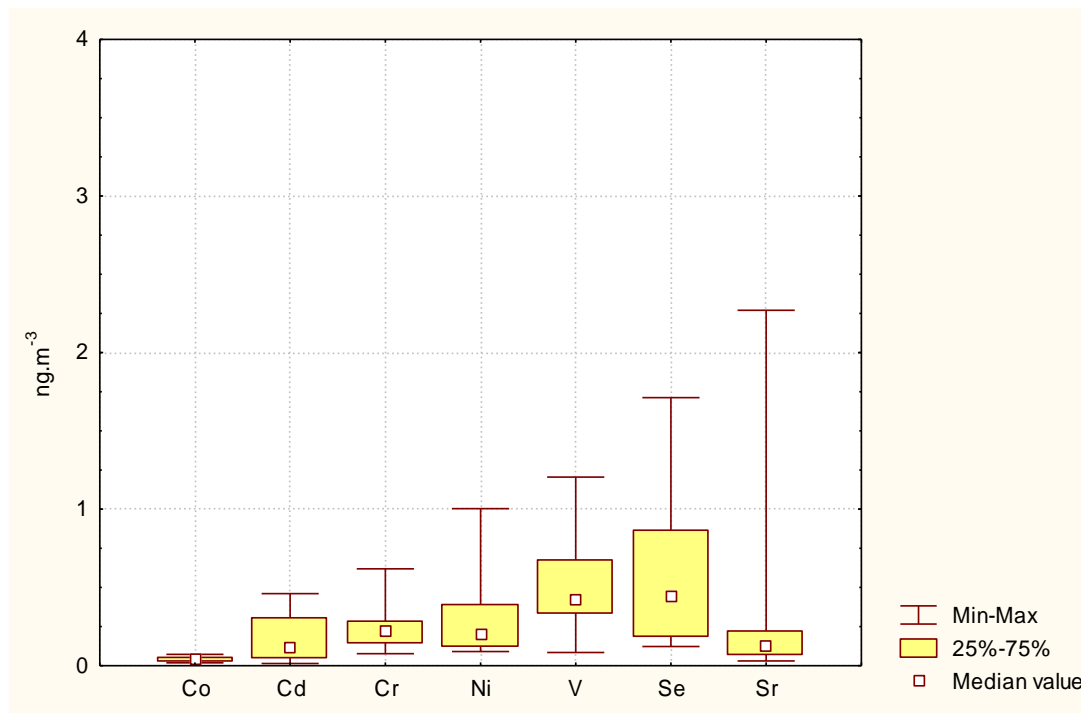
V tabulce 36 jsou uvedeny zkladní statistické charakteristiky pro vybrané prvky obsažené v aerosolové frakci $\text{PM}_{2,5}$ odebrané v dubnu 2003 v pozad'ové lokalitě.

Tab. 36 Koncentrace vybraných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci $\text{PM}_{2,5}$ ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)

Pozad'ová lokalita ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) – $\text{PM}_{2,5}$								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min	Max	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
Al	17	18,03	19,87	12,11	1,51	66,44	7,85	28,28
As	18	1,52	1,69	0,87	0,09	6,93	0,68	2,36
Cd	18	0,18	0,16	0,11	0,01	0,46	0,10	0,25
Co	17	0,04	0,02	0,04	0,02	0,07	0,03	0,05
Cr	18	0,24	0,14	0,22	0,08	0,62	0,17	0,30
Mn	16	1,40	0,76	1,36	0,18	2,66	1,00	1,81
Ni	14	0,28	0,24	0,20	0,09	1,00	0,14	0,42
Pb	16	6,29	4,89	6,17	0,29	16,70	3,68	8,89
Se	14	0,57	0,48	0,44	0,12	1,71	0,30	0,85
Sr	18	0,34	0,63	0,13	0,03	2,27	0,03	0,65
Ti	18	1,22	1,00	0,90	0,21	3,58	0,73	1,72
V	18	0,50	0,31	0,42	0,08	1,20	0,34	0,65
Zn	16	13,07	8,02	11,76	1,06	29,91	8,79	17,34

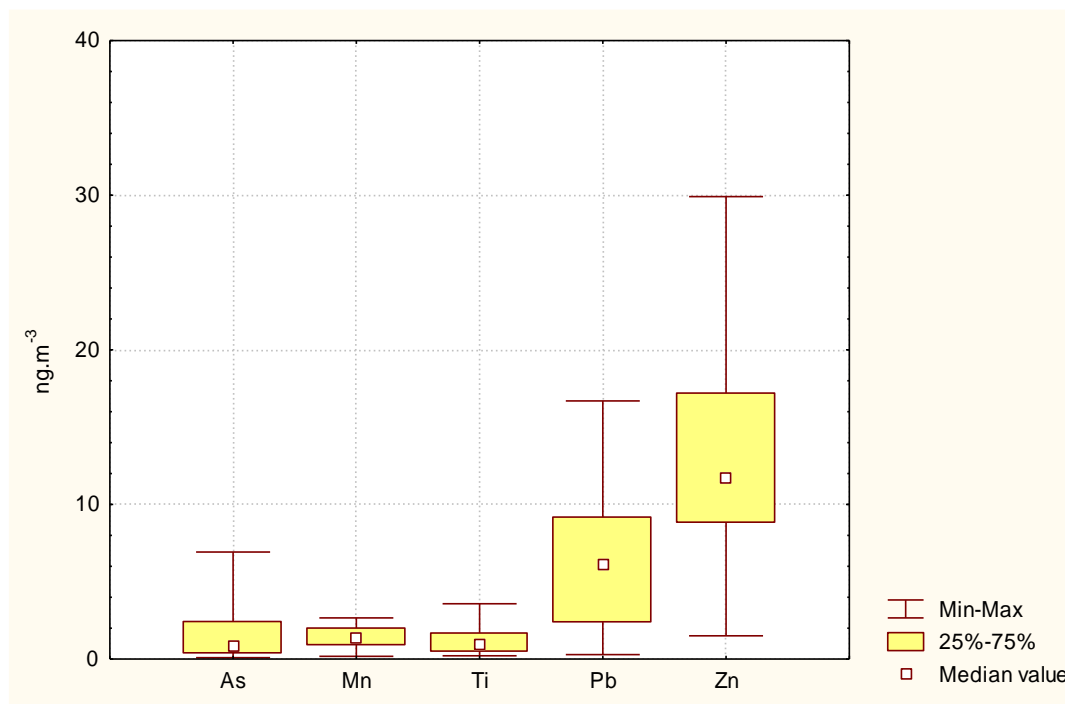
Grafické znázornění prvků obsažených v $PM_{2,5}$, jejichž průměrné hodnoty za sledované období nedosáhly 1 ng.m^{-3} , jsou uvedeny v následujícím grafu (Obr. 28).

Obr. 28 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Cr, Ni, V, Se, Sr) v ng.m^{-3} naměřené ve frakci $PM_{2,5}$ ve Žloutkovicích v pozářové lokalitě (duben 2003)



Další prvky, které byly ve frakci $PM_{2,5}$ stanovovány (kromě Al), jsou uvedeny v následujícím grafu (Obr. 29).

Obr. 29 Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb, Zn) v ng.m^{-3} naměřené ve frakci $PM_{2,5}$ ve Žloutkovicích v pozářové lokalitě (duben 2003)



Centrum obce – PM₁₀

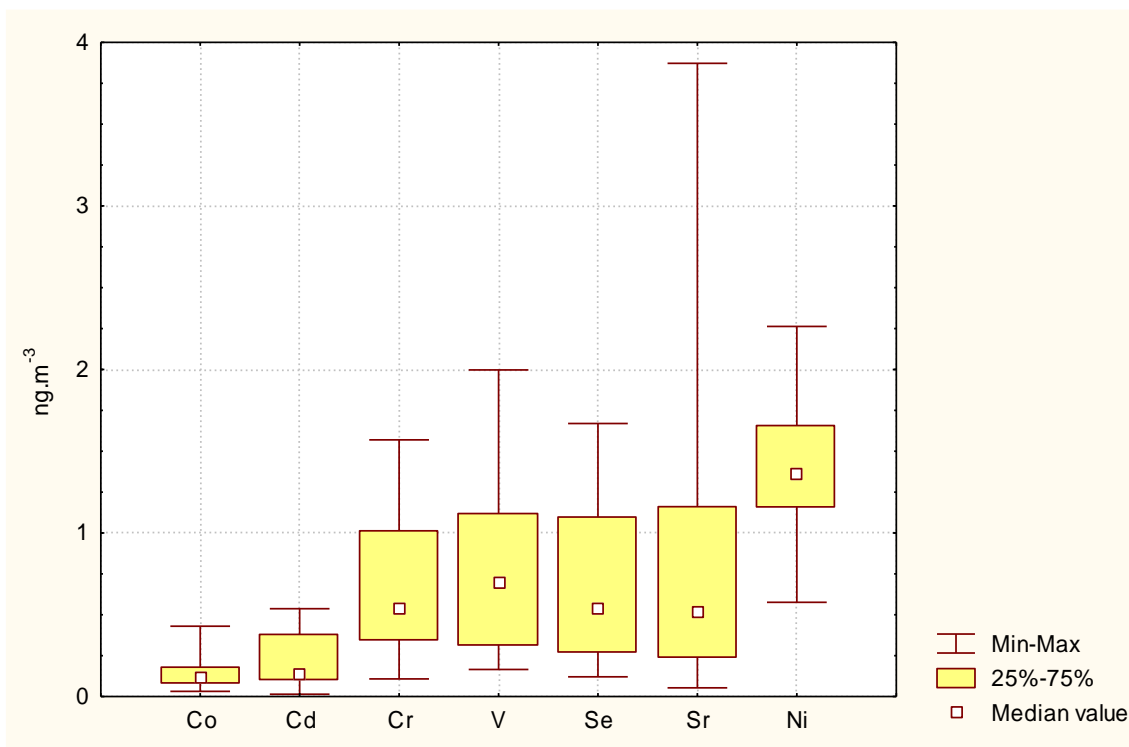
Stejně prvky jako v pozad'ové lokalitě byly sledovány i v lokalitě umístěné přímo ve vesnici. Základní statistické charakteristiky vybraných prvků jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 37).

Tab. 37 Koncentrace vybraných prvků v ng.m⁻³ naměřené ve frakci PM₁₀ ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)

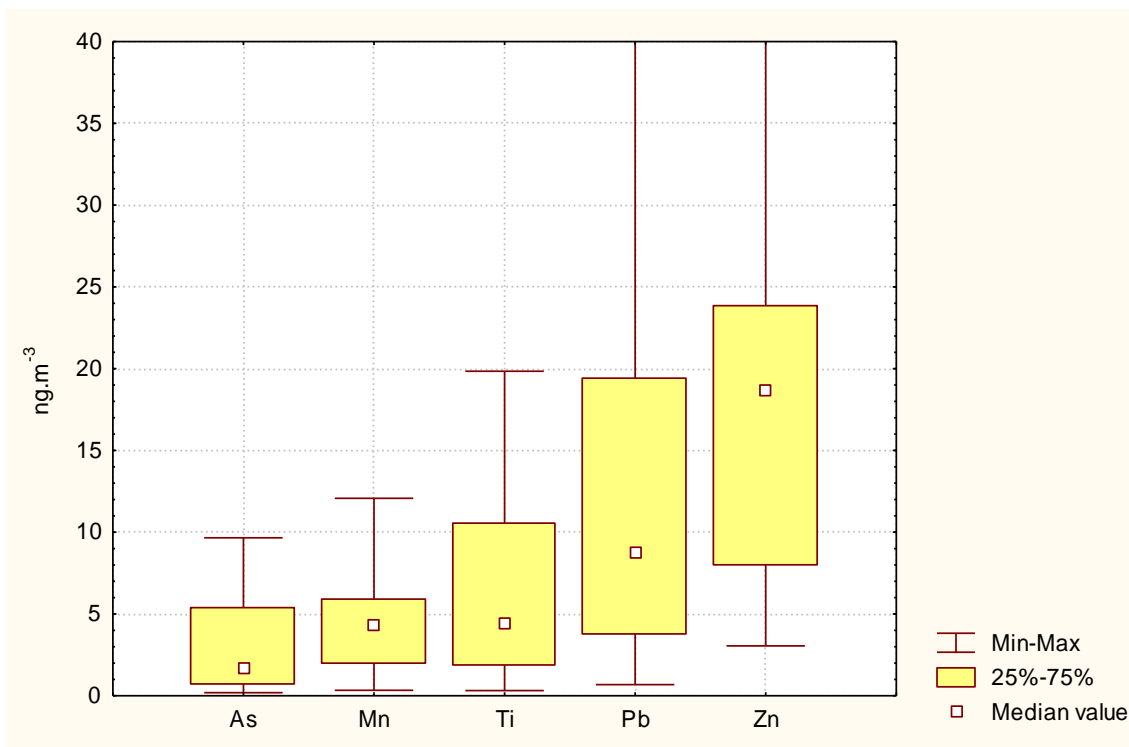
Centrum obce (ng.m ⁻³) – PM ₁₀								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min	Max	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
Al	19	140,80	98,30	147,34	2,77	371,08	93,42	188,18
As	19	3,07	2,79	1,66	0,19	9,66	1,72	4,41
Cd	16	0,22	0,18	0,14	0,01	0,54	0,13	0,32
Co	19	0,14	0,10	0,12	0,03	0,43	0,10	0,19
Cr	16	0,66	0,45	0,53	0,11	1,57	0,42	0,91
Mn	19	4,48	3,28	4,31	0,33	12,07	2,90	6,06
Ni	19	1,42	0,41	1,36	0,58	2,26	1,23	1,62
Pb	19	13,10	13,09	8,78	0,69	53,85	6,79	19,41
Se	16	0,67	0,50	0,54	0,12	1,67	0,41	0,94
Sr	18	1,03	1,19	0,52	0,05	3,87	0,44	1,62
Ti	19	6,41	5,56	4,39	0,32	19,84	3,73	9,09
V	19	0,78	0,51	0,69	0,17	2,00	0,54	1,03
Zn	18	19,24	12,47	18,72	3,05	48,98	13,04	25,44

Pro lepší grafické vyjádření zastoupení jednotlivých vybraných prvků byly sledované kovy zobrazeny ve dvou grafech (Obr. 30 a 31), prvky s průměrem kolem 1 ng.m⁻³ a ostatní prvky. Al není v grafu zobrazen vůbec vzhledem k několika násobně vyššímu zastoupení v frakci PM₁₀ v porovnání s ostatními prvky.

Obr. 30 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Cr, V, Se, Sr, Ni) v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM_{10} ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)



Obr. 31 Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb, Zn) v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM_{10} ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)



Centrum obce – PM_{2,5}

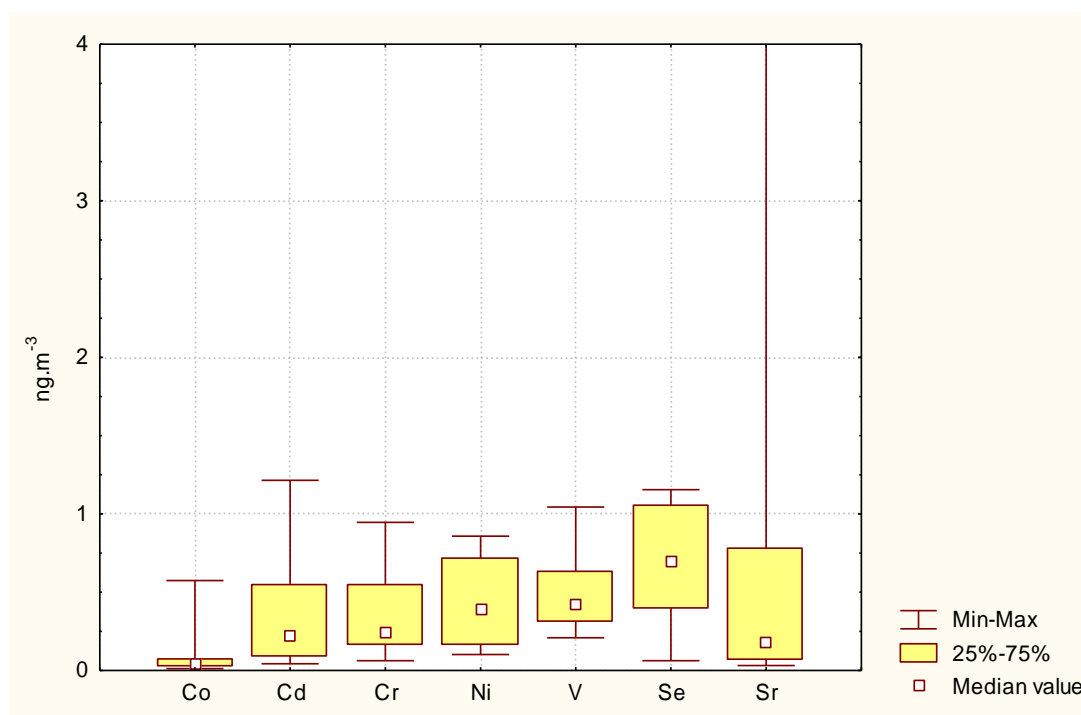
Podobné zastoupení prvků jako ve frakci PM₁₀ bylo nalezeno i v aerosolové frakci PM_{2,5}. Sledované prvky jsou uvedeny v tabulce 38.

Tab. 38 Koncentrace vybraných prvků v ng.m⁻³ naměřené ve frakci PM_{2,5} ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)

Centrum obce (ng.m ⁻³) - PM _{2,5}								
Prvek	Počet měření	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min	Max	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
Al	15	28,72	47,43	11,50	3,76	191,04	2,46	54,99
As	15	3,54	3,85	2,49	0,71	15,76	1,41	5,67
Cd	15	0,33	0,33	0,22	0,04	1,21	0,15	0,51
Co	14	0,11	0,19	0,04	0,01	0,57	0,00	0,22
Cr	15	0,38	0,27	0,24	0,06	0,95	0,23	0,52
Mn	15	1,38	1,18	1,06	0,39	4,82	0,73	2,03
Ni	13	0,41	0,27	0,39	0,10	0,86	0,25	0,58
Pb	15	15,19	18,26	6,98	2,22	70,26	5,08	25,30
Se	15	0,68	0,37	0,70	0,06	1,15	0,47	0,89
Sr	15	0,70	1,32	0,18	0,03	5,13	0,00	1,43
Ti	15	1,65	2,06	1,08	0,36	8,59	0,51	2,79
V	15	0,48	0,24	0,43	0,21	1,04	0,34	0,61
Zn	15	18,25	15,82	12,89	5,25	63,15	9,49	27,01

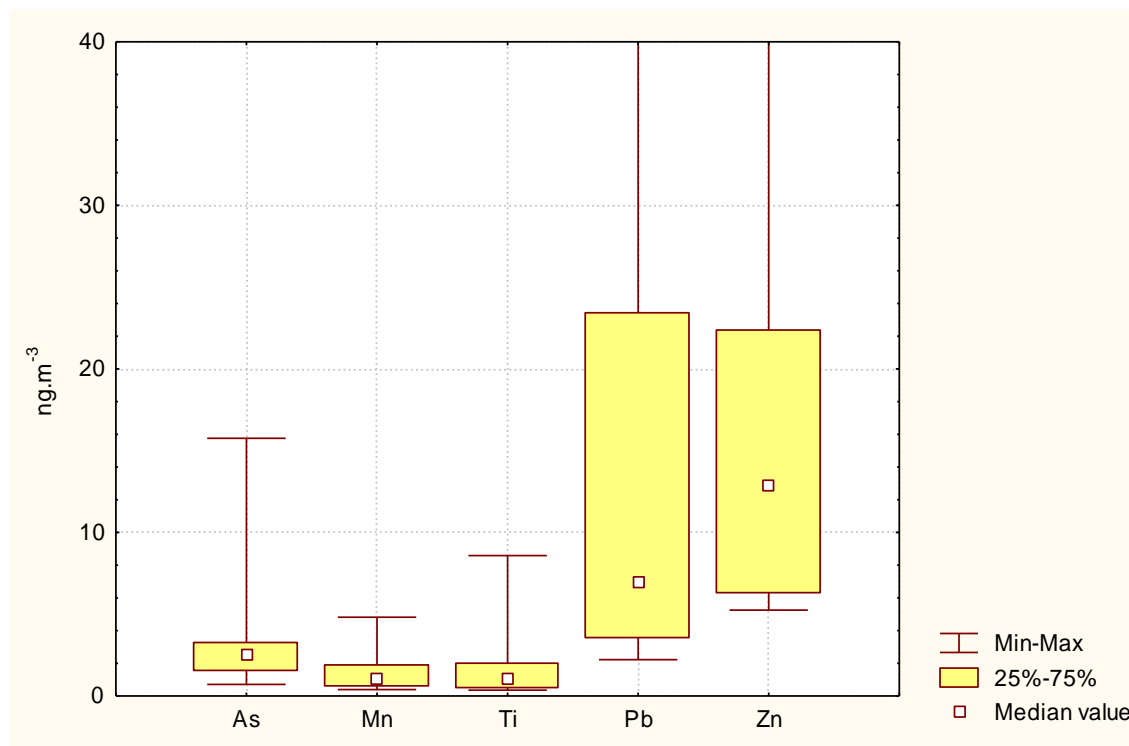
Grafické znázornění sledovaných prvků s nejmenším zastoupením v aerosolové frakci PM_{2,5} odebrané v centru obce je patrné z grafu (Obr. 32).

Obr. 32 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Cr, Ni, V, Sr, Se) v ng.m⁻³ naměřené ve frakci PM_{2,5} ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)



Ostatní kovy sledované ve frakci $PM_{2,5}$ v centru obce jsou uvedeny v grafu (Obr. 33).

Obr. 33 Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb, Zn) v $ng.m^{-3}$ naměřené ve frakci $PM_{2,5}$ ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)



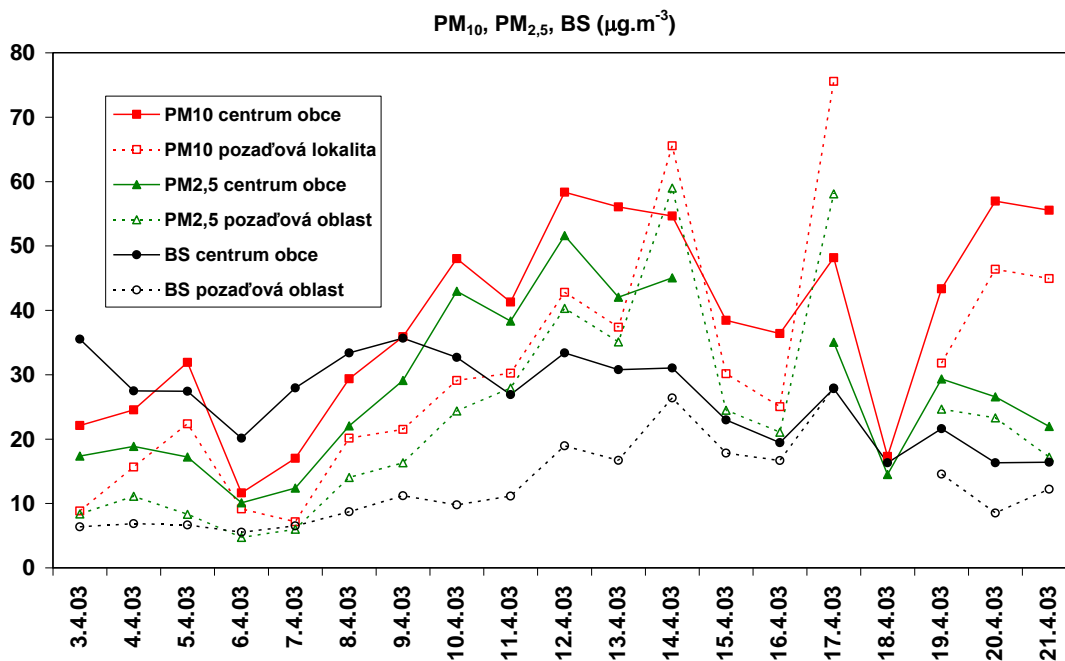
3.2.3 Vzájemné vztahy (korelace) mezi PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{10-2,5}$ a BS

Frakce PM_{10} výrazně pozitivně korelovala s frakcí $PM_{2,5}$ a BS v pozad'ové lokalitě (Tab. 39). V centru obce PM_{10} opět výrazně korelovala s $PM_{2,5}$, ale již nikoliv s koncentrací BS. U naměřené koncentrace BS v centru obce nebyl prokázán korelační vztah s žádnou sledovanou frakcí PM. Hrubá frakce suspendovaných částic $PM_{10-2,5}$ v obou sledovaných lokalitách korelovala s koncentrací PM_{10} a mezi sebou navzájem. U hrubé frakce v centru obce navíc byla prokázána ještě korelace s koncentrací BS v pozad'ové lokalitě. Nejednalo se velmi těsné vztahy ($p < 0,1$). V porovnání pozad'ové lokality a lokalitou v centru obce byla prokázána v rámci jedné frakce velmi silná pozitivní korelace ($p < 0,0001$), korelační koeficienty dosáhly hodnot 0,917 pro PM_{10} a 0,929 pro $PM_{2,5}$. Graficky jsou jednotlivé průběhy naměřených koncentrací v obou lokalitách znázorněny na Obr. 34.

Tab. 39 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS v pozad'ové lokalitě a v centru obce v dubnu 2003

		Pozad'ová lokalita				Centrum obce		
		PM ₁₀	PM _{2,5}	PM _{10-2,5}	BS	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM _{10-2,5}
Pozad'ová lokalita	PM _{2,5}	0,853 (0,0000)	1					
	PM _{10-2,5}	0,554 (0,0170)	0,176 (0,4836)	1				
	BS	0,779 (0,0001)	0,893 (0,0000)	0,257 (0,3033)	1			
Centrum obce	PM ₁₀	0,917 (0,0000)	0,816 (0,0000)	0,366 (0,1348)	0,713 (0,0009)	1		
	PM _{2,5}	0,685 (0,0034)	0,929 (0,0000)	0,050 (0,8541)	0,832 (0,0001)	0,804 (0,0001)	1	
	PM _{10-2,5}	<u>0,509</u> (0,0311)	0,290 (0,2431)	<u>0,583</u> (0,0111)	<u>0,503</u> (0,0335)	<u>0,542</u> (0,0165)	0,299 (0,2437)	1
	BS	-0,263 (0,2914)	0,055 (0,8293)	-0,397 (0,1025)	0,034 (0,8933)	-0,018 (0,9432)	0,365 (0,1495)	-0,258 (0,2864)

Obr. 34 Průběh frakcí PM₁₀, PM_{2,5} a BS v pozad'ové lokalitě a v centru obce



3.2.4 Vzájemné vztahy (korelace) mezi koncentracemi sledovaných prvků a PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS

Na rozdíl od dlouhodobých měřicích kampaní (1997-1999) koncentrace sledovaných prvků naměřených v obou sledovaných lokalitách během dubna 2003 nekorelovaly tak významně s koncentracemi jednotlivých frakcí PM a BS. V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřené korelační koeficienty a jejich příslušné hladiny významnosti, tučně jsou zvýrazněny případy, kdy korelační vztah byl prokázán na hladině významnosti nižší než 0,01. Koncentrace prvků pocházejících z odebraného materiálu PM₁₀ v pozad'ové lokalitě nejtěsněji korelovaly s frakcí PM₁₀ a BS (Tab. 40).

Tab. 40 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5}, BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM₁₀ frakce v pozad'ové lokalitě

	Pozad'ová lokalita (duben 2003) – PM ₁₀							
	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM _{10-2,5}		BS	
	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.
Al	0,510	0,0366	0,091	0,7292	0,824	0,0000	0,194	0,4565
As	0,733	0,0008	0,821	0,0001	0,137	0,5994	0,608	0,0096
Cd	0,857	0,0000	0,632	0,0115	0,396	0,1435	0,629	0,0121
Co	0,858	0,0000	0,667	0,0035	0,507	0,0376	0,681	0,0026
Cr	0,882	0,0000	0,664	0,0036	0,542	0,0247	0,686	0,0023
Mn	0,826	0,0000	0,537	0,0263	0,520	0,0325	0,544	0,0239
Ni	0,309	0,2278	0,235	0,3633	0,081	0,7576	0,221	0,3949
Pb	0,931	0,0000	0,814	0,0001	0,299	0,2437	0,735	0,0008
Se	0,532	0,0338	0,700	0,0025	-0,056	0,8371	0,865	0,0000
Sr	0,784	0,0002	0,495	0,0433	0,640	0,0057	0,537	0,0263
Ti	0,586	0,0135	0,284	0,2687	0,684	0,0025	0,350	0,1678
V	0,755	0,0005	0,547	0,0232	0,547	0,0232	0,618	0,0082
Zn	0,811	0,0000	0,745	0,0006	0,257	0,3187	0,721	0,0011

V následujících tabulkách (Tab. 41, 42 a 43) jsou uvedeny korelační koeficienty a jejich příslušné hladiny významnosti pro prvky sledované v odebrané frakci PM_{2,5} v pozad'ové lokalitě a prvky v odebraných frakcích PM₁₀ a PM_{2,5} v centru obce s ostatními aerosolovými frakcemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS. V rámci pozad'ové lokality byly korelace nejméně průkazné ve vztahu k PM_{10-2,5}. Z pohledu zkoumaných typů frakcí, z které koncentrace prvků pocházely, byly nejnižší korelační koeficienty (zpravidla neprůkazné vztahy) naměřeny u prvků pocházejících z frakce PM_{2,5} v centru obce.

Tab. 41 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny význam. mezi koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5}, BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM_{2,5} frakce v pozad'ové lokalitě

	Pozad'ová lokalita (duben 2003) – PM _{2,5}							
	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM _{10-2,5}		BS	
	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.
Al	0,559	0,0197	0,179	0,4920	0,713	0,0013	0,218	0,4003
As	0,401	0,0987	0,571	0,0134	-0,001	0,9968	0,492	0,0380
Cd	0,847	0,0000	0,697	0,0013	0,389	0,1105	0,641	0,0042
Co	0,784	0,0002	0,510	0,0366	0,630	0,0067	0,586	0,0135
Cr	0,620	0,0060	0,451	0,0603	0,352	0,1521	0,472	0,0482
Mn	0,653	0,0061	0,394	0,1309	0,288	0,2790	0,362	0,1686
Ni	0,385	0,1745	0,385	0,1745	-0,143	0,6261	0,574	0,0320
Pb	0,774	0,0004	0,709	0,0021	0,112	0,6803	0,576	0,0194
Se	0,754	0,0018	0,798	0,0006	0,178	0,5426	0,789	0,0008
Sr	0,540	0,0208	0,230	0,3583	0,546	0,0191	0,245	0,2280
Ti	0,624	0,0056	0,319	0,1971	0,664	0,0027	0,410	0,0913
V	0,684	0,0017	0,550	0,0180	0,344	0,1626	0,633	0,0048
Zn	0,735	0,0012	0,785	0,0003	-0,021	0,9397	0,712	0,0020

Tab. 42 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5}, BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM₁₀ frakce v centru obce

	Centrum obce (duben 2003) – PM ₁₀							
	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM _{10-2,5}		BS	
	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.
Al	0,251	0,3002	0,265	0,3045	0,353	0,1387	0,512	0,0249
As	0,319	0,1827	0,696	0,0019	-0,109	0,6576	0,723	0,0005
Cd	0,606	0,0129	0,538	0,0470	0,332	0,2085	0,085	0,7535
Co	0,702	0,0008	0,657	0,0042	0,626	0,0041	0,074	0,7643
Cr	0,532	0,0338	0,692	0,0061	0,238	0,3743	0,365	0,1649
Mn	0,698	0,0009	0,593	0,0121	0,723	0,0005	0,026	0,9148
Ni	0,360	0,1304	0,368	0,1466	0,316	0,1878	0,040	0,8697
Pb	0,596	0,0070	0,657	0,0042	0,500	0,0293	0,189	0,4372
Se	0,447	0,0825	0,697	0,0056	0,044	0,8711	0,662	0,0052
Sr	0,626	0,0054	0,312	0,2398	0,756	0,0003	-0,368	0,1325
Ti	0,577	0,0097	0,603	0,0104	0,596	0,0070	0,189	0,4372
V	0,598	0,0068	0,716	0,0012	0,554	0,0138	0,247	0,3072
Zn	0,290	0,2431	0,676	0,0040	0,115	0,6508	0,534	0,0226

Tab. 43 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5}, BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM_{2,5} frakce v centru obce

	Centrum obce (duben 2003) – PM _{2,5}							
	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM _{10-2,5}		BS	
	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.	Spear. k. koef.	Hladina význam.
Al	0,468	0,0786	0,114	0,6851	0,732	0,0019	-0,239	0,3904
As	-0,100	0,7229	0,311	0,2597	-0,221	0,4277	0,739	0,0016
Cd	0,100	0,7229	-0,211	0,4510	0,336	0,2212	-0,121	0,6664
Co	-0,099	0,7366	-0,367	0,1967	0,152	0,6048	-0,046	0,8755
Cr	-0,068	0,8101	-0,075	0,7905	0,007	0,9798	-0,075	0,7905
Mn	0,539	0,0380	0,254	0,3618	0,707	0,0032	-0,057	0,8397
Ni	0,154	0,5848	0,132	0,6387	0,289	0,2957	0,143	0,6115
Pb	0,264	0,3412	0,125	0,6571	0,464	0,0813	0,025	0,9295
Se	-0,043	0,8795	0,161	0,5672	-0,096	0,7325	0,632	0,0115
Sr	0,314	0,2539	-0,111	0,6945	0,500	0,0577	-0,221	0,4277
Ti	0,325	0,2372	-0,104	0,7134	0,671	0,0061	-0,175	0,5327
V	0,018	0,9496	-0,100	0,7229	0,146	0,6025	-0,057	0,8397
Zn	0,154	0,5848	0,132	0,6387	0,289	0,2957	0,143	0,6115

Kromě hledání vztahů mezi koncentracemi stanovených prvků a jednotlivých frakcí atmosférického aerosolu včetně BS koncentrace byly hledány korelační vztahy mezi prvky navzájem. Spearmanovy korelační vztahy s tučně vyznačenými korelačními koeficienty, jejichž hodnoty byly vyšší než 0,7, jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 44, 45, 46 a 47).

Tab. 44 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM₁₀ z pozad'ové lokality venkovského sídla

	Al	As	Cd	Co	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
Al	1												
As	0,31	1											
Cd	0,59	0,67	1										
Co	0,69	0,68	0,99	1									
Cr	0,76	0,71	0,92	0,94	1								
Mn	0,80	0,60	0,78	0,85	0,94	1							
Ni	0,24	0,40	0,85	0,36	0,42	0,39	1						
Pb	0,54	0,81	0,89	0,89	0,91	0,86	0,37	1					
Se	0,14	0,65	0,55	0,59	0,58	0,50	0,37	0,70	1				
Sr	0,83	0,54	0,87	0,94	0,93	0,90	0,29	0,79	0,42	1			
Ti	0,84	0,55	0,63	0,69	0,81	0,82	0,44	0,67	0,42	0,74	1		
V	0,76	0,69	0,82	0,87	0,93	0,88	0,44	0,86	0,66	0,83	0,90	1	
Zn	0,47	0,81	0,74	0,78	0,86	0,78	0,44	0,92	0,72	0,67	0,70	0,88	1

Tab. 45 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM_{2,5} z pozad'ové lokality venkovského sídla

	Al	As	Cd	Co	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
Al	1												
As	0,46	1											
Cd	0,74	0,51	1										
Co	0,87	0,52	0,83	1									
Cr	0,73	0,49	0,72	0,77	1								
Mn	0,81	0,52	0,83	0,84	0,92	1							
Ni	0,22	0,05	0,49	0,48	0,71	0,56	1						
Pb	0,65	0,61	0,93	0,73	0,67	0,84	0,47	1					
Se	0,64	0,96	0,84	0,82	0,77	0,83	0,62	0,84	1				
Sr	0,91	0,39	0,76	0,82	0,67	0,72	0,31	0,62	0,55	1			
Ti	0,97	0,53	0,78	0,89	0,80	0,85	0,33	0,64	0,77	0,86	1		
V	0,74	0,51	0,83	0,86	0,90	0,90	0,74	0,75	0,94	0,67	0,85	1	
Zn	0,51	0,59	0,85	0,67	0,71	0,80	0,69	0,94	0,86	0,48	0,55	0,80	1

Tab. 46 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM₁₀ z centrální oblasti venkovského sídla

	Al	As	Cd	Co	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
Al	1												
As	0,34	1											
Cd	0,42	0,43	1										
Co	0,52	0,50	0,90	1									
Cr	0,56	0,60	0,82	0,93	1								
Mn	0,46	0,49	0,78	0,88	0,83	1							
Ni	0,29	0,27	0,24	0,45	0,72	0,59	1						
Pb	0,56	0,65	0,88	0,84	0,77	0,85	0,37	1					
Se	0,37	0,81	0,55	0,54	0,59	0,51	0,50	0,55	1				
Sr	0,25	0,14	0,74	0,79	0,48	0,84	0,31	0,70	0,24	1			
Ti	0,45	0,62	0,68	0,86	0,85	0,95	0,58	0,80	0,60	0,70	1		
V	0,52	0,67	0,76	0,92	0,93	0,92	0,59	0,85	0,65	0,66	0,97	1	
Zn	0,37	0,79	0,60	0,59	0,66	0,62	0,36	0,74	0,94	0,27	0,72	0,77	1

Tab. 47 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM_{2,5} z centrální oblasti venkovského sídla

	Al	As	Cd	Co	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Ti	V	Zn
Al	1												
As	0,16	1											
Cd	0,64	0,23	1										
Co	0,45	0,34	0,93	1									
Cr	0,29	0,27	0,78	0,79	1								
Mn	0,90	0,33	0,79	0,64	0,53	1							
Ni	-0,05	0,09	0,33	0,22	0,62	0,05	1						
Pb	0,82	0,56	0,71	0,61	0,48	0,88	0,19	1					
Se	0,21	0,76	0,59	0,67	0,47	0,44	0,16	0,48	1				
Sr	0,70	0,07	0,91	0,77	0,59	0,80	0,23	0,66	0,41	1			
Ti	0,88	0,14	0,83	0,69	0,53	0,90	0,06	0,76	0,36	0,82	1		
V	0,52	0,39	0,92	0,88	0,90	0,70	0,59	0,72	0,61	0,78	0,69	1	
Zn	0,69	0,61	0,72	0,67	0,56	0,76	0,31	0,92	0,57	0,66	0,65	0,80	1

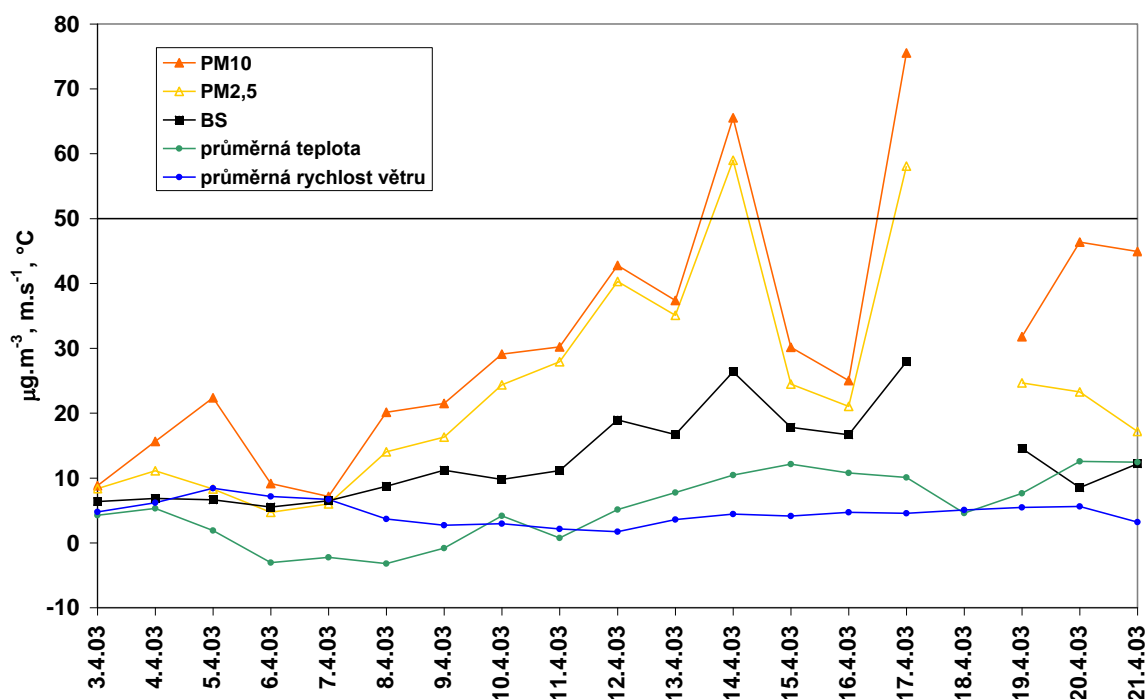
3.2.5 Vzájemné vztahy (korelace) mezi meteorologickými parametry (teplota vzduchu, rychlost větru) a koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5}, BS a sledovaných prvků

Během měřicí kampaně v dubnu 2003 se průměrná denní teplota vzduchu pohybovala od -3,22 do 12,55 °C. Průměrná hodnota za sledované období dosáhla hodnoty 5,29 °C, celkem pro 4 dny byla charakteristická průměrná denní teplota pod bodem mrazu. Průměrná denní rychlost větru se pohybovala od 1,7 do 8,42 m.s⁻¹. Průměrná hodnota pro rychlost větru za sledované období dosáhla hodnoty 4,59 m.s⁻¹. V první polovině měřicí kampaně (prvních 7 dní) převládalo během dne proudění vzduchu severozápadního směru, ve druhé polovině sledovaného období převládá vítr východního směru (v 6 případech).

Pozad'ová oblast

Korelační vztahy mezi sledovanými aerosolovými frakcemi a prvky a meteorologickými parametry nebyly v této měřicí kampani tak významné jako byly nalezeny v zimních a letním období v letech 1997 – 1999 (Obr. 35). Průkazná pozitivní korelace byla v pozad'ové lokalitě nalezena mezi koncentrací PM₁₀ a průměrnou denní teplotou (0,649, p<0,01) (v Tab. 48 zvýrazněno tučně).

Obr. 35 Časové řady koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a BS (μg.m⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné denní rychlosti větru (m.s⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě v dubnu 2003



Mezi korelační vztahy, kde hladina významnosti p byla nižší než 0,1, patří vztahy mezi koncentrací PM_{2,5} a BS a oběma meteorologickými parametry (v Tab. 48 zvýrazněno podtržením).

Tab. 48 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS v pozad'ové lokalitě

	Pozad'ová lokalita (duben 2003)			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
PM ₁₀	0,649	0,0036	-0,389	0,1105
PM _{2,5}	<u>0,472</u>	0,0482	<u>-0,581</u>	0,0115
PM _{10-2,5}	<u>0,439</u>	0,0686	0,104	0,6806
BS	<u>0,496</u>	0,0361	<u>-0,554</u>	0,0170

Pozitivní korelace mezi koncentracemi prvků pocházejících z PM₁₀ materiálu odebraného v pozad'ové lokalitě a průměrnou denní teplotou byla v nejtěsnějším korelačním vztahu nalezena pro prvky Cd, Co, Cr a Sr. Ve vztahu k rychlosti větru byla nejprůkaznější záporná korelace nalezena pro prvky As a Zn (Tab. 49, korelační vztahy kdy je $p < 0,01$ jsou zvýrazněny tučně, korelační vztahy kdy je $p < 0,1$ jsou zvýrazněny podtržením).

Tab. 49 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM₁₀ odebrané v pozad'ové lokalitě

	Pozad'ová lokalita (duben 2003) – PM ₁₀			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Al	0,441	0,0763	0,191	0,4623
As	0,196	0,4507	-0,654	0,0044
Cd	0,843	0,0001	-0,168	0,5499
Co	0,713	0,0013	-0,321	0,2089
Cr	0,647	0,0050	-0,348	0,1710
Mn	<u>0,598</u>	0,0112	-0,194	0,4565
Ni	<u>0,534</u>	0,0271	-0,194	0,4565
Pb	<u>0,525</u>	0,0307	<u>-0,505</u>	0,0387
Se	0,168	0,5349	<u>-0,606</u>	0,0129
Sr	0,723	0,0010	-0,096	0,7152
Ti	0,319	0,2126	-0,181	0,4860
V	<u>0,458</u>	0,0643	<u>-0,431</u>	0,0838
Zn	0,346	0,1742	-0,647	0,0050

U koncentrací prvků získaných z PM_{2,5} materiálu byly nalezeny nejtěsnější vztahy ($p < 0,01$) pouze ve vztahu k průměrné denní rychlosti větru (As: -0,674, Se: -0,754). Korelace ostatních prvků jsou uvedeny v Tab. 50 (korelační vztahy kdy je $p < 0,01$ zvýrazněny tučně, korelační vztahy kdy je $p < 0,1$ zvýrazněny podtržením).

Tab. 50 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM_{2,5} odebrané v pozad'ové lokalitě

	Pozad'ová lokalita (duben 2003) – PM _{2,5}			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Al	0,218	0,4003	-0,056	0,8292
As	-0,282	0,2574	-0,674	0,0022
Cd	<u>0,554</u>	0,0170	-0,337	0,1708
Co	0,387	0,1246	-0,355	0,1615
Cr	<u>0,426</u>	0,0778	<u>-0,463</u>	0,0528
Mn	0,338	0,2001	-0,359	0,1723
Ni	0,552	0,0408	-0,0154	0,9584
Pb	0,341	0,1959	-0,418	0,1075
Se	0,191	0,5126	-0,754	0,0018
Sr	0,387	0,126	0,049	0,8484
Ti	0,319	0,1971	-0,207	0,4089
V	<u>0,472</u>	0,0482	<u>-0,434</u>	0,0716
Zn	0,356	0,1761	<u>-0,427</u>	0,0995

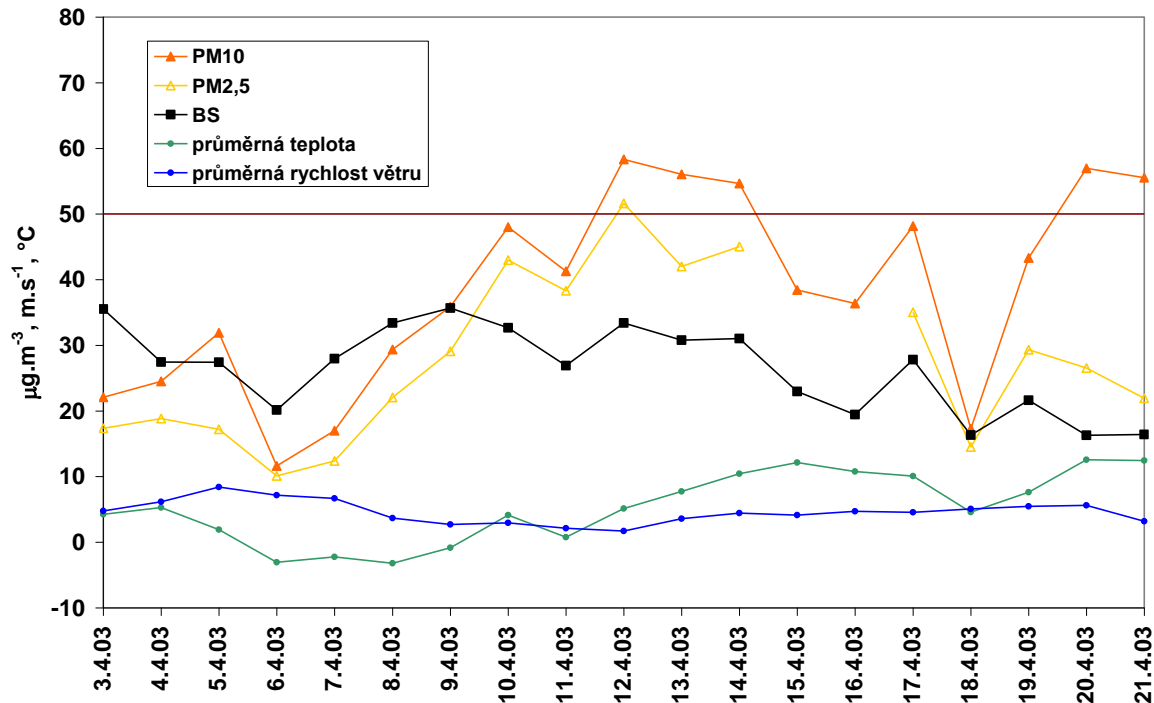
Centrum obce

Významná negativní korelace byla potvrzena mezi koncentrací PM_{2,5} a rychlostí větru (-0,743, p<0,001). Mezi koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5} a PM_{10-2,5} byla spočtena pozitivní korelace ve vztahu s průměrnou denní teplotou, u koncentrace BS byl tento vztah nalezen jako negativní. Korelační vztahy uvedené v Tab. 51 jsou v případě, že p<0,01 zvýrazněny tučně a pro p<0,1 zvýrazněny podtržením.

Tab. 51 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS v centru obce

	Centrum obce (duben 2003)			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
PM ₁₀	<u>0,554</u>	0,0138	<u>-0,553</u>	0,0141
PM _{2,5}	0,306	0,2317	-0,743	0,0006
PM _{10-2,5}	0,688	0,0011	-0,063	0,7973
BS	<u>-0,542</u>	0,0165	<u>-0,416</u>	0,0766

Obr. 36 Časové řady koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a BS (μg.m⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné denní rychlosti větru (m.s⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v centru obce v dubnu 2003



Průkazná pozitivní korelace mezi průměrnou denní teplotou a prvky z PM₁₀ materiálu odebraného v centru obce byla nalezena pro prvky: Sr (0,635, p<0,01) a pro prvky Co, Mn (p<0,1) a záporná korelace pro As (p<0,1). Podobná situace byla

nalezena i ve vztahu k průměrné rychlosti větru, negativní korelace byla prokázána pro Se (-0,771, $p < 0,01$) a pro prvky As, Co a Zn ($p < 0,1$). Zvýrazněné korelační koeficienty jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 52).

Tab. 52 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM₁₀ odebrané v centru obce

	Centrum obce (duben 2003) – PM ₁₀			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Al	-0,028	0,9092	-0,144	0,5568
As	<u>-0,412</u>	0,0794	<u>-0,553</u>	0,0141
Cd	0,338	0,2001	-0,385	0,1405
Co	<u>0,460</u>	0,0477	<u>-0,398</u>	0,0913
Cr	0,232	0,3865	-0,276	0,2999
Mn	<u>0,496</u>	0,0306	-0,189	0,4372
Ni	0,386	0,1027	0,032	0,8979
Pb	0,205	0,3992	-0,377	0,1114
Se	-0,191	0,4782	-0,771	0,0005
Sr	0,635	0,0047	-0,086	0,7354
Ti	0,328	0,1703	-0,174	0,4770
V	0,311	0,1957	-0,316	0,1878
Zn	-0,137	0,5871	<u>-0,525</u>	0,0252

Mezi koncentracemi prvků z frakce PM_{2,5} odebrané v centru obce nebyly nalezeny téměř žádné průkazné korelační vztahy s meteorologickými parametry. Pouze ve dvou případech ($p < 0,1$) byla nalezena významnější korelace, záporná korelace mezi As a teplotou vzduchu (-0,632) a naopak pozitivní vztah mezi Co (0,678) a rychlostí větru (Tab. 53, zvýrazněno podtržením).

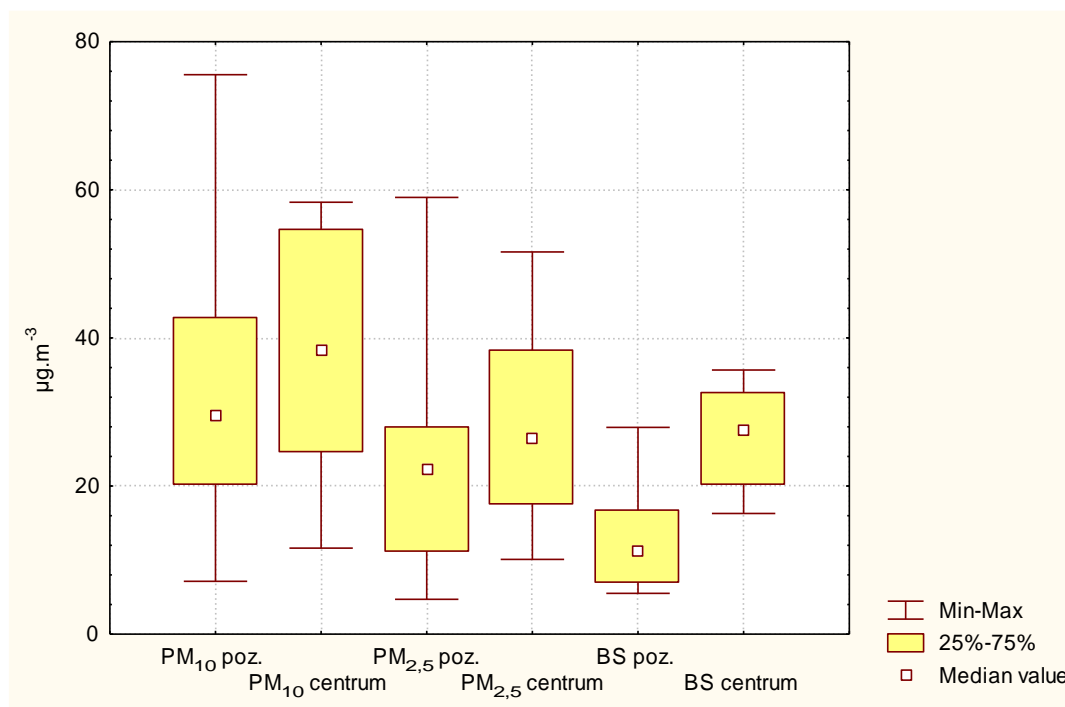
Tab. 53 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM_{2,5} odebrané v centru obce

	Centrum obce (duben 2003) – PM _{2,5}			
	Průměrná denní teplota		Rychlost větru	
	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.	Spearman. korel. koef.	Hladina význam.
Al	0,364	0,1819	0,079	0,7808
As	<u>-0,632</u>	0,0115	-0,425	0,1143
Cd	0,193	0,4910	0,382	0,1598
Co	0,033	0,9109	<u>0,525</u>	0,0537
Cr	0,132	0,6387	0,286	0,3019
Mn	0,393	0,1475	-0,029	0,9195
Ni	0,176	0,5656	0,198	0,5171
Pb	0,046	0,8695	-0,036	0,8994
Se	-0,364	0,1819	-0,032	0,9095
Sr	0,307	0,3156	0,171	0,5413
Ti	0,371	0,1728	0,239	0,3904
V	0,071	0,8003	0,286	0,3019
Zn	-0,132	0,6387	-0,039	0,8894

3.2.6 Srovnání naměřených koncentrací PM₁₀, PM_{2,5}, BS a prvků v pozadové lokalitě s lokalitou v centru obce a s okolními městy

Průměrné koncentrace PM₁₀, PM_{2,5} a BS byly v centru obce naměřeny přibližně o 22%, 18% a u BS dokonce o 105% vyšší než v pozadové lokalitě (Obr. 37). Průměrné hodnoty PM₁₀ a PM_{2,5} představovaly 31 a 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v pozadové lokalitě a 37 a 28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v centru obce (Tab. 33 a 34). Statisticky významný rozdíl v hmotnostní koncentraci stanovovaných suspendovaných částic byl prokázán mezi jednotlivými frakcemi PM v rámci jednoho sledovaného místa, nikoliv mezi místy v rámci jedné frakce PM. Koncentrace BS v centru obce se výrazně nelišily od koncentrace PM_{2,5} na rozdíl od pozadové lokality, kde mezi koncentracemi BS a PM_{2,5} byl prokázán statisticky významný rozdíl stejně jako mezi BS v obci a BS v pozadové lokalitě (Tab. 54).

Obr. 37 Koncentrace PM₁₀, PM_{2,5} a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřená v pozadové lokalitě v centru obce Žloutkovice v období od 3.4. do 21.4.2003



Stejně jako v měřicích kampaních v letech 1997-1999, byla koncentrace PM₁₀ ve sledovaných místech obce porovnána s koncentracemi naměřenými v okolních městech (Tab. 54). Koncentrace v pozadové lokalitě byla srovnatelná s koncentrací naměřenou

ve Slaném, v porovnání s ostatními lokalitami (včetně centra obce) byla nižší. Koncentrace naměřená v centru obce byla shodná s koncentrací naměřenou v Berouně, vyšší než ve Slaném a menší než v Praze. V porovnání s Prahou, kde byla naměřena průměrná koncentrace PM₁₀ nejvyšší byla koncentrace v pozad'ové lokalitě nižší o 33%, v centru obce o 18%.

Tab. 54 Koncentrace PM₁₀ v µg.m⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném

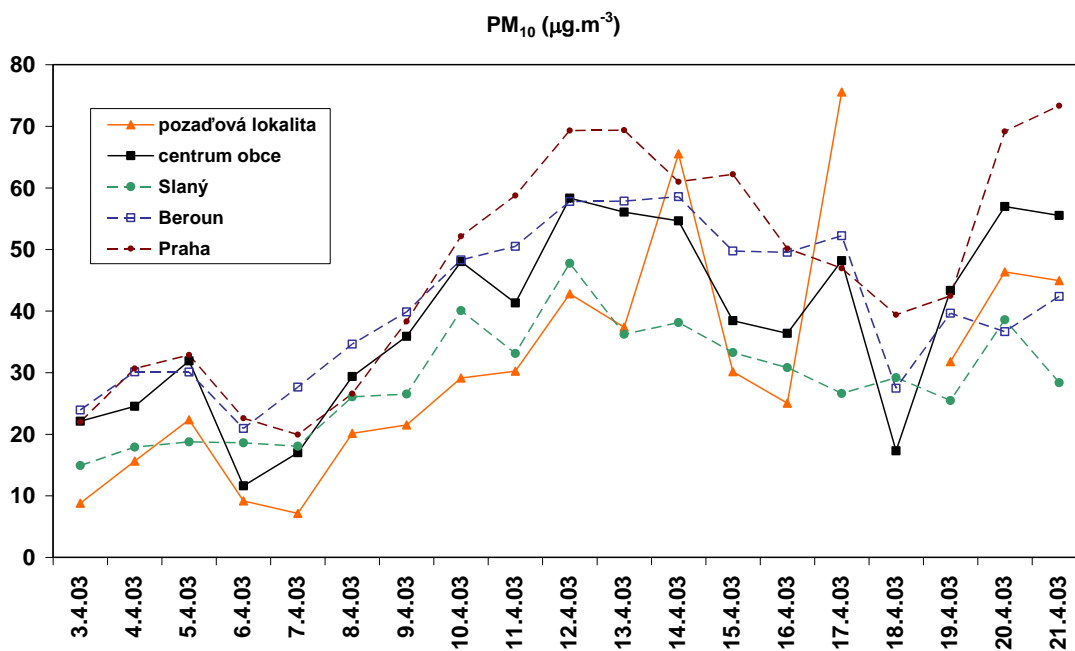
3.4. – 21.4. 2003 (µg.m ⁻³)									
	Lokalita	Počet měř.	Průměr	Směrodat. odchylka	Medián	Min.	Max.	Dolní konf. limit (95%)	Horní konf. limit (95%)
PM ₁₀	Žloutkovice pozadí	18	31,3	18,6	29,6	7,1	75,5	22,1	40,6
	Žloutkovice centrum	19	38,3	15,0	38,4*	11,6	58,3	31,0	45,5
	Praha	19	46,7	17,9	46,9**	19,9	73,3	38,1	55,3
	Beroun	19	40,9	12,1	39,5**	20,9	58,6	35,1	46,8
	Slaný	19	28,9	8,9	28,3	14,9	47,8	24,6	33,1

Poznámka: statisticky průkazný rozdíl mezi pozad'ovou lokalitou a ostatními lokalitami *p<0,1, ** p<0,01

Zároveň koncentrace PM₁₀ výrazně korelovaly i s ostatními okolními městy (Tab. 55, Obr. 38), přičemž nejsilnější korelace byla nalezena mezi Žloutkovicemi a Prahou a to jak s místem odběru v centru obce, tak v pozad'ové lokalitě. Zatímco frakce jemných částic PM_{2,5} v pozad'ové lokalitě i v centru obce výrazně korelovala s koncentrací PM₁₀ naměřenými v Berouně.

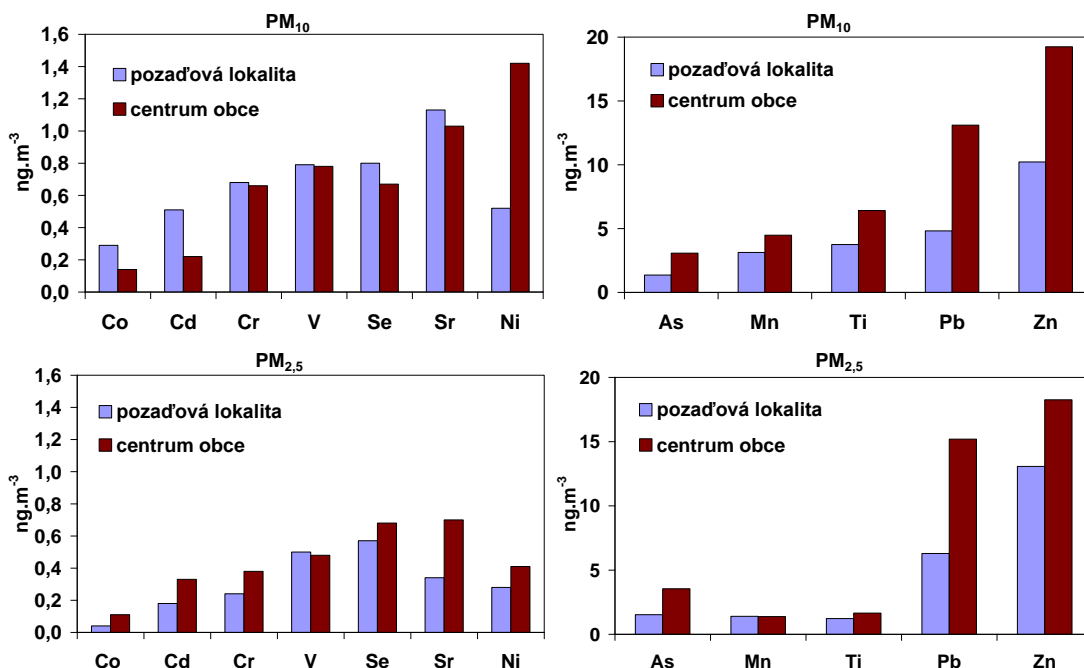
Tab. 55 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM₁₀ naměřenými v Praze, v Berouně a ve Slaném a koncentracemi PM₁₀, PM_{2,5} a BS naměřenými ve Žloutkovicích (3.4. – 21.4. 2003)

		Praha	Beroun	Slaný
Pozad'ová lokalita	PM ₁₀	0,822 (0,0000)	0,755 (0,0002)	0,723 (0,0007)
	PM _{2,5}	0,717 (0,0008)	0,932 (0,0000)	0,746 (0,0003)
	BS	0,680 (0,0019)	0,919 (0,0000)	0,641 (0,0042)
Centrum obce	PM ₁₀	0,896 (0,0000)	0,802 (0,0000)	0,777 (0,0001)
	PM _{2,5}	0,710 (0,0014)	0,929 (0,0000)	0,757 (0,0004)
	BS	-0,253 (0,2967)	0,179 (0,4636)	-0,075 (0,7589)

Obr. 38 Průběh koncentrace PM₁₀ pozad'ové lokalitě a v centru obce Žloutkovice, v Praze, v Berouně a ve Slaném

Na obr. 39 jsou graficky zobrazené rozdíly mezi průměrnými koncentracemi prvků z obou PM frakcí ve sledované pozad'ové lokalitě a v centru obce. Statisticky významné rozdíly ($p < 0,01$) mezi prvky frakce PM_{2,5} a PM₁₀ byly v pozad'ové lokalitě nalezeny u prvků Al, Cd, Co, Cr, Mn, Sr, V a Ti (všechny vyšší v PM₁₀), v centru obce byly výrazné rozdíly mezi oběma frakcemi nalezeny pouze u prvků Al, Ti, Ni a Mn (všechny vyšší v PM₁₀). Statisticky významné rozdíly ($p < 0,01$) nebyly nalezeny v rámci frakce PM_{2,5} v pozad'ové lokalitě v porovnání se stejnou frakcí v centru obce vůbec, v rámci frakce PM₁₀ byly nalezeny statisticky významné rozdíly ($p < 0,01$) pro Cd, Co (vyšší v pozad'ové lokalitě) a Ni, Pb a Zn (vyšší v centru obce).

Obr. 39 Průměrné koncentrace sledovaných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ během 3.4. až 21.4. 2003 naměřené v pozad'ové lokalitě a v centru Žloutkovic ve frakcích PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$



Pro srovnání jsou v tabulce 56 uvedeny prvky (Cr, Mn, Zn, As, Cd a Pb) měřené v okolních městech v rámci automatického imisního monitoringu. Data byla k dispozici pro dva dny 7. a 21.4.2003 v rámci námi sledované měřicí kampaně.

Tab. 56 Denní koncentrace vybraných prvků (v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) naměřených v lokalitách Žloutkovic, Praha, Mělník, Kladno a Příbram ve dnech 7.4. a 21.4. 2003 ve frakci PM_{10}

	Žl. poz.		Žl. obec		Praha		Mělník		Kladno		Příbram	
	7.4.	21.4.	7.4.	21.4.	7.4.	21.4.	7.4.	21.4.	7.4.	21.4.	7.4.	21.4.
Cr	0,4	1,2	-	0,3	7,4	9,2	2,8	3,3	5,3	9,0	1,5	1,5
Mn	0,5	7,0	0,8	4,3	22,6	28,3	9,5	14,8	15,7	18,0	42,0	15,0
Zn	3,9	10,9	4,2	3,1	119,3	112,5	-	-	-	-	-	-
As	0,5	1,3	1,2	0,3	1,1	0,6	3,8	3,4	5,3	1,7	2,6	1,7
Cd	0,2	0,9	0,0	1,7	0,4	1,4	0,5	0,7	0,4	0,4	4,5	4,5
Pb	0,7	6,7	1,7	5,4	17,2	18,2	7,4	7,7	10,0	7,3	87,0	46,0

4. Diskuse

4.1 Měřicí kampaně 1997 - 1999

4.1.1 Koncentrace PM₁₀ ve srovnání s okolními městy

Průměrné 24-hodinové koncentrace PM₁₀ ve zvolené venkovské lokalitě dosahovaly v obou sledovaných zimních obdobích (38 a 41 μg.m⁻³) stejně vysoké úrovně koncentrace PM₁₀ jako okolní větší města Praha, Beroun a Slaný (Obr. 7 a 8). Průměrná koncentrace naměřená v obci měla dokonce vyšší hodnotu než průměrná hodnota charakteristická pro Prahu (34 a 32 μg.m⁻³) a to v obou zimních obdobích. Zároveň byla vyšší i než průměrná koncentrace naměřená ve Slaném v druhém zimním období (29 μg.m⁻³) (Tab. 5). Je však na místě dodat, že průměrná hodnota pro Prahu byla spočtena ze všech měřících stanic v Praze, tedy i z okrajových částí Prahy. V centrálních částech Prahy byly nejvyšší průměrné koncentrace PM₁₀ v letech 1997 a 1998 naměřeny 60 a 50 μg.m⁻³ (ČHMÚ, 1998 a 99). Koncentrace PM₁₀ ve venkovské lokalitě byly srovnatelné s koncentracemi ve vybraných městech i během mimotopné sezóny (Obr. 9). Průměrná koncentrace za mimotopnou sezónu byla ve Žloutkovicích shodná s průměrnou koncentrací získanou v Praze a odpovídala 27 μg.m⁻³ (Tab. 5).

Porovnat sledovanou venkovskou lokalitu s podobnými oblastmi v jiných evropských zemích nebylo jednoduché, protože většina studií zabývajících se srovnáváním městských a venkovských oblastí, sledovala a následně porovnávala velkoměsta s malými městy nebo naopak města středních velikostí s oblastmi bez jakýchkoliv výraznějších lokálních zdrojů (např. Hoek et al., 1997; Van der Zee et al., 1998). V mnoha studiích (Monn et al., 1995; Reponen et al., 1996; Hoek et al., 1997) je doloženo, že ve vyspělých státech Evropy jsou koncentrace PM₁₀ ve venkovských a příměstských oblastech ve srovnání s koncentracemi velkých měst zatížených dopravou a průmyslovými aktivitami nižší nikoliv vyšší, tak jako to bylo v našem případě. Žádná vybraná venkovská lokalita v těchto studiích totiž nepředstavovala malou obec (Žloutkovice, 163 obyvatel) výrazně zatíženou lokálními zdroji znečištění, jakou námi sledované malé sídlo bezesporu je.

Koncentrace PM₁₀ naměřené ve venkovské lokalitě byly nečekaně vysoké nejen v porovnání s okolními většími městy v ČR, ale i v porovnání s výsledky publikovanými ve studiích sledující koncentrace PM₁₀ v ostatních státech Evropy. Jako příklad uveďme projekt sledující koncentrace PM₁₀ v centrální Evropě (Německo, Velká Británie, Nizozemí, Rakousko a Švýcarsko), kde byly sledovány koncentrace PM₁₀ alespoň jeden rok v období 1998 – 2002 ve třech různých typech lokalit (Querol et al., 2004). Studie uvádí tyto výsledky: průměrné roční koncentrace PM₁₀ se v regionálních pozadových oblastech bez přímých antropogenních zdrojů pohybovaly od 19 do 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v městských pozadových lokalitách od 28 do 42 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v lokalitách silně ovlivněných dopravou od 37 do 53 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Stejně tak se v našem případě nepotvrdily nižší koncentrace ve venkovských oblastech v porovnání s městy, na rozdíl od jiných publikovaných výsledků (Lenshow et al., 2001; Marcazzan et al., 2002; Hoek et al., 1997; Brook et al., 1997), přičemž vyšší koncentrace ve městech se vysvětlují větším množstvím lidských aktivit (doprava, průmysl) ale i sekundární prašností na zpevněných cestách a malým množstvím vegetace, které také přispívá k vyššímu podílu hrubých částic. Vliv na odlišné množství škodlivin ve městech v porovnání s venkovskými oblastmi samozřejmě mohou mít i přírodní faktory, např. nadmořská výška, která zejména v době inverzí může hrát dominantní roli (Röösli et al., 2000), i v našem případě jsou zvýšené koncentrace částic v obci podporované její údolní expozicí. Negativní korelace mezi nadmořskou výškou a koncentrací PM₁₀ byla v České republice již potvrzena (Fiala et al., 2003a). Shodné nebo dokonce vyšší průměrné koncentrace PM₁₀ naměřené v zimním období venkovské lokality v porovnání s okolními městy v předkládané práci by tedy spíše potvrdily závěry založené na sledování velikostního rozložení prvků v centru Vídně a v nedaleké venkovské oblasti (Horvath et al., 1996), kde se koncentrace sledovaných prvků v jemné frakci částic ve venkovské oblasti v porovnání s městem lišily méně než 10% rozdílem (dvojnásobný rozdíl byl nalezen pouze pro uhlíkaté částice). Uvádí se zde, že lokální zdroje pro většinu prvků v submikronové oblasti nejsou důležité a autor se přiklání k teorii, že aerosol pocházející převážně z jiných než lokálních zdrojů by mohl být považován za průměrné koncentrace aerosolu v centrální a severní Evropě. Na základě této teorie by poměrně vysoká koncentrace aerosolu ve sledované lokalitě mohla představovat určitou průměrnou koncentraci aerosolu v centrální Evropě navýšenou o příspěvek z lokálních zdrojů, přičemž v závislosti na meteorologických podmínkách se může koncentrace

aerosolu den o dne výrazně měnit. Horvathova teorie byla potvrzena také ve studii z východního Maďarska (Borbély-Kiss et al., 1999), kdy byly potvrzeny shodné obecné znaky vzduchových hmot jak ve venkovském sídle tak v městské lokalitě, přičemž hodnota koncentrace ve venkovské lokalitě byla ve srovnání s městem nalezena nižší. Publikovanými závěry autor potvrzuje význam dálkového přenosu a důležitost významných velkých zdrojů v regionech jako je například existence tzv. „oblasti černého trojúhelníku“ v centrální Evropě. I v jiných studiích jsou nízké rozdíly mezi koncentracemi PM₁₀ ve venkovských a městských lokalitách (22%), na rozdíl od plynných polutantů př. SO₂, NO₂ (kde rozdíl tvoří 56% a 78%) vysvětlovány mimo jiné dálkovým přenosem a vlivem lokálních topenišť spalujících uhlí a dřevo (Hoek et al., 1997).

Mezi koncentracemi PM₁₀ v topné a mimotopné sezóně byl nalezen rozdíl, který představoval koncentraci 11 µg.m⁻³ (pro první zimní období) a 13 µg.m⁻³ (pro druhé zimní období), v okolních městech se rozdíl pohyboval od 5 µg.m⁻³ (pro Prahu) do 27 µg.m⁻³ (pro Slaný). V porovnání s výsledky z jiných studií jsou nalezené rozdíly mezi letní a zimní sezónou ve sledovaném malém sídle nižší než by se dalo předpokládat, například studie CEASAR prováděná v letech 1995-96 v 6 státech centrální a východní Evropy (včetně České republiky) (Houthuijs et al., 2001) uvádí rozdíly mezi PM₁₀ v zimním a letním období od 17 do 45 µg.m⁻³ a dává je do souvislosti s vytápěním domácností v zimních měsících. Obecně se uvádí vyšší podíl škodlivin v ovzduší v zimním měsících v důsledku spalovacích procesů (Brook et al., 1997; Celis et al., 2004), ve sledovaném sídle má na snížení koncentrací suspendovaných částic v ovzduší v letní části roku pravděpodobně vliv absence emisí z vytápění domácností a příznivé meteorologické podmínky (Stevens et al., 1996), ke zvýšení koncentrací v letní části roku pak pravděpodobně výrazně přispívá sekundární prašnost z nezpevněných cest a jiných povrchů a také větší podíl sekundárních částic (především síranů) v důsledku vyšší relativní vlhkosti a teploty (Kao and Friedlander, 1995; Martuzevicius et al., 2004).

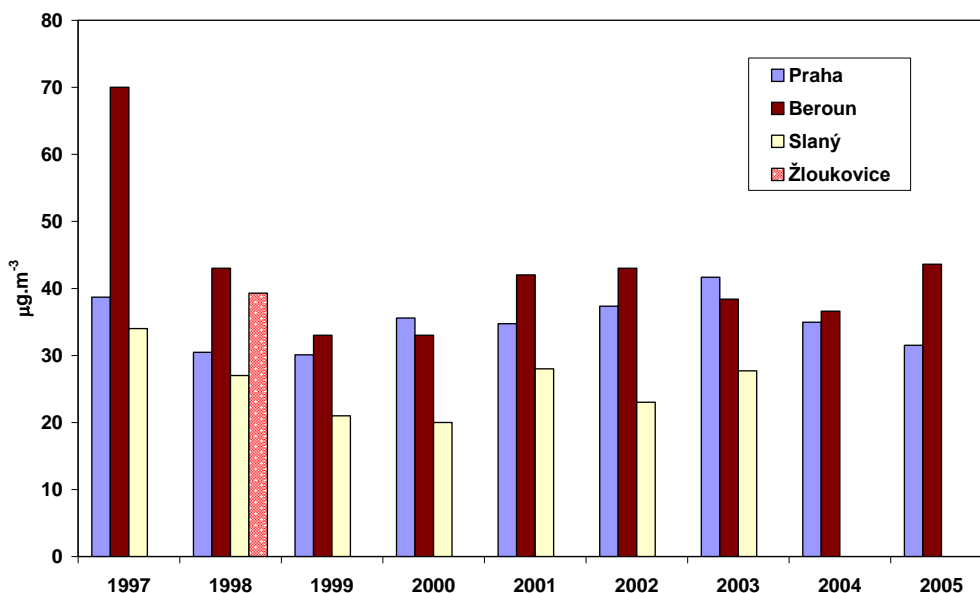
Výše uvedené teorie, založené na existenci určité průměrné koncentrace aerosolu v centrální Evropě v submikronové velikostní frakci, pro kterou jsou lokální zdroje nedůležité, by do jisté míry potvrzovaly také nalezené vysoké korelační

koeficienty ve sledované obci v porovnání s městy v zimním období (Tab. 7 a 8). Nižší korelační koeficienty v letním období (Tab. 9) by potvrzovaly teorii o vyšším příspěvku částic hrubé frakce (např. sekundární prašnost), která je závislá na místních meteorologických podmínkách. Někteří autoři vysoké korelační koeficienty mezi venkovskými lokalitami a městy (větší než 0,7) vysvětlují také malými vzdálenostmi mezi sledovanými místy a podobnými meteorologickými podmínkami (Hoek et al., 1997). Obecně lze vysoké koncentrace v zimním období vysvětlit zvýšeným spalováním fosilních paliv kvůli vytápění domácností, zvýšeným vlivem dopravy a vyšším výskytem stabilní atmosféry spojeným s nepříznivými rozptylovými podmínkami (Monn et al., 1997; Houthuijs et al., 2001; Götschi et al., 2005). Ve sledované obci v zimních obdobích jsou za převládající zdroj suspendovaných částic považovány právě lokální topeniště. Nižší koncentrace PM₁₀ v letní části roku jsou způsobené nižším podílem částic pocházejících ze spalovacích procesů.

Suspendované částice frakce PM₁₀ zůstávají z hlediska požadavků a časových termínů legislativy jedním z hlavních problémů zajištění kvality ovzduší ve vztahu k ochraně zdraví populace a společně s SO₂, NO₂, CO, benzenem, ozónem, Pb, Cd, As, Ni, Hg, benzo(a)pyrenem a amoniakem patří mezi základní znečišťující látky v ovzduší, pro které byly do národní legislativy převzaty limitní hodnoty z dceřiných směrnic EU. Původní strmý klesající trend imisních koncentrací PM₁₀ nahradil od roku 2001 mírný vzestupný trend ve znečištění ovzduší touto frakcí téměř na všech stanicích AIM, jak ukazuje Obr. 40. Do přehledu průměrných ročních koncentrací PM₁₀ ve vybraných lokalitách v letech 1997 - 2005 byla pro srovnání vložena i průměrná hodnota ze všech měření provedených v roce 1998 ve vybraném modelovém sídle, které bylo předmětem sledování této práce. Celkem se jedná o 182 měření, to znamená přibližně poslední tři měsíce první zimní sezóny (leden – březen 98), vybrané týdenní odběry v letní sezóně (duben – říjen 98) a první dva měsíce druhé zimní sezóny (listopad – prosinec 98). Tato hodnota může být mírně nadsazená, neboť se nejedná o každodenní měření, ale převažují měření v zimním období. Nicméně se jedná o velmi vysokou průměrnou hodnotu, která je srovnatelná s úrovní znečištění ovzduší v silně zatížených oblastech. V roce 2005 došlo v České republice k překročení 24-hodinového imisního limitu pro PM₁₀ (50 µg.m⁻³) na 93 měřících místech (z celkového počtu 137 lokalit v ČR, kde je

PM₁₀ měřena), roční imisní limit pro PM₁₀ (40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byl překročen na 31 stanicích (MŽP, 2006b).

Obr. 40 Přehled průměrných ročních koncentrací PM₁₀ v letech 1997 – 2005 ve vybraných lokalitách Praha, Beroun, Slaný (data převzata z ročenek ČHMÚ)



Přestože měření neprobíhala ve Žloutkovicích každodenně celý kalendářní rok i tak je patrné, že v roce 1998 došlo k překročení maximálního povoleného počtu překročení hodnoty imisního limitu pro PM₁₀. K překročení limitní hodnoty (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 24-hodinové koncentrace PM₁₀) došlo v roce 1998 ve 48 případech, při tom v současné době platných imisních limitech pro PM₁₀ je povolený počet překročení hodnoty imisního limitu stanoven na 35 případů za rok. V porovnání s okolními vybranými lokalitami v době měření byl denní imisní limit pro PM₁₀ během prvního zimního období překročen následovně: ve Žloutkovicích ve 27 (27%) případech měření, v Praze ve 21 (18%), ve Slaném ve 27 (23%) případech měření a v Berouně dokonce ve 42 (42%) případech měření. Také ve druhém zimním období došlo několikrát k překročení denního imisního limitu pro PM₁₀, ve Žloutkovicích k tomuto jevu došlo ve 42 (32%) případech měření, v Praze v 16 (11%) a stejně i ve Slaném v 16 (12%) případech měření. V Berouně během druhého zimního období koncentrace nad 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ představovaly téměř polovinu měření, tj. 67 případů (48%) všech měření. Stejně jako v zimním období byl denní limit pro PM₁₀ (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) překročen i během mimotopné sezóny, ve Žloutkovicích došlo k překročení ve 2 (4%) případech, v Praze ve 4 (9%) a v Berouně v 6 (14%) případech. Pouze ve Slaném nebyla tato hodnota během

mimotopného období překročena ani v jednom případě, maximální naměřená denní koncentrace pro PM_{10} zde dosáhla hodnoty $45,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Podobný jev, kdy v malé obci byla více jak 35-krát naměřena denní koncentrace PM_{10} vyšší jak $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ během sledovaného období, byl potvrzen prakticky pouze během studie zabývající se kvalitou ovzduší v malých sídlech v České republice (Kotlík et al., 2005), ve které byly na přelomu let 2002/2003 sledována tři sídla (200 obyv., 850 obyv. a 4,5 tis. obyv.) s různým převládajícím způsobem vytápění domácností (dřevo, uhlí a kombinované palivo – plyn a uhlí). Průměrné koncentrace naměřené v těchto sídlech během sledovaného období ($26, 32$ a $22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) dosáhly podobných hodnot jako naše výsledky, přičemž nejvyšší koncentrace byla zjištěna v obci, kde je převládající způsob vytápění domácností založen na spalování uhlí.

4.1.2 Vzájemné vztahy mezi koncentracemi PM_{10} a BS

Současně s koncentracemi PM_{10} byla ve zvoleném sídle metodou BS odebrána frakce částic BS, která je z největší části tvořena částicemi elementárního uhlíku, za jehož hlavní zdroj jsou považovány procesy nedokonalého spalování u diesellových motorů a spalování dřeva a uhlí v domácích i průmyslových podmínkách (Hoek et al., 1997). Tato metoda, vytvořená především pro měření uhlíkatých částic během smogových epizod v Londýně v 60. letech, je obecně pro dnešní skladbu zdrojů s velkým podílem dopravy již nevyhovující (Hamilton et al., 1995; Roemer et al., 2001; Laskus, 1983), nicméně je stále postačující pro odhad elementárního uhlíku v atmosférickém aerosolu, jehož nejvýznamnějším zdrojem je spalování fosilních paliv. Koncentrace BS jsou i nadále považovány za indikátor zdrojů primárních suspendovaných částic pocházejících ze spalovacích procesů (Heal et al., 2000).

Naše hypotéza, že suspendované částice přítomné v ovzduší zvoleného sídla, pocházejí především ze spalování uhlí a dřeva při vytápění domácností, se potvrdila mimo jiné díky zjištěným koncentracím BS. V prvním zimním období koncentrace BS představovala v průměru 83% koncentrace PM_{10} a dokonce 95% koncentrace PM_{10} v druhém zimním období (Tab. 2 a 3). V mimotopné sezóně koncentrace BS představovala jen 55% koncentrace PM_{10} (Tab. 4). Krom toho průměrná koncentrace BS v mimotopné sezóně ($15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) představovala necelou poloviční hodnotu průměrné

koncentrace BS v topné sezóně (32 a 39 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), což potvrzuje vyšší příspěvek neuhlíkatých fotochemických sekundárních částic ke koncentracím PM_{10} v letních měsících (Heal et al., 2005). Výrazné maximum pro koncentrace BS společně s koncentracemi PAH v zimní a podzimní části roku potvrzuje také studie z Velké Británie (Turnbull et al., 2000), přičemž vysoké koncentrace jsou zde přisuzovány dopravě za přítomnosti snížených rozptylových podmínek častěji se vyskytujících v zimě. Původ BS částic v ovzduší ze spalovacích procesů také potvrdila mimořádná událost zachycená během mimotopné sezóny. Jednalo se o noc z 30.4. na 1.5.1998, kdy byly díky zapalování tradičních ohňů „pálení čarodějnic“ naměřeny velmi vysoké koncentrace BS (38 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i PM_{10} (67 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), přičemž medián těchto škodlivin se během sledovaného období pohyboval pouze kolem 13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro BS a 25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro PM_{10} . V okolních sledovaných městech byly v tyto dny také naměřeny zvýšené koncentrace pro PM_{10} , pravděpodobně ze stejných příčin. Krom toho byly spočteny poměry PM_{10}/BS (1,21 a 1,05 pro zimní období a 1,81 pro letní období), které na základě studie ze 70. let z Velké Británie (Bailey et al. (1982) ex Hoek et al., 1997) potvrzují dominantní zdroj spalování uhlí v domácnostech, neboť se poměry v zimních období blíží jedné. Pro srovnání uvedme poměry PM_{10}/BS v projektu PEACE, které se pohybovaly od 0,67 do 3,67 (Hoek et al., 1997). Poměry menší než jedna odhalují nevhodnost BS metody a lze je naměřit především ve městech silně zatížených dopravou jako jsou například Athény (Chaloulakou et al., 2005).

Mezi koncentracemi BS a PM_{10} byla pro topnou i mimotopnou sezónu nalezena velmi silná průkazná korelace (Tab. 15, 16 a 17). Korelační koeficienty v zimních obdobích dosahovaly hodnot 0,732 a 0,763 ($p < 0,0001$), v mimotopné sezóně byl spočten korelační koeficient o něco nižší 0,537 ($p < 0,001$). Tato skutečnost tedy potvrzuje nižší podíl uhlíkatých částic v suspendovaných částicích přítomných v ovzduší během letního období (mimotopné sezóny) (Muir and Laxen, 1995) a naopak vyšší podíl neuhlíkatých částic, které se do ovzduší v letní části roku dostávají ve větší míře také díky vyššímu výskytu sekundární prašnosti (Pretel, 2001). Přestože koncentrace BS a PM_{10} ukazují silnou korelaci, lze na základě odlišných poměrů mezi letní a zimní sezónou a také nižší hodnotě korelačních koeficientů potvrdit, že tyto částice mají odlišný původ (Muir and Laxen, 1995). Pro lepší názornost jsou vztahy mezi PM_{10} a BS vyjádřeny regresními přímkami a zobrazeny v grafech (Obr. 6 - 8).

Teoreticky, za předpokladu že koncentrace BS představuje frakci PM_{4} , by se rovnice regresních přímek daly vyjádřit jako $PM_{10} = BS +$ hrubé částice (Keary et al., 1998). Na základě těchto zjednodušených vztahů, by příspěvek hrubých částic, v zimním období představoval v průměru $7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a $13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v letním období (Tab. 15 - 17). Obdobně je vyjadřován rozdíl mezi koncentracemi PM_{10} a BS, který představuje primární částice s původem v jiných zdrojích než spalovacích procesech a sekundární aerosol (Heal et al., 2000). Ve sledované obci tento rozdíl představuje v zimních obdobích přibližně 7 a $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v letním období hodnotu kolem $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což potvrzuje vyšší podíl hrubých a sekundárních částic v letních měsících (Turnbull et al., 2000; Alastuey et al., 2004). Tento sezónní rozdíl také naznačuje, že hrubé částice jsou vzhledem ke svému původu pravděpodobně světlejší barvy (Muir, 1998).

4.1.3 Koncentrace vybraných prvků v částicích PM_{10}

Na základě naměřených koncentrací vybraných prvků pocházejících z odebraných vzorků PM_{10} lze sledované prvky rozdělit do dvou skupin. První skupinu představují prvky (Co, Cd, Sr, V, Cr, Ni, Se a Cu), jejichž průměrné koncentrace se pohybovaly do $4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, druhou skupinu tvoří prvky s vyšším zastoupením ve sledované frakci a jedná se o prvky Mn, As, Ti, Pb a Zn. Toto rozdělení na základě hmotnostního zastoupení se projevilo jak v topné tak i mimotopné sezóně. Základní statistické charakteristiky sledovaných prvků jsou uvedeny v Tab. 10 - 12, graficky na Obr. 10 - 15. V současné platné české legislativě (nařízení vlády č. 597/2006) byl pro Pb obsažené v PM_{10} stanoven roční imisní limit ($0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a pro prvky mající vliv na lidské zdraví (As, Cd a Ni) byly stanoveny tzv. cílové imisní limity (roční koncentrace pro As: $6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, pro Cd: $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a pro Ni: $20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$), které byly stanoveny za účelem odstranění, zabránění nebo omezení škodlivých účinků na lidské zdraví a na životní prostředí celkově a je třeba jich dosáhnout, pokud je to možné, do 31.12.2009. Pro srovnání byly koncentrace námi sledovaných prvků ve venkovské lokalitě v zimním i v letním období společně s koncentracemi naměřených prvků ve venkovských a městských lokalitách z jiných evropských zemí uvedeny v tabulce 14. Vzhledem k předpokladu, že největší podíl na koncentraci atmosférického aerosolu v malém sídle mají částice pocházející ze spalování uhlí, byly v této práci sledovány prvky charakteristické především pro tento druh vytápění. Nicméně jednoznačně určit původ

těchto prvků nebylo možné, neboť chemické indikátory zdrojů nemají výhradně původ v antropogenních procesech ale také v přírodních zdrojích, navíc má velký vliv na koncentrace suspendovaných částic v atmosféře dálkový přenos (Rasmussen, 1998). Ovzduší tak obsahuje složitou dynamickou směs škodlivin emitovanou z různých zdrojů, v které probíhá v závislosti na čase a místě nepřetržité množství vzájemných reakcí (Morawska and Zang, 2002).

Arsen

Arsen, prvek vyskytující se převážně v částicích jemné frakce, byl pro sledovanou obec s převažujícím vytápěním založeném na spalování hnědého uhlí asi vůbec nejcharakterističtější. Stanovená cílová imisní hodnota pro As obsažený v PM_{10} by byla ve sledovaném venkovském sídle zejména během druhého zimního období výrazně překročena. Nicméně průměrná roční hodnota As by byla s největší pravděpodobností nižší než stanovených $6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, ale i tak vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o venkovskou velmi malou lokalitu, jsou hodnoty pro As naměřené v zimních období nečekaně vysoké ($7,36$ a $11,36 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Průměrná hodnota As pro rok 1998 (ze všech dostupných hodnot) byla spočtena na $8,7 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Pro srovnání uveďme tři nejvyšší roční průměrné koncentrace As naměřené v České republice v roce 2005 – Tanvald: $7,2 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, Ostrava – Přívoz: $5,8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a Liberec – Vratislavice: $3,8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (MŽP, 2006b), přičemž se ve všech třech případech jedná o průmyslové oblasti. Podobně jako u PM_{10} je na většině stanic patrný výrazný trend ve snižování koncentrací As, který od roku 2003 nahradil trend mírně vzestupný. As také představuje prvek u něhož se nejvýrazněji projevil sezónní charakter (Tab. 13). Koncentrace As (medián) byla v prvním zimním období 3-krát vyšší než v mimotopné sezóně a ve druhém zimním období dokonce 6-krát vyšší. To by mimo jiné potvrzovalo náš předpoklad, že ve zvolené venkovské lokalitě je kromě dálkového přenosu jediný výraznější zdroj znečištění ovzduší a tím jsou lokální topeniště s převažujícím spalováním hnědého uhlí. Pro As je spalování fosilních paliv nejvýraznější zdroj emisí, podíl antropogenního As ze spalování fosilních paliv v ČR se uvádí až 87% (Fiala et al., 2003a), přičemž pro hnědé uhlí pocházející z České republiky jsou vysoké obsahy As charakteristické (Bouška et al., 1998; Yudovich et al., 2005).

Stejně jako byla srovnatelná koncentrace PM_{10} naměřená ve Žloutkovicích s koncentracemi PM_{10} naměřenými ve třech sídlech v ČR do 5 tis. obyvatel ve studii z roku 2003 (Kotlík et al., 2005), byly srovnatelné i průměrné koncentrace As, přičemž námi naměřené hodnoty ve Žloutkovicích (zimní období: 7,36 a 11,36 $ng.m^{-3}$, letní období: 1,93 $ng.m^{-3}$) ve srovnání s průměrnými ročními koncentracemi As naměřenými ve třech různých obcích (0,83; 4,95; 1,10 $ng.m^{-3}$) nejvíce korespondovaly s hodnotou naměřenou v obci Havlovice, pro kterou je také charakteristické spalování uhlí jako převažující způsob vytápění domácností. I v porovnání s ostatními evropskými lokalitami (Tab. 14) byly koncentrace As ve sledované obci nejvyšší. Lee et al. (1994) uvádí ve studii z Velké Británie průměrné koncentrace As naměřené za delší časové období (1975 – 1989) ve městech od 4 do 7 $ng.m^{-3}$ a třikrát menší koncentrace ve venkovských oblastech.

Kadmium

Koncentrace Cd ve sledované obci byly stejně jako v ostatních srovnávaných místech v Evropě (kromě Prahy) (Tab. 14) naměřeny pod 1 $ng.m^{-3}$, tedy cílový imisní limit pro Cd (roční koncentrace 5 $ng.m^{-3}$) překročen nebyl. Na většině území České republiky jsou průměrné roční koncentrace Cd nižší než 2 $ng.m^{-3}$, pouze na jediné stanici v ČR byla v roce 2005 naměřena hodnota vyšší než 10 $ng.m^{-3}$ (Tanvald: 14,1 $ng.m^{-3}$) (MŽP, 2006b). V 70. až 80. letech se uváděly průměrné hodnoty Cd ve Velké Británii přibližně od 3 do 10 $ng.m^{-3}$ a od 2 do 3 $ng.m^{-3}$ ve venkovských oblastech (Lee et al., 1994), v současné době jsou průměrné koncentrace Cd nižší díky výrazným omezením emisí ze stacionárních zdrojů (Hueglin et al., 2005). Za posledních deset let (1990 – 2003) se odhaduje, že koncentrace Cd v atmosféře poklesly na polovinu, přičemž se předpokládá, že 80% depozice Cd v Evropě pochází z mimoevropských států (MŽP, 2006a). Za hlavní zdroj Cd v ovzduší jsou považovány antropogenní zdroje jako jsou vysokoteplotní procesy, zejména spalování fosilních paliv (především uhlí), spalovny, výroba železa, oceli, metalurgie kovů, sklářství a výroba cementu. V námi sledované obci však bylo Cd sledováno především pro svůj možný původ ve spalování uhlí případně odpadů, které se ve venkovských obcích v České republice příležitostně provádí. Výrazně vyšší koncentrace Cd se v obci ale neobjevily, stejně tak se nepotvrdily výraznější rozdíly mezi zimním a letním obdobím podobně jako v jiných studiích (Kocak et al., 2004). Kadmium je navázáno především na částice jemné frakce

s maximem na částicích 1,3 – 0,61 μm (Álvarez, et al., 2004), které jsou transportovatelné atmosférou na velké vzdálenosti, proto se dá předpokládat, že přítomnost Cd v ovzduší obce je způsobena především dálkovým přenosem (Röösli et al., 2001) a mohla by představovat jakousi průměrnou pozadřovou koncentraci v České republice.

Kobalt

Srovnání koncentrací Co naměřených v PM_{10} materiálu odebraného v obci s ostatními lokalitami bylo poněkud obtížné, Co je v PM_{10} sledován jen zřídka a ve srovnávaných studiích nebyl měřen ani v jednom případě, přesto byl vybrán k analýze a to vzhledem k jeho původu v atmosféře, neboť je za jeho nejvýznamnější antropogenní zdroj považováno spalování uhlí. Jeho menší významnost v monitorování potvrdila i skutečnost, že byl ve všech sledovaných kampaních naměřen v nejnižším zastoupení a zároveň se u něj neprojevil ani výraznější sezónní charakter.

Chrom

Dalším z prvků, pro který je charakteristické uvolňování do ovzduší při spalování fosilních paliv, je Cr. Jeho průměrné koncentrace v zimních obdobích se shodně rovnaly 1,8 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a v porovnání s letním obdobím (1,3 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) nepředstavují statisticky významný rozdíl. V porovnání s ostatními sledovanými lokalitami (Tab. 14) byly koncentrace Cr ve Žloutkovicích naměřeny vůbec nejnižší, proto nepředpokládáme žádný výrazný zdroj Cr ve sledované obci. Lee et al. (1994) ve své studii uvádí průměrné koncentrace Cr v městských oblastech přibližně mezi 4 až 25 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a ve venkovských oblastech mezi 1,5 až 2,2 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, což by námi naměřeným koncentracím odpovídalo. Jiné studie vysvětlují zvýšené koncentrace Cr v ovzduší díky lokálním zdrojům, charakteristickým pro danou oblast (Kocak et al., 2004). Tím by bylo možné vysvětlit i vyšší koncentrace Cr (v porovnání se Žloutkovicemi) v Berouně a v Praze. Za druhý nejvýznamnější průmyslový zdroj Cr (vedle výroby Ni) jsou totiž považovány cementárny, které se v Berouně nacházejí. Zvýšené koncentrace Cr v Praze lze vysvětlit zvýšenou dopravou, konkrétně výfukovým plynům z automobilů s katalyzátorem. Z pohledu přírodních zdrojů může Cr patřit také mezi prvky uvolňované ze zemského povrchu (Lee et al., 1994), čímž by se daly vysvětlovat srovnatelné koncentrace v letním a zimním období ve sledované obci. Na základě širokého velikostního

zastoupení částic obsahujících Cr se Borbély-Kiss et al. (1999) přiklání k teorii, že koncentrace v ovzduší jsou výsledkem mísení přírodních a antropogenních zdrojů.

Měď

Původ Cu v ovzduší představují jak přírodní (částice zemského povrchu) tak antropogenní zdroje. Podobně jako u Cr byl původ Cu v ovzduší jak z průmyslových, tak i z přírodních zdrojů potvrzen na základě širokého velikostního zastoupení částic s obsahem Cu (Borbély-Kiss et al., 1999; Horvath et al., 1996). Vedle průmyslových aktivit jako je těžba a zpracování měděných rud se Cu do ovzduší uvolňuje při spalování fosilních paliv a odpadů, což by jako zdroj způsobený lidskou činností připadalo v úvahu ve sledované venkovské lokalitě. Nicméně průměrné koncentrace Cu naměřené během zimních období se pohybovaly kolem $3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, tedy srovnatelné s koncentracemi v letním období ($2,3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Za významný zdroj Cu v ovzduší měst je považována doprava, jak bylo potvrzeno například ve studii z Dánska (Kemp et al., 2002), kde byly naměřeny koncentrace Cu ve městě ($20,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) v porovnání s pozadřovou lokalitou ($1,8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) mnohonásobně vyšší. Na základě prokázané korelace s NO_x (navíc vyšší v letních měsících) se autor studie domnívá, že Cu pochází z obušování brzdových destiček automobilů, u kterých jsou azbestová vlákna nahrazována materiály obsahujícími např. Cu (Salma et al., 2005). Na spojitost mezi koncentracemi Cu a dopravou upozornil také Hueglin et al. (2005) a mluvíme-li o jemné frakci PM tak i Borbély-Kiss et al. (1999), tím by se daly vysvětlit vysoké koncentrace Cu naměřené v Praze. Koncentrace Cu naměřené v malém sídle dosahovaly podobné úrovně jako koncentrace naměřené v pozadřové lokalitě Bílý Kříž (Tab. 14). Velmi vysoké koncentrace Cu naměřené v Madridu a Soluni dávají autoři studie také do souvislosti s vysokou intenzitou dopravy, vysoké koncentrace Cu v Erbě zase ukazují na existenci lokálních zdrojů, jako je rukodělná a průmyslová výroba (Marcazzan et al., 2002). Koncentrace Cu ve Žloutkovicích jsou tedy pravděpodobně spíše jakýmsi průměrným pozadřím Cu v České republice.

Mangan

Mn je typický prvek, pro který je charakteristický výskyt jak v jemné tak hrubé frakci suspendovaných částic (Horvath et al., 1996; Manoli et al., 2002). Mangan hrubé frakce pochází z přirozeného zdroje (materiál zemského povrchu), Mn jemné frakce má

svůj původ v průmyslových aktivitách, jako jsou ocelárny, slévárny apod., ale také spalování uhlí a odpadu. Podíl na koncentracích Mn v ovzduší může mít i doprava, konkrétně obrušování bubnových brzd (Salvador et al., 2004). Významný podíl přirozených zdrojů na koncentraci Mn byl potvrzen při srovnání chemického složení aerosolů dvou pobřežních městech v Izraeli a Turecku (Kocak et al., 2004), kdy pro Mn, společně s Fe a Al, byly potvrzeny největší rozdíly mezi oběma místy způsobené příspěvkem prachových částic ze Sahary. Koncentrace Mn v obci nevykazovaly významné rozdíly mezi zimním a letním obdobím a dosahovaly podobných hodnot jako ostatní lokality uvedené v Tab. 14. Ke koncentracím Mn naměřeným ve sledované obci pravděpodobně přispívají jak přírodní tak antropogenní zdroje.

Nikl

Podobně jako pro ostatní prvky je pro Ni charakteristická resuspenze částic zemského povrchu na jedné straně a spalování fosilních paliv (především těžkých topných olejů), spalování odpadů a průmyslové aktivity jako je výroba železa a oceli na straně druhé. Pro Ni je charakteristické velmi široké velikostní rozložení (Horvath et al., 1996). Vzhledem k prokázaným karcinogenním účinkům na člověka byl pro Ni, stejně jako pro As a Cd stanoven cílový imisní limit (v případě Ni: 20 ng.m^{-3}). V roce 2005 tento limit nebyl překročen na žádné sledované stanici v ČR, nejvyšší roční koncentrace Ni byla naměřena v Příbrami (5 ng.m^{-3}) (MŽP, 2006b). V případě sledované obce se koncentrace Ni pohybovaly kolem 2 ng.m^{-3} ve všech třech sledovaných obdobích, přičemž byl nalezen statisticky výraznější rozdíl mezi letním a druhým zimním obdobím. Sezónní variabilita Ni s maximem v zimní části roku je dávana do souvislosti s vytápěním domácností založeném na spalování oleje (Qin and Oduyemi, 2003). Koncentrace Ni ve Žloutkovicích se od porovnávaných hodnot koncentrací v ostatních sledovaných lokalitách (kromě Berouna: $52,5 \text{ ng.m}^{-3}$) (Tab. 14) výrazně nelišily. Hodnota naměřená v Berouně je dokonce vyšší i než průměrné hodnoty pro městské oblasti ve Velké Británii v 70. až 80. letech pohybující se od 10 do 30 ng.m^{-3} , v pozadových oblastech kolem 3 ng.m^{-3} (Lee et al., 1994), což lze pravděpodobně vysvětlit tehdejším provozem dvou Královodvorských železáren umístěných nedaleko Berouna.

Olovo

Pb je považováno za neznámější indikátor dopravy minulého století. Koncentrace Pb v ovzduší pocházející z dopravy se v České republice začaly od roku 1997 s narůstajícím podílem používaných bezolovnatých paliv výrazně snižovat a po 1. lednu 2001, kdy prodej motorových paliv s obsahem olova byl zcela zastaven zákonem, jsou za nejvýznamnější zdroj Pb v České republice považovány lokální zdroje, jako jsou slévárny, ocelárny, spalovny odpadů ale také spalování uhlí. Nicméně i nadále lze původ Pb ve spojitosti s dopravou najít v resuspendovaném prachu cest a při oděru brzd (Götschi et al., 2005). Jelikož je Pb vázáno na částice jemné frakce významný podíl na znečištění ovzduší olovem má i dálkový přenos z okolních zemí, kde používání tetraetylolova dosud nebylo ukončeno, nebo z oblastí průmyslových aktivit (Borbély-Kiss et al., 1999). Koncentrace Pb v ČR leží v současných letech hluboko pod imisním limitem, nejvyšší průměrná roční koncentrace Pb byla v roce 2005 naměřena v Tanvaldu ($57,1 \text{ ng.m}^{-3}$) (MŽP, 2006b). Koncentrace Pb naměřené ve Žloutkovicích ($34,5$; $42,2$ a 13 ng.m^{-3}) jsou v porovnání s ostatními venkovskými lokalitami naměřenými v ČR, ale i s hodnotou naměřenu v Praze vysoké, to je pravděpodobně způsobené tím, že data ze Žloutkovic pocházejí z let 1997 – 1998, zatímco porovnávaná data z přelomu let 2002/03 a z roku 2001 pro Prahu. Pro srovnání proto uvedme koncentrace naměřené ve Velké Británii v 70. až 80. letech (Lee et al., 1994), kde se průměrné koncentrace naměřené ve městech pohybovaly od 300 do 1300 ng.m^{-3} a ve venkovských oblastech od 50 do 100 ng.m^{-3} . U Pb byla ve sledované obci, stejně jako v jiných studiích (Thomaidis et al., 2003; Lee et al., 1994; Cohen, 1996), prokázána výrazná sezónní variabilita s maximem v zimním období (Tab. 13). Autoři těchto studií Pb spojují s dopravou a jeho sezónní variabilitu vysvětlují vyšším výskytem stabilní atmosféry v zimním období. Výrazný pokles Pb v letní sezóně spojený s dopravou lze vysvětlit také snížením veškerých aktivit v důsledku letních prázdnin (Lucarelli et al., 2000). U sledované obce, která není nijak dopravně zatížena, lze zvýšený podíl Pb v zimních měsících tedy vysvětlit dálkovým přenosem za nepříznivých rozptylových podmínek z okolních měst, ale větší roli i v případě Pb patrně hraje spalování uhlí, vzhledem k velmi silným korelacím s As.

Selen

Se je do atmosféry uvolňován především při výrobě skla a také pochází ze spalování uhlí (Brook et al., 1997) a olejů. Průměrné koncentrace Se naměřené v obci se pohybovaly od 2,5 do 3,5 ng.m⁻³ během všech tří období a pro první zimní období byl prokázán statistický významný sezónní rozdíl (Tab. 13). Ve srovnání s hodnotou uvedenou pro pozad'ovou lokalitu Bílý Kříž 1 ng.m⁻³ (Tab. 14) jsou hodnoty ve sledované obci dvojnásobné a vyšší, nicméně jsou v rozmezí, které se uvádí pro průměrné městské oblasti 2,5 - 17 ng.m⁻³ ve Velké Británii (Lee et al., 1994), ale nižší v porovnání s koncentracemi uváděnými pro venkovské oblasti 0,9 - 1,3 ng.m⁻³. Zvýšené koncentrace v naší obci jsou patrně spojené s původem Se ve spalování uhlí, pro které je v některých studiích společně s As považován za necharakterističtější prvek (Xie et al., 2006), na druhou stranu v České republice je za hlavní zdroj Se považována výroba skla (MŽP, 2006a), což by mohlo také připadat v úvahu ve sledované obci, neboť v nedalekém Nižboru (4,5 km) je sklárna provozována. Nicméně vzhledem k silným korelacím Se s As a skutečnosti, že sklárna v sousední obci je umístěna po směru převládajícího větru, lze původ Se spojovat spíše se spalováním uhlí.

Stroncium, Titan

Sr a Ti představují především prvky hrubé frakce s původem v půdním materiálu a proto by se u nich daly předpokládat vyšší hodnoty koncentrací v letních měsících v důsledku vyšší sekundární prašnosti (Brook et al., 1997). U koncentrací Sr ani Ti se však statisticky významný sezónní charakter ve sledované obci neprojevil (Tab. 13). U koncentrací Sr je zajímavé, že u něj jako u jediného prvku nebyla nalezena průkazná negativní korelace s rychlostí větru ani v jednom zimním období, což by naznačovalo možný příspěvek ke koncentracím Sr z půdního materiálu také v zimním období (Heal et al., 2005).

Sezónní variabilitu (týkající se Ti) neprokázal ani Horvath et al. (1996), který navíc potvrdil shodné koncentrace ve městě i ve venkovské oblasti Vídně (13 ng.m⁻³). Téměř identické koncentrace Ti naměřené ve městě a v blízké venkovské oblasti jsou patrné také pro Debrecín a Gent (Tab. 14), což by naznačovalo původ Ti v přirozených zdrojích. Nicméně je nutné uvést, že kromě přirozených zdrojů má Ti také antropogenní zdroje, neboť je používán jako přísada do barev (TiO₂) a kovových slitin, případně může mít původ ve spalování uhlí a odpadů (Götschi et al., 2005).

Vanad

V je výborný ukazatel spalování zbytkového oleje (Borbely-Kiss et al., 1999), ale také spalování uhlí (Horvath et al., 1994). Téměř výhradní spojitost mezi výskytem vanadu v ovzduší a spalováním oleje potvrdily i jiné studie (Lee et al., 1994), kde se uvádí průměrné koncentrace V ve městech od 10 do 30 ng.m⁻³, v pozad'ových oblastech kolem 3 ng.m⁻³. Průměrné koncentrace V naměřené v obci se pohybují kolem 0,8 – 2,3 ng.m⁻³ s tím, že v letním období byly koncentrace naměřeny nižší. Výrazná sezónní variabilita se vysvětluje jako spojitost s vytápěním v zimních měsících (Lee et al., 1994). Je na místě podotknout, že ve zvolené obci se spalování topného oleje jako možného způsobu vytápění domácností nepoužívá, proto se dá předpokládat, že V má původ jak ve spalování uhlí, tak je do obce přinášěn dálkovým přenosem. V porovnání s pozad'ovou lokalitou Bílý Kříž byla nalezena shodná hodnota pro první zimní období (Tab. 14), obecně byly koncentrace ve Žloukovicích srovnatelné s ostatními sledovanými lokalitami, přičemž koncentrace ve městech (př. Soluň, Miláno, Gent) byly naměřeny vyšší.

Zinek

Zn se do atmosféry dostává spalováním paliv, konkrétně spalováním uhlí (Horvath et al., 1994), při těžbě a zpracování zinkových rud a je také spojován se sekundární prašností způsobenou dopravou (obrušování pneumatik) (Lucarelli et al., 2000; Borbely-Kiss et al., 1999; Manoli et al., 2002; Salma et al., 2005). Kromě sekundární prašnosti může být Zn uvolňován do ovzduší při spalování bezolovnatého benzínu (Salvador et al., 2004). Do ovzduší může být emitován také spalováním dřeva nebo erozí zemského povrchu, neboť je běžnou součástí hornin, půd a sedimentů. Koncentrace Zn v ovzduší se uvádějí vyšší než ostatní sledované kovy, v městských oblastech od 100 do 300 ng.m⁻³, v pozad'ových oblastech 40 až 80 ng.m⁻³ (Lee et al., 1994), námi naměřené koncentrace tomu odpovídají. Sezónní variabilita s maximem v zimní části roku nebyla v předkládané práci statisticky potvrzena tak jako v jiných studiích, které ji dávají do souvislosti s vytápěním domácností v zimě (Lee et al., 1994) nebo s dopravou (jejím vyšším vlivem v zimních měsících) (Lucarelli et al., 2000; Borbely-Kiss et al., 1999; Cohen, 1996). V případě sledované obce lze původ Zn v zimním období vysvětlit spalováním uhlí, dřeva a dálkovým přenosem z dopravně

zatížených oblastí, v letním období pak zvýšeným podílem částic resuspendovaným ze zemského povrchu.

I když celkový podíl sledovaných prvků tvořil pouze 0,41% a 0,38% PM_{10} v zimních období a 0,34% PM_{10} v letním období, jedná se zejména z hlediska účinků na zdraví člověka o nezanedbatelné složky suspendovaných částic. Pro atmosférický aerosol charakteristický pro centrální Evropu se zpravidla uvádí (Putaud et al., 2004; Rössli et al., 2001), že přibližně 70% PM_{10} i $PM_{2,5}$ je tvořeno definovatelnými (měřitelnými) látkami jako je uhlík, organické látky, dusičnany, sírany, amonné ionty, mořská sůl a minerální prvky, přitom na hmotnostní koncentraci jemných částic ($PM_{2,5}$) mají v městských oblastech největší podíl organické látky a v pozadových lokalitách sírany. Největší podíl na hrubých částicích ($PM_{10-2,5}$) mají minerální prvky, případně mořská sůl v přímořských oblastech.

4.1.4 Vztah prvků k PM_{10} , BS a mezi prvky navzájem

Naměřené koncentrace všech sledovaných kovů velmi výrazně ($p < 0,0001$) korelovaly s koncentracemi PM_{10} i BS v obou topných sezónách (Tab. 18 a 20). I z tohoto hlediska lze potvrdit původ As ve spalovacích procesech, neboť jako u jediného ze sledovaných prvků u něj byl nalezen vyšší korelační koeficient (o více jak 0,1) ve vztahu k BS v porovnání s PM_{10} v obou topných sezónách. Vysoké hodnoty korelačních koeficientů u prvků sledovaných v topných sezónách ukazují na skutečnost, že většina sledovaných prvků tvoří součást malých částic a pochází ze spalovacích procesů na rozdíl od mimotopné sezóny, kde kromě ojedinělých případů (Se a Ti ve vztahu k PM_{10}), byly korelační vztahy mezi koncentracemi prvků a koncentracemi PM_{10} , BS také průkazné, nicméně korelační koeficienty již nedosahovaly tak vysokých hodnot (Tab. 22). Z toho lze usuzovat, že významný vliv na množství škodlivin v ovzduší v mimotopné sezóně mají příměsi pocházející z jiných než spalovacích procesů a díky suššímu povrchu se dá předpokládat, že především vlivem sekundární prašnosti. Sekundární prašnost představuje složku atmosférického aerosolu tvořenou tuhými částicemi, které jsou deponovány na zemském povrchu, následně zviřeny a znovu rozptýleny do ovzduší. Podle jejich původu je lze rozdělit na částice emitované z antropogenních nebo přírodních zdrojů znečištění, které po přenosu atmosférou

sedimentují na povrchu, a na částice vzniklé erozí povrchového materiálu (např. půdní částice uvolněné působením větrné eroze či částičky vzniklé obrusem vozovky při kontaktu s koly automobilů). Koncentrace PM_{10} mohou být navýšené především o prvky minerálního a půdního původu jako je Si, Al, Ca, Fe, K a dalšími, přičemž podíl na celkových koncentracích se značně liší v závislosti na charakteru dané lokality a v průběhu roku (Pretel, 2001). Ze vzájemných korelací prvků (Tab. 19, 21 a 23) byly ve všech třech sledovaných obdobích potvrzeny korelace typické pro určité skupiny prvků, např. pro prvky hrubé frakce (Ti, Sr) nebo pro prvky s původem ve spalovacích procesech (As, Pb, Se a V). Nejčastěji s ostatními prvky ve všech třech obdobích korelovalo Cd (Cr, Cu, Mn, Pb a Zn).

4.1.5 Vztah PM_{10} , BS a prvků k meteorologickým parametrům

Přestože byla v topné i mimotopné sezóně prokázána významná negativní závislost mezi BS a průměrnou denní teplotou, nedá se tento jev potvrdit u jednotlivých sledovaných prvků (Tab. 24, 25 a 26) ani u PM_{10} (korelace s PM_{10} byla potvrzena pouze v první topné sezóně). S teplotou vzduchu výrazněji negativně koreloval jen As a Se v první topné sezóně, ve druhé sezóně pouze Ni a v mimotopné sezóně opět As. Prokázané korelace jsou grafiky zobrazené na Obr. 20, 22 a 24. Dalo by se předpokládat, že s nižší teplotou bude stoupat vyšší spotřeba paliv na vytápění domácností a tím bude do ovzduší uvolňováno větší množství látek, to by také prokázaná výrazná negativní korelace mezi BS a As, vzhledem k jejich původu ve spalovacích procesech, potvrzovala. Na tomto základě by se dala vysvětlit i prokázaná negativní korelace s teplotou a BS (As) v mimotopné sezóně, neboť lze předpokládat, že v malých sídlech během chladných dní v letní části roku dochází k „přítápění“ v kamnech. Možné vysvětlení, proč PM_{10} s teplotou tak výrazně jako BS negativně nekoreluje, se nabízí v domněnce, že za přítomnosti vyšších teplot a navíc suchého podnebí se výrazněji projevuje zvýšená resuspenze částic z povrchů, které výrazně přispívají ke zvýšení koncentrace hrubých neuhlíkatých částic (tedy koncentrací PM_{10} nikoliv BS) (Reponen et al., 1996). V tomto případě by se tedy spíše než negativní korelace s teplotou dala spíše předpokládat korelace pozitivní. Dobře je tento jev patrný například v obdobích od 12.–16.2.1998, 2.–7.3.1998 a 28.3.–1.4.1998 (Obr. 19), kdy byly mezi koncentracemi PM_{10} a BS zaznamenány nejvýraznější rozdíly

a zároveň byla naměřena zvýšená teplota vzduchu. Vyšší koncentrace hrubých částic se během jarních epizod dají vysvětlit také v důsledku roztávání sněhu a tím uvolňování částic, které byly během zimních měsíců sněhem zachyceny (Reponen et al., 1996).

Mezi koncentracemi PM_{10} , BS a rychlostí větru byla potvrzena výrazná negativní korelace v obou zimních obdobích (Tab. 24 a 25). Kromě Ni a Sr (Sr má původ v materiálu zemského povrchu, Ni kromě lokálních zdrojů a spalování topných olejů také) v první topné sezóně a Sr v druhé topné sezóně byla výrazná negativní korelace potvrzena v zimním období také u všech sledovaných prvků. Na základě této spojitosti lze potvrdit, že mnohem větší vliv než teplota vzduchu má na koncentrace škodlivin v ovzduší právě rychlost větru. Neprůkazné korelace mezi rychlostí větru a Sr, vzhledem k jeho původu v materiálu zemského povrchu, naznačují, že koncentrace Sr jsou zvyšovány díky zvýšené resuspenzi částic v důsledku vyšších rychlostí větru. Neprůkazné korelace s Ni mohou naznačovat jednak stejně jako u Sr původ Ni v resuspenzi ale také vliv dálkového transportu, neboť v obci se nevyskytuje žádný z antropogenních zdrojů Ni (např. spalování topných olejů, železárny). Graficky jsou průkazné korelace pro PM_{10} a BS znázorněny na Obr. 20 a 22, za výhodnější se ukázalo proložení závislosti v zimním období ve vztahu k rychlosti větru a PM_{10} a BS logaritmickou křivkou, která tak naznačuje, že nízké rychlosti větru pod $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ mají na koncentrace škodlivin těžko definovatelný vliv (Wehner et al., 2002). Graficky vyjadřují některé studie vzájemné vztahy mezi rychlostí větru a PM_{10} U-křivkou, která lépe vyjadřuje zvýšené koncentrace PM_{10} za přítomnosti nízkých ($1-2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) i vysokých rychlostí větru ($5-6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Vallius et al., 2000; Heal et al., 2005). U koncentrací BS existuje pouze záporná lineární (logaritmická) závislost mezi rychlostí větru a BS vyjadřující tak přítomnost jemných částic pocházejících z lokálních spalovacích procesů (Heal et al., 2005).

Na rozdíl od zimního období nebyla v letním období potvrzena korelační závislost mezi rychlostí větru a sledovanými koncentracemi (PM_{10} , BS a prvky) ani v jednom případě (Tab. 26), lze tedy usuzovat, že vyšší rychlost větru v zimním období koncentrace škodlivin v ovzduší zředňuje (proto negativní korelace) a naopak v letním období vyšší rychlost větru vzhledem k suchému počasí kromě zředování koncentrace suspendovaných částic díky zvýšené reemisi prachu zároveň i zvyšuje. Působení dvou

proti sobě působících jevů při vyšší rychlosti větrů vysvětluje Pretel (2001) na základě výsledků získaných na stanici v Libuši. V důsledku proudění nad zemským povrchem dochází jednak ke zviření usazených částic (sekundární prašnost), což působí na nárůst koncentrací PM_{10} v ovzduší, na druhou stranu díky příznivějším rozptylovým podmínkám jsou aerosolové částice bez ohledu na jejich původ (primární i sekundární) účinněji rozptylovány do vyšších hladin, což působí naopak pokles koncentrací PM_{10} . Ve zmíněné studii se navíc uvádí, že za předpokladu, že je aktivní zemský povrch suchý, lze v blízkosti významných sekundárních zdrojů ve městech (ve sledované obci přicházejí v úvahu především nezpevněné cesty a zemědělské plochy) sekundární prašnosti přičítat přibližně 50% imisní zátěže PM_{10} . Na druhou stranu vysoký podíl vzrostlé zeleně podíl sekundární prašnosti snižuje. Neprůkazná korelace mezi rychlostí větru a částicemi BS v mimotopné sezóně, u nichž se nepředpokládá podíl hrubých částic, lze vysvětlit vzhledem k absenci dominantního lokálního zdroje domněnkou, že částice BS v letním období pocházejí především z dopravy a jsou do vesnice přinášeny větrem z okolních měst stejně jako prvky, které nepocházejí ze zdrojů obce.

Kromě souvislosti mezi rychlostí větru byla hledána i možná souvislost koncentrací PM_{10} , BS a prvků ve vztahu ke směru větru, který byl v několika studiích popsán jako nejvýznamnější meteorologický faktor ovlivňující koncentrace suspendovaných částic v ovzduší (např. Vákevä et al., 2000; Wróbel et al., 1999). Statisticky průkazné rozdíly mezi koncentracemi spojenými s různými směry větru se potvrdily pouze u PM_{10} , BS a několika prvků (např. Cd, Pb, Se, V) (Tab. 27, 28 a 29). Především byly nalezeny nižší koncentrace PM_{10} , BS a prvků v zimním období při západním až severozápadním proudění větru, v letním období byly nižší koncentrace naměřeny současně s jižním prouděním vzduchu. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány při proudění severovýchodním, východním až jihovýchodním. Nutno podotknout, že tyto výsledky jsou pravděpodobně významně ovlivněny četností daného proudění vzduchu během měřicí kampaně (Yatin et al., 2004), nicméně potvrzují naši původní hypotézu, na jejímž základě byla zvolená venkovská lokalita vybrána. Velkou roli při výběru totiž sehrála skutečnost, že venkovská lokalita leží na západ od Prahy a vzhledem k převládajícímu západnímu proudění v České republice tak byl vliv Pražské aglomerace na sledovanou lokalitu minimalizován. Převážně ze západní strany je zvolená obec obkloповána souvislým komplexem lesů CHKO Křivoklátsko a není na

této straně žádný výrazný zdroj znečišťování ovzduší, z jižní strany vítr do Žloutkovic přechází přes hřeben Brd. Nižší koncentrace při proudění západních (případně jižních) větrů tedy nejsou ničím překvapivé. Severovýchodní proudění mohlo do obce přinést znečištění ovzduší z měst ležících severně od Prahy, jako je Kladno, Slaný, Kralupy nad Vltavou a případně samotné Prahy. I pro nalezené zvýšení koncentrací při jihovýchodním proudění, které bylo zaznamenáno v prvním zimním období, existuje jisté vysvětlení. Žloutkovice leží v údolí vytvořeném řekou Berouňkou a právě za jihovýchodního proudění mohou být škodliviny přenášeny tímto údolím z Berouna, který byl v roce 1997 nejznečištěnějším městem Středních Čech frakcí PM_{10} (ČHMÚ, 1998). Nutno podotknout, že důležitým meteorologickým faktorem ovlivňujícím množství atmosférického aerosolu v ovzduší je také množství srážek. Přítomnost srážek způsobuje pokles koncentrace v rámci jemné i hrubé frakce aerosolu (Wróbel et al., 1999; Monn et al., 1997). V předkládané práci tento faktor nebyl z důvodu nedostatečných dat získaných přímo v místě odběru aerosolu zkoumán.

4.1.6 Vztah PM_{10} , BS a prvků k pracovním dnům a víkendům

Jelikož vybrané venkovské sídlo, díky své výhodné poloze uprostřed Křivoklátských lesů v údolí řeky Berouňky, láká k pravidelným návštěvám řadu turistů i chatařů, byla sledována i možná souvislost mezi koncentracemi PM_{10} , BS a prvků a dny v týdnu. Pro ověření hypotézy, že nejvýznamnější ovlivnění ovzduší příjezdem chatařů může nastat v pátek, byla koncentrace sledována zvlášť ve dnech pondělí až čtvrtek, v pátek a ve dnech sobota až neděle. Statisticky významné rozdíly však mezi sledovanými dny nalezeny nebyly (Tab. 30, 31 a 32), kromě několika prvků v prvním zimním období ($p < 0,1$). I když se nejedná o statisticky významné rozdíly je z průměrných hodnot koncentrací pro sledovaná období patrná tendence, kdy jsou v zimních období většinou naměřeny vyšší koncentrace v pracovních dnech (nejčastěji v pátek), na rozdíl od letního období, kdy byla zvýšená koncentrace u většiny prvků nalezena o víkendu. Jelikož se jedná o lokalitu rekreačně často využívanou, zvýšené koncentrace PM_{10} o víkendech v letním období i páteční zvýšené koncentrace v zimním období by se daly předpokládat. Rozdíly mezi koncentracemi suspendovaných částic naměřenými ve všedních dnech a o víkendu se nepotvrdily stejně jako v jiných publikovaných pracích (Monn et al., 1997; Qin and Oduyemi, 2003), ale zároveň existují studie, kde rozdíly potvrzeny byly (Chaloulakou et al., 2005; Rössli et al., 2000;

Wehner et al., 2002) a jsou spojovány především s vyšší dopravou během všedních dnů. V projektu PEACE (Hoek et al., 1997) se nižší koncentrace naměřené v neděli potvrdily pouze pro BS (nižší o 20%) a pro NO₂, proto jsou spojovány s předpokládaným nedělním poklesem dopravy. Nevýznamné statistické rozdíly ve sledované obci lze vysvětlit nejen skutečností, že se nejedná o dopravně zatíženou oblast, ale i tím, že byla sledována frakce PM₁₀, tedy společně jemné a hrubé částice. Ve studiích, kde byly frakce jemných a hrubých částic sledovány odděleně, byly potvrzeny výraznější rozdíly mezi pracovními dny a víkendy pro hrubou frakci (vyšší během pracovních dnů v důsledku vyššího využívání dopravy a jiných pracovních aktivit produkujících částice), nižší rozdíly pak byly nalezeny ve frakci jemných částic, neboť setrvávají v ovzduší delší dobu a jejich pokles se během dvou dnů (víkend) nestačí projevit (Koutrakis et al., 2005).

4.2 Měřicí kampaň 2003

Během měřicí kampaně v dubnu 2003 byly sledovány koncentrace PM₁₀, BS a prvků paralelně ve dvou odběrových místech, přičemž hlavním cílem bylo porovnat sledovanou oblast v centru obce s pozad'ovou lokalitou, kde se nevyskytoval téměř žádný zdroj znečišťování ovzduší a proto by mohla být považována za „přirozené pozadí“ středočeského kraje.

4.2.1 Srovnání koncentrací PM₁₀, PM_{2,5} a BS naměřených v pozad'ové lokalitě s koncentracemi naměřenými v centru obce a ostatními městy

Průměrné koncentrace PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS byly v centru obce naměřeny přibližně o 22%, 18%, 70% a u BS dokonce o 105% vyšší než v pozad'ové lokalitě (Obr. 24). Stejný průměrný rozdíl (22%) mezi venkovskými a městskými lokalitami se uvádí i ve studii PEACE sledující 10 států Evropy (Hoek et al., 1997), stejně tak byl popsán i vysoký rozdíl (až pětinasobný) mezi koncentracemi uhlíkatých částic ve městech a ve venkovských lokalitách, v důsledku vysoké intenzity dopravy ve městech (Müller, 1999; Horvath et al., 1996). Přesto, že sledovaná měřicí kampaň byla vybrána v dubnu a dalo by se tedy předpokládat, že koncentrace suspendovaných částic vzhledem ke končícímu topnému období budou nízké, byly v tomto 19-denním

období nalezeny koncentrace vyšší než denní imisní limit ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ve dvou případech v pozad'ové lokalitě a dokonce v 5 případech v centru obce. Je na místě však připomenout, že pro vybrané období bylo jednak charakteristické velmi velké teplotní rozmezí od $-7,0^{\circ}\text{C}$ do $21,8^{\circ}\text{C}$ a v případě zmiňovaných dvou překročení v pozad'ové lokalitě se jednalo o mimořádné události. První polovina sledovaného období se vyznačovala nízkou teplotou vzduchu (průměrná teplota během 4 dnů byla pod bodem mrazu) a severozápadním prouděním větru, druhá polovina měření byla výrazně teplejší za přítomnosti větru východního směru. Průměrné hodnoty PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ představovaly 31 a $24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v pozad'ové lokalitě a 37 a $28 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v centru obce (Tab. 33 a 34). Statisticky významný rozdíl ve hmotnostní koncentraci stanovovaných suspendovaných částic byl prokázán mezi jednotlivými frakcemi PM v rámci jednoho sledovaného místa, nikoliv mezi místy v rámci jedné frakce PM. Koncentrace BS v centru obce se výrazně nelišily od koncentrace $\text{PM}_{2,5}$ na rozdíl od pozad'ové lokality, kde mezi koncentracemi BS a $\text{PM}_{2,5}$ byl prokázán statisticky významný rozdíl stejně jako mezi BS v obci a BS v pozad'ové lokalitě (Tab. 33 a 34). Obě sledovaná místa jsou tedy zatížena suspendovanými částicemi přibližně stejného velikostního rozložení (poměr mezi frakcí PM_{10} naměřenou v obci a PM_{10} naměřenou v pozad'ové lokalitě představoval hodnotu 1,2, stejně jako poměr pro frakci $\text{PM}_{2,5}$). Jemná frakce v obci představuje především uhlíkaté částice pocházející z lokálních spalovacích procesů v obci, což dokazuje i větší poměr mezi koncentracemi BS v obci a pozad'ové lokalitě (2,1). V průměru frakce $\text{PM}_{2,5}$ představovala 75% frakce PM_{10} v pozad'ové lokalitě a 73% v centru obce (poměr $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$ v obou místech činil 1,3), částice BS tvořily pouze 41% frakce PM_{10} v pozad'ové lokalitě a 69% v centru obce (poměr PM_{10}/BS činil 2,4 v pozad'ové lokalitě a 1,4 v obci), ve vztahu k frakci $\text{PM}_{2,5}$ tvořily částice BS však 54% v pozad'ové lokalitě a 95% v centru obce (poměr $\text{PM}_{2,5}/\text{BS}$ představoval 1,8 v pozad'ové lokalitě a 1,1 v obci). To by potvrzovalo naši hypotézu, že většina částic PM_{10} a téměř všechny částice $\text{PM}_{2,5}$ ve sledované obci jsou tvořeny uhlíkatými částicemi, které mají pravděpodobně původ ve spalování uhlí, zatímco v pozad'ové lokalitě mají největší podíl na množství $\text{PM}_{2,5}$ částice přinesené z obce a okolí (Braníš et al., 2007). Větší podíl sekundárních částic (tedy větší podíl dálkového přenosu) v pozad'ové lokalitě ve srovnání s centrem obce naznačuje i rozdíl mezi PM_{10} a BS, který představuje sekundární částice společně s neuhlíkatými částicemi (Heal et al.,

2000). Rozdíl v pozad'ové lokalitě odpovídal hodnotě kolem $18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v centru obce kolem $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Poměr $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$ (1,3) v sledovaných místech obce odpovídá poměru charakteristickému pro zimní období ve Finsku (1,5) (Vallius et al., 2000), kde se mimo jiné uvádí, že tento poměr prokazuje sezónní variabilitu, přičemž hodnoty na jaře dosahovaly 2,4. Nicméně ve většině publikovaných studiích se uvádí poměr $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$, který by v případě sledovaného sídla představoval 0,75 v pozad'ové lokalitě a 0,73 v centru obce. Takto vysoký poměr potvrzuje stejně vysokou úroveň znečištění v obci jako vybraná městská sídla v České republice (18 stanic), kde je měřena frakce $\text{PM}_{2,5}$. Poměr mezi frakcemi v roce 2005 se na těchto stanicích uváděl od 0,86 do 0,56 (SZÚ, 2006). Podobně vysoké poměry (0,6-0,7) se uvádí i pro oblasti centrálního Španělska, přitom nejvyšší hodnoty poměrů byly naměřeny v průmyslově a dopravně zatížených oblastech (Querol et al., 2007). Tento poměr mezi frakcemi prokazuje sezónní změny (Houthuijs et al., 2001), v oblastech centrální Evropy jsou uváděny průměrné hodnoty 0,61 pro mimotopnou sezónu a 0,77 pro topnou sezónu. Pro srovnání uvedme průměrnou hodnotu 0,38 tohoto poměru naměřenou v odlehlých venkovských oblastech Kanady (Cheng et al., 2000).

Stejně jako v předchozích kampaních, byla koncentrace PM_{10} ve sledovaných místech obce porovnána s koncentracemi naměřenými v okolních městech (Tab. 54). Koncentrace v pozad'ové lokalitě ($31,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla přibližně stejná jako koncentrace naměřená ve Slaném ($28,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), v porovnání s ostatními lokalitami (včetně centra obce) byla nižší. Koncentrace naměřená v centru obce ($38,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) byla téměř shodná s koncentrací naměřenou v Berouně ($40,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), vyšší než ve Slaném a nižší než v Praze ($46,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). V porovnání s Prahou, kde byla naměřena průměrná koncentrace PM_{10} nejvyšší, byla koncentrace v pozad'ové lokalitě nižší o 33%, v centru obce o 18%. Zároveň koncentrace PM_{10} výrazně korelovaly i s ostatními okolními městy (Tab. 55), přičemž nejsilnější korelace byla nalezena mezi Žloukoviciemi a Prahou a to jak s místem odběru v centru obce tak v pozad'ové lokalitě. Zatímco frakce $\text{PM}_{2,5}$ v pozad'ové lokalitě i v centru obce výrazně korelovala s koncentracemi PM_{10} naměřenými v Berouně, což by potvrzovalo silné ovlivnění pozad'ové lokality nejen nejbližšími obcemi ale i vzdálenějšími místy jako je městská lokalita Beroun.

Překvapivé je, že mezi koncentrací BS v centru obce nebyl prokázán korelační vztah s PM_{10} v Berouně (ani ostatními městy), neboť právě s Berounem koncentrace BS v pozadové lokalitě korelovala velmi významně (0,919). Koncentrace BS v centru obce nekorelovala s žádnými frakcemi suspendovaných částic v centru obce ani v pozadové lokalitě (Tab. 39). Vysvětlení se nabízí následující, jak již bylo uvedeno v předchozím textu, metoda BS je, vzhledem k současné skladbě zdrojů podílejících se na znečištění ovzduší, již nevyhovující (Hamilton et al., 1995; Roemer et al., 2001; Laskus, 1983) a nelze ji chápat jako koncentrace určující množství částic, ale jako koncentrace odhadující množství elementárního uhlíku (Roemer et al., 2001). Nevhodnost metody se pravděpodobně projevila i během našeho měření, neboť v období od 3.4. do 9.4. 2003 (7 měření) byla koncentrace BS částic v centru obce naměřena vyšší než koncentrace PM_{10} (Obr. 34). Vzhledem ke skutečnosti, že částice odebrané metodou BS tvoří především částice s aerodynamickým průměrem do 4 μm (Mc Farland et al. (1982) ex Heal et al., 2005), někde se uvádí do 5 μm (Roemer et al., 2001), některé prameny dokonce uvádějí nejvyšší korelace BS částic s částicemi $PM_{3,2}$ (Reponen et al., 1996), nepředpokládá se, že by koncentrace BS byly vyšší než koncentrace PM_{10} . Přesto i v jiných studiích lze tento jev zaznamenat (Chaloulakou et al., 2004; Hoek et al., 1997), v několika případech k tomuto jevu došlo i během odběrů v letech 1997-99. Vyšší BS koncentrace jsou vysvětlovány dvěma způsoby buď častějším výskytem srážek, neboť hrubé částice jsou přítomností srážek výrazněji ovlivňovány (Vallius et al., 2000) nebo vysokým příspěvkem částic z dopravy. Uhlíkaté částice z diesellových motorů byly nalezeny až třikrát tmavší (tedy obsahující více elementárního uhlíku) než částice pocházející ze spalování uhlí (Hoek et al., 1997). Pro tyto dny ve sledované obci byla charakteristická velmi nízká teplota, velký vítr a přítomnost sněhových srážek, nízké koncentrace PM_{10} by se tedy daly vysvětlit vlivem meteorologických parametrů, naopak vyšší koncentrace BS by bylo možné vysvětlit navrácením se k vytápění domácností (po předchozím ukončení vytápění domácností v zimním období). Tuto hypotézu by navíc potvrzovaly velmi nízké BS koncentrace naměřené v pozadové lokalitě a přesně po tyto dny převládající severozápadní proudění vzduchu o velké rychlosti, tedy mimo pozadovou oblast. Případně by se dalo uvažovat i o přítomnosti částic z dopravy, které by se do obce dostaly dálkovým přenosem za přítomnosti severozápadního proudění vzduchu. Nicméně se uvádí, že koncentrace BS jsou výrazně závislé na rozdíl od PM_{10} na lokálních zdrojích (Heal et al., 2005) a tmavost filtru

způsobují především částice submikronových velikostí (Horvath et al., 1996), tedy uhlíkaté částice pocházející ze spalovacích procesů včetně spalování uhlí.

Na rozdíl od BS frakce byla mezi frakcí PM_{10} v obci a v pozad'ové lokalitě prokázána velmi výrazná korelace (0,917) a ještě vyšší hodnotu představoval korelační koeficient pro frakci $PM_{2,5}$ (0,929) (Tab. 39). Stejně tak výrazně korelovala PM_{10} a $PM_{2,5}$ v pozad'ové lokalitě i obci (0,853 a 0,804), což je srovnatelné s hodnotami uvedenými v jiných studiích (Gehrig et al., 2003; Vallius et al., 2000). Pouze částice hrubé frakce ($PM_{10-2,5}$) výrazně nekorelovaly s žádnou frakcí, slabá korelace ($p < 0,1$) byla nalezena ve spojitosti s PM_{10} ale nikoliv ve spojitosti s $PM_{2,5}$, což by dokazovalo odlišný původ částic jemné a hrubé frakce (Heal et al., 2005). Na základě slabé korelace (0,583, $p < 0,1$) mezi frakcemi hrubých částic ($PM_{10-2,5}$) v obci a v pozad'ové lokalitě, ve srovnání s velmi silnou korelací mezi frakcemi $PM_{2,5}$ v obou měřicích místech (0,929, $p < 0,0001$), lze potvrdit jednak závislost příspěvku hrubé frakce na místě, v kterém je měřena (Brook et al., 1997, Rössli et al., 2000) a jednak existenci dálkového přenosu pro částice jemné frakce ($PM_{2,5}$) (ApSimon et al., 2001, Brook et al., 1997).

Z Obr. 38, kde je zachycen průběh koncentrací PM_{10} během měřicí kampaně v měřicích místech sledované venkovské lokality a v ostatních městských lokalitách, je velmi dobře patrné, že koncentrace PM_{10} ve všech uvedených lokalitách spolu velmi výrazně korelují. To potvrzuje existenci více či méně stabilní hladiny pozad'ového aerosolu, který je transportován na velké vzdálenosti a tím dochází na velkém území ke snižování rozdílů mezi jednotlivými sledovanými místy, případně centrálními a okrajovými částmi aglomerací. Koncentrace škodlivin se pak v jednotlivých místech České kotliny liší navýšením o škodliviny způsobenými bodovými či liniovými lokálními zdroji, tak jako je to patrné ve dnech 14. a 17.4.2003 v pozad'ové lokalitě sledované obce. V těchto dnech je koncentrace PM_{10} dokonce vyšší než koncentrace PM_{10} naměřená ve sledovaných městech a příspěvek z pozad'ové lokality se projevil v koncentraci měřené ve sledované obci. Dne 14.4.2003 byl v provozu mlíř na dřevěné uhlí (vzdálen asi 2,5 km, jihozápadním směrem) a dne 17.4.2003 byl v pozad'ové lokalitě spalován odpad na otevřeném ohništi. To byl také důvod pro přerušení našeho měření v pozad'ové lokalitě následující den.

Porovnáním koncentrace PM_{10} naměřené v pozad'ové lokalitě v okolních městech byla potvrzena naše domněnka, že koncentrace v ovzduší jsou jednak ovlivňovány dálkovým přenosem na velké vzdálenosti z městských lokalit, ale zároveň významně k znečištění ovzduší přispívají lokální zdroje znečištění, což potvrzují výrazné korelace mezi lokalitou v centru obce a pozad'ovou lokalitou v rámci frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ a zároveň i vyšší koncentrace BS než PM_{10} v prvních dnech měření. Na základě mimořádných událostí ve dnech 14. a 17.4.03 bylo potvrzeno, že i pozad'ová lokalita může přispívat ke zvýšeným koncentracím škodlivin v obci, tak jako mohou v některých případech venkovské lokality ovlivňovat koncentrace v městských lokalitách (Grima et al., 2002).

4.2.2 Koncentrace vybraných prvků a jejich vztah ke koncentracím PM_{10} , $PM_{2,5}$ a BS a mezi sebou navzájem

Prvkové složení frakcí PM prokázalo stejné hmotnostní zastoupení prvků jako během měřicí kampaně 1997 – 1999, to znamená, že průměrné koncentrace Co, Cd, Cr, V, Se a Sr nebyly vyšší než $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a vyšší koncentrace naopak byly naměřeny u prvků As, Mn, Ti, Pb a Zn. Během tohoto období byl na rozdíl od předcházejících kampaní stanoven také Al (typický prvek pro částic pocházející z půdního materiálu), který se vyznačoval několikanásobně vyššími koncentracemi než ostatní sledované prvky (Tab. 35 – 38). Cu v této měřicí kampani není uváděna, neboť se naměřené koncentrace Cu ve většině případech nacházely pod stanovenou mezí detekce. V porovnání s okolními městskými lokalitami, kde byly ve dvou dnech (7.4. a 21.4. 2003) sledovány prvky (Cr, Mn, Zn, As, Cd a Pb) obsažené ve frakci PM_{10} (Tab. 56), byly koncentrace prvků naměřené ve sledované obci (kromě Cd dne 21.4.03) podobné nebo nižší.

Na obr. 39 jsou graficky zobrazené rozdíly mezi průměrnými koncentracemi prvků z obou PM frakcí ve sledované pozad'ové lokalitě a v centru obce. Statisticky významné rozdíly ($p < 0,01$) mezi prvky frakce $PM_{2,5}$ a PM_{10} byly v pozad'ové lokalitě nalezeny u prvků Al, Cd, Co, Cr, Mn, Sr, V a Ti (všechny vyšší v PM_{10}), v centru obce byly výrazné rozdíly mezi oběma frakcemi nalezeny pouze u prvků Al, Ti, Ni a Mn (všechny vyšší v PM_{10}). Statisticky významné rozdíly ($p < 0,01$) nebyly nalezeny v rámci frakce $PM_{2,5}$ v pozad'ové lokalitě v porovnání se stejnou frakcí v centru obce vůbec,

v rámci frakce PM_{10} byly nalezeny statisticky významné rozdíly ($p < 0,01$) pro Cd, Co (vyšší v pozad'ové lokalitě) a Pb, Ni a Zn (vyšší v centru obce).

Uvedené výsledky naznačují, že částice hrubé frakce ($PM_{10-2,5}$) jsou v rámci sledovaných prvků obohaceny především o prvky Al, Ti, Ni a Mn případně i Sr, Co a Cr a jejich podíl v ovzduší vzhledem k původu v resuspenzi pevných částic z povrchu je silně ovlivněn místem, kde jsou měřeny (Röösli et al., 2001). Frakce jemných částic ($PM_{2,5}$) v centru obce i v pozad'ové lokalitě pravděpodobně pochází ze stejného zdroje, čímž by byl potvrzen předpoklad dálkového transportu jemných částic. Vyšší koncentrace Pb v obci lze dávat do souvislosti s dopravou (která má v pozad'ové lokalitě minimální vliv) a původem ve spalování uhlí. Zvýšené koncentrace Cd a Co ve frakci PM_{10} v pozad'ové lokalitě byly způsobeny zejména mimořádnými událostmi (provoz milíře na dřevěné uhlí, spalování odpadu), které byly během měřicí kampaně zaznamenány. Otázkou zůstává proč k tomuto zvýšení došlo právě ve frakci PM_{10} , neboť Cd se zpravidla váže na částice jemné frakce (Álvarez et al., 2004), nicméně i v jiných studiích bylo neočekávaně nalezeno až 30% množství Cd v hrubých částicích (Yatin et al., 2000), které autor dává do souvislosti s vázáním malých částic pocházejících ze spalovacích procesů na povrchu pevných částic. Podobně jako je stanovován poměr mezi hmotnostní koncentrací $PM_{2,5}/PM_{10}$, lze stanovit poměr u jednotlivých prvků pocházejících z frakce $PM_{2,5}$ a PM_{10} (Janssen et al., 1997). Nejvyšší poměry ($>0,7$) značící vyšší zastoupení prvku v jemné frakci aerosolu byly nalezeny pro prvky Pb, Zn, As a Se v pozad'ové lokalitě a prvky Cd, Pb, As, Se, Zn a Co v centru obce. Nejnižší poměry mezi frakcemi ($<0,4$) značící vyšší zastoupení prvku v hrubé frakci aerosolu byly nalezeny pro prvky Co, Al, Sr, Ti, Cd, Cr v pozad'ové lokalitě a pro Al, Ti, Ni a Mn v centru obce. Pro odhad původu aerosolu se také často používají různé poměry mezi prvky navzájem (Morawska and Zang, 2002). Jako příklad uveďme poměr Mn/V, který je v případě, kdy je výrazně nižší než 1, charakteristický pro spalování olejů. Tento poměr výrazně vyšší než 1 naopak naznačuje původ aerosolu ve spalování uhlí. V našem případě poměr Mn/V v PM_{10} představoval hodnotu 5,6 v centru obce a 4 v pozad'ové lokalitě, ve frakci $PM_{2,5}$ v obou měřících místech dosáhl hodnoty 2,8.

Na rozdíl od měřících kampaní v letech 1997-99 sledované kovy již tak výrazně s frakcemi PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} a BS nekorelovaly (Tab. 40 – 43), patrně díky specifickým meteorologickým charakteristikám, mimořádným událostem a také menšímu počtu měření během kampaně v roce 2003. Pro možnost jednodušší interpretace byly brány v úvahu korelační vztahy, pro než Spearmanův korelační koeficient dosahoval hodnoty alespoň 0,7. Nejvíce průkazných korelací bylo nalezeno u prvků pocházejících z frakce PM₁₀ v pozad'ové lokalitě: velice výrazná korelace byla nalezena mezi frakcí PM_{10-2,5} a prvky Al, Ti a Sr, což potvrzuje přítomnost těchto prvků v částicích hrubé frakce pocházející ze zemského povrchu (Alastuey et al., 2004; Chan et al., 1997), případně s frakcí hrubých částic významně koreloval ještě Co a Mn. As společně s Se nejvýrazněji koreloval s frakcí PM_{2,5} a BS, což by potvrzovalo původ těchto prvků ve spalovacích procesech. Prvky Co, Cr, Pb, V a Zn výrazně korelovaly s frakcemi PM₁₀, PM_{2,5}, a BS, nikoliv s PM_{10-2,5}, což by ukazovalo na jejich původ v antropogenních zdrojích.

Vzájemné korelace mezi prvky jsou uvedeny v tabulkách 44 až 47, podobně jako při hledání průkazných korelačních vztahů mezi prvky a ostatními frakcemi suspendovaných částic bylo nejvíce případů průkazných korelací nalezeno ve venkovské lokalitě a to v obou frakcích. Výrazně spolu korelovaly prvky hrubé frakce (př. Al, Cr, Mn, Sr a Ti) zejména ve frakci PM₁₀. As jako typický prvek pro spalování uhlí výrazně koreloval s Pb a Zn v PM₁₀ frakci a se Se ve frakci PM_{2,5}. Cd jako prvek charakteristický pro dálkový přenos koreloval s největším počtem kovů (Co, Cr, Mn, Pb, Sr, V a Zn), což by podporovalo naši teorii o existenci určité hladiny pozad'ového atmosférického aerosolu vyskytujícího se na velkých území centrální Evropy (Houthuijs et al., 2001).

4.2.3 Popis vybrané mimořádné události

Z pohledu koncentrací PM byly v pozad'ové lokalitě nejzajímavější dny, kdy došlo ke zvýšení koncentrací PM v důsledku mimořádných událostí, které mimo jiné ovlivnily i koncentrace v obci, částečně dokonce i v Berouně (Obr. 38). Z tohoto důvodu byl sledován podrobněji den 14.4.2003, kdy byl v provozu mlíř sloužící k výrobě dřevěného uhlí. Pro tento den byl charakteristický vítr o rychlosti 4 m.s⁻¹

východního směru. Koncentrace PM_{10} v pozad'ové lokalitě byly v tento den v porovnání s centrem obce vyšší přibližně o 20%, koncentrace $PM_{2,5}$ přibližně o 30% a koncentrace BS byly o 15% nižší (v průměru byly koncentrace BS v obci vyšší o 105% než v pozad'ové lokalitě). Frakce $PM_{2,5}$ tvořila v tento den 90% frakce PM_{10} v pozad'ové lokalitě a 82% v centru obce (pro srovnání - průměrné hodnoty za celé sledované období představovaly 75 a 73%). Koncentrace BS tvořily v pozad'ové lokalitě 45% frakce $PM_{2,5}$ a 40% PM_{10} . Evidentně došlo v této mimořádné události ke zvýšení hmotnostní koncentrace jemných částic $PM_{2,5}$ tvořených pravděpodobně organickým uhlíkem (př. VOC, PAH) nebo jinými neuhlíkatými látkami.

Z hlediska prvkového zastoupení byly v tento den naměřeny výrazně vyšší koncentrace prvků v PM_{10} , od průměrných hodnot byly až 5-krát zvýšené u Pb a Zn (společně s K, Cl a S se jedná o prvky charakteristické pro spalování dřeva) (Hedberg et al., 2002; Chow et al., 1995), 4-krát u Ni, 3-krát u Mn a dále u Ti, Al, Cd a Cr. Stejný jev byl patrný i v lokalitě centru obce, sledované prvky byly od průměrných hodnot zvýšeny 4-krát pro Pb, Ni a přibližně 2-krát pro Zn, Mn, Ti, V, Zn, Cd a Se. Nicméně není možné na základě jedné události dospět k statistiky podloženým závěrům, navíc během této události mohlo dojít i k jiným neznámým dějům. Jednoznačně lze říci, že v pozad'ové lokalitě došlo k výraznému zvýšení hmotnostní koncentrace aerosolových částic, které se projevilo zvýšením koncentrací v centru obce i ve vzdálené městské lokalitě Berouně (Obr. 38). Zvýšení koncentrací všech sledovaných frakcí atmosférického aerosolu bylo způsobeno pravděpodobně především látkami v této práci nesledovanými jako jsou PAH (organický uhlík), které se při výrobě dřevěného uhlí uvolňují ve velkém množství (Mara dos Santos Barbora et al., 2006) a dalšími látkami.

4.2.4 Vztah PM_{10} , $PM_{2,5}$, BS a prvků k meteorologickým parametrům

Vybrané období měření (3.4.–21.4.2003) bylo přechodným obdobím mezi končící zimou a nastupujícím jarem, které se projevilo velkým rozsahem meteorologických charakteristik a s tím spojeným atypickým chováním sledovaných koncentrací suspendovaných částic i prvků. Jako příklad uveďme koncentrace BS, u kterých byla v letech 1997–1999 potvrzena výrazná negativní korelace s teplotou v zimním i letním období, v měřicí kampani v roce 2003 však nebyla korelace BS

s teplotou výrazně statisticky průkazná ($p < 0,1$) a korelační koeficient představoval pozitivní hodnotu v pozad'ové lokalitě a naopak negativní v centru obce (Tab. 48 a 51), pravděpodobně to bylo způsobeno vysokými koncentracemi BS v centru obce na začátku měření. Smysl dává pozitivní korelace mezi teplotou a PM_{10} v pozad'ové lokalitě a mezi teplotou a $PM_{10-2,5}$ v centru obce ($p < 0,01$), neboť hrubé částice, vzhledem ke svému původu v půdním materiálu, v letních měsících s teplotou mohou pozitivně korelovat (Yatin et al., 2004; Keary et al., 1998). S rychlostí větru byla nalezena výrazná negativní korelace pouze s frakcí $PM_{2,5}$ v centru obce, BS v obou sledovaných místech koreloval méně významně ($p < 0,1$), částice hrubé frakce ($PM_{10-2,5}$) nekorelovaly s rychlostí větru vůbec. I když se nejedná o statisticky významné korelace, naznačují nalezené vztahy prokázané teorie, že jemné částice (v našem případě $PM_{2,5}$ a BS) korelují negativně s rychlostí větru a naopak hrubé částice prokazují korelace pozitivní nebo žádné (Vallius et al., 2000). Někdy je u částicích hrubé frakce, podobně jako u frakce PM_{10} (Heal et al., 2005), vyjadřována závislost na rychlosti větru pomocí U-křivky vyjadřující jak ředění tak zvyšování koncentrace hrubých částic v důsledku vyšší rychlosti větru (Harrison et al., 2001). U jednotlivých prvků (Tab. 49, 50, 52 a 53) se ve vztahu s průměrnou teplotou projevíly statisticky významné pozitivní korelace zejména se Sr a v pozad'ové lokalitě také s Cd, Co a Cr. V centru obce byla prokázána záporná korelace mezi teplotou a As (zejména ve frakci $PM_{2,5}$), což by opět ukazovalo na původ As ve spalování uhlí. S rychlostí větru nejvýrazněji záporně koreloval As a Se, méně významně pak Pb, Zn a V.

4.3 Shrnutí

Z výsledků dosažených při sledování koncentrací suspendovaných částic v modelové venkovské lokalitě během dvou zimních, jedné letní sezóny a během měření prováděných v centru a na odlehlém místě obce jsme došli k těmto hlavním závěrům:

- úroveň znečištění ovzduší frakcí PM_{10} ve sledovaném malém sídle byla přibližně stejně vysoká jako úroveň znečištění ovzduší okolních větších měst;
- v obci byly naměřeny vysoké koncentrace As, pocházejícího ze spalování uhlí;
- koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ byly v centru obce přibližně o 20% vyšší než v pozad'ové lokalitě, koncentrace BS částic byla v centru obce přibližně dvojnásobná;

- mezi zimní (topnou) a letní (mimotopnou) sezónou byl nalezen výrazný rozdíl v hmotnostní koncentraci PM_{10} a BS částic;
- výrazná sezónní variabilita byla prokázána pro prvky: As, Pb, Se, Ni a V;
- částice BS představovaly výraznou část PM_{10} částic v zimním období (83 a 95%) a přibližně polovinu částic PM_{10} v letním období (55%);
- v jarním období tvořily částice BS 41% frakce PM_{10} (54% frakce $PM_{2,5}$) v pozad'ové lokalitě a 69% frakce PM_{10} (95% frakce $PM_{2,5}$) v centru obce;
- frakce $PM_{2,5}$ představovala přibližně 75% frakce PM_{10} v pozad'ové lokalitě i v centru obce;
- koncentrace PM_{10} ve sledovaném malém sídle a okolních městech spolu výrazně korelovaly;
- byl prokázán odlišný původ frakce jemných a hrubých částic (na koncentraci hrubých částic se výrazněji podílejí částice půdního materiálu, jemná frakce částic má původ především ve spalovacích procesech);
- u jemných částic byl zjištěn pravděpodobný vliv dálkového přenosu;
- mimořádné události v pozad'ové lokalitě mohou ovlivňovat koncentrace v obci i okolních městech;
- u koncentrace BS (As, Se) byla prokázána negativní korelace s teplotou vzduchu (vyjadřuje spojitost s vytápěním domácností);
- byl potvrzen větší vliv rychlosti větru na koncentraci škodlivin v ovzduší než teplota, během topné sezóny negativně korelovaly s rychlostí větru koncentrace PM_{10} , BS i všech sledovaných prvků. V mimotopné sezóně nebyla výrazně statisticky průkazná korelace objevena u žádné sledované škodliviny (důsledek absence lokálních spalovacích procesů, vliv dálkového přenosu a resuspenze);
- mezi směrem větru a naměřenými koncentracemi PM_{10} , BS a prvků nebyly nalezeny výrazné statisticky průkazné rozdíly, nicméně byla patrná spojitost mezi zvýšenými koncentracemi škodlivin v ovzduší a východním až severovýchodním prouděním vzduchu, nejnižší koncentrace byly naměřeny při proudění západních až jižních větrů;
- statisticky významná variabilita mezi koncentracemi PM_{10} , BS a prvků měřeními v pracovních dnech a o víkendu nebyla prokázána.

5. Závěr

Stanovením koncentrace PM_{10} ($PM_{2,5}$ a BS) včetně následné chemické analýzy odebraného aerosolu zaměřené na sledování vybraných prvků v ovzduší zvoleného malého sídla, byl v této práci potvrzen předpoklad o existenci určité hladiny atmosférického aerosolu, která se nachází v centrální části České kotliny obklopené příhraničními pohořími, přičemž je tato koncentrace atmosférického aerosolu v jednotlivých oblastech navyšována o příspěvek z lokálních zdrojů. Koncentrace PM_{10} v malém sídle zvýšené v důsledku vytápění domácností v zimní části roku tak mohou dosahovat stejně vysokých nebo i vyšších hodnot jako koncentrace PM_{10} naměřené v městských lokalitách výrazně zatížených zdroji znečišťování jako je především doprava, průmyslové aktivity nebo sekundární prašnost. Získané výsledky potvrdily představu o tom, že pozadřová koncentrace je převážně tvořena jemnými částicemi, které mají schopnost setrvávat v ovzduší delší dobu a jsou přenášeny na velké vzdálenosti. Naopak hrubé částice svým složením lépe odráží místní podmínky charakteristické pro jednotlivá měřící místa. Za určitých podmínek může dokonce dojít k situaci, že malá obec přispívá ke koncentracím okolních městských oblastí. Převládající způsob vytápění domácností založený na spalování hnědého uhlí v modelovém malém sídle se projevil především vysokými koncentracemi PM_{10} , BS a As v zimní části roku, která obecně podporuje existenci vyšších koncentrací škodlivin častějším výskytem stabilního zvrstvení atmosféry.

Z hlediska kvality ovzduší (překračování imisních limitů) je znečištění ovzduší frakcí PM_{10} aktuálním problémem České republiky. Emise lze účinně omezovat stanovením emisních limitů, možností kontroly jejich dodržování či zpoplatňováním produkce škodlivin z velkých a středních stacionárních zdrojů nikoliv však z malých zdrojů, která lokální topeniště na tuhá paliva představují. Přitom právě při nedokonalém spalování pevných paliv v lokálních topeništích množství uvolněných látek do ovzduší výrazně závisí na faktorech jako je například typ a stáří spalovacího zařízení, typ paliva nebo přítomnost odpadních materiálů, jejichž spalování v domácnostech není v českých sídlech výjimkou. Do ovzduší se tak uvolňuje celá řada karcinogenních, mutagenních a jinak nebezpečných látek, které představují značné zdravotní riziko pro exponovanou populaci.

Vhodné řešení problému malých sídel se nabízí v plošné plynofikaci obcí, nicméně vzhledem k finanční náročnosti se na plyn napojuje a skutečně ho odebírá stále méně subjektů a některé domácnosti se dokonce ke spalování pevných paliv z ekonomických důvodů zpětně vracejí (Fiala, 2003b). Od roku 2003 se projevil mírný nárůst ve spotřebě hnědého uhlí (obecně pevných paliv) (ČHMÚ, 2006). Dalším možným řešením je výstavba centrálních zdrojů tepla, které lze i v případě spalování uhlí provozovat na nízkoemitující úrovni. Dalším možným způsobem jak omezit emise z lokálních topenišť je zateplování budov, výměna oken, dveří nebo přímo výstavba energeticky pasivních domů. Nemalý význam má přechod na využívání obnovitelných zdrojů energie jako jsou například geotermální čerpadla, solární kolektory, větrné elektrárny ale také zařízení založená na spalování biomasy (např. slámy, lesních těžebních zbytků, dřevního odpadu, rychlerostoucích dřevin, nedřevnatých energetických plodin), bioplynu nebo jiných vhodných odpadních materiálů. Možných řešení nahrazujících spalování nekvalitního uhlí v domácnostech by se našlo několik, avšak stále má pro většinu uživatelů hlavní slovo finanční náročnost zvoleného způsobu vytápění. V současné době se uvádí roční investice na vytápění rodinného domu při vytápění plynem přibližně 40 tis. Kč, uhlím 20 tis. Kč a dřevem 10 až 15 tis. Kč (Kotlík et al., 2006). Je tedy na obcích a úřadech, aby vhodnou osvětou informovali provozovatele lokálních topenišť o jiných možných způsobech vytápění domácností a o nevhodnosti spalování odpadu v domácnostech, případně jim umožnili poskytnutí dotace na pořízení vhodnějších zařízení či je jinak vhodně motivovali. Samozřejmě významný podíl na řešení problému lokálních topenišť má také občanská odpovědnost a ohleduplnost každého uživatele.

Důležitost řešení vedoucího ke snížení znečištění frakcí PM_{10} na území České republiky potvrzuje nejen překračování imisních limitů na většině území státu, ale i od roku 2001 mírný vzestupný trend koncentrací PM_{10} , který nahradil výrazný klesající trend projevující se od konce 90. let minulého století v důsledku restrukturalizace hospodářství (CENIA, 2005). Téměř shodný trend vykazují také koncentrace NO_2 , které odráží stále se zvyšující počet silničních vozidel v České republice. Pro zlepšení imisní situace je tedy třeba zavést účinná opatření nejen v oblasti lokálních zdrojů spojených s vytápěním domácností, na které tato práce ukazuje, ale také v oblasti stále vzrůstající dopravy.

6. Seznam citované literatury

- Alastuey, A., Querol, X., Rodríguez, S., Plana, F., Lopez-Soler, A., Ruiz, C., Mantilla, E. (2004); Monitoring of atmospheric particulate matter around sources of secondary inorganic aerosol. *Atmospheric Environment* 38, 4979-4992
- Álvarez, F. F., Rodríguez, M. T., Espinosa, A. J. F. and Dabán, A. G. (2004); Physical speciation of arsenic, mercury, lead, cadmium and nickel in inhalable atmospheric particles. *Analytica Chimica Acta* 524 (1-2), 33-40
- ApSimon, H. M., Gonzalez del Campo, M. T. and Adams, H. S. (2001); Modelling long-range transport of primary particulate material over Europe. *Atmospheric Environment* 35(2), 343-352
- Berico, M., Luciani, A. and Formignani, M. (1997); Atmospheric aerosol in an urban area - Measurements of TSP and PM₁₀ standards and pulmonary deposition assessments. *Atmospheric Environment* 31 (31), 3659-3665
- Blakemore, F. B., Davies, C. and Isaac, J. G. (2001); Effects of changes in the UK energy-demand and environmental legislation on atmospheric pollution by oxides of nitrogen and black smoke. *Applied Energy* 68 (1), 83-117
- Bobák, M., Feachem, R. G. A. (1995); Air pollution and mortality in Central and Eastern Europe. *European Journal of Public Health* 5 (2), 82-86
- Borbély-Kiss, I., Koltay, E., Szabó, G. Y., Bozó, L. and Tar, K. (1999); Composition and sources of urban and rural atmospheric aerosol in eastern Hungary. *Journal of Aerosol Science* 30 (3), 369-391
- Bouška, V., Pešek, J. (1999); Distribution of elements in the world lignite average and its comparison with lignite seams of the North Bohemian and Sokolov basins. *Folia Musei Rerum Naturalium Bohemiae Occidentalis – Geologica* 42, 3-50
- Braniš, M. and Domasová, M. (2003); PM₁₀ and black smoke in a small settlement: case study from the Czech Republic. *Atmospheric Environment* 37 (1), 83-92
- Braniš M., Domasová M., Řezáčová P. (2007); Particulate air pollution in a small settlement: the effect of local heating. *Applied Geochemistry*, po recenzi v tisku
- Brook, J. R., Dann, T. F., Burnett, R. T. (1997); The Relationship Among TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations. *Journal of the Air & Waste Management Association* 47, 9-19
- Brunekreef B. (1993); Effects of short - term changes in urban air pollution on the respiratory health of children with chronic respiratory symptoms. *Department of epidemiology and public health, Agricultural University Wageningen*
- Brunekreef B. and Forsberg B. (2005); Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. *European Respiratory Journal* 26 (2), 309-318
- Celis, J. E., Morales, J. R., Zaror, C. A. and Inzunza, J. C. (2004); A study of the particulate matter PM₁₀ composition in the atmosphere of Chillán, Chile. *Chemosphere* 54 (4), 541-550

- CENIA, Česká informační agentura životního prostředí (2005); Životní prostředí v České republice 1998-2004, Praha
- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Grimas, G. and Spyrellis, N. (2005); Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece. *Environment International* 31 (5), 651-659
- Chan, Y. C., Simpson, R. W., McTainsh, G. H., Vowles, P. D., Cohen, D. D. and Bailey, G. M. (1997); Characterisation of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane, Australia. *Atmospheric Environment* 31 (22), 3773-3785
- Cheng, L., Sandhu, H. S., Angle, R. P., McDonald, K. M. and Myrick, R. H. (2000); Rural particulate matter in Alberta, Canada. *Atmospheric Environment* 34 (20), 3365-3372
- ČHMÚ (1998 – 2006): ročenky (Znečištění ovzduší na území ČR v příslušném roce), data a informace dostupné na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu (www.chmi.cz)
- Chow, J. C., Fairley, D., Watson, J. G., DeMandel, R., Fujita, E. M., Lowenthal, D. H., Lu, Z., Frazier, C. A., Long, G. and Cordova J. (1995); Source Apportionment of Wintertime PM₁₀ at San Jose, Calif. *Journal of Environmental Engineering/May 1995*, 378-387
- Chow, J. C., Watson, J. G., Lu, Z., Lowenthal, D. H., Frazier, C. A., Solomon, P. A., Thuillier, R. H. and Karen Magliano, K. (1996); Descriptive analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX, *Atmospheric Environment* 30 (12), 2079-2112
- Christolis, M., Clayton, P., Hecq, P., Payrissat, M. and Petit-Coviaux, F. (1992); Instruction manual for air pollution monitoring. Vol. II: Black Smoke monitoring. *Report EUR 14550/II EN. JRC, Commission of the European Communities*
- Cohen D. (1996); A two year study of fine particles at urban and rural sites in the Sydney region, *3rd Meeting of IAEA Global CRP, 23-26 October 1996, Jamaica*
- Damiá, A. D., Fabregas, M. L., Tordera, M. P., Torrero, L. C. (1998); Effects of Air Pollution and Weather Condition on Asthma Exacerbation. *Respiration* 66, 52-58
- Dockery, D.W., Pope III, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. and Speizer, F. E. (1993); An association between air pollution and mortality in six U.S. cites. *The New England Journal of Medicine* 329 (24), 1753-1808
- Dockery, D. W. and Schwartz, J. (1995); Particulate Air pollution and Mortality: More than the Philadelphia Story. *Epidemiology* 6 (6), 629-632
- Dockery, D. W. (2001); Epidemiologic Evidence of Cardiovascular Effects of Particulate Air Pollution. *Environmental Health Perspectives* 109 (4), 483-486
- Domasová, M. (1999); Měření kvality ovzduší metodou PM₁₀ v malé obci na Berounsku během zimních období 1997/98 a 1998/99. *Diplomová práce, Karlova Univerzita v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí*

- Donaldson, K., Stone, V., Seaton, A. and MacNee, W. (2001); Ambient Particle Inhalation and the Cardiovascular System: Potential Mechanisms, *Environmental Health Perspectives* 109 (4), 523-527
- Donkelaar, T. M. (1996); Measurements of atmospheric aerosols in Prague and analysis of their elemental composition. *Institute for Environmental Studies Charles University in Prague*
- EC (1999); Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulfur dioxide, nitrogen oxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official Journal of the European Communities L 163, 0041 – 0060*
- Engelbrecht, J. P., Swanepoel, L., Chow, J. C., Watson, J. G., and Egami R. T. (2002); The comparison of source contributions from residential coal and low-smoke fuels, using CMB modeling, in South Africa. *Environmental Science & Policy* 5 (2), 157-167
- Fiala, J., Brněnský, R., Horálek, J., Kurfürst, P., Novák, V. and Ostatnická, J. (2003a); projekt VaV/740/3/02 Integrované hodnocení a řízení kvality ovzduší v návaznosti na dceřiné směrnice týkající se TK, PAHs, PM₁₀ a benzenu, *Příloha DP2-2 Zmapování imisních charakteristik pro rtuť, kadmium, arsen, nikl, benzo(a)pyren a PM₁₀ za rok 2002, Český hydrometeorologický ústav v Praze*
- Fiala, J. (2003b); projekt VaV/740/3/02 Integrované hodnocení a řízení kvality ovzduší v návaznosti na dceřiné směrnice týkající se TK, PAHs, PM₁₀ a benzenu. *Příloha DP2-1.4 Zkoumání vzájemné závislosti koncentrace PM₁₀ a dalších veličin, Český hydrometeorologický ústav v Praze*
- Florig, H. K. (1997); China's Air Pollution Risks. *Environmental Science & Technology* 31 (6), 274-279
- Gatari, M. J., Boman, J., Wagner, A., Janhäll, S. and Isakson, J. (2006); Assessment of inorganic content of PM_{2.5} particles sampled in a rural area north-east of Hanoi, Vietnam. *Science of The Total Environment* 368 (2-3), 675-685
- Gehrig, Robert and Buchmann, Brigitte (2003); Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment* 37 (19), 2571-2580
- Götschi, T., Hazenkamp-von Arx, M. E., Heinrich, J., Bono, R., Burney, P., Forsberg, B., Jarvis, D., Maldonado, J., Norbäck, D., Stern, W. B., Sunyer, J., Torén, K., Verlato, G., Villani, S., Künzli, N. (2005); Elemental composition and reflectance of ambient fine particles at 21 European locations. *Atmospheric Environment* 39 (32), 5947-5958
- Grima, R., Micallef, A. and Colls, J. J. (2002); External contribution to urban air pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 73, 291-314
- Hamilton, R., Gorbunov, B. and Semenov, M. (1995); A new version of black smoke Method. *Journal of Aerosol Science* 26 (1), S189-S190
- Harrison, R. M., Dracén, A. R., Jones, M. R. and Apolony, R. S. (1997); Sources and processes affecting concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in Birmingham (U.K.). *Atmospheric Environment* 31 (24), 4103-4117

- Harrison, R. M. and Yin, J. (2000); Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *The Science of The Total Environment* 249 (1-3), 85-101
- Harrison, R. M., Yin, J., Mark, D., Stedman, J., Appleby, R. S., Booker, J. and Moorcroft, S. (2001); Studies of the coarse particle (2.5–10 µm) component in UK urban atmospheres. *Atmospheric Environment* 35 (21), 3667-3679
- Heal, M. R., Tunes, T. and Beverland, I. J. (2000); Using archive data to investigate trends in the sources and composition of urban PM₁₀ particulate matter: Application to Edinburgh (U.K.) between 1992 and 1997. *Environmental Monitoring and Assessment* 62, 333-340
- Heal, M. R., Hibbs, R. L., Agius, R. M. and Beverland, I. J. (2005); Interpretation of variations in fine, coarse and black smoke particulate matter concentrations in a northern European city. *Atmospheric Environment* 39 (20), 3711-3718
- Hedberg, E., Kristensson, A., Ohlsson, M., Johansson, C., Johansson, P.-A., Swietlicki, E., Vesely, V., Wideqvist, U. and Westerholm, R. (2002); Chemical and physical characterization of emissions from birch wood combustion in a wood stove. *Atmospheric Environment* 36 (30), 4823-4837
- Henning S., Weise D., Birmili W., Wiedensohler A. and Covert D.S. (1998); The particle size distribution and total number concentration for different air masses at the south-western edge of Europe. *Journal of Aerosol Science* 29 (1), S273-S274
- Hinds, W. C. (1999); Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. *Second edition, Wiley-Interscience, New York*
- Hoek, G., Fosberg, B., Borowska, M., Hlawiczka, S., Vaskovi, E., Welinder, H., Branis, M., Benes, I., Kotesovec, F., Hagen, L. O., Crys, J., Jantunen, M., Roemer, W., and Brunekreef, B. (1997); Wintertime PM₁₀ and Black Smoke Concentrations Across Europe: Results from the Peace Study. *Atmospheric Environment* 31 (21), 3609-3622
- Hoek G., Brunekreef, B., Verhoeff, A., Wijnen, J. and Fsher, P. (2000); Daily Mortality and Air pollution in the Netherlands. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50, 1380-1389
- Horvath, H., Kasaharat, M. and Pesava, P. (1996); The size distribution and composition of the atmospheric aerosol at a rural and nearby urban location. *Journal of Aerosol Science* 27(3), 417-435
- Houthuijs, D., Breugelmans, O., Hoek, G., Vaskövi, E., Miháliková, E., Pastuszka, J. S., Jirik, V., Sachelarescu, S., Lolova, D., Meliefste, K. et al. (2001); PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in Central and Eastern Europe: results from the Cesar study. *Atmospheric Environment* 35 (15), 2757-2771
- Hovorka, J., Keohane, B. M., Marshall, G. B. (1996); Elemental and stable lead isotopic composition of PM₁₀ aerosols by ICP-MS. *Acta Univesitatis Carolinae Environmentalica* 10, 63-70
- Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., Vonmont, H. (2005); Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland, *Atmospheric Environment* 39 (4), 637-651

- Hůnová, I., Šantroch, J. (2000); Právní předpisy Evropské Unie a jejich důsledky pro monitorování prašného aerosolu (PM₁₀) pro Českou republiku. *Ochrana ovzduší* 6, 1-3
- IPCC, Climate Change (2001); The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Cambridge University Press*
- Janssen, N. A. H., Van Mansom, D. F. M., Van Der Jagt, K., Harssema, H. and Hoek, G. (1997); Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations. *Atmospheric Environment* 31 (8), 1185-1193
- Kao, A. S., Friedlander, S. K. (1995); Frequency Distributions of PM₁₀ Chemical Components and Their Sources. *Environmental Science & Technology* 29 (1), 19-28
- Keary, J., Jennings, S.G., O'Connor, T. C., McManus, B. and Lee, M. (1998); PM₁₀ concentration measurements in Dublin city. *Environmental Monitoring and Assessment* 52, 3-18
- Kemp, K. (2002); Trends and sources for heavy metals in urban atmosphere. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 189 (1-4), 227-232
- Koçak, M., Nimro, M., Kubilay, N. and Herut, B. (2004); Spatio-temporal aerosol trace metal concentrations and sources in the Levantine Basin of the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 38 (14), 2133-2144
- Kotlík, B., Kazmarová, H., Kvasničková, S., Keder, J. (2005); Projekt VaV/740/4/01 Charakterizace zátěže obyvatel malých sídel škodlivinami z ovzduší a znečištění ovzduší bioaerosoly. *Závěrečná zpráva dílčího úkolu č. 1 Charakterizace zátěže obyvatel malých sídel škodlivinami z ovzduší, Státní zdravotní ústav v Praze*
- Kotlík, B., Kazmarová, H., Morávek, J., Keder, J. (2006); Kvalita ovzduší na Českých vesnicích – Příčiny a zamyšlení nad možnými způsoby nápravy. *Ochrana ovzduší* 4, 5-8
- Koutrakis, P., Sax, S. N., Sarnat, J. A., Coull, B. and Demokritou, P. (2005); Analysis of PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} Concentrations in Santiago, Chile, from 1989 to 2001. *Journal of the Air & Waste Management Association* 55, 342-351
- Laskus, L. (1983); Comparative measurements of suspended particulates using several gravimetric methods and the British smoke samolet. *The Science of The Total Environment* 31 (1), 23-40
- Lee, D. S., Garland, J. A. and Fox, A. A. (1994); Atmospheric concentrations of trace elements in urban areas of the United Kingdom. *Atmospheric Environment* 28 (16), 2691-2713
- Lenschow, P., Abraham H.-J., Kutzner, K., Lutz, M., Preuß, J.-D. and Reichenbacher, W. (2001); Some ideas about the sources of PM₁₀. *Atmospheric Environment* 35 (1), S23-S33
- Lucarelli, F., Mandò, P. A., Nava, S., Prati, P. and Zucchiatti, A. (2000); Elemental composition of urban aerosol collected in Florence, Italy. *Nuclear Instruments*

and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 161-163, 819-824

- Maenhaut, W., Fernández-Jiménez, M.-T., Rajta I. And Artaxo P. (2002); Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 189 (1-4), 243-248*
- Manoli, E., Voutsas, D., Samara, C. (2002); Chemical characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment 38, 4979-4992*
- Mara dos Santos Barbosa, J., Ré-Poppi, N. and Santiago-Silva, M. (2006); Polycyclic aromatic hydrocarbons from wood pyrolysis in charcoal production furnaces. *Environmental Research 101(3), 304-311*
- Marcazzan, G. M., Valli, G. and Vecchi, R. (2002); Factors influencing mass concentration and chemical composition of fine aerosols during a PM high pollution episode. *The Science of The Total Environment 298 (1-3), 65-79*
- Martuzevicius, D., Grinshpun, S. A., Reponen, T., Górný, R. L., Shukla, R., Lockey, J., Hu, S., McDonald, R., Biswas, P., Kliucininkas, L. and LeMasters, G. (2004); Spatial and temporal variations of PM_{2.5} concentration and composition throughout an urban area with high freeway density—the Greater Cincinnati study. *Atmospheric Environment 38 (8), 1091-1105*
- Monn, C., Braendli, O., Schaeppli, G., Schindler, C., Ackermannliebrich, U., Leuenberger, P., SAPALDIA Team (1995); Particulate matter <10 µm (PM₁₀) and total suspended particulates in urban, rural and alpine air in Switzerland. *Atmospheric Environment 29 (19), 2565-2573*
- Monn, Ch., Carabias, V., Junker, M., Waeber, R., Karrer, M. and Wanner, H. U. (1997); Small-scale spatial variability of particulate matter < 10 µm (PM₁₀) and nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment 31 (15), 2243-2247*
- Morawska, L. and Zhang, J. (J.) (2002); Combustion sources of particles. 1. Health relevance and source signatures. *Chemosphere 49 (9), 1045-1058*
- Muir, D. and Laxen, D. P. H. (1995); Black smoke as a surrogate for PM₁₀ in health studies? *Atmospheric Environment 29 (8), 959-962*
- Muir, D. (1998); PM₁₀ particulates in relation to other atmospheric pollutants. *Environmental Monitoring and Assessment 52, 29-42*
- Müller, K. (1999); A 3 year study of the aerosol in northwest Saxony (Germany), *Atmospheric Environment 33 (11), 1679-1685*
- MŽP (2006a); Účinnost protokolu o těžkých kovech a podklady pro jeho revizi. *Zpráva pro členy meziresortní expertní skupiny k protokolu o těžkých kovech v rámci Poradního sboru MŽP pro otázky ochany ovzduší. MŽP*
- MŽP (2006b); Statistická ročenka životního prostředí České republiky. *MŽP, Praha*
- Nosek, M. (1972); Metody v klimatologii. *Vydání 1., Academia, Praha*

- NV ČR (2002); Nařízení vlády ČR č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší. *Sbírka zákonů č. 127/2002, str. 7338 - 7370*
- NV ČR (2005); Nařízení vlády ČR č. 429/2005 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší, ve znění nařízení vlády č. 60/2004 Sb. *Sbírka zákonů č. 148/2005, str. 7978-7982*
- NV ČR (2006); Nařízení vlády ČR č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší. *Sbírka zákonů č. 188/2006, str. 7945-7958*
- OECD (1964); Methods of measuring air pollution. *Report of the working group on methods of measuring air pollution and survey techniques, Paris*
- Peters, A., Skorkovsky, J., Kotesovec, F., Brynda, J., Spix, C., Wichmann, H.E. and Heinrich, J. (2000); Associations between Mortality and Air Pollution in Central Europe. *Environmental Health Perspectives 108(4), 283-287*
- Pope III, C. A., Hill, R. W. and Villegas, G. M. (1993); Particulate Air Pollution and Daily Mortality on Utah's Wasatch Front, *Environmental Health Perspectives 107 (7), 567-573*
- Pope III, C. A., Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D.W., Evans, J. S., Speizer, F. E. and Haeth, C. W. (1995); Particulate Air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 151, 669-674*
- Pope III C. A., Dockery D.W. (2006); Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association 56, 709-742*
- Pretel, J. (2001); Předpoklady výskytu zvýšené sekundární prašnosti, *Příloha č. BK 14 k projektu „Dlouhodobá koncepce ochrany ovzduší na území hl. m. Prahy“, Český hydrometeorologický ústav Praha*
- Putaud, J.-P., Raes, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M. C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hüglin, C., Laj, P., et al. (2004); A European aerosol phenomenology—2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment 38 (16), 2579-2595*
- Qin, Y. and Oduyemi, K. (2003); Chemical composition of atmospheric aerosol in Dundee, UK. *Atmospheric Environment 37, 93-104*
- Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C. R., Artiñano, B., Hansson, H. C., Harrison, R. M., Buringh, E., ten Brink, H. M., Lutz, M., Bruckmann, P., Straehl, P. and Schneider, J. (2004); Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in selected European cities. *Atmospheric Environment 38 (38), 6547-6555*
- Querol, X., Alastuey, A., Moreno, T., Viana, M. M., Castillo, S., Pey, J., Rodríguez, S., Artiñano, B., Salvador, P., Sánchez, M. et al. (2007); Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) across Spain 1999–2005. *Atmospheric Environment, In Press, Corrected Proof, Available online 21 December 2006*

- Rasmussen P. E. (1998); Long-range atmospheric transport of trace metals: the need for geosince perspectives. *Environmental Geology* 33(2/3), 96-107
- Reponen, A., Ruuskanen, J., Mirme, A., Pärjälä, E., Hoek, G., Roemer, W., Hosiokangas, J., Pekkanen, J. and Jantunen M. (1996); Comparison of five methods for measuring particulate matter concentrations in cold winter climate. *Atmospheric Environment* 30 (22), 3873-3879
- Roemer, W. H. and Wijnen, J. H. (2001); Differences among Black Smoke, PM₁₀ and PM_{1.0} Levels at Urban Measurement Sites. *Environmental Health Perspectives* 109 (2), 151-154
- Röösli, M., Braun-Fahrländer, Ch., Künzli, N., Oglesby, L., Theis, G., Camenzind, M., Mathys, P., Staehelin, (2000); Spatial Variability of Different Fractions of Particulate Matter within an Urban Environment and between Urban and Rural Sites. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50, 1115-1124
- Röösli, M., Theis, G., Künzli, N., Staehelin, J., Mathys, P., Oglesby, L., Camenzind, M. and Braun-Fahrländer, Ch. (2001); Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM₁₀ at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland. *Atmospheric Environment* 35 (21), 3701-3713
- Salma, I., Ocskay, R., Raes, N. and Maenhaut, W. (2005); Fine structure of mass size distributions in an urban environment. *Atmospheric Environment* 39 (29), 5363-5374
- Salma, I. and Maenhaut, W. (2006); Changes in elemental composition and mass of atmospheric aerosol pollution between 1996 and 2002 in a Central European city. *Environmental Pollution* 143(3), 479-488
- Salvador, P., Artíñano, B., Alonso, D. G., Querol, X. and Andrés Alastuey, A. (2004); Identification and characterisation of sources of PM₁₀ in Madrid (Spain) by statistical methods. *Atmospheric Environment* 38 (3), 435-447
- Schwartz, J., Slater, D., Larson, T. V., Pierson, W. E. and Koenig, J. Q. (1993); Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *American Review of Respiratory Disease* 147, 826-831
- Simpson, R., Denison, L., Petroschevsky, L., Thalib, B. and Williams, G. (2000); Effects of ambient particle pollution on daily mortality in Melbourne, 1991-1996. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 10, 488-496
- Smith, K. R. and Jantunen, M. (2002); Why particles? *Chemosphere* 49, 867-871
- Šrám, R. (2005); Ovlivňuje znečištěné ovzduší naše zdraví? *Ochrana ovzduší* 5-6, 6-9
- Stevens, R. K., Pinto, J. P., Mamane, Y. and Willis, R. D. (1996); Characterization and source apportionment of particulate matter in the Czech Republic. *Journal of Aerosol Science* 27 (1), S685-S686
- Stieb, D. M., Judek, S. and Burnett, R. T. (2002); Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality: Effects of Gases and Particles and the Influence of Cause of Death, Age and Season. *Journal of the Air & Waste Management Association* 55, 470-484
- Swietlicki, E. and Krejci, R. (1996); Source characterisation of the Central European atmospheric aerosol using multivariate statistical methods. *Nuclear Instruments*

and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 109-110, 519-525

- SZÚ (2006); Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí. *Odborná zpráva za rok 2005, Státní zdravotní ústav, Praha*
- Thomaidis, N. S., Bakeas, E. B. and Viskos, P. A. (2003); Characterization of lead, cadmium, arsenic and nickel in PM_{2.5} particles in the Athens atmosphere. *Chemosphere 52 (6), 959-966*
- Tsai, Y. I. and Cheng, M. T. (2004); Characterization of chemical species in atmospheric aerosols in a metropolitan basin. *Chemosphere 54 (8), 1171-1181*
- Turnbull, A. B., Harrison, R. M. (2000); Major component contributions to PM₁₀ composition in the UK atmosphere. *Atmospheric Environment 34, 3129-3137*
- Turner, W. A., Olson, B. A., Allen, G. A. (2000); Major komponent contribution to PM₁₀ composition in the UK atmosphere. *Journal of the Air & Waste Management Association 50, 484-487*
- Väkevä, M., Hämeri, K., Puhakka, T., Nilsson, E. D., Hosti, H. and Mäkelä, J. M. (2000); Effects of meteorological processes on aerosol particle size distribution in an urban background area. *Journal of Geophysical Research 105 (D8), 9807-9821*
- Vallius, M. J., Ruuskanen, J., Mirme, A., Pekkanen, J. (2000); Concentrations and Estimated Soot content of PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ in a Subarctic Urban Atmosphere. *Environmental Science & Technology 34 (10), 1919-1925*
- Van der Zee, S. C., Hoek, G., Harssema, H. and Brunekreef, B. (1998); Characterization of particulate air pollution in urban and non-urban areas in the Netherlands. *Atmospheric Environment 32 (21), 3717-3729*
- Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Gangoiti, G. and Menéndez, M. (2003); PM levels in the Basque Country (Northern Spain): analysis of a 5-year data record and interpretation of seasonal variations. *Atmospheric Environment 37 (21), 2879-2891*
- Wehner, B., Birmili, W., Gnauk, T. and Wiedensohler, A. (2002); Particle number size distributions in a street canyon and their transformation into the urban-air background: measurements and a simple model study. *Atmospheric Environment 36 (13), 2215-2223*
- WHO (2004); Health aspects of air pollution. *Results from the WHO project „Systematic review of health aspects of air pollution in Europe“, World Health Organization, Copenhagen*
- Wilson, W. E., Chow, J. C., Claiborn, C., Fusheng, W., Engelbrecht J. and Watson. J. G. (2002); Monitoring of particulate matter outdoors. *Chemosphere 49 (9), 1009-1043*
- Wilson, W. E., Suh, H. H. (1997); Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic studies. *Journal of the Air & Waste Management Association 47, 1238-1249*
- Wróbel, A., Rokita, E. and Maenhaut, W. (1999); The influence of meteorological parameters on short range transport of aerosols. *Nuclear Instruments and*

Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 150 (1-4), 403-408

- Xie, R., Seip, M. H., Wibetoe, G., Nori, S. and McLeod, C. W. (2006); Heavy coal combustion as the dominant source of particulate pollution in Taiyuan, China, corroborated by high concentrations of arsenic and selenium in PM₁₀. *Science of The Total Environment* 370 (2-3), 409-415
- Yang K.-L. (2002); Spatial and seasonal variation of PM₁₀ mass concentrations in Taiwan. *Atmospheric Environment* 36 (21), 3403-3411
- Yatin, M., Tuncel, S., Aras, N. K., Olmez, I., Aygun, S. and Tuncel, G. (2000); Atmospheric trace elements in Ankara, Turkey: 1. factors affecting chemical composition of fine particles. *Atmospheric Environment* 34 (8), 1305-1318
- Yudovich, Y. E. and Ketris, M. P. (2005); Arsenic in coal: a review. *International Journal of Coal Geology* 61 (3-4), 141-196

7. Seznam zkratek

AIM	Automatický imisní monitoring
BS	Černý kouř (Black smoke)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
EC	Elementární uhlík (Elemental Carbon)
EU	Evropská komise
CHKO	Chráněná krajinná oblast
ICP-MS	hmotnostní spektrometr s indukčně vázanou plazmou
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NAAQS	Národní standardy (imisní) kvality ovzduší (National Ambient Air Quality Standards)
NV	Nařízení vlády
OECD	Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (Organization for Economic Cooperation and Development)
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PET	Polyetylentereftalát
PM	Částice atmosférického aerosolu (Particulate Matter)
PTFE	Polytetrafluoretylen (teflon)
SZÚ	Státní zdravotní ústav
TSP	Celkového množství suspendovaných částic (Total Suspended Particles)
US EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí USA (United States Environmental Protection Agency)
VOC	Těkavé organické látky
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)

8. Seznam obrázků

Obr. 1 Topografická mapa (měřítko 1:50 000), A – umístění aparatury pro měřicí kampaně v letech 1997 – 1999, B – umístění aparatury v centru obce v měřicí kampani 2003, C - umístění aparatury v pozad'ové lokalitě v měřicí kampani 2003	27
Obr. 2 Odběrová aparatura pro odběr aerosolové frakce PM ₁₀ ,PM _{2,5} a BS použitá v pozad'ové lokalitě během měřicí kampaně 2003	31
Obr. 3 Jednotlivé části impaktorové hlavice Harvard Impaktoru	32
Obr. 4 Koncentrace PM ₁₀ a BS v µg.m ⁻³ naměřená ve Žloukovicích v období od 8.12.1997 do 5.4.1998	40
Obr. 5 Koncentrace PM ₁₀ a BS v µg.m ⁻³ naměřená ve Žloukovicích během období od 7.11.1998 do 31.3.1999	41
Obr. 6 Koncentrace PM ₁₀ a BS v µg.m ⁻³ naměřená ve Žloukovicích ve vybraných dnech v období od dubna do října 1998	42
Obr. 7 Koncentrace PM ₁₀ v µg.m ⁻³ naměřená ve Žloukovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném od 8.12. 1997 do 5.4. 1998	43
Obr. 8 Koncentrace PM ₁₀ v µg.m ⁻³ naměřená ve Žloukovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném od 7.11.1998 – 31.3.1999	44
Obr. 9 Koncentrace PM ₁₀ v µg.m ⁻³ naměřená ve Žloukovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném ve vybraných dnech v době od dubna do října 1998	45
Obr. 10 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Sr, Cr, Ni, V, Cu, Se) v ng.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v době od 12.1.1998 do 5.4.1998	48
Obr. 11 Koncentrace vybraných prvků (Mn, As, Ti, Pb, Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v době od 12.1.1998 do 5.4.1998	48
Obr. 12 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Sr, V, Cr, Ni, Se, Cu) v ng.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v době od 7.11.1998 – 31.3.1999	49
Obr. 13 Koncentrace vybraných prvků (Mn, As, Ti, Pb a Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v době od 7.11.1998 – 31.3.1999	50
Obr. 14 Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Sr, V, Cr, Ni, Se, Cu) v ng.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v mimotopné sezóně v době od dubna do října 1998	51
Obr. 15 Koncentrace vybraných prvků (Mn, As, Ti, Pb a Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v mimotopné sezóně v době od dubna do října 1998	51
Obr. 16 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM ₁₀ a BS v zimním období od 8.12.1997 do 5.4.1998 v µg.m ⁻³	54
Obr. 17 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM ₁₀ a BS pro zimní období od 7.11.1998 do 31.3.1999 v µg.m ⁻³	55
Obr. 18 Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM ₁₀ a BS pro v době od dubna do října 1998 v µg.m ⁻³	56

Obr. 19	Časové řady koncentrací PM ₁₀ a BS (μg.m ⁻³), průměrné denní teploty (°C), průměrné rychlosti větru (m.s ⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v období od 12.1.1998 do 5.4.1998	60
Obr. 20	Vzájemné vztahy mezi denními koncentracemi PM ₁₀ , BS a průměrnou denní teplotou vzduchu a průměrnou denní rychlostí větru v prvním zimním období od 12.1.1998 do 5.4.1998	61
Obr. 21	Časové řady koncentrací PM ₁₀ a BS (μg.m ⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné rychlosti větru (m.s ⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v období od 7.11.1998 do 31.3.1999	63
Obr. 22	Vzájemné vztahy mezi denní koncentrací PM ₁₀ , BS a průměrnou denní teplotou vzduchu a průměrnou denní rychlostí větru v prvním zimním období od 7.11.1998 - 31.3.1999	64
Obr. 23	Časové řady koncentrací PM ₁₀ a BS (μg.m ⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné denní rychlosti větru (m.s ⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v období mimotopné sezóny	66
Obr. 24	Koncentrace PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v μg.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)	74
Obr. 25	Koncentrace PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v μg.m ⁻³ naměřené ve Žloukovicích v centru obce (duben 2003)	75
Obr. 26	Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Ni, Cr, V, Se a Sr) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM ₁₀ ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)	76
Obr. 27	Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb a Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM ₁₀ ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)	77
Obr. 28	Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Cr, Ni, V, Se, Sr) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM _{2,5} ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)	78
Obr. 29	Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb, Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM _{2,5} ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003)	78
Obr. 30	Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Cr, V, Se, Sr, Ni) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM ₁₀ ve Žloukovicích v centru obce (duben 2003)	80
Obr. 31	Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb, Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM ₁₀ ve Žloukovicích v centru obce (duben 2003)	80
Obr. 32	Koncentrace vybraných prvků (Co, Cd, Cr, Ni, V, Sr, Se) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM _{2,5} ve Žloukovicích v centru obce (duben 2003)	81
Obr. 33	Koncentrace vybraných prvků (As, Mn, Ti, Pb, Zn) v ng.m ⁻³ naměřené ve frakci PM _{2,5} ve Žloukovicích v centru obce (duben 2003)	82
Obr. 34	Průběh frakcí PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS v pozad'ové lokalitě a v centru obce	83
Obr. 35	Časové řady koncentrací PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS (μg.m ⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné denní rychlosti větru (m.s ⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v pozad'ové lokalitě v dubu 2003	88
Obr. 36	Časové řady koncentrací PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS (μg.m ⁻³), průměrné denní teploty (°C) a průměrné denní rychlosti větru (m.s ⁻¹) naměřených ve Žloukovicích v centru obce v dubu 2003	90

Obr. 37	Koncentrace PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřená v pozad'ové lokalitě v centru obce Žloutkovice v období od 3.4. do 21.4.2003	92
Obr. 38	Průběh koncentrace PM ₁₀ pozad'ové lokalitě a v centru obce Žloutkovice, v Praze, v Berouně a ve Slaném	94
Obr. 39	Průměrné koncentrace sledovaných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ během 3.4. až 21.4. 2003 naměřené v pozad'ové lokalitě a v centru Žloutkovic ve frakcích PM ₁₀ a PM _{2,5}	95
Obr. 40	Přehled průměrných ročních koncentrací PM ₁₀ v letech 1997 – 2005 ve vybraných lokalitách Praha, Beroun, Slaný (data převzata z ročenek ČHMÚ)	100

9. Seznam tabulek

Tab. 1 Meze detekce a podíl hodnot pod mezí detekce	36
Tab. 2 Koncentrace PM ₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovcích v prvním zimním období od 8.12.1997 do 5.4.1998	39
Tab. 3 Koncentrace PM ₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovcích během období od 7.11.1998 do 31.3.1999	41
Tab. 4 Koncentrace PM ₁₀ a BS v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovcích ve vybraných dnech v období od dubna do října 1998	42
Tab. 5 Koncentrace PM ₁₀ v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovcích, v Praze, v Berouně a ve Slaném od 8.12. 1997 do 5.4. 1998 a od 7.11.1998 – 31.3.1999	44
Tab. 6 Koncentrace PM ₁₀ v $\mu\text{g.m}^{-3}$ naměřená ve Žloukovcích, v Praze, v Berouně a ve Slaném ve vybraných dnech v době od dubna do října 1998	45
Tab. 7 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ naměřenými ve čtyřech sledovaných lokalitách v období od 8.12.1997 do 5.4.1998	46
Tab. 8 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ naměřenými ve čtyřech sledovaných lokalitách v období od 7.11.1998 – 31.3.1999	46
Tab. 9 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ naměřenými ve čtyřech sledovaných lokalitách v mimotopné sezóně	46
Tab. 10 Koncentrace PM ₁₀ , BS a vybraných prvků v ng.m^{-3} naměřené ve Žloukovcích v době od 12.1.1998 do 5.4.1998	47
Tab. 11 Koncentrace PM ₁₀ , BS a vybraných prvků v ng.m^{-3} naměřené ve Žloukovcích v době od 7.11.1998 – 31.3.1999	49
Tab. 12 Koncentrace PM ₁₀ , BS a vybraných prvků v ng.m^{-3} naměřené ve Žloukovcích v mimotopné sezóně v době od dubna do října 1998	50
Tab. 13 Poměr mediánů koncentrací prvků naměřených v mimotopné sezóně a v zimních období	52
Tab. 14 Koncentrace vybraných prvků naměřených v různých místech Evropy (ng.m^{-3})	53
Tab. 15 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ a BS v období od 12.1.1998 do 5.4.1998.....	54
Tab. 16 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ a BS v období od 7.11.1998 do 31.3.1999.....	55
Tab. 17 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ a BS v mimotopné sezóně duben – říjen 1998.....	56

Tab. 18 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , BS a koncentracemi sledovaných kovů v období od 12.1.1998 do 5.4.1998	57
Tab. 19 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků v období od 12. 1.1998 do 5.4.1998	57
Tab. 20 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , BS a koncentracemi sledovaných prvků v období od 7.11.1998 do 31.3.1999	58
Tab. 21 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi prvků v období od 7.11.1998 do 31.3.1999	58
Tab. 22 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , BS a koncentracemi sledovaných prvků v mimotopné sezóně duben-říjen 1998	59
Tab. 23 Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků v období v mimotopné sezóně duben-říjen 1998.....	59
Tab. 24 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM ₁₀ , BS a sledovaných prvků pro zimní období od 12.1.1998 do 5.4.1998.....	61
Tab. 25 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM ₁₀ , BS a sledovaných prvků pro zimní období od 7.11.1998 do 31.3.1999.....	64
Tab. 26 Spearmanův korelační koeficient mezi průměrnou denní teplotou, průměrnou denní rychlostí větru a koncentracemi PM ₁₀ , BS a sledovaných prvků v mimotopné sezóně	66
Tab. 27 Převažující četnost směru větru během prvního zimního období a medián koncentrací PM ₁₀ , BS a sledovaných kovů ve vztahu k převažujícímu směru větru	68
Tab. 28 Převažující četnost směru větru během druhého zimního období a medián koncentrací PM ₁₀ , BS a sledovaných kovů ve vztahu k převažujícímu směru větru	69
Tab. 29 Převažující četnost směru větru během mimotopné sezóny a medián koncentrací PM ₁₀ , BS a sledovaných kovů ve vztahu k převažujícímu směru větru	70
Tab. 30 Mediány koncentrací PM ₁₀ , BS a sledovaných kovů naměřený ve všedních dnech (Po-Čt), v pátek a o víkendu (So – Ne) v období od 12.1.1998 do 5.4.1998	71
Tab. 31 Mediány koncentrací PM ₁₀ , BS a sledovaných kovů naměřené ve všedních dnech (Po-Čt), v pátek a o víkendu (So – Ne) v období zimním období od 7.11.1998 - 31.3.1999	71
Tab. 32 Mediány koncentrací PM ₁₀ , BS a sledovaných kovů naměřené ve všedních dnech (Po-Čt), v pátek a o víkendu (So – Ne) v mimotopné sezóně.....	72
Tab. 33 Koncentrace PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v μg.m ⁻³ naměřené ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003).....	73

Tab. 34	Koncentrace PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřená ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)	74
Tab. 35	Koncentrace vybraných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM ₁₀ ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003).....	76
Tab. 36	Koncentrace vybraných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM _{2,5} ve Žloutkovicích v pozad'ové lokalitě (duben 2003).....	77
Tab. 37	Koncentrace vybraných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM ₁₀ ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)	79
Tab. 38	Koncentrace vybraných prvků v $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřené ve frakci PM _{2,5} ve Žloutkovicích v centru obce (duben 2003)	81
Tab. 39	Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v pozad'ové lokalitě a v centru obce v dubnu 2003	83
Tab. 40	Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} , BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM ₁₀ frakce v pozad'ové lokalitě	84
Tab. 41	Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny význam. mezi koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} , BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM _{2,5} frakce v pozad'ové lokalitě.....	85
Tab. 42	Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} , BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM ₁₀ frakce v centru obce.....	85
Tab. 43	Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} , BS a koncentracemi sledovaných kovů z odebrané PM _{2,5} frakce v centru obce	85
Tab. 44	Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM ₁₀ z pozad'ové lokality venkovského sídla	86
Tab. 45	Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM _{2,5} z pozad'ové lokality venkovského sídla.....	86
Tab. 46	Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM ₁₀ z centrální oblasti venkovského sídla.....	87
Tab. 47	Spearmanovy korelační koeficienty mezi koncentracemi sledovaných prvků z PM _{2,5} z centrální oblasti venkovského sídla	87
Tab. 48	Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v pozad'ové lokalitě	88
Tab. 49	Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM ₁₀ odebrané v pozad'ové lokalitě.....	89
Tab. 50	Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM _{2,5} odebrané v pozad'ové lokalitě.....	89

Tab. 51 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{10-2,5} a BS v centru obce.....	90
Tab. 52 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM ₁₀ odebrané v centru obce	91
Tab. 53 Spearmanův korelační koeficient mezi meteorologickými parametry (průměrná denní teplota, průměrná denní rychlost větru) a sledovanými prvky v PM _{2,5} odebrané v centru obce	91
Tab. 54 Koncentrace PM ₁₀ v μg.m ⁻³ naměřená ve Žloutkovicích, v Praze, v Berouně a ve Slaném.....	93
Tab. 55 Spearmanovy korelační koeficienty a jejich hladiny významnosti mezi koncentracemi PM ₁₀ naměřenými v Praze, v Berouně a ve Slaném a koncentracemi PM ₁₀ , PM _{2,5} a BS naměřenými ve Žloutkovicích (3.4. – 21.4. 2003).....	93
Tab. 56 Denní koncentrace vybraných prvků (v ng.m ⁻³) naměřených v lokalitách Žloutkovice, Praha, Mělník, Kladno a Příbram ve dnech 7.4. a 21.4. 2003 ve frakci PM ₁₀	95