

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

# **Sledování vlivu lokálních topenišť na kvalitu ovzduší v malé obci na Liberecku**

Diplomová práce

Ludmila Andělová

Vedoucí DP: Doc. RNDr. Martin Braniš, CSc.

Duben 2007

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré použité údaje budou řádně citovány.

V Praze dne 30. dubna 2007

Děkuji vedoucímu diplomové práce Doc. RNDr. Martinu Branišovi, CSc. za odborné vedení a podnětné návrhy a připomínky. Dále děkuji své rodině za pomoc a podporu v posledních dvou letech při měření a zpracování této práce.

## Abstract

Concentrations of PM<sub>10</sub> and Black Smoke (BS) were measured during one winter and two summer periods in small village Albrechtice v Jizerských horách. Major source of aerosol in this village is domestic use of coal and wood burning.

15 minute concentrations of PM<sub>10</sub> were measured by DustTrak and 24-h concentrations of PM<sub>10</sub> were measured by Harvard impactor. 24-h concentrations of BS were measured too.

Concentrations of PM<sub>10</sub> and 24-h concentrations of BS were highly correlated during the heating season (0,89). The correlation dropped to 0,68 during the second summer period. Concentrations of PM<sub>10</sub> were negatively correlated with average daily temperature during the winter season (-0,41). Positive correlation between PM<sub>10</sub> and temperature was found during the first summer period (0,34) and no correlation was found during the second summer period (-0,01). Concentrations of BS were negatively correlated with average daily temperature during all the three seasons. Negative correlation between PM<sub>10</sub> and wind velocity was found during the winter season (-0,43). Daily maximums were found mainly between 4 and 12 pm. Comparison of PM<sub>10</sub> data from Albrechtice with PM<sub>10</sub> data from two urban areas Jablonec nad Nisou and Liberec and one background area Souš showed that average PM<sub>10</sub> concentrations in Albrechtice were the highest during the heating season (37 µg/m<sup>3</sup>). Average PM<sub>10</sub> concentrations in the village were lower than average concentrations in urban areas during both summer seasons. 24-h limit for PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) was exceeded in 21% of days measured in Albrechtice and only in 14% days measured in Jablonec and Liberec during the winter season.

Particle air pollution in the small village was not found to be substantially lower or higher than in surrounding towns. The results of the study support the idea that traditional heating in villages may represent an important problem.

## Abstrakt

V malé obci Albrechtice v Jizerských horách byly v průběhu jednoho zimního a dvou letních období měřeny koncentrace  $PM_{10}$  a Black Smoke (BS). Hlavním zdrojem aerosolu v této vesnici je pálení uhlí a dřeva v domácnostech.

15 minutové koncentrace  $PM_{10}$  byly měřeny pomocí DustTraku a 24 hodinové koncentrace  $PM_{10}$  byly měřeny pomocí Harvard impaktoru. Byly také měřeny 24 hodinové koncentrace BS.

V průběhu topné sezóny silně korelovaly koncentrace  $PM_{10}$  a BS (0,89). Tento korelační koeficient poklesl na 0,68 v druhém letním období. V zimním období koncentrace  $PM_{10}$  záporně korelovaly s průměrnou denní teplotou (-0,41). Pozitivní korelace byla zaznamenána mezi koncentracemi  $PM_{10}$  a teplotou v prvním letním období (0,34) a žádná korelace v druhém letním období (-0,01). Koncentrace BS negativně korelovaly s teplotou v průběhu všech pozorovaných období. Negativní korelace byla také pozorována mezi koncentracemi  $PM_{10}$  a rychlostí větru v zimním období (-0,43). Denní maxima byla pozorována hlavně mezi 16 a 24 hodinou. Při porovnání koncentrací  $PM_{10}$  v Albrechticích s koncentracemi v blízkých městech Jablonci nad Nisou a Liberci a v pozad'ové lokalitě na Souši bylo zjištěno, že průměrná koncentrace  $PM_{10}$  byla v topné sezóně nejvyšší v Albrechticích ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). V obou letních obdobích byly průměrné koncentrace v Albrechticích nižší než ve městech. Denní limit pro  $PM_{10}$  ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) byl překročen ve 21% měřených dnů v malé obci a jen ve 14% měřených dnů v Jablonci a Liberci v průběhu topné sezóny.

Znečištění ovzduší aerosolovými částicemi v malé obci nebylo pozorováno jako výrazně vyšší nebo nižší než v blízkých městech. Výsledky této práce podporují předpoklad, že tradiční způsoby vytápění v malých sídlech mohou představovat závažný problém.

## **Obsah:**

1. Úvod.....	7
2. Aerosol.....	9
2.1. Přirozený primární aerosol.....	9
2.2. Antropogenní primární aerosol.....	11
2.3. Sekundární aerosol.....	12
2.4. Velikostní frakce aerosolu v atmosféře.....	13
2.5. Chemické složení aerosolu.....	14
2.6. Odstraňování aerosolu z atmosféry.....	16
2.7. Tvar aerosolových částic.....	17
2.8. Monitorování aerosolů a legislativa.....	18
2.9. Metody BS a PM.....	20
3. Vliv aerosolu na zdraví.....	24
4. Rozdíl v koncentracích aerosolu v městských a mimoměstských oblastech.....	27
5. Metodika.....	32
4.1. DustTrak.....	33
4.2. Black Smoke.....	34
4.3. Harvard impaktor.....	36
4.4. Původ dat.....	39
4.5. Zpracování dat.....	41
5. Výsledky.....	44
6. Diskuse.....	67
7. Závěr.....	78
8. Přílohy.....	80
9. Literatura.....	96

## **1. Úvod**

Aerosolové částice přítomné v ovzduší patří mezi nejvýznamnější sledované škodliviny. Aerosol je po významném snížení emisí plynných sloučenin síry jednou z nejdůležitějších znečišťujících látek ve venkovním ovzduší. Částice ovlivňují viditelnost, klima, ale především mají vliv na lidské zdraví a kvalitu života. Se zvýšenými koncentracemi částic v ovzduší je přímo spojována vyšší morbidita a mortalita v populaci. (Pope et al., 1991, Pope et al., 1995, Schwarz et al., 1993, Pearce and Crowards, 1996)

V České republice se mnoho let na stanicích AIM (Automatizovaný imisní monitoring) měřil celkový vzorek aerosolu bez rozlišení velikosti částic označovaný jako TSP (Total Suspended Particulate). V roce 1996 se přešlo v síti AIM na měření thorakální frakce  $PM_{10}$ . Měření této frakce doporučil v roce 1987 Úřad ochrany prostředí spojených států (US EPA), protože měření TSP se jevílo jako nevyhovující vzhledem k účinkům na lidské zdraví. (Bericko et al., 1997)

Vzhledem k tomu, že nejdůležitějším zdrojem aerosolových částic je průmyslová činnost a doprava, předpokládá se, že koncentrace částic v městských a průmyslových oblastech je vyšší než ve venkovských oblastech. (Hoek et al., 1997, Zee et al., 1998, Monn et al., 1995, Cheng et al., 2000) Měřicí stanice jsou proto přednostně umístěovány v těchto městských a průmyslových oblastech s vysokou hustotou zalidnění nebo naopak v oblastech relativně čistých bez přímých zdrojů znečištění za účelem získání pozadových hodnot.

I když se situace v těchto hustě zalidněných oblastech v souvislosti se zaváděním zemního plynu mění k lepšímu, stále existují v zemích střední a východní Evropy území, v nichž nelze rychlé změny ve způsobu vytápění očekávat. Těmito územími jsou malá sídla s několika sty až tisíci obyvateli. Údaje o kvalitě ovzduší v těchto malých sídlech stále chybí. Právě zde ovšem žije velká část populace. V České republice žilo ke konci roku 2005 v malých sídlech do 5 000 obyvatel dokonce více než 37% z celkové populace. (Internet ČSÚ a)

Údolní expozice, která je charakteristická pro české vesnice, navíc způsobuje v těchto místech zvláště v zimním období velmi nepříznivé klimatické podmínky. Tyto podmínky podmiňují vznik klasického redukčního smogu. V lokálních topeništích se zde využívají především pevná paliva, kterými jsou hlavně uhlí a dřevo. Proto lze očekávat, že aerosolové částice mohou mít díky svému původu a složení karcinogenní a mutagenní vlastnosti. (Muir and Laxen, 1995)

Cílem této práce, která proběhla v rámci dlouhodobé koncepce sledování znečištění ovzduší v malých obcích, bylo zjistit koncentrace částic  $PM_{10}$  a BS ve venkovním ovzduší

v malé obci Albrechtice v Jizerských horách na Liberecku. Důvodem sledování koncentrací částic BS byl předpoklad, že ve sledované lokalitě se vyskytuje velké množství částic, které se uvolňují při spalovacích procesech v lokálních topeništích. Koncentrace aerosolových částic byly v malé obci sledovány po dobu patnácti měsíců a to v topné sezóně 2005/2006 a dvou mimotopných obdobích v letech 2005 a 2006.

Následně byla veškerá aparatura, která byla použita ve sledované malé obci, přemístěna na blízkou stanici AIM na Souši. Zde probíhalo po dobu dvou měsíců měření pomocí této aparatury v kolokaci s měřením AIM. Důvodem tohoto kolokačního měření byla snaha porovnat data naměřená pomocí aparatury, která byla použita v této studii v malé obci, s daty získanými standardními metodami.

Data získaná v průběhu měření ve sledované malé obci byla následně porovnána s daty získanými v rámci AIM ve třech lokalitách. Těmito lokalitami byly městské oblasti v Jablonci nad Nisou a Liberci a venkovská pozad'ová oblast na Souši. Pro vyjádření závislosti naměřených koncentrací na klimatických podmínkách byly použity hodnoty průměrných denních teplot a rychlostí větru.



## 2. Aerosol

Atmosférický aerosol lze definovat jako systém pevných a kapalných částic suspendovaných do vzduchu. Velikost těchto částic se pohybuje od 0,001 do 100  $\mu\text{m}$ . Nejpoužívanější dělení aerosolu je na základě velikosti částic a to na jemné a hrubé částice. Hrubou frakci tvoří částice s aerodynamickým průměrem větším než 2,5  $\mu\text{m}$  a jemnou frakci představují částice menší než 2,5  $\mu\text{m}$ . Hrubé částice většinou zahrnují materiál ze zemského povrchu a zvířený prach ze silnic. Jemné částice jsou zpravidla tvořeny sekundárním aerosolem, tj. aerosolem vzniklým kondenzací plynných složek, částicemi ze spalovacích procesů a zkondenzovanými parami. (Hinds, 1999)

Aerosolové částice se vyskytují v různých fyzikálních formách. Těmito formami jsou například prach, dým, kouř, mlha, smog a oblaka. Prach se skládá z pevných částic aerosolu, které se tvoří rozpadem původního materiálu. Velikost prachových částic se pohybuje ve velkém rozmezí, od setin mikrometrů až do velkých částic, které je možné vidět pouhým okem. Dým je tvořen rovněž pevnými částicemi aerosolu, ale tyto částice většinou vznikají kondenzací páry nebo jako produkty při spalování plynů. Částice dýmu jsou obvykle menší než 1  $\mu\text{m}$ . (Hinds, 1999)

Aerosolové částice se dělí na primární a sekundární podle mechanismu, jakým se dostávají do atmosféry. Primární aerosol se do vzduchu dostává přímým emitováním částic ze zdroje. Sekundární aerosol vzniká chemickými reakcemi a změnou skupenství plynných látek na kapalnou nebo tuhou částičku. (Brimblecombe, 1996)

Aerosol lze také dělit na přirozený a antropogenní. V celosvětovém měřítku převládají přirozené zdroje aerosolových částic. Antropogenní příspěvek do prostředí je velmi variabilní a pohybuje se v rozmezí od 10 do 50%. Tento příspěvek je představován hlavně spalovacími procesy. (Hinds, 1999)

### 2.1. Přirozený primární aerosol

Významným zdrojem přirozeného aerosolu je zemský povrch. Aerosolové částice, které se z tohoto zdroje dostávají do atmosféry jsou většinou vytvářeny mechanickými procesy a to zejména erozí na místech nepokrytých vegetací. Tento typ aerosolu je tvořen převážně částicemi s velkým poloměrem. Částice jsou tvořeny ve velké míře silikáty a jinými půdními prvky, jako jsou Al, Ca, Fe, Mg a podobně. (Hinds, 1999)

V Kalifornii byl studován původ aerosolových částic emitovaných ze zemského povrchu. Byly rozeznávány částice, které se uvolnily z různých typů povrchů. Zkoumanými povrchy byla například pole osetá různými plodinami, dále plochy, na kterých se chovala hospodářská zvířata, vydlážděné i nevydlážděné cesty a podobně. Původ aerosolu se určoval podle velikosti částic, obsahu uhlíku a dusíku a podle obsahu dalších látek. (Ashbaugh, 2003)

Příznivé podmínky pro tvorbu aerosolových částic jsou zejména v pouštních oblastech. Zde se také ve vzduchu vyskytují vysoké koncentrace částic tohoto původu. Pro takové aerosolové částice je typické, že jsou větrem přenášeny na velké vzdálenosti. Proběhla řada studií, které zjišťovaly důvod občasných zvýšených koncentrací aerosolových částic v atmosféře. V průběhu několika let byly ve Španělsku sledovány koncentrace TSP a PM<sub>10</sub>. Nejvyšší koncentrace částic v atmosféře byly pozorovány v období regionální atmosférických cirkulací, tedy hlavně na jaře a na podzim a v období písečných bouří na Sahaře. Částice pouštního písku se tedy do Španělska dostaly dálkovým přenosem. Nejnižší koncentrace aerosolu byly naopak pozorovány při přísunu vzduchových mas z Atlantického oceánu. (Querol et al., 2004)

V Madridu byly pozorovány koncentrace PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub>. Bylo zjištěno, že v zimním období je zřejmě 70 až 80% částic v atmosféře antropogenního původu. I zde se ovšem projevoval dálkový transport aerosolu ze Sahary v období písečných bouří. V tomto období v Madridu docházelo většinou k překročení imisních limitů. (Artínano et al., 2003) Ve východním Španělsku byly studovány dvě venkovské oblasti. První sledovaná oblast se nacházela v horách, v nadmořské výšce nad 1000 m a druhou oblastí bylo povodí v nadmořské výšce okolo 600 m. Tyto oblasti se zdají být charakteristické vysokými koncentracemi aerosolu v letních měsících. Denní průměry koncentrací částic byly velmi variabilní po celé léto v obou lokalitách. V období písečných bouří na Sahaře byly zjištěny nejvyšší denní koncentrace PM<sub>10</sub>. Vysoké koncentrace byly zjištěny také při lokálním zvýšení koncentrací troposférického ozonu. (Rodríguez et al., 2002)

Dalším významným přirozeným zdrojem primárního aerosolu jsou moře a oceány. Částice aerosolu vznikají buď přímo rozptylem mořské vody do vzduchu nebo při praskání bublin, které se nacházejí na mořském povrchu. Takto produkované částice většinou odrážejí složení mořské vody a jsou převážně tvořeny NaCl a bývají obohaceny i o jiné látky, jako jsou například sírany. (Götz et al., 1991) Ve Velké Británii byly pozorovány koncentrace a složení PM<sub>10</sub> v několika oblastech. Bylo zjištěno, že koncentrace a složení aerosolu se mění hlavně podle ročního období a typu lokality. V aerosolu z přímořských oblastí se nacházelo o 20 až 57% více NaCl než v aerosolových částicích z jiných oblastí. (Turnbull et al., 2000)

Primární aerosol může být tvořen také biologickým materiálem. Aerosol produkovaný z biologického materiálu představuje závažný problém především pro alergiky. Tento aerosol totiž může obsahovat alergeny, což jsou látky bílkovinného původu, které u citlivých jedinců vyvolávají alergickou reakci. (Špičák, 2004) K produkci aerosolu biologického původu přispívá například i rozklad listů. Byly pozorovány rostliny, které produkují částice do atmosféry. Zdrojem částic z vegetace může být také lesní požár. (Brimblecombe, 1996)

Aerosoly produkované sopečnou aktivitou jsou z globálního pohledu zcela zanedbatelným zdrojem, ale v lokálním měřítku mohou mít zásadní vliv na kvalitu ovzduší. Tímto zdrojem se do atmosféry emitují jak plyny, z nichž nejvíce SO<sub>2</sub>, tak aerosolové částice. Po erupci vulkánu může lokálně dojít až k tisícinásobnému zvýšení koncentrace hrubých částic. (Brimblecombe, 1996) Tento zdroj však nemusí mít jen čistě lokální dosah. Například po erupci vulkánu Santa Maria v Guatemale, ke které došlo v roce 1902, byla depozice částic z tohoto zdroje zaznamenána na rozloze více než 1,2 miliónů km<sup>2</sup>. (Williams and Self, 1983) Částice mohou mít i původ v kosmické prostoru, tento příspěvek je však zanedbatelný. (Brimblecombe, 1996)

## **2.2. Antropogenní primární aerosol**

Antropogenní primární aerosol se uvolňuje především při spalovacích procesech. Hlavními zdroji těchto aerosolů jsou tepelné elektrárny, spalovny, teplárny a doprava. Za zdroje primárního aerosolu lze také považovat různá průmyslová odvětví. Typickým příkladem je třeba provoz cementáren nebo různé stavební činnosti. (Smolík et al., 1997, Stern, 1977) Tyto zdroje lze ale účinně omezit správným dodržováním technologických procesů a využíváním kvalitních surovin. (Studecký et al., 1994)

Aerosol, který se uvolňuje ze spalovacích procesů, je nejvýznamnějším zdrojem antropogenních primárních částic. Velikostní frakce a vlastnosti těchto částic jsou většinou dány typem paliva a použitou technologií. Tyto částice mají poměrně velký povrch, na kterém se absorbují různé plynné a kapalné polutanty a reagují mezi sebou. (Smolík et al., 1997, Bezačinský et al., 1988)

Aerosol se uvolňuje především ze spalování fosilních paliv na vytápění a vaření v domácnostech a jako palivo v dopravě. Dále pro využití fosilních paliv pro průmyslové účely a spalování biomasy a odpadů. Do atmosféry se uvolňují nespalitelné anorganické nečistoty, které mívají průměr větší než 1  $\mu\text{m}$ . Dále se uvolňují částice vzniklé nedokonalým spalováním, tyto částice bývají menší než 1  $\mu\text{m}$  a označují se jako saze. Jsou tvořeny elementárním uhlíkem a na jejich povrchu je vázán organický uhlík. Tyto aerosolové částice bývají často obohaceny o těžké kovy. Příspěvek do celkové koncentrace aerosolu má i tzv. sekundární prašnost. Jedná se o prach zvířený lidskou činností. (Smolík et al., 1997)

### 2.3. Sekundární aerosol

V obydlených oblastech je většina atmosférického aerosolu tvořena sekundárním aerosolem, který vzniká v atmosféře chemickými reakcemi různých polutantů. Důležitým parametrem je rychlost a velikost těchto reakcí a jaké látky spolu reagují. Tyto faktory jsou ovlivněny koncentrací reagujících látek, stupněm fotoaktivace, rozptylovými podmínkami, vlhkostí vzduchu a velikostí částic. Pravděpodobnost reakce na povrchu částic vzrůstá se stoupajícím poměrem povrchu k objemu částice. (Brimbecombe, 1996)

Nejčastějším způsobem vzniku sekundárních aerosolů je kondenzace plyných par na povrch částice. Tento proces probíhá ve třech fázích. Během tohoto procesu dochází ke změnám počtu, povrchu a objemu částic. V první fázi probíhá vlastní vznik částic, při tom vzrůstá počet, povrch i objem částic. Druhou fází je koagulace. Ve třetí fázi převládá koagulace a kondenzace par na částice. V této fázi prudce klesá počet částic, jejich objem ale stoupá a plocha povrchu zůstává přibližně konstantní. (Götz et al., 1991)

Velmi významnou reakcí při vzniku sekundárního aerosolu je vznik síranů a dusičnanů z plyných prekurzorů, kterými jsou  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$ . Tyto oxidy se do ovzduší uvolňují z různých zdrojů, především spalovacími procesy. Jejich oxidace je podmíněna přítomností OH radikálů, které vznikají při fotochemických procesech. Vznikají páry kyseliny sírové a dusičné. Tyto páry následně kondenzují za přítomnosti vody. Kondenzaci par kyselin příznivě podporují právě částice aerosolu. V přítomnosti biogenního  $\text{NH}_3$  dochází k neutralizačním procesům a vzniká  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . (Götz et al., 1991, Harrison, 2001)

Organické částice jsou také významnou složkou sekundárních aerosolů. Prekursory těchto aerosolů jsou biologické procesy, při kterých se uvolňují například terpeny z vegetace. Jejich fotolýzou za přítomnosti oxidů dusíku a ozónu vznikají organické kyseliny a aldehydy. Častou reakcí je adsorpce kovů na uhlíkaté pevné částice. Těmito kovy jsou například hořčík, železo, měď, hliník a další. (Brimblecombe, 1996)

Významným typem znečištění ovzduší je i fotochemický smog, označovaný též jako smog oxidační, letní či smog losangeleského typu. Látky, které jej tvoří, vznikají fotochemickými reakcemi a mají silné oxidační účinky. Prvně byl popsán v oblasti Los Angeles, kde vzniká v důsledku značného dopravního zatížení města a intenzivního slunečního záření.

Podstatnou složkou oxidačního smogu a současně jeho významným indikátorem je troposférický ozon. Ozon nemá vlastní významný emisní zdroj, ale vzniká v troposféře celou řadou chemických reakcí z prekursorů, kterými jsou oxidy dusíku a těkavé organické látky pocházející zejména z autodopravy, v důsledku působení intenzivního slunečního záření. Přízemním ozonem jsou zatíženy zejména oblasti ležící v závětrí velkých městských a průmyslových aglomerací, vysoké koncentrace jsou měřeny na horských stanicích, v důsledku zvyšující se intenzity sluneční radiace s rostoucí nadmořskou výškou. (Hinds, 1999)

## **2.4. Velikostní frakce aerosolu v atmosféře**

Distribuční křivka, která popisuje rozložení částic v atmosféře, na základě jejich hmotnostního zastoupení v jednotlivých frakcích, je bimodální. Toto rozložení bývá typické především pro městské aerosoly, když je přítomen fotochemický smog. Minimálních hodnot křivka dosahuje pro částice o velikosti 1 až 3  $\mu\text{m}$ . Modus jemných částic, které jsou menší než 2  $\mu\text{m}$ , představuje většinou dvě třetiny z celkového počtu částic a jednu třetinu objemu částic. Maxima dosahuje pro částice s aerodynamickým průměrem okolo 0,3  $\mu\text{m}$ . Druhý modus hrubých částic dosahuje nejvyšších hodnot pro částice s aerodynamickým průměrem okolo 8  $\mu\text{m}$ . oba mody se navzájem liší různým chemickým složením, zdroji a dobou, po kterou setrvávají v atmosféře. (Hinds, 1999)

Podle Junga (1963) se částice menší než 0,1  $\mu\text{m}$  nazývají Aitkenovy částice a částice s poloměrem od 0,1 do 1  $\mu\text{m}$  se nazývají velké částice. Částicím větším než 1  $\mu\text{m}$  se říká obří částice. Celková hmota velkých a obřích částic v atmosféře představuje 80 až 90% hmoty všech aerosolů. Hmota Aitkenových částic zaujímá pouze 10 až 20% hmoty aerosolu. Počet těchto jemných částic je ale největší. (Šiška, 1981)

Hrubé částice jsou tvořeny především mechanicky vzniklými částicemi a resuspendovanými pevnými částicemi. Jejich doba setrvání v atmosféře je poměrně krátká, obvykle jen několik hodin. Jemné částice představují většinou kapky, které mohou obsahovat biologicky aktivní látky. Vznikají fotochemickými reakcemi a koagulací produktů spalování z různých zdrojů. Tyto částice mohou mít vliv na viditelnost a jejich doba setrvání v atmosféře je i několik dní. (Hinds, 1999)

Ve Finsku byly sledovány časové změny v koncentracích nukleačního, Aitkenova a akumulárního modu v průběhu tří let. Byly sledovány čtyři oblasti městská, příměstská, narušená venkovská a pozadřová. Celková koncentrace částic v ovzduší byla nejvyšší během jara a podzimu. U částic nukleačního modu byly zaznamenány maximální koncentrace u všech lokalit na jaře a na podzim. Pro Aitkenův mod byla nalezena maxima ve stejné době. Pro akumulární mod byly nalezeny maximální koncentrace v létě a minimální v zimě. V obydlených oblastech bylo patrné narušení přírodní variability ve velikosti částic, ale i zde byl chod ročních období patrný. (Laakso et al., 2003)

## 2.5. Chemické složení aerosolu

Chemické složení aerosolových částic je dáno zdrojem a typem procesů chemické přeměny, kterým byly podrobeny. Složení aerosolových částic bývá různorodé a jejich přeměna závisí na podmínkách, kterým jsou vystaveny. Zpravidla platí, že jemné částice bývají kyselé a hrubé zásadité. (Hinds, 1999)

Jemné částice jsou z velké většiny tvořeny ve vodě rozpustnými sírany. Sírany se často váží s amonným iontem a společně vytvářejí velmi obvyklou sloučeninu  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Asi 70% částic této sloučeniny má velikost 0,03 až 0,1  $\mu\text{m}$ . Asi 25% jemných částic tvoří organický materiál. Tyto látky vznikají hlavně přeměnou plynů na částice, z tohoto důvodu se vyskytují hlavně ve velikostech menších než 1  $\mu\text{m}$ . V jemných částicích bývají často zvýšené obsahy uhlíku síry a olova. Tato skutečnost dává důvod předpokládat, že jemné částice mají původ ve spalovacích procesech. (Götz et al., 1991, Hinds, 1999) Hrubé částice jsou z velké části

tvořeny částicemi ze zemského povrch. V těchto částicích bývá zvýšený obsah silikátů a jiných nerozpustných látek. Dále mohou být obohaceny o další prvky přirozeného původu, jako jsou například hliník, vápník, železo, hořčík, selen, sodík a další. (Hinds, 1999)

Ve Švýcarsku bylo pozorováno chemické složení částic v městské, příměstské a venkovské oblasti. Bylo zjištěno, že koncentrace Ba, Ca, Ce, Cu, Fe, La, Mo, Mn, Pb, Sb a Rh v částicích jsou největší ve městě, nižší v příměstské oblasti a nejnižší ve venkovské oblasti. Toto rozložení podporuje teorii, že částice obohacené o zmíněné prvky jsou většinou produkovány automobilovou dopravou. Na druhé straně koncentrace Al, As, Cd, K a V v aerosolu byly srovnatelné ve všech typech pozorovaných lokalit. To může svědčit o tom, že emisní zdroje těchto částic jsou rovnoměrně rozmístěny po celém pozorovaném území nebo o tom, že není žádný významný místní zdroj těchto prvků a do prostředí se dostávají hlavně dálkovým přenosem. Dále bylo v této studii zkoumáno zastoupení vody v aerosolových částicích. Zde se projevoval spíše než vliv lokality vliv ročního období. Částice obsahovaly v zimním období méně vody a v důsledku toho se anorganické soli vyskytovaly v chladnějším období spíše v krystalické než rozpuštěné podobě. V letním období částice obsahovaly větší procento vody a v ní rozpuštěné soli. (Hueglin et al., 2005)

Na západním pobřeží Portugalska bylo pozorováno chemické složení  $PM_{10}$  ve třech lokalitách. Byly analyzovány organické látky, které částice obsahovaly. Ve většině částic byly nalezeny PAH, ketony, aldehydy, alkoholy a mastné kyseliny přirozeného i antropogenního původu. Byly také nalezeny sloučeniny VOC, které prokazatelně podle bioindikátorů pocházely z místní vegetace. Vyšší obsah těchto látek byl indikován ve venkovských oblastech. Ve městských oblastech aerosol obsahoval více PAH než ve venkovských oblastech. Bylo také pozorováno, že poměr organického a elementárního uhlíku byl většinou nižší v místech položených blíže pobřeží. Zdá se tedy, že na složení organických látek v aerosolech mají velký vliv i meteorologické podmínky. (Alves et al., 2001)

V Basileji a jejím okolí bylo analyzováno chemické složení  $PM_{10}$ . Měření probíhalo ve čtyřech lokalitách, z čehož dvě byly městské a dvě venkovské. Při chemické analýze se ukázalo, že 60 až 70%  $PM_{10}$  ve všech pozorovaných lokalitách je tvořeno elementárním a organickým uhlíkem a anorganickými sloučeninami síry a dusíku. Byly zkoumány rozdíly ve složení aerosolu ve městě a na venkově. Rozdíly se projevíly více v zimním období než v letním. Bylo to zřejmě z důvodu přítomnosti inverzní vrstvy nad městem během zimy. Venkovské lokality byly o něco výše položené, takže jejich ovzduší inverze neovlivňovala. Z těchto důvodů zřejmě městský aerosol v zimě obsahoval větší koncentrace sloučenin dusíku a organických látek. Byl zjištěn rozdíl v městských koncentracích elementárního uhlíku, Ca,

Ti, Mn a Fe v pracovní a volných dnech. To značí, že na vyšších koncentracích těchto látek v ovzduší se zřejmě podepisuje ve větší míře lidská činnost. (Röösli et al., 2001)

Ve 21 evropských lokalitách pobíhala jeden rok studie chemického složení aerosolu o velikosti  $PM_{2,5}$ . V těchto aerosolových částicích byl zkoumán obsah elementárního uhlíku a dalších 15 prvků (Al, As, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, K, Mn, Pb, S, Si, Ti, V a Zn). Byly zjištěny velké rozdíly v celé Evropě. Nejnižší koncentrace byly zjištěny na Islandu a nejvyšší v Turínu v severní Itálii. Největší procento ze všech prvků v částicích představovaly většinou sloučeniny síry. Koncentrace některých toxických látek, jako je třeba Zn byly zjištěny v některých lokalitách velmi vysoké. Tyto koncentrace byly v severní Itálii zjištěny 80x vyšší než na Islandu. V této studii bylo potvrzeno rozložení koncentrací polutantů v Evropě, které graduje směrem od severu na jih. (Götschi et al., 2005)

## 2.6. Odstraňování aerosolu z atmosféry

Aerosolové částice jsou z atmosféry odstraňovány třemi základními procesy. Těmito procesy jsou mokrá depozice, suchá depozice, neboli gravitační sedimentace a fyzikální nebo chemickou absorpcí na různé povrchy. Doba setrvání aerosolu v nižší troposféře se zpravidla pohybuje od dvou dnů do dvou týdnů. Ve středních šířkách, kde se vyskytují hojně srážky, je tato hodnota pravděpodobně nižší. Bez přítomnosti srážek se částice o velikosti do  $1\ \mu\text{m}$  udrží v atmosféře obvykle od 100 do 1000 hodin, částice o velikosti od  $1$  do  $10\ \mu\text{m}$  zpravidla 10 až 100 hodin. (Hinds, 1999, Brimblecombe, 1996)

Nejúčinněji se z atmosféry odstraňují aerosoly při vodních srážkách. Při tomto odstraňování se uplatňují dva mechanismy, a to vypršení a vymývání. Vypršení aerosolů (rainout) má zásadní význam především pro částice o velikosti kolem  $0,1\ \mu\text{m}$ . Tyto částice působí jako kondenzační jádra pro vznik kapek, ale jsou i zachytávány Brownovým pohybem. To platí především pro částice menší než  $0,005\ \mu\text{m}$ . (Moldan, 1977, Brimblecombe, 1996)

Vymývání (washout) je proces, ke kterému dochází v podoblačné vrstvě. Částice jsou zachytávány a strhávány padajícími kapkami nebo sněhovými vločkami. Pro částice o velikosti  $1$  až  $2\ \mu\text{m}$  platí, že účinnost zachytu je úměrná velikosti částic. Vymývání je tedy důležité zejména pro nízké vrstvy ovzduší s vysokou koncentrací větších částic, tedy hlavně pro ovzduší s antropogenním znečištěním. (Moldan, 1977)



## 2.7. Tvar aerosolových částic

Tvar aerosolových částic v atmosféře se liší podle jejich zdrojů a podmínek, jakým jsou v atmosféře následně vystaveny. Tvar částic lze sledovat pod mikroskopem a podle jejich tvaru je i možné odhadnout možný zdroj, z něhož pocházejí. (Hinds, 1999) Pro zjednodušení se většinou u částic předpokládá tzv. aerodynamický průměr částice. Aerodynamický průměr částice je průměr sférické částice o specifické hmotnosti  $1 \text{ g/cm}^3$  a stejné pádové rychlosti jako má sledovaná částice. (Vincent, 1989)

Částice mohou mít různé tvary, nejčastěji popisované jsou částice kulovité, krychlové, vrstevnaté, vláknité, chomáčovité a nepravidelné. Kulovitý tvar mají částice pylu a některé produkty spalování. Saze mohou tvořit dlouhé řetězce kulovitých částic. Vlákňitý tvar mají částice vlněné, azbestové, skleněné a částice, které se uvolní z plastů. Nepravidelný, pravidelný nebo vločkovitý tvar mají minerály. Aglomeráty zpravidla vznikají po ochlazení horkých plynů. Obecně platí, že kapalně částice bývají kulaté a pevně se vyskytují ve formě mnoha tvarů. (Hinds, 1999)

Tvar aerosolových částic má také zásadní vliv na lidské zdraví. Například křemičitý prach způsobuje především u brusičů skla nemoc plic zvanou silikóza. Proběhla řada studií, jejichž cílem bylo vysvětlit, proč lidé žijící na Sahaře, kteří jsou stále vystaveni vysokým koncentracím křemičitého prachu, touto nemocí netrpí. Zjistilo se, že příčina tohoto faktu zřejmě tkví v tom, že částice na poušti dlouhodobě podléhají abrazi, a proto mají kulovitý tvar. Zatímco částice, které vznikají broušením, mají mnoho hran a hrotů, jež mohou vyvolat vznik silikozních uzlíků v plicích. (Spurný, 1961)

## 2.8. Monitorování aerosolů a legislativa

U aerosolových částic je předmětem zkoumání jejich chemické složení a také zastoupení jednotlivých velikostních frakcí. Názor vědců z celého světa není jednotný v tom, kterou frakci měřit. V České republice se mnoho let na stanicích AIM měřil celkový vzorek prašného aerosolu bez rozlišení velikosti částic označovaný jako TSP (Total Suspended Particulate). V roce 1996 se přešlo v síti AIM na měření thorakální frakce  $PM_{10}$ . Měření se provádí kontinuální radiometrickou metodou, která je založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtrační pásce. Data z automatické sítě jsou doplněna ještě měřeními TSP v manuální síti, kde se používá gravimetrického stanovení částic aerosolu na filtru. Data z automatické i manuální sítě jsou následně použita pro celkové roční vyhodnocení znečištění ovzduší prašným aerosolem. (Hůnová a Šantroch, 2000)

Ve většině zemí Evropy se stále ještě měří TSP, tedy celkový aerosol bez rozlišení velikostní frakce. V USA byla pozornost při sledování vlivu aerosolu na zdraví člověka zaměřena na jeho velmi jemnou frakci a to na  $PM_1$ . Imisní limity v USA byly stanoveny nejen pro  $PM_{10}$ , ale i pro  $PM_{2,5}$ . (Hůnová a Šantroch, 2000)

V Evropské Unii se prašnému aerosolu věnuje pozornost už poměrně dlouho. Limity koncentrace prašného aerosolu byl jako u jedné z prvních látek v rámci EU legislativně upraveny spolu s  $SO_2$  již v tzv. první generaci direktiv EC direktivou 80/779/EEC. Ta byla později doplněna direktivou EC 89/427/EEC. (Hůnová a Šantroch, 1999)

Obě zmíněné direktivy se týkaly prašného aerosolu bez velikostního rozlišení částic. V současné době jsou vydávány direktivy tzv. druhé generace, které se odvíjejí ze základní tzv. rámcové direktivy 96/62/EC a jsou také nazývány direktivami dceřinými. Prašný aerosol, jeho imisní limity a měření byl v rámci EU upraven direktivou 1999/30/EC. Ta členským státům EU ukládá přijmout taková opatření, která by vedla k zajištění dodržování stanovených imisních limitů na územích těchto států k určitému datu. (Hůnová a Šantroch, 2000)

Imisní limity byly stanoveny s ohledem na ochranu lidského zdraví, protože významný vliv prašného aerosolu na ekosystémy nebyl prokázán. Limitní hodnoty byly stanoveny pro standardní podmínky (teplota 293 K, atmosférický tlak 101,3 kPa). Byly určeny imisní limity pro  $PM_{10}$ , které měly být v prvním stádiu dosaženy k 1. 1. 2005 a ve druhém stádiu k 1. 1. 2010.

V prvním stádiu byl určen imisní limit 24 hodinových koncentrací  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s možností nejvýše 35 překročení za kalendářní rok a limit ročních koncentrací byl určen  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s mezí tolerance 20% při nabytí platnosti, aby bylo v roce 2005 dosaženo 0%. Ve druhém stádiu byl určen imisní limit 24 hodinových koncentrací  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s možností nejvýše 7 překročení za kalendářní rok a limit ročních koncentrací byl stanoven  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s mezí tolerance 50% k 1. 1. 2005, aby mohlo být v roce 2010 dosaženo 0%. (Hůnová a Šantroch, 2000)

Imisní limity jsou stanoveny pro frakci aerosolu  $\text{PM}_{10}$ , protože tato frakce většinou lépe koreluje se zdravotními účinky než TSP. Ještě lepší korelaci se zdravotními účinky vykazuje jemná frakce  $\text{PM}_{2,5}$ . Pro frakci  $\text{PM}_{2,5}$  z důvodu nedostatku údajů a neexistence standardizované metody zatím nebyl stanoven imisní limit. Členské státy EU jsou však direktivou 1999/30/EC zavázány rozšířit databázi frakce  $\text{PM}_{2,5}$  měřeními na reprezentativních lokalitách s tím, že imisní limit bude zaveden později. (Hůnová a Šantroch, 2000)

Pro  $\text{PM}_{2,5}$  byl navržen imisní limit  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , který pravděpodobně nepřinese další zatížení pro členské státy, s výjimkou nejvíce znečištěných oblastí Evropské unie. Je také navrženo, aby členské státy uskutečnily souhrnnější monitorování koncentrací  $\text{PM}_{2,5}$  v městských oblastech jako první krok ke snižování obsahu těchto jemných částic v ovzduší. Návrh také zahrnuje jednotný dočasný cíl snížení koncentrací této jemné frakce aerosolu o 20%. Tohoto cíle by měly členské státy Evropské unie dosáhnout mezi lety 2010 a 2020. Tento cíl bude ještě následně přezkoumán, až bude k dispozici více informací získaných monitorováním kvality ovzduší. (Internet, Eur-lex)

Limitní hodnoty platné v České republice vyplývají podle § 55 odst. 1 zákona č. 86/2002 Sb. O ochraně ovzduší z nařízení vlády č. 350/2002 Sb. Od 31. 12. 2006 vešla v platnost novelizace tohoto nařízení novým nařízením vlády č. 597/2006 Sb. Tady jsou upraveny imisní limity pro období od roku 2002 do roku 2004 a pro období po roce 2005. Pro roky 2002 až 2004 byl stanoven limit pro 24 hodinové koncentrace  $\text{PM}_{10}$   $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s maximálním počtem 35 překročení za kalendářní rok a ročním průměrem  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Meze tolerance se u obou těchto hodnot pro každý kalendářní rok postupně snižovaly. Pro období po roce 2005 platí tedy již tyto imisní limity bez mezí tolerance. (Internet, Sbírka zákonů)

24 hodinový imisní limit  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  smí být překročen maximálně 35x do roka. 36 a vícekrát do roka byl v roce 2006 tento limit překročen na 92 aktivních stanicích AIM. Největší překročení bylo zjištěno ve Zlíně na Třídě Tomáše Bati. Na této stanici bylo naměřeno za minulý rok 223 překročení imisního limitu s maximální koncentrací  $\text{PM}_{10}$   $151,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Překročení ročního imisního limitu, který je určen jako  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , bylo v roce 2006 zaznamenáno na 35 aktivních stanicích AIM. Největší koncentrace  $64,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byla naměřena ve Věřňovicích. (Internet, ČHMÚ a)

Na území České republiky se nachází několik oblastí s dlouhodobě zhoršenou kvalitou ovzduší. Do těchto oblastí patří především velká hustě zalidněná města a tradiční průmyslové oblasti mezi které patří Praha, Brno a jejich okolí, Ostravsko, Mostecko a Zlín. Na území České republiky se vyskytují i oblasti s relativně malými koncentracemi atmosférického aerosolu. Jsou jimi například Šumava a některé části jižních Čech. (Internet, ČHMÚ b)

## 2.9. Metody BS a PM

Základní složkou tmavého kouře je tzv. černý nebo elementární uhlík. Tmavé částice elementárního uhlíku, který pohlcuje velké množství světla, pochází ve velké míře ze spalovacích procesů, při kterých se pálí uhlíkaté palivo. Tyto částice mají vliv například na radiační bilanci Země a tím i na globální oteplování tak, že pohlcují a rozptylují sluneční záření. Také se mohou podílet za zhoršené viditelnosti. (Vallius et al., 2000, Hamilton et al., 1991, Bednář, 1985)

V částicích je třeba odlišit organický a elementární uhlík. Bylo zjištěno, že částice elementárního uhlíku se dají definovat jako takové částice, které absorbují světlo o vlnové délce  $632,8 \text{ nm}$ . Částice organického uhlíku světlo na této vlnové délce neabsorbují. K rozlišení částic se tedy dá použít optická nebo termická analýza. (Chow et al., 1993)

Ve studii, která proběhla v západní Evropě bylo zjištěno, že 70 až 90% elementárního uhlíku pochází z emisí dieselových motorů. (Hamilton et al., 1991) V tmavém kouři bývá elementární uhlík zastoupen průměrně ze 30%, v Londýně bylo prokázáno dokonce 60%. Zdroje uhlíku v atmosféře západní Evropy jsou především spalování tuhého fosilního paliva, benzínu a dřeva. Anglii bylo zjištěno, že dokonce přes 90% elementárního uhlíku pochází z dieselového paliva. (Hamilton et al., 1991, Pratsinis et al., 1988) V Kalifornii byly naměřeny třikrát větší koncentrace aerosolu ve městě než mimo něj. Hlavním zdrojem městských emisí zde byl elementární uhlík z dopravy. (Chow et al., 1993)

Poměrně jednoduchou metodou, kterou lze zjistit množství elementárního uhlíku je metoda Black Smoke (BS). Touto metodou se částičky menší než 4  $\mu\text{m}$  zachytí na filtru s 50% účinností. Měří se hodnota reflektance částiček na filtru. Hodnoty reflektance ovlivňuje množství aerosolu zachyceného na filtru a jeho optické vlastnosti. (Götschi et al., 2002, Vincent, 1989)

V Anglii proběhlo jen málo studií, které by se zabývaly pouze koncentracemi PM. Většina tamních studií se týkala koncentrací BS. V jiných státech ale většinou převládá měření koncentrací PM<sub>10</sub> nebo v dnešní době i jemnějších frakcí. Při současném měření koncentrací PM<sub>10</sub> a BS se ukazuje, že tyto koncentrace mají rozdílný poměr v letním a v zimním období. I přes to se měření koncentrací BS jeví jako užitečné, především protože tyto částice mají velký vliv na lidské zdraví. (Muir and Laxen, 1995)

V Praze, Aténách, Basileji a Helsinkách byl pozorováno znečištění ovzduší částicemi PM<sub>2,5</sub> a byly zjišťovány i hodnoty BS. Tyto hodnoty byly využity i odhadu obsahu elementárního uhlíku ve vzorcích. Elementární uhlík, který je hlavní složkou emisí ze spalovacích procesů, v atmosféře vystupuje jako hlavní složka pohlcující světlo. Touto metodou se tedy dají dobře sledovat emise jak z dieselových motorů dopravních prostředků, tak i z ostatních spalovacích procesů.

Sledovány byly vnitřní i venkovní koncentrace aerosolu. Bylo zjištěno, že vnitřní a vnější koncentrace BS spolu korelují více než koncentrace PM<sub>2,5</sub>. Pro BS byly tyto korelační koeficienty 0,57 až 0,86 a pro PM<sub>2,5</sub> 0,05 až 0,69. Vnitřní koncentrace BS jsou tedy mnohem více určovány venkovními koncentracemi těchto částic. Pro PM<sub>2,5</sub> může rozdíl vnitřních a venkovních koncentrací představovat kouř z vykouřených cigaret a emise z plynového vytápění domácností. Nejnižší koncentrace PM<sub>2,5</sub> i BS byly pozorovány v Helsinkách, střední v Basileji a prokazatelně nejvyšší koncentrace byly naměřeny v Praze a Aténách. V Praze byla ovšem pozorována také největší variabilita mezi získanými daty. I v této studii se ukázala metoda BS jako metoda s velkou výpovědní hodnotou o kvalitě ovzduší, která je však poměrně levná. (Götschi et al., 2002)

V Helsinkách byly pozorovány koncentrace PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>10</sub> po dobu šesti měsíců. U jednotlivých frakcí aerosolu byla také provedena reflektometrická analýza. Data byla shromažďována v zimě a na jaře, aby bylo možné odlišit sezónní vlivy na koncentraci aerosolů. Bylo zjištěno, že sezónní vlivy se spíše projevují u hrubších částic než u jemných. Částice PM<sub>1</sub> a PM<sub>2,5</sub> měly velmi podobnou dynamiku, zatímco koncentrace PM<sub>10</sub> byly v létě obohaceny ještě z dalších zdrojů, které na koncentrace menších částic neměly vliv. Bylo prokázáno, že ultrajemné částice o velikosti 0,01 až 0,1  $\mu\text{m}$  velmi dobře korelují s hodnotami

BS a to zvláště v zimním období. To potvrzuje teorii, že částice BS patří ve velké míře k jemné frakci aerosolu. (Vallius et al., 2000)

V Athénách byly sledovány koncentrace  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  a BS v průběhu dvou let. Koncentrace BS byly pozorovány poměrně vysoké. Korelační koeficient mezi  $PM_{10}$  a BS byl zjištěn jako  $r = 0,67$  a mezi  $PM_{2,5}$  a BS jako  $r = 0,66$ . Poměr mezi  $PM_{10}/BS$  byl pozorován jako 0,89 a mezi  $PM_{2,5}/BS$  jako 0,46. Toto poměrně vysoké zastoupení částic BS v této lokalitě bylo vysvětlováno poměrně hustou automobilovou dopravou. Této teorii odpovídá také to, že při stávce řidičů taxíku klesly koncentrace BS o 40%. (Chaloulakou et al., 2005)

Ve třech evropských městech, kterými byly Helsinky, Erfurt a Aikmaar, byly v průběhu jedné zimy sledovány koncentrace aerosolových částic. Pozorovány byly koncentrace ultrajemných částic o velikosti 0,01 až 0,1  $\mu m$ , částice akumulárního modu o velikosti od 0,1 do 0,5  $\mu m$ , koncentrace  $PM_{2,5}$  a koncentrace BS, které byly měřeny na filtrech s  $PM_{2,5}$ . V této studii se ukázal průkazný rozdíl mezi koncentracemi  $PM_{2,5}$  a BS mezi městy. Prokázalo se, že ovzduší v Helsinkách obsahuje prokazatelně menší množství těchto částic než ovzduší v dalších dvou městech. Rozdíl mezi koncentracemi jemných částic se prokázat nepodařilo. (Ruuskanen et al., 2001)

Koncentracemi aerosolu v okolí silnic se zabývala další studie. Na západě Nizozemí byly zjišťovány koncentrace  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , benzenu, BS a  $NO_2$  ve vnitřním i vnějším prostředí. Měření probíhalo ve čtyřech různých vzdálenostech od okraje silnice. Bylo zjištěno, že koncentrace BS a  $NO_2$  klesají s větší vzdáleností od silnice. U  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a benzenu se žádný gradient se vzdáleností od silnice nepodařilo prokázat. (Roorda-Knape et al., 1998) Na dvou místech v Nizozemí byly také měřeny koncentrace  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a BS u frekventovaných silnic a v pozadí. Koncentrace byly v průměru zjištěny 1,3x větší u frekventovaných silnic než v pozadí. Hodnoty BS byly v průměru dokonce 2,6x vyšší u silnic než v pozadí. (Janssen et al., 1997)

Koncentrace částic  $PM_{2,5}$  a hodnoty BS těchto filtrů byly zjišťovány v ve třech evropských oblastech, kterými byly Mnichov, Stockholm a Nizozemí. Měření probíhalo na více než čtyřiceti místech. Koncentrace v okolí frekventovaných silnic byly v průměru o 17 až 18% vyšší než v mimoměstských oblastech. Větší rozdíly mezi okolím silnic a pozadím se projevíly v hodnotách BS. Tyto hodnoty byly v průměru o 31 až 55% vyšší než pozadové koncentrace. I výsledky této studie tedy svědčí o velkém vlivu dopravy na hodnoty BS. (Hoek et al., 2002)

V současné době je důležitou složkou atmosféry sekundární aerosol, především sulfáty a nitráty. Tyto složky atmosféry jsou však bezbarvé, takže nejsou detekovány pomocí metody BS. Jejich koncentrace se však projeví jako průsečík osy y regresní křivkou vztahu  $PM_{10}$  a BS, když BS je na ose x. (Muir and Laxen, 1995)

V létě jsou tedy poměry mezi  $PM_{10}/BS$  větší než v zimě. Důvodem je to, že metodou  $PM_{10}$  jsou měřeny koncentrace jak jemných, tak i hrubších částic, kterých je v létě v ovzduší více. Metodou BS se měří pouze jemné částice, tedy částice o velikosti zhruba do 4  $\mu m$ . Tyto částice, které jsou produkovány především spalováním uhlí nebo dieselového paliva v autech, jsou tmavé a pohlcují světlo. V zimě se spaluje větší množství uhlí než v létě a to je i jeden z důvodů, proč jsou koncentrace BS v zimě vyšší než v létě. (Ostro, 1993, Vallius et al., 2000)

### 3. Vliv aerosolu na zdraví

Aerosoly v ovzduší mají negativní vliv na zdravotní stav. Částice mohou škodlivě působit na všechny druhy živých organismů, ale největší nebezpečí představují pro vyšší živočichy, kterým se dostávají dýchacími cestami přímo do těla a jsou zde zachycovány. Kromě toho mohou mít aerosoly negativní vliv na pokožku, zrakové ústrojí nebo chrup. Ve srovnání s účinky na dýchací ústrojí je však tento vliv zanedbatelný. (Hinds, 1999)

Depozici aerosolových částic v dýchacím ústrojí ovlivňuje pět různých mechanismů. Nejdůležitějšími z nich je impakce, sedimentace a difúze. Méně podstatnými procesy jsou intercepce a elektrostatická depozice. (Hinds, 1999, Bencko, 1995)

Z hlediska rozdílné depozice můžeme dýchací systém rozdělit na tři hlavní oblasti. Nazofaryngeální (hlavová) oblast zahrnuje nos, ústa, hrtan a hltan. Vzduch vstupuje do dýchacích cest častěji nosem než ústy. Vstupující vzduch je zvlhčován a ohříván. Největší částice se zde zachycují s velkou účinností sedimentací a impakcí na ciliárních povrchích nosní dutiny a na sliznicích. Tracheobronchiální oblast představuje vzdušné cesty od trachey až po koncové bronchioly. Částice větší než 3  $\mu\text{m}$  se zde zachytávají především impakcí, částice menší než 3  $\mu\text{m}$  se většinou sedimentují. Alveolární oblast tvoří plicní sklípky. Do této oblasti se částice o velikosti větší než 10  $\mu\text{m}$  téměř nedostanou. Částice od 2 do 10  $\mu\text{m}$  se sem dostanou jen v malém množství. (Hinds, 1999, Bencko, 1995)

Nejvíce jsou zde zachytávány částice o velikosti 2  $\mu\text{m}$ , pro částice jemnější se účinnost zachytu opět snižuje, protože jsou snáze vydechovány. Obecně platí, že první dvě oblasti dýchacích cest slouží k ochraně třetí alveolární oblasti před škodlivými částicemi. (Hinds, 1999, Bencko 1995)

Na depozici v respiračním systému mají také velký vliv vlastnosti částic, především jejich velikost, tvar, hmotnost a náboj. Důležitým faktorem jsou také podmínky dýchání, zejména dechový objem a frekvence dechů. Důležité jsou také anatomické a fyziologické podmínky, které jsou dané strukturou dýchacích cest a reziduální kapacitou. (Hinds, 1999)

Na celém světě bylo provedeno již mnoho studií, které prokázaly souvislost mezi zvýšenou koncentrací aerosolových částic v ovzduší a negativními účinky na zdraví člověka. Je prokázáno, že zvýšené koncentrace aerosolových částic v ovzduší mají za následek zvýšený počet úmrtí. Tato úmrtí nastávají většinou v důsledku respiračních, srdečních a oběhových onemocnění. V době vysokých koncentrací aerosolu byly také u zvýšeného počtu pacientů pozorovány bronchitidy a astma. (Elvingson and Ågren, 2004)



Při zvýšených koncentracích částic  $PM_{10}$  byl u vybraných populací pozorován zvýšený výskyt zejména respiračních potíží. Tyto obtíže se projevovaly zejména sníženou funkcí plic, vyšším užíváním léků u astmatiků, zvýšil se i příjem osob v nemocnicích a na pohotovosti. Celkově bylo zaznamenáno, že se zvýšení koncentrací polutantů v ovzduší projevovalo vyšší nemocností a celkově sníženou aktivitou obyvatel. (Reichhardt, 1995)

Ve Velké Británii proběhla studie, která zkoumala vliv částic  $PM_{10}$  na úmrtnost a nemocnost populace. Bylo zjištěno, že znečištěné ovzduší prokazatelně zapříčinilo mnoho předčasných úmrtí. Kdyby se bralo v úvahu pouze znečištění antropogenního původu, pak se dá hovořit o více než polovině těchto úmrtí. K předčasným úmrtím z tohoto důvodu dochází především u starších osob, jejichž život byl zkrácen o dny, měsíce, ale i roky. V důsledku vyšších koncentrací  $PM_{10}$  byla pozorována i zvýšená nemocnost. Vyskytovaly se ve větší míře především chronické bronchitidy a celkově se snížila aktivita populace. Péče o nemocné a veškeré s tím spojené náklady jsou obrovské. Jen ve Velké Británii se tyto náklady odhadují již v řádu bilionů liber. (Pearce and Crowards, 1999)

Počátkem devadesátých let proběhla studie v Utahu, kde byly pozorovány účinky na zdravotní stav populace, která žila v blízkosti továrny na výrobu oceli. Byly zde naměřeny velmi vysoké koncentrace  $PM_{10}$ . Tato továrna produkovala do ovzduší 50 až 70% emisí. Tehdejší denní limit pro  $PM_{10}$   $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byl překročen dvakrát. Při takto vysokých koncentracích aerosolu bylo prokázáno snížení funkce plic u sledované populace o 3 až 6%. Při zvýšených koncentracích částic v ovzduší se také začaly projevovat další zdravotní potíže, jako je vlhký a ucpaný nos, vlhký kašel, pálení a bolení očí a zarudnutí očí. Časté byly i onemocnění dolních dýchacích cest, které se projevovaly namáhavým dýcháním, suchým kašlem a sípáním. (Pope et al., 1991)

Proběhly i další studie, ve kterých se prokázalo, že zvýšené koncentrace  $PM_{10}$  mají negativní vliv na lidské zdraví. Bylo prokázáno, že při koncentracích  $PM_{10}$  vyšších než  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se projevil vyšší počet respiračních onemocnění. U nemocí horních dýchacích cest došlo ke zvýšení o 26% a u dolních cest dokonce o 50%. Při takto vysokých koncentracích aerosolových částic bylo zaznamenáno zvýšení užívání léků proti astmatu o 217% oproti koncentracím  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Byla také prokázána souvislost mezi vysokými koncentracemi  $PM_{10}$  a zvýšenou návštěvností astmatiků na pohotovosti. (Schwartz et al., 1993)

Ve studii, která proběhla v několika zemích jižní Evropy, kterými byly Francie, Řecko, Itálie, Portugalsko a Španělsko, se projevil vliv zvýšených koncentrací BS a SO<sub>2</sub> na lidské zdraví. Bylo zjištěno, že míra vlivu polutantů na zdravotní stav člověka je ovlivněna především specifickými kombinacemi jednotlivých znečišťujících látek. Vliv mají ale i jiné faktory, jako je třeba teplota a geografická poloha, dále životní styl a jiné sociální vlivy a další faktory. (Katsouyannik, 1995) Bylo také zjištěno, že zvýšené koncentrace SO<sub>2</sub> a TSP v Miláně, Itálie měly za následek vyšší riziko úmrtí spojené se selháním dýchací soustavy. (Vigotti et al., 1996)

Otázkou je, jakým mechanismem se vlastně aerosolové částice stávají patogenními. Je zde hypotéza, že částice PM<sub>10</sub> spolu s jinými patogenními částicemi způsobují vznik volných radikálů na svém povrchu v reakci se železem. Částice pak jsou schopny ve vodním prostředí generovat OH radikál a pak mají schopnost poškodit DNA. Reakce tedy závisí na přítomnosti železa, jehož množství je určeno pH lysozomu. (Gilmour et al., 1996)

Otázkou genotoxicity částic PM<sub>10</sub> se také zabývala studie, která proběhla ve Flandrech, Belgie. Byl zkoumán aerosol získaný na třech místech, v městské, průmyslové a venkovské oblasti. Genotoxicita částic byla zkoumána čtyřmi různými metodami, které využívaly organické extrakty. Bylo zjištěno, že částice, získané v městské a průmyslové oblasti, průkazně způsobují poškození DNA. Testy částic z venkovské oblasti nebyly vždy shodné. Bylo však prokázáno, že aerosolové částice PM<sub>10</sub> mohou způsobovat poškození a mutace DNA. (Brits et al., 2004)

Ve Švýcarsku proběhla studie, která se zabývala zkoumáním cytotoxických efektů, které vyvolávají aerosolové částice PM<sub>10</sub>, které byly získány ve dvou městských, jedné venkovské oblasti a jedné vysokohorské oblasti v průběhu čtyř ročních období. Roztok aerosolových částic byly exponovány makrofágové v plicích krys. Toxické efekty, jakými je redukce metabolické aktivity, byly zaznamenány u všech exponovaných organismů. Tedy u všech lokalit a všech ročních období. Bylo zajímavé, že ve vysokohorské oblasti stimulace buněk pozitivně korelovala s obsahem polutantů. V městských oblastech byla tato korelace negativní. Tento jev se dá vysvětlit tak, že inhibice byla zapříčiněna zvyšujícím se přísunem toxických látek, které aerosol obsahoval. (Monn et al., 2003)

Je tedy zřejmé, že koncentrace aerosolových částic v atmosféře mají velký vliv na celkový zdravotní stav exponované populace. Vysoké koncentrace aerosolu prokazatelně zapříčiňují velké množství předčasných úmrtí a jsou i důvodem mnoha onemocnění. Tento fakt má i svůj ekonomický aspekt, protože náklady spojené s morbiditou i mortalitou jsou obrovské. Je tedy velmi důležité snižovat koncentrace aerosolu v ovzduší.

#### 4. Rozdíl v koncentracích aerosolu v městských a mimoměstských oblastech

Existuje předpoklad, že ovzduší na venkově je všeobecně čistší než ve městě. Tento předpoklad se opírá o fakt, že ve městech je větší hustota zalidnění než na venkově a tudíž by se zde antropogenní vlivy měly projevovat v mnohem větší míře. Otázkou ovšem je, jaký vliv mají lidé na kvalitu ovzduší na venkově.

Ve vyspělých zemích se většinou mezi koncentracemi částic ve městě a na venkově projevují velké rozdíly. Například v epidemiologické studii PEACE, která byla prováděna ve 14 evropských zemích, byly srovnávány hodnoty koncentrací  $PM_{10}$  a BS. Měření bylo prováděno ve městech i v mimoměstských oblastech. Rozdíly v koncentracích mezi městskými a mimoměstskými oblastmi byly 22% u částic  $PM_{10}$  a 43% u BS. Korelace mezi městskou a mimoměstskou oblastí byly poměrně vysoké, větší než 0,7 pro všechny stanice. Rozdíl koncentrací aerosolových částic byl větší mezi různými evropskými zeměmi než mezi městskými a mimoměstskými oblastmi v jednotlivých státech. (Hoek et al., 1997)

V další studii, ve které bylo sledováno 31 evropských lokalit, byly zkoumány koncentrace  $PM_{2,5}$  a  $PM_{10}$  a velikostní distribuce aerosolových částic. Data byla shromažďována po celé Evropě, ale byly zahrnuty jen dvě semiaridní středomořské oblasti a nedostatek údajů byl i z východní Evropy. Byly pozorovány městské i mimoměstské oblasti s různým stupněm narušení.

Roční imisní limit Evropské unie pro rok 2005, který je pro  $PM_{10}$   $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  byl na několika místech překročen. Roční imisní limit Evropské unie pro  $PM_{10}$   $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , který má být dosažen v roce 2010, byl překročen ve všech městských i příměstských oblastech. Roční imisní limit pro  $PM_{2,5}$   $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , který navrhla americká EPA, byl také ve všech zmíněných městských a příměstských oblastech překročen. V některých oblastech byl také pozorován značný vliv pozadových koncentrací aerosolu. Univerzální poměr mezi koncentracemi pro všechny oblasti  $PM_{2,5}$  a  $PM_{10}$  se vyjádřit nedá. Tyto poměry se ale dají většinou dobře vyjádřit pro jednotlivé lokality. Poměr mezi velikostními frakcemi částic totiž hodně závisí na lokálních emisních zdrojích. I v této studii se tedy prokázalo, že v evropských městech a příměstských oblastech jsou koncentrace aerosolu větší než na venkově. (Van Dingenen et al., 2004)

V Holandsku proběhla studie, ve které byly sledovány koncentrace  $PM_{10}$  a BS ve třech zimních obdobích. Pozorovány byly dvě oblasti, jedna městská a druhá venkovská. Důležitou roli měl směr a rychlost větru. Koncentrace  $PM_{10}$  byly ve městské zóně průměrně o 13% vyšší než ve venkovské a koncentrace BS byly ve městě průměrně o 19% vyšší. Tento poměrně malý rozdíl mezi městskými a venkovskými koncentracemi byl vysvětlován poměrně malou velikostí Holandska, vysokou hustotou zalidnění a poměrně malými geografickými rozdíly. Důležitou roli zde zřejmě hraje i dálkový přenos polutantů. (Zee et al., 1998)

V Rakousku byly v třech městských oblastech a jedné venkovské měřeny koncentrace různých frakcí aerosolu. V městských oblastech byly naměřené roční průměrné koncentrace opět o něco vyšší než koncentrace ve venkovské oblasti. Naměřené koncentrace ve sledovaných městských oblastech byly o něco vyšší než evropský průměr a projevovaly se u nich sezónní cykly. U venkovské oblasti nebyly sezónní cykly zaznamenány. (Gomišček et al., 2004)

Koncentrace  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a elementárního uhlíku byly měřeny ve venkovské oblasti v Poruhří. Bylo zjištěno, že denní koncentrace částic jsou průkazně vyšší v porovnání s nočními. Denní maxima byla ve všedních dnech většinou zaznamenána od 11 do 20 hodin. Mírný pokles koncentrací byl pozorován od 12 do 17 hodin. Tento fakt má zřejmě příčinu v hustší dopravě v době nejvyšších koncentrací. (Kuhlbusch et al., 2001)

V Portugalsku bylo pozorováno ovzduší ve venkovské oblasti, která však byla ovlivněna emisemi z blízké uhelné elektrárny. Byly měřeny koncentrace částic menších než 2  $\mu m$  a částic od 2  $\mu m$  do 10  $\mu m$ . Dále bylo studováno chemické složení částic. V naměřených vzorcích byl pozorován zřetelný vliv blízké elektrárny. I proto je třeba je zabývat možností využití alternativních zdrojů energie. (Alves et al., 1998)

Po dobu jednoho roku probíhalo měření koncentrací  $PM_{10}$  a TSP na území Švýcarska. Monitoring probíhal na několika městských, venkovských a vysokohorských místech ve Švýcarsku. Koncentrace ve venkovských oblastech byly zaznamenány asi o třetinu nižší než ve městech. Vysokohorské oblasti se vyznačovali velmi nízkými koncentracemi částic. Poměr mezi  $PM_{10}$  a TSP se pohyboval v rozmezí od 0,6 do 0,75. Vyšší poměr byl zaznamenán ve městech. (Monn et al., 1995)

V Kanadě v Albertě proběhlo také srovnání koncentrací aerosolových částic v městských a venkovských oblastech. Měřeny zde byly koncentrace  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ . Bylo zjištěno, že koncentrace  $PM_{2,5}$  dosahovaly v odlehlých venkovských oblastech asi jen jedné třetiny koncentrací naměřených v městských oblastech. Vliv městských a průmyslových oblastí na venkovské oblasti byl ve formě vyšších koncentrací částic pozorován ještě ve vzdálenosti 100 km. Poměr  $PM_{2,5}/PM_{10}$  byl u odlehlých oblastí i u měst pozorován stejný, a to 0,4. V narušených venkovských oblastech byl tento poměr 0,5. I zde se tedy prokázal poměrně velký rozdíl v koncentracích částic ve městě a mimo něj. (Cheng et al., 2000)

Z hlediska koncentrací aerosolových částic je také zajímavý vztah vnějšího a vnitřního prostředí budov. Ve Velké Británii byly pozorovány vnější a vnitřní koncentrace  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  a  $PM_1$  v sedmi domácnostech v městském prostředí v Birminghamu a ve dvou domácnostech na venkově. Dvě z domácností v Birminghamu se nacházely v centru města. Jedna z domácností byla v 10. patře a druhá ve 13. patře. Ostatní domácnosti se nacházely v přízemí.

Ve studii byly pozorovány různé domácí činnosti, které by mohly mít za následek zvýšení koncentrací aerosolu. Bylo zjištěno, že na koncentrace  $PM_{10}$  mají velký vliv domácí činnosti, jako je například vaření, kouření, uklízení a jiné aktivity. Velkým vnitřním zdrojem  $PM_1$  a  $PM_{2,5}$  bylo vaření a kouření, ostatní domácí aktivity neměly na koncentrace částic o této velikosti významný vliv. Při chemickém zkoumání částic se ukázalo, že obsahy síry v částicích mohou dobře popisovat přísun venkovních částic do vnitřního prostředí. Bylo zjištěno, že poměr vnitřního ku vnějšímu prostředí v obsahu síry v částicích je 0,6 pro  $PM_{10}$  a 0,8 pro  $PM_1$ . U poměrů vnitřního a venkovního uhlíku nebo zinku byly zjištěny větší odlišnosti u jednotlivých lokalit. (Jones et al., 2000)

Zvýšenými koncentracemi aerosolu v okolí silnic se zabývalo mnoho studií. V Amsterdamu proběhla studie, která zkoumala znečištění ovzduší ve 36 domácnostech, ve kterých nebyl zjištěn velký zdroj vnitřního znečištění, jako je například kouření. 18 zkoumaných domácností se nacházelo na hlavních ulicích s velkým provozem a 18 v oblastech s menším provozem. Byly měřeny koncentrace  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , reflektance těchto filtrů, PAH a VOC. Bylo zjištěno, že koncentrace  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  jsou na frekventovaných silnicích o 15 až 20% větší než na silnicích s nižším provozem. Aerosolové částice v ovzduší sice prokázaly závislost na intenzitě dopravy, ale nejeví se jako dostatečně specifické indikátory znečištění ovzduší silničním provozem. Jako lepší indikátory tohoto typu znečištění se ukázaly koncentrace PAH a VOC. (Fischer et al., 2000)

Ve Velké Británii byl navržen model, který lze využít k předpovědi koncentrací  $PM_{10}$  v pozadí a okolí silnic v Londýně. Faktory nutné pro výpočet koncentrací částic lze odvodit z ročních průměrných koncentrací  $NO_x$ ,  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ . Tyto koncentrace byly naměřeny v Londýně a jihovýchodní Anglii. Počítá se s tím, že poměr mezi koncentracemi aerosolu a oxidů dusíku je konstantní, ale tento poměr se může v budoucnu měnit. Model dokáže poměrně přesně předpovědět koncentrace  $PM_{10}$  v příměstských a venkovských oblastech. Model předpokládá, že imisní limity Evropské unie jsou velmi často překračovány v okolí frekventovaných londýnských silnic. Při určitých meteorologických podmínkách zřejmě bývají překračovány i koncentrace částic v příměstských oblastech. (Fuller et al., 2002)

Je tedy zřejmé, že koncentrace aerosolových částic ve vyspělých zemích jsou na venkově většinou nižší než ve městech. V zemích, které jsou méně ekonomicky vyspělé je situace pravděpodobně jiná. Velkým zdrojem znečištění ovzduší ve venkovských oblastech je lokální vytápění. Například ve venkovských oblastech Guatemaly proběhlo pozorování koncentrací aerosolových částic v kuchyních. Byly sledovány dva typy domácností. V jedněch domácnostech se k vaření používaly ještě tradiční ohniště, ze kterých nebyly žádným způsobem odváděny zplodiny. V druhé skupině domácností se již používala k vaření kamna s komínem, ve kterých se spalovalo většinou dřevo. Byly sledovány koncentrace aerosolových částic  $PM_{2,5}$ , TSP a koncentrace CO. Koncentrace byly sledovány při standardizovaných testech, kterými byly test vaření vody (Water Boiling Test - WBT) a standardizovaný test vaření (Standardized Cooking Test - SCT).

Mezi koncentracemi v domácnostech, kde se využívalo tradičních ohnišť a v domácnostech s kamny byl prokázán signifikantní rozdíl. Při testu WBT byly koncentrace  $PM_{2,5}$  v domácnostech s kamny o v průměru 87% nižší a koncentrace CO byly v těchto domácnostech dokonce v průměru o 91% nižší. Při testu SCT byly v domácnostech s kamny koncentrace TSP o 99% nižší než v domácnostech s ohništi, koncentrace CO byly v těchto domácnostech o 96% nižší. Celkově však byly naměřené koncentrace velmi vysoké. Průměrné 48 hodinové koncentrace  $PM_{2,5}$  byly v domácnostech s kamny  $0,52 \text{ mg/m}^3$  a v domácnostech, kde se ještě využívala ohniště dokonce  $2,51 \text{ mg/m}^3$ . To svědčí o velmi špatné kvalitě ovzduší v zemích třetího světa, která je velmi špatná i na venkově. (McCracken and Smith, 1998)

Další studie, ve kterých se prokázalo, že ovzduší venkovských oblastí v méně rozvinutých zemích obsahuje velké množství aerosolových částic, proběhly v Číně. Například zde byla sledována kvalita ovzduší v okolí města Xian. Bylo pozorováno, že hlavním důvodem velmi vysokých koncentrací částic v atmosféře je spalování biomasy v lokálních topeništích. V vytápění a vaření se v domácnostech zde využívá především dřevo a různé odpady ze zemědělství. (Tonooka et al., 2006)

V ekonomicky vyspělých státech západní Evropy a Severní Ameriky proběhla v rámci oprávněného zvýšeného zájmu o kvalitu životního prostředí celá řada studií monitorující koncentrace částic v ovzduší. Tato měření byla prováděna nejen ve městech, ale ve velkém množství i v mimoměstských oblastech. Protože ekonomicky vyspělé státy používají dražší, ale o to kvalitnější způsoby vytápění, míra znečištění ovzduší závisí na koncentraci obyvatel a průmyslu v daných místech. Tím pádem ekonomicky vyspělý západní svět má nejméně znečištěno ovzduší v městských oblastech. (Hoek et al., 1997, Zee et al., 1998, Cheng et al., 2000, Monn et al., 1995)

Méně ekonomicky vyspělé země v současné době ještě nedospěly v takové míře do stádia, kdy by je zajímala kvalita ovzduší a tím i její měření. Studie na toto téma jsou tedy v těchto oblastech sporadické. Z měření, která proběhla ve venkovských oblastech méně ekonomicky vyspělých zemí, prokázala, že kvalita ovzduší je zde nepoměrně horší než v severoamerických a západoevropských zemích. (McCracken and Smith, 1998, Tonooka et al., 2006) Je to způsobeno tím, že v těchto oblastech se používají hlavně nekvalitní paliva a primitivní způsoby vytápění.

Minimálně ze strany České republiky zde byla od roku 1989 tendence náš stát zařazovat nejen geograficky mezi státy západní Evropy. Je zde tedy předpoklad, že se naše republika bude řadit mezi ekonomicky vyspělé státy i v oblasti kvality ovzduší včetně jejího poměru mezi městy a venkovem. V rámci AIM probíhá v České republice monitorování kvality ovzduší hlavně ve městech a průmyslových oblastech, kde je velká hustota zalidnění. O kvalitě ovzduší ve venkovských oblastech zatím není mnoho dostupných informací. Ovšem například ve studii, které proběhla v malé obci na Berounsku, se prokázalo, že zvláště v topném období se koncentrace částic v ovzduší velmi podobají koncentracím v městských oblastech. (Domasová, 1999, Kožnarová, 1999) Je tedy zřejmé, že toto problematikou je třeba se nadále zabývat.

## 5. Metodika

Sledovaná obec Albrechtice v Jizerských horách se nachází v Libereckém kraji ve vzdálenosti asi 16 km východním směrem od Liberce. Ortograficky patří její území do komplexu Jizerských hor a je součástí CHKO Jizerské hory. (viz obr. č. 1) Tato obec také leží v oblasti tzv. Černého trojúhelníku. (Abraham et al., 1999)

Obec leží v mírně stoupajícím údolí mezi Tanvaldským Špičákem (831 m n. m.) a Mariánskou horou (874 m n. m.). Měřicí aparatura byla umístěna v sedle údolí v nadmořské výšce 610 m. Obec obklopují ze strany Tanvaldského Špičáku i Mariánské hory lesy. Klimaticky se jedná spíše o horskou chladnější oblast s vysokým úhrnem srážek. Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu byla naměřena jako 7,0°C, zatímco průměrná teplota vzduchu v České republice za toto období byla 8,2°C. (Internet, ČHMI)

Albrechtice v Jizerských horách jsou malou turisticky oblíbenou obcí se 160 rodinnými domy pro stálé obyvatele, 270 rekreačními objekty a 25 pensiony. Ke konci roku 2005 v Albrechticích žilo 330 stálých obyvatel. (Internet ČSÚ, 2006 b)

V obci ani jejím nejbližším okolí není kromě lokálních topenišť žádný jiný významný zdroj znečištění ovzduší. Nejbližším podnikem je továrna na dřevěné hračky Detoa s. r. o. v obci Jiřetín pod Bukovou horou, která byla od měřicí aparatury vzdálená asi 3 km vzdušnou čarou. Dnes již je však tento podnik plně plynofikován. Nejbližším větším městem je Jablonec nad Nisou, který je od Albrechtic vzdálen asi 10 km jihozápadním směrem. Obec vede silnice třetí třídy, která není příliš mnoho vytížená. Měřicí aparatura byla umístěna ve vzdálenosti asi 45 m od kraje silnice a asi 65 m od nejbližšího domu, kde se využívá lokální topeniště. Charakteristika obce podle způsobu vytápění domácností byla zjišťována anketou, která proběhla začátkem roku 2007 formou řízeného rozhovoru. Touto formou bylo dotázáno bylo 32 domácností.

V malé obci probíhalo měření po dobu 15 měsíců od 27. června 2005 do 21. září 2006. Bylo tedy možné porovnat data získaná v topné sezóně 2005/2006 a dvou mimotopných sezónách 2005 a 2006. Tato období byla dělena podle průměrné měsíční teploty. Za topnou sezónu 2005/2006 bylo považováno období, kdy průměrná měsíční teplota nestoupala nad 6°C. Tímto obdobím byl listopad 2005 až duben 2006. Do mimotopné sezóny 2005 byly zahrnuty měsíce červen 2005 až říjen 2005 a do mimotopné sezóny 2006 měsíce květen 2006 až září 2006.



Měřeny byly koncentrace aerosolových částic PM<sub>10</sub>. Koncentrace PM<sub>10</sub> byly měřeny pomocí DustTraku a Harvard impaktoru. Měřeny byly i koncentrace Black Smoke (BS). Dále byla automatickým teploměrem a vlhkoměrem Comet ve 30 minutových intervalech sledována teplota a relativní vlhkost. V Albrechticích byla měřena teplota od 19. prosince 2005 do 21. září 2006 korelace mezi těmito teplotami a teplotami, které byly naměřeny v rámci AIM na Souši pro toto období byla velmi silná a to  $r = 0,92$ . Z tohoto důvodu byly pro vyjádření vztahu koncentrací částic a teploty použity průměrné denní teploty naměřené na Souši pro období celých sledovaných patnácti měsíců.

#### 4.1. DustTrak

Pro měření koncentrací částic PM<sub>10</sub> byl ve sledované malé obci použit čítač částic DustTrak (TSI Model 8520). Takto byly měřeny průměrné 15 minutové koncentrace aerosolových částic. Takovýto interval byl zvolen z toho důvodu, aby bylo možno sledovat dynamiku koncentrací částic PM<sub>10</sub> v průběhu dne.

Ve sledované malé obci probíhalo měření koncentrací PM<sub>10</sub> touto metodou po 391 dnů. Přístrojem byly měřeny koncentrace od 27. června 2005 do 21. září 2006. V době od 21. ledna 2006 do 18. března 2006 bylo z technických důvodů měření touto metodou přerušeno. Z důvodu obavy o poškození přístroje muselo být měření přerušeno také při velmi nízkých teplotách pod  $-15^{\circ}\text{C}$ . Z tohoto důvodu měření koncentrací částic neprobíhalo po pět dnů.

DustTrak je laserový fotometrický přístroj, který měří hmotnostní koncentraci částic pomocí techniky rozptylu světelného paprsku na povrchu částic. Infračervený paprsek vychází z plynové-laserové diody pod úhlem  $90^{\circ}$ . Přístroj udává hodnotu koncentrace PM<sub>10</sub> v  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Tímto přístrojem je možno sledovat koncentrace i frakcí PM<sub>2,5</sub> a PM<sub>1</sub>, k tomu je však nutné předřadit impaktor. Naměřené koncentrace částic se ukládají do datalogeru přístroje. Koncentrace byly měřeny v režimu LOG1. Logging interval byl zvolen, jak již bylo uvedeno, jako 15 minut. Hodnota koncentrací částic, která byla uložena do paměti přístroje tedy odpovídala 15 minutovému průměru.

DustTrak byl trvale pevně umístěn v uzavřeném kufříku se vzorkovacím nástavcem. Před vstupem do přístroje byla předřazena nádobka na zachytávání srážkové vody. Z této nádobky byla voda pravidelně vylívána. Přístroj je napájen elektrickým proudem (220 V). Pro případ výpadku proudu byly v přístroji umístěny ještě čtyři baterie typu C.

Pravidelně byl také měřen průtok pomocí průtokoměru a pomocí nulového filtru bylo kontrolováno nulové nastavení. Pokud byla zobrazovaná hodnota při nasazení nulového filtru jiná než  $-0,001 - 0,001 \text{ mg/m}^3$  byla nastavena nula. Toto nastavení byla kontrolováno v intervalu přibližně čtrnácti dnů, při velkých změnách teplot probíhala kontrola častěji.

Každé měření pomocí DustTraku ve sledované lokalitě je doloženo protokolem, kde jsou zapsány základní údaje, jako je lokalita, datum, čas zapnutí a vypnutí přístroje, procento volné paměti, hodnota průtoku, zobrazená hodnota při nasazení nulového filtru a zda byl přístroj vynulován. Dále bylo uváděno datum a čas jakékoli manipulace s přístrojem, jako třeba vylití vody z nádoby.

Nejistota při měření koncentrací pomocí DustTraku je způsobena vlivem povrchu částic. Výpočet koncentrace totiž vychází z aerodynamického průměru částic a jedná se tedy o měření směsi částic různé morfologie. Na naměřenou koncentraci částic má vliv vzdušná vlhkost a teplota. Při nízkých teplotách a vysoké vlhkosti vzduchu má DustTrak tendenci nadhodnocovat.

## 4.2. Black Smoke

Použita byla i metoda OECD Black Smoke (BS), která je aktivní metodou odběru aerosolu. Důvodem použití metody v této studii byl předpoklad, že ve sledované lokalitě se vyskytuje velké množství částic, které se uvolňují při spalovacích procesech v lokálních topeništích. Měření částic BS probíhalo od 7. října 2005 do 20. září 2006. Níže uvedeným způsobem bylo ve sledované obci exponováno 287 filtrů. Celkového počtu exponovaných filtrů muselo být 19 vyřazeno z různých důvodů, kterými byly výpadek elektrického proudu, roztrhnutí filtru a jiné technické chyby. Celkem tedy bylo vyhodnoceno 268 exponovaných filtrů.

Použitá metoda měření BS je metodou aktivního odběru aerosolu. Vzduch je prosáván nízkou rychlostí přes papírový filtr. Částice se zachytávají na Whatman filtru č. 1 pomocí nízkoodběrového zařízení. Touto metodou se částičky menší než  $4 \mu\text{m}$  zachytí na filtru s 50% účinností. Reflektance zachycených částic je následně měřena „Smoke stain“ reflektometrem M43D, který je nastavený na 100% pomocí čistého filtru. Reflektance se potom měří u exponovaných filtrů. Čím je exponovaný filtr tmavší, tím je naměřená reflektance nižší.

Měřicí jednotka Black Smoke se skládá z pumpy, tlakoměru, suchého plynoměru, držáku filtru a vstupní nálevky. Vše je propojeno plastovými hadicemi, jejichž poloměry ohybu jsou co největší, přístroj je napájen elektrickým proudem (220 V). Vstupní nálevka je umístěna na stojanu ve svislé poloze ve výšce kolem 160 cm, to je místo vdechování člověka průměrné výšky. Papírový filtr je umístěn v kazetě, která je vložena v držáku. Držák s filtrem je zavěšený na stojanu. Průtok je regulován tzv. kritickým otvorem, což je skleněná trubice zužující se do kapiláry umístěná v hadici před pumpou. Maximální možný průtok plynu je dán průměrem otvoru, délkou kapiláry a tlakovým rozdílem na vstupu a výstupu kritického otvoru. Průtok je měřen pomocí suchého plynoměru.

Záchyt aerosolu byl prováděn na papírové filtry Whatman č. 1. Filtry byly vždy označeny číslem a vloženy do kazety. V plastovém pouzdru byly kazety s filtry přemístěny do místa odběru. Kazety s filtry byly vloženy do držáku a následně spuštěna odběrová aparatura.

Po 24 hodinové expozici byly filtry i s kazetou opatrně vyjmuty z držáku a vloženy do plastového pouzdra. Následně byla u každého filtru měřena reflektance „Smoke stain“ reflektometrem M43D, který měřil procentuální tmavost filtru. Reflektance každého filtru byla měřena pětkrát na různých místech filtru. Z toho byl vypočítán průměr a standardní odchylku měření. Z toho byla vypočítána koncentrace částic.

Výměna filtrů probíhala denně okolo 17 hodin. Vzhledem k delší době expozice ve dny vypnutí aparatury je k danému číslu filtru přiřazeno vždy datum dne vypnutí aparatury po 24 hodinové expozici.

Každé měření BS ve sledované lokalitě je doloženo protokolem, kde jsou zapsány základní údaje, jako je číslo filtru, lokalita, zapojení spínače, datum, čas chodu pumpy, čas zapnutí, čas vypnutí pumpy a hodnota na suchém plynoměru na začátku a na konci měření.

Výsledné 24 hodinové koncentrace BS byly vypočítány podle následujícího vzorce:

$$S = 602,4 - 21,89R + 3,26 \times 10^{-1} R^2 - 2,32 \times 10^{-3} R^3 + 6,48 \times 10^{-6} R^4$$

Následně se vypočítá koncentrace BS v ovzduší podle vzorce:

$$C = AS(V_1 - V_0)$$

A – plocha exponované části filtru

$V_1 - V_0$  – objem vzduchu, který prošel přes filtru

C – výsledná koncentrace

### 4.3. Harvard impaktor

Ve sledované lokalitě byly pomocí Harvard impaktoru měřeny 24 hodinové koncentrace  $PM_{10}$  od 22. ledna 2006 do 20. září 2006. Níže uvedeným způsobem byly ve sledované obci exponovány 202 filtry. Celkového počtu exponovaných filtrů muselo být 14 vyřazeno z různých důvodů, kterými byly výpadek elektrického proudu, roztrhnutí filtru a jiné technické chyby. Celkem tedy bylo vyhodnoceno 188 exponovaných filtrů.

Použitá metoda měření  $PM_{10}$  pomocí aktivního maloodběrového zařízení Harvard impaktoru je založena na principu nasávání vzduchu pumpou přes membránový filtr, kde se aerosol zachytává. V impaktorové hlavici je vlastnímu filtru předřazena tzv. impakční destička, která je umístěna čelně proti otvoru, kterým je do přístroje nasáván vzduch. Díky svému specifickému tvaru a zvlhčení silikonovým olejem způsobuje, že částice větší než 10  $\mu m$  nejsou díky své setrvačnosti schopny sledovat zakřivení směru proudění a narážejí do impakční destičky.

Na filtru jsou přibližně s 50% účinností zachytávány částice aerosolu o aerodynamickém průměru 10  $\mu m$ , jemnější částice jsou zachytávány s účinností téměř 100%. Množství zachyceného aerosolu se stanoví gravimetricky, vážením filtru ekvilibraovného na konstantní vzdušnou vlhkost před a po expozici. Pro správnou funkci impakční destičky je nutné dodržovat předepsanou rychlost nasávání vzduchu, v tomto případě 10 l/min a zachovávat geometrickou konfiguraci.

Měřicí jednotka Harvard impaktoru se skládá z pumpy, časoměru a vlastní impaktorové hlavice. Vše je propojeno plastovými hadicemi, jejichž poloměry ohybu jsou co největší, přístroj je napájen elektrickým proudem (220 V).

Impaktorová hlavice je umístěna na stojanu ve svislé poloze základnou vzhůru ve výšce kolem 160 cm, to je místo vdechování člověka průměrné výšky. Kazeta s filtrem a podložkou je umístěna v základně impaktoru a je utěsněna dvěma plochými těsněními a fixačním gumovým kroužkem. V další části impaktoru je vložena impakční destička. Ta je vždy umístěna zdrsněným terčem, který je navlhčený silikonovým olejem, čelně proti vstupní trysce. Impaktor je ukončen vstupním nástavcem, který je snadno snímatelný pro připojení průtokoměru. Všechny díly impaktoru jsou na sebe nasouvatelné a jsou utěsněny gumovými o-kroužky. Pro snadnější manipulaci jsou těsnění lehce natřena silikonovým olejem.

Pro správné měření Harvard impaktorem nutné udržovat kontinuální nasávání vzduchu rychlostí kolem 10 l/min. průtok je regulován tzv. kritickým otvorem, což je skleněná trubice zužující se do kapiláry umístěná v hadici před pumpou. Maximální možný průtok plynu je 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. Z průtokoměru byla odečítána hodnota na stupnici, která odpovídala poloze středu kuličky v mm. Hodnotu průtoku v l/min byla získána přepočtem hodnot ze stupnice průtokoměru pomocí kalibrační křivky. Vzhledem k tomu, že byl použitý rotametr kalibrovaný na teplotu 21°C, byla provedena ještě korelace hodnot podle teplot, při nichž byl průtok měřen. K tomu byla použita kalibrační křivka převzatá od Donkelaara (1996).

Záchyt aerosolu byl prováděn na membránové teflonové filtry o průměru 37 mm a s velikostí pórů 2 µm. Filtry byly vždy před vložením do impaktoru označeny číslem a vloženy minimálně na 24 hodin do exsikátoru s nasyceným roztokem uhličitánu draselného, ten zajistil konstantní vlhkost vzduchu (při 24°C - 50% vlhkost). Takto připravené filtry byly zváženy na váhách Mettler Toledo MX5.

Do impaktoru byly filtry vkládány v plastových kazetách podložené polypropylenovou podložkou, která mechanicky bránila prohýbání filtru vlivem podtlaku. Kazety s filtry byly navíc zajištěna dvěma tenkými proužky izolepy. Do místa odběru byly kazety s filtry přemísťovány ve sterilních Petriho miskách a zabalené v mikroténových sáčcích, aby bylo zabráněno kontaminaci.

Po 24 hodinové expozici byly filtry i s kazetou opatrně vyjmuty z impaktoru a vloženy do Petriho misek. Následně byly exponované filtry vloženy alespoň na 24 hodin do exsikátoru s roztokem uhličitánu draselného a poté byly za konstantní vlhkosti zváženy. Zvážené exponované filtry byly pro případnou další analýzu uchovány v označených Petriho miskách zajištěných izolepou. Z rozdílu hmotností filtrů před a po expozici bylo zjištěno množství zachyceného aerosolu. Kazeta byla po rozebrání omyta ve vodě se saponátem, opláchnuta v lihu a poté se nechala oschnout na čistém filtračním papíře. Polypropylenová podložka pod filtr byla rovněž opláchnuta lihem. Takto byla kazeta připravena pro další použití.

Výměna filtrů probíhala denně okolo 17 hodin. Vzhledem k delší době expozice ve dny vypnutí aparatury je k danému číslu filtru přiřazeno vždy datum dne vypnutí aparatury po 24 hodinové expozici. S filtry bylo manipulováno zásadně pomocí pinzety s plochými špičkami uchopením za pevný okraj filtru. Předcházelo se tak případné kontaminaci nebo poškození filtrů.

Impakční destička složí v impaktoru jako separátor částic. Svým specifickým tvarem a umístěním zdrsňeného napuštěného terče čelně proti vstupní trysce brání vstupu částic velkých rozměrů na filtr. Destička byla vyměňována stejně jako filtr každý den. Použité destičky byly důkladně omyty vodou se saponátem, lihem a nechaly se oschnout. Před umístěním do impaktoru byla pomocí štětečku napuštěna jednou kapkou oleje povrchně upravená část destičky. Podobně jako kazeta s filtrem byla destička přemísťována do místa odběru v čisté Petriho misce zajištěné izolepou.

Spolehlivost měření byla ověřována prováděním tzv. slepých pokusů. S těmito filtry bylo nakládáno stejně jako při normální měření, jen s tím rozdílem, že přes ně nebyl prosáván vzduch. Byly tedy do impaktoru vloženy a bezprostředně poté vyjmuty. Celkem bylo provedeno 22 slepých pokusů, což je 11% procent všech použitých filtrů. Tyto slepé pokusy které byly použity pro výpočet detekčního limitu zkoumaných koncentrací  $PM_{10}$ . Detekční limit byl vypočítán jako trojnásobná směrodatná odchylka průměrné hodnoty rozdílů hmotností slepých pokusů. Detekční limit odpovídal hodnotě  $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Každé měření  $PM_{10}$  ve sledované lokalitě je doloženo protokolem, kde jsou zapsány základní údaje, jako je číslo filtru, lokalita, zapojení časového spínače, datum, čas chodu pumpy, čas zapnutí, čas vypnutí pumpy, odečet průtokoměru na začátku a na konci měření.

Digitální hodiny na aparatuře určují přesný čas chodu pumpy, přesto je nutné při každém měření zapsat čas zapnutí a vypnutí pumpy změřený na ručních hodinkách. Lze tak zjistit, jestli nebyl náhodou během expozice přerušen běh pumpy, například při přerušeni dodávky elektrického proudu.

Výsledné 24 hodinové koncentrace aerosolové frakce PM<sub>10</sub> byly vypočítány podle následujícího vzorce:

$$C = \frac{M_1 - M_0}{V} \quad M_0 - \text{hmotnost filtru před expozicí}$$

M<sub>1</sub> – hmotnost filtru po expozici

V – Objem vzduchu, který prošel impaktorem

C – výsledná koncentrace

#### 4.4. Původ dat

Statisticky zpracována byla jednak vlastní data, která byla následně porovnána s daty získanými v rámci Automatického imisního monitoringu (AIM), která poskytl ČHMÚ. K dispozici byla data ze tří stanic, kterými byly Souš, Jablonec nad Nisou a Liberec. Na Souši se nachází venkovská pozadřová stanice a v Jablonci nad Nisou a Liberci městské stanice.

Pozadřová stanice na Souši (kód LSOU0 a identifikace ISKO 1415) se nachází ve vzdálenosti vzdušnou čarou 4,0 km od aparatury ve sledované lokalitě. Stanice je umístěna ve velmi málo zvlněném terénu v nadmořské výšce 771 m. Tato stanice se nachází ve volné krajině, na rovině v náhorní poloze vedle vodní nádrže Souš. Z dat získaných na této stanici byly použity průměrné hodinové koncentrace částic PM<sub>10</sub>, která byla získána pomocí β-radiometrie, což je kontinuální radiometrická metoda, která je založena na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtrační pásce. Dalšími daty, která byla použita byla průměrná hodinová teplota měřená ve 2 metrech nad terénem, která byly získána odporovou metodou. Dále průměrná hodinová relativní vlhkost vzduchu, která byla měřena kapacitním čidlem a rychlost větru, která byla získávána také v hodinových intervalech pomocí optoelektrické metody. (Internet, ČHMÚ c)

Dále byla naše porovnána s daty získanými ve dvou městských lokalitách, kde jsou umístěny kontejnery AIM, v Jablonci nad Nisou a v Liberci. V Jablonci i Liberci se nacházejí stanice v obydlených lokalitách bez přímého zdroje z dopravy. V Jablonci nad Nisou žilo ke konci roku 2005 44 748 stálých obyvatel a v krajském městě Liberci v té době žilo 97 950 stálých obyvatel. (Internet, ČSÚ b)

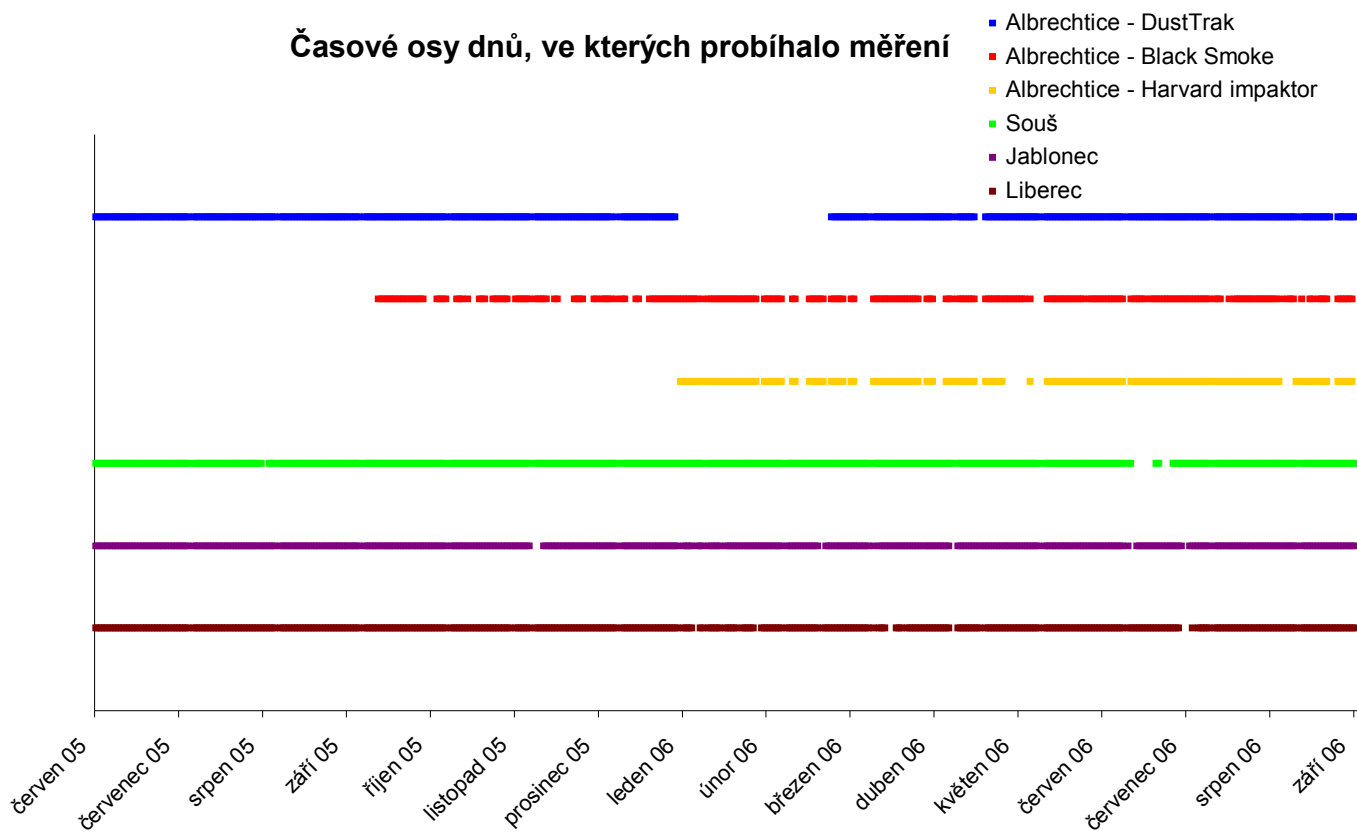
V Jablonci je stanice umístěna na ulici 28. října ve čtvrti s nízkopodlažní zástavbou (kód LJNMA a identifikace ISKO 1017). Tato stanice se nachází ve vzdálenosti 9,9 km vzdušnou čarou od aparatury ve sledované lokalitě. Stanice je umístěna na pozvolném svahu v nadmořské výšce 500 m. Z dat naměřených na této stanici byly použity průměrné denní koncentrace  $PM_{10}$  vypočítané z průměrných hodinových koncentrací. Tato data byla získána pomocí  $\beta$ -radiometrie. (Internet, ČHMÚ d)

Stanice v Liberci je umístěna na Náchodské ulici na sídlišti s vysokopodlažní zástavbou (kód LLIM0 a identifikace ISKO 1613). Tato stanice se nachází ve vzdálenosti 16,7 km vzdušnou čarou od aparatury ve sledované lokalitě. Stanice je umístěna ve velmi málo zvládném terénu v nadmořské výšce 350 m. Z dat naměřených na této stanici byly použity, stejně jako u dat z Jablonce, průměrné denní koncentrace  $PM_{10}$  vypočítané z průměrných hodinových koncentrací. Tato data byla získána též pomocí  $\beta$ -radiometrie. (Internet, ČHMÚ e)

Měření koncentrací  $PM_{10}$  v ovzduší, které probíhalo v Albrechticích v Jizerských horách, trvalo 452 dnů. Z těchto 452 dnů probíhalo měření  $PM_{10}$  pomocí DustTraku nebo Harvard impaktoru (nebo pomocí obou přístrojů dohromady) po dobu 435 dnů. To znamená, že v průběhu sledovaných 15 měsíců se koncentrace  $PM_{10}$  v Albrechticích neměřily po dobu celkem 17 dnů. Pro srovnání v rámci AIM se na Souši a v Jablonci ve sledované době neměřily koncentrace  $PM_{10}$  celkem po dobu 14 dnů a v Liberci po dobu 21 dnů. (viz obr. č. 2)



Obr. č. 2: : Časové osy dnů, ve kterých probíhalo v celém sledovaném období měření koncentrací PM<sub>10</sub> a BS v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a Liberci.



#### 4.5. Zpracování dat

Výsledný průměr denních koncentrací PM<sub>10</sub>, pro celé sledované období, byl získán z denních koncentrací získaných pomocí DustTraku a Harvard impaktoru. Koncentrace naměřené pomocí obou metod spolu silně korelovaly. K výpočtu této hodnoty bylo využito pro období od 27. června 2005 do 20. ledna 2006 a pro období od 19 března 2006 do 21. září 2006 denních koncentrací získaných pomocí DustTraku. Měření koncentrací pomocí DustTraku muselo být z technických důvodů od 21. ledna 2006 do 18. března 2006 přerušeno. V této době se již ovšem měřily koncentrace PM<sub>10</sub> pomocí Harvard impaktoru, proto k výpočtu průměru denních koncentrací byly v době od 21. ledna 2006 do 18. března 2006 použity koncentrace PM<sub>10</sub> získané pomocí Harvard impaktoru. Tímto způsobem byl získán průměr denních koncentrací za 435 dnů ze sledovaného období, které trvalo 452 dnů.

Od 21. září 2006 byla veškerá měřicí aparatura přemístěna do prostoru Souše v Jizerských horách, kde je stabilně umístěn kontejner AIM. Až do 4. listopadu 2006 tam probíhala měření v kolokaci s měřením AIM. Toto kolokační měření bylo provedeno z toho důvodu, aby bylo možné porovnat měření použité aparatury se standardní metodou a odhalit možnou chybu našeho měření.

Byla porovnána data  $PM_{10}$  a BS získaná v malé obci. U těchto dat byl proveden výpočet základních údajů jako je průměr, medián, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota a počet provedených měření. Medián byl uváděn vedle průměru proto, že rozložení dat se odlišovalo od normálního a blížilo se lognormálnímu rozložení, které byla předpokládáno.

Tato měření, která byla provedena ve sledované malé obci, byla analyzována jednak souhrnně, ale také odděleně pro topnou sezónu 2005/2006 a dvě mimotopné sezóny 2005 a 2006 a pro jednotlivé měsíce. Na zimní a letní sezóny byla data dělena z důvodu různých meteorologických podmínek, které mohly ovlivnit metodu sběru dat. Následně byl zjišťován vztah mezi naměřenými daty pomocí Spearmanova korelačního koeficientu ( $p < 0,05$ ), rovnice regresní přímky a koeficientu determinace.

Při analýze získaných dat z měření, které probíhalo pomocí aparatury použité ve sledované malé obci v kolokaci s měřením v rámci AIM na Souši, byl zjišťován vztah získaných dat. Tento vztah byl analyzován pomocí Spearmanova korelačního koeficientu ( $p < 0,05$ ), rovnice regresní přímky a koeficientu determinace.

Dále byla porovnána data, která byla získána v Albrechticích s daty získanými v rámci AIM v Jablonci, V Liberci a na Souši. Pro toto srovnání byla použita pro koncentrace  $PM_{10}$  v Albrechticích, jak už bylo uvedeno, data z DustTraku a pro období necelých dvou měsíců, kdy byl DustTrak v opravě data z Harvard impaktoru. U těchto dat byl proveden výpočet základních údajů jako je průměr, medián, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota a počet provedených měření.

Tato měření byla analyzována jednak souhrnně, ale také odděleně pro topnou sezónu 2005/2006 a dvě mimotopné sezóny 2005 a 2006 a pro jednotlivé měsíce. Koncentrace  $PM_{10}$  získané ve čtyřech zmíněných lokalitách porovnána také pomocí Kruskal-Wallis testu ( $p < 0,05$ ) pro celé období a topnou a mimotopné sezóny. Bylo zjišťováno, kolikrát byl ve všech lokalitách za sledované období překročen imisní limit pro  $PM_{10}$ . Byl také zjišťován vztah získaných dat. Tento vztah byl analyzován pomocí Spearmanova korelačního koeficientu ( $p < 0,05$ ), rovnice regresní přímky a koeficientu determinace.

Dále byla zjišťována závislost mezi předpokládanou závisle proměnnou, kterou byly denní koncentrace  $PM_{10}$  a BS a nezávisle proměnnou, kterou byla průměrná denní teplota. Tento vztah byl zjišťován pomocí Spearmanova korelačního koeficientu ( $p < 0,05$ ) (dále jen korelačního koeficientu, korelace), rovnice regresní přímky a koeficientu determinace.

Tento vztah byl analyzována jednak souhrnně, ale také odděleně pro topnou sezónu 2005/2006 a dvě mimotopné sezóny 2005 a 2006 a pro jednotlivé měsíce. Následně byl ještě analyzován vztah průměrné denní rychlosti větru a koncentrací  $PM_{10}$  a celkový vztah teploty a rychlosti větru ke koncentracím  $PM_{10}$ . Zkoumány byly ještě maximální a minimální denní koncentrace  $PM_{10}$ , které byly naměřeny v intervalu patnácti minut. Uvedené výpočty byly prováděny pomocí programu Excel a statistického programu NCSS 6.0.

## 5. Výsledky

Data získaná pomocí DustTraku, Harvard impaktoru a BS v Albrechticích spolu silně korelovaly po celé sledované období. Všechny korelace byly zjištěny jako statisticky významné ( $p < 0,05$ ). Vztah mezi daty získanými pomocí DustTraku a Harvard impaktoru byl v celém sledovaném období velmi těsný. Data získaná pomocí BS o něco více korelovala s koncentracemi  $PM_{10}$  v zimě než v létě, i když v létě byl tento vztah také velmi těsný. (viz tab. č. 1 a obr. č. 3, 4 a 5 a 6 a 7 v příloze)

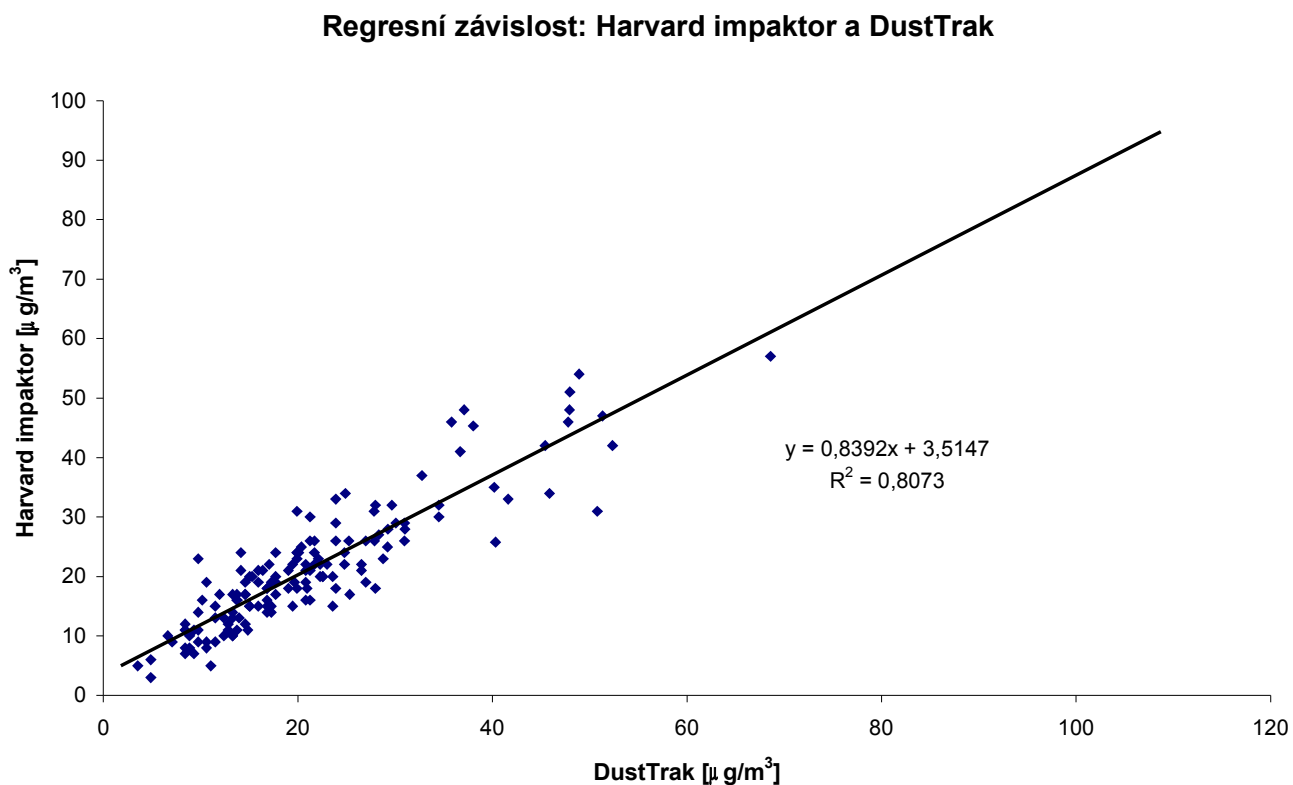
Tab. č. 1: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) pro koncentrace naměřené pomocí DustTraku, Harvard impaktoru a Black Smoke v jednotlivých obdobích.

<b>Topná i mimotopná sezóna</b>	<b>DustTrak</b>	<b>Harvard impaktor</b>
<b>Harvard impaktor</b>	0,88	1
<b>Black Smoke</b>	0,87	0,81

<b>Topná sezóna 2005/2006</b>	<b>DustTrak</b>	<b>Harvard impaktor</b>
<b>Harvard impaktor</b>	0,86	1
<b>Black Smoke</b>	0,90	0,85

<b>Mimotopná sezóna 2006</b>	<b>DustTrak</b>	<b>Harvard impaktor</b>
<b>Harvard impaktor</b>	0,90	1
<b>Black Smoke</b>	0,68	0,76

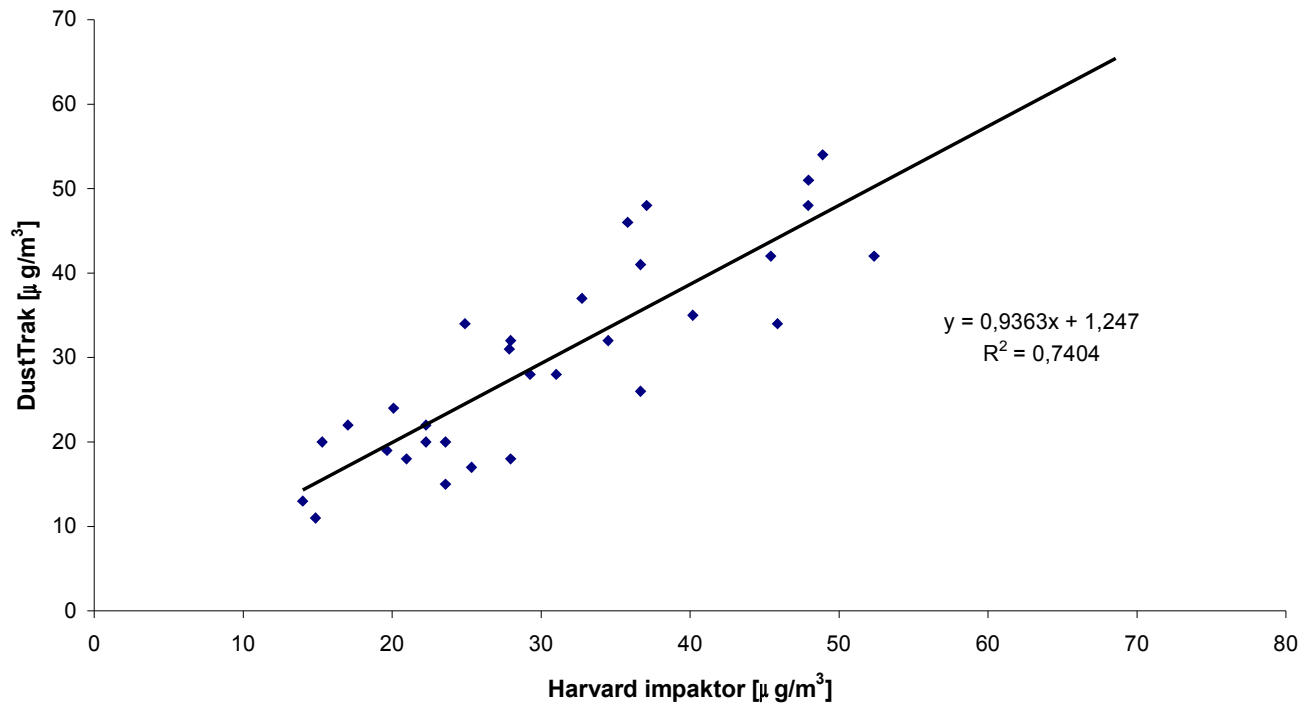
Obr. č. 3: Regresní závislost mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> naměřenými pomocí DustTraku a Harvard impaktoru za celé sledované období v Albrechticích.



Protože koncentrace získané pomocí Harvard impaktoru a standardní metody při kolokačním měření na Souši silně korelovaly (viz níže), byla výsledná koncentrace částic PM<sub>10</sub> vypočítána pomocí srovnání denních koncentrací naměřených pomocí DustTraku a Harvard impaktoru. V zimních měsících DustTrak nadhodnocoval denní koncentrace oproti Harvard impaktoru v průměru 2,45x ( $\pm 0,45$ ). V letních měsících DustTrak nadhodnocoval hodnoty oproti Harvard impaktoru o něco méně a to v průměru o 2,21x ( $\pm 0,42$ ). Těmito průměry tedy byly přepočítány koncentrace naměřené pomocí DustTraku a získány tak výsledné koncentrace PM<sub>10</sub>. (viz obr. č. 4 a 5)

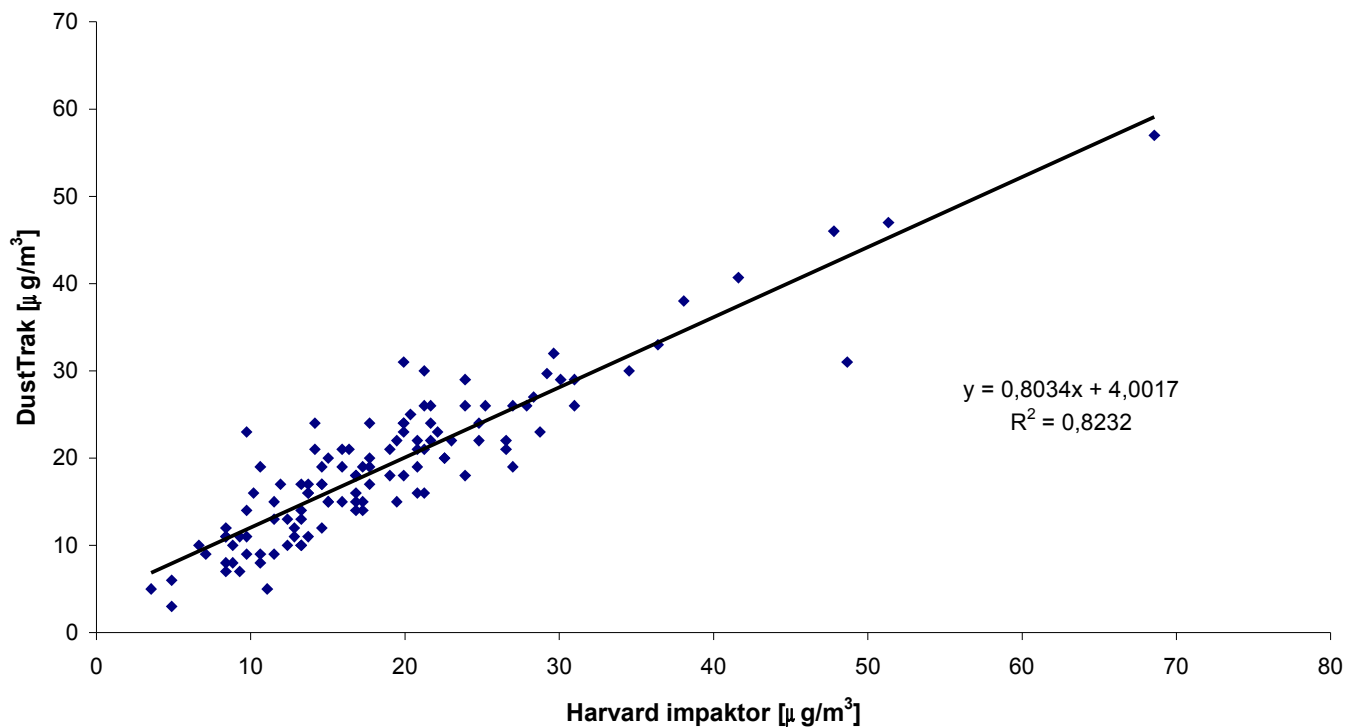
Obr. č. 4: Regresní závislost mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> naměřenými pomocí DustTraku a Harvard impaktoru v topné sezóně 2005/2006 v Albrechticích.

**Regresní závislost: Harvard impaktor a DustTrak topná sezóna 2005/2006**



Obr. č. 5: Regresní závislost mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> naměřenými pomocí DustTraku a Harvard impaktoru v mimotopné sezóně 2006 v Albrechticích.

### Regresní závislost: Harvard impaktor a DustTrak mimotopná sezóna 2006



Od 22. září 2006 do 4. listopadu 2006 byla veškerá aparatura, která byla použita ve sledované malé obci, přemístěna na blízkou stanici AIM na Souši. Zde probíhalo po necelé dva měsíce měření pomocí této aparatury v kolokaci s měřením AIM. Během tohoto kolokačního měření na Souši bylo získáno 29 denních koncentrací pomocí DustTraku, 29 pomocí Harvard impaktoru a 19 pomocí BS.

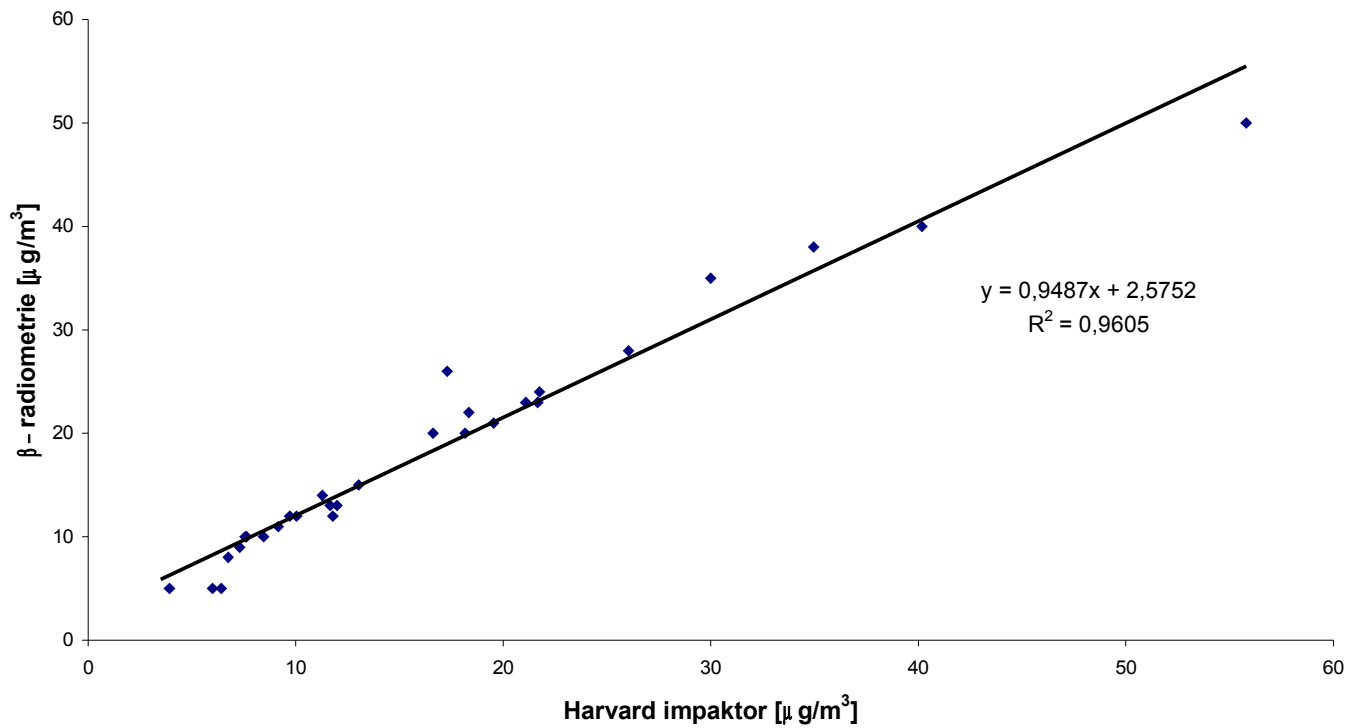
Během tohoto měření na Souši byly zjištěny statisticky významné korelace ( $p < 0,05$ ) mezi všemi metodami, kterými byly zjišťovány koncentrace PM<sub>10</sub>. To znamená mezi DustTrakem, Harvard impaktorem a  $\beta$ -radiometrií, kterou se měří koncentrace PM<sub>10</sub> na Souši v rámci AIM. (viz obr. č. 8 a 9) Koncentrace BS byly zjištěny velmi nízké a nebyla mezi nimi a koncentracemi PM<sub>10</sub> zjištěna statisticky významná korelace. Na Souši byla zjištěna nepřímá úměrnost mezi BS a PM<sub>10</sub>. (viz tab. č. 2)

Tab. č. 2: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) pro metody použité při kolokačním měření na Souši.

Kolokační měření	DustTrak	Harvard impaktor	Black Smoke
Harvard impaktor	0,95	1	
Black Smoke	-0,55	-0,47	1
$\beta$ -radiometrie AIM	0,95	0,97	-0,59

Obr. č. 8: Regresní závislost mezi koncentracemi  $PM_{10}$  získanými pomocí Harvard impaktoru a  $\beta$ -radiometrie (AIM) při kolokačním měření na Souši

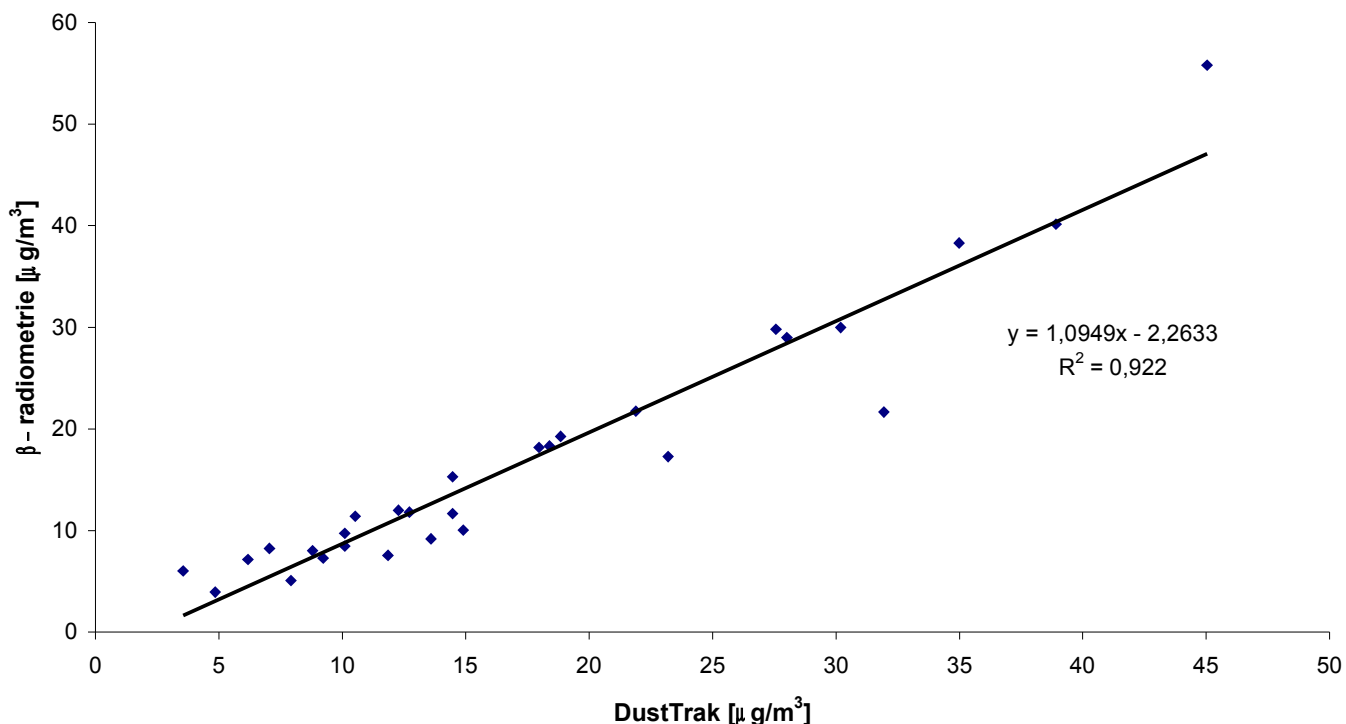
### Regresní závislost: Harvard impaktor a $\beta$ -radiometrie (AIM)





Obr. č. 9: Regresní závislost mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> získanými pomocí DustTraku a β-radiometrie (AIM) při kolokačním měření na Souši.

### Regresní závislost: DustTrak a β - radiometrie (AIM)

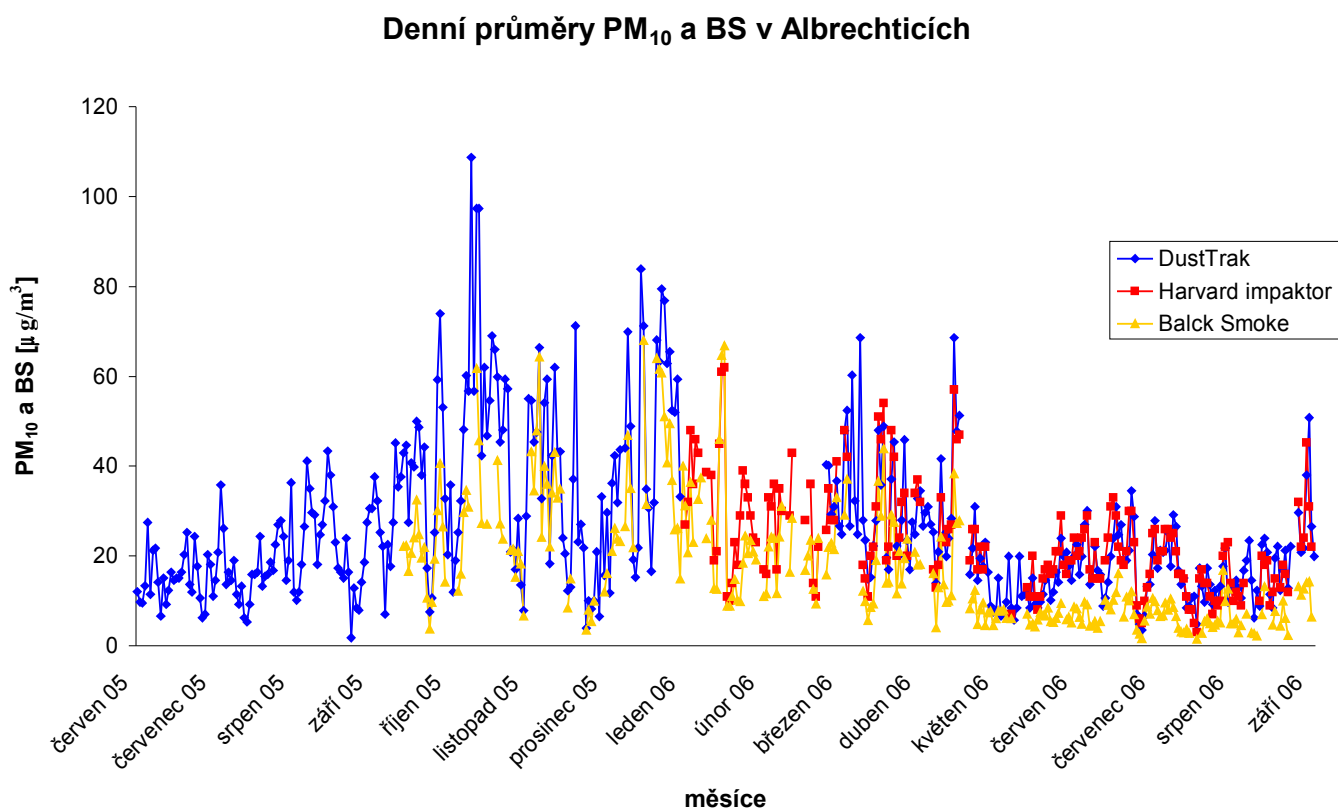


Rozdíl mezi koncentracemi částic PM<sub>10</sub> a BS, který je vyjádřený jako hodnota v průsečíku osy y s regresní přímkou PM<sub>10</sub> a BS, když koncentrace BS byly na ose x byl 8,63 µg/m<sup>3</sup> pro celé sledované období. Pro topnou sezónu 2005/2006 byl tento rozdíl o něco menší a to 5,69 µg/m<sup>3</sup>. Pro mimotopnou sezónu 2006 byl rozdíl mezi koncentracemi těchto částic zaznamenán větší než v zimním období a to 9,52 µg/m<sup>3</sup>.

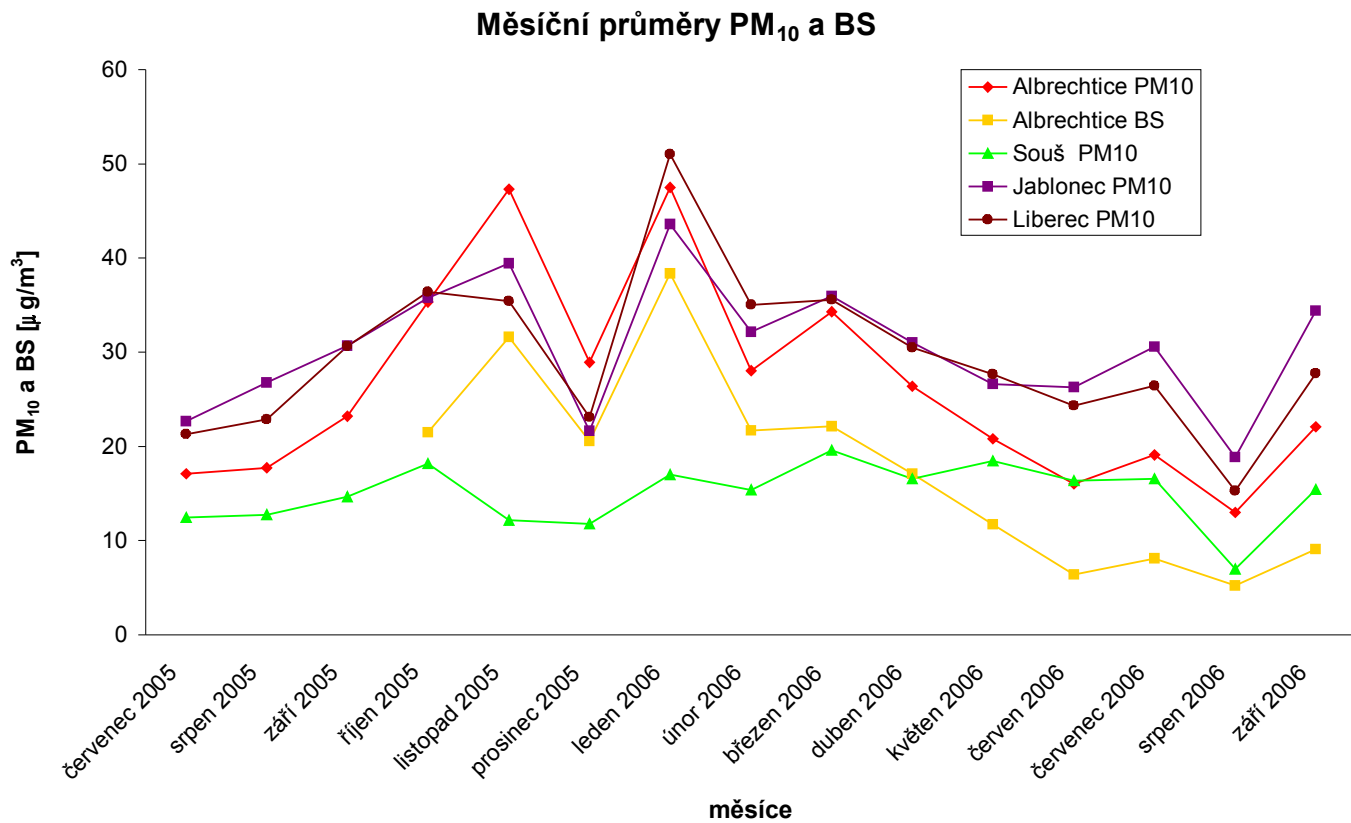
Pro celé sledované období byl průměr mezi denními koncentracemi BS/PM<sub>10</sub> zjištěn jako 0,59. Tyto poměry se pro jednotlivé dny pohybovaly od 0,18 do 1,34. Pro topné období 2005/2006 byl tento poměr o něco vyšší a to 0,73. Minimální poměr v tomto období byl 0,29 a maximální 1,34. V mimotopné sezóně 2006 byl tento průměrný poměr naopak o něco nižší a to 0,46. Minimum v tomto období bylo zjištěno jako 0,18 a maximum jako 1,30.

Za celé sledované období se průměry denních koncentrací částic PM<sub>10</sub> v porovnávaných lokalitách pohybovaly od 15 µg/m<sup>3</sup> na Souši do 30 µg/m<sup>3</sup> v Jablonci. Druhý největší průměr denních koncentrací byl naměřen v Liberci. V Albrechticích byla naměřeny třetí nevyšší koncentrace z porovnávaných lokalit. (viz obr. č. 10 a 11)

Obr. č. 10: Průběh denních koncentrací PM<sub>10</sub> naměřených pomocí DustTraku a Harvard impaktoru a koncentrací BS v Albrechticích za celé sledované období.

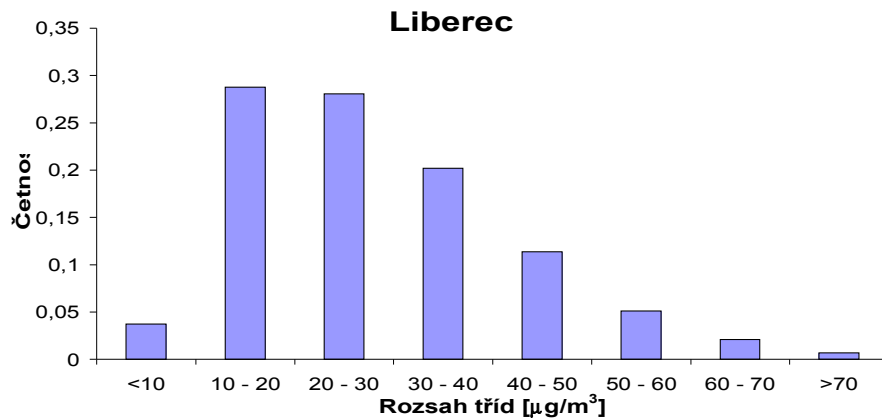
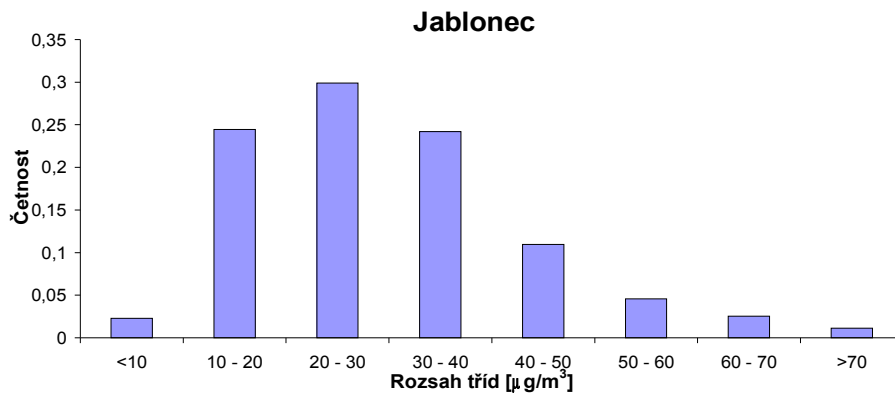
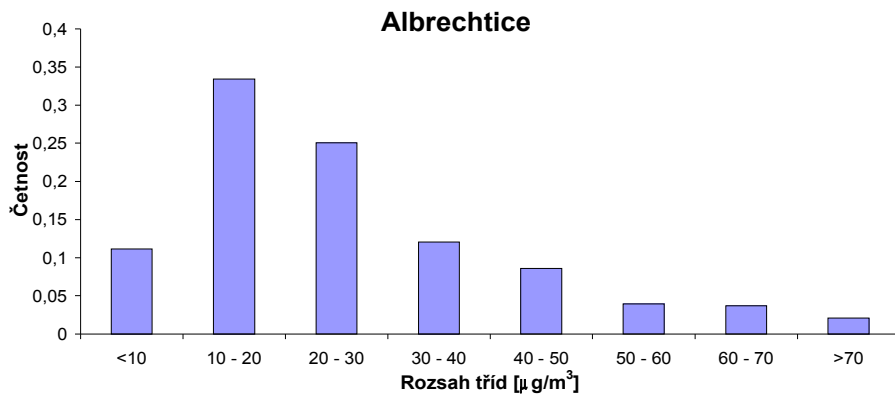


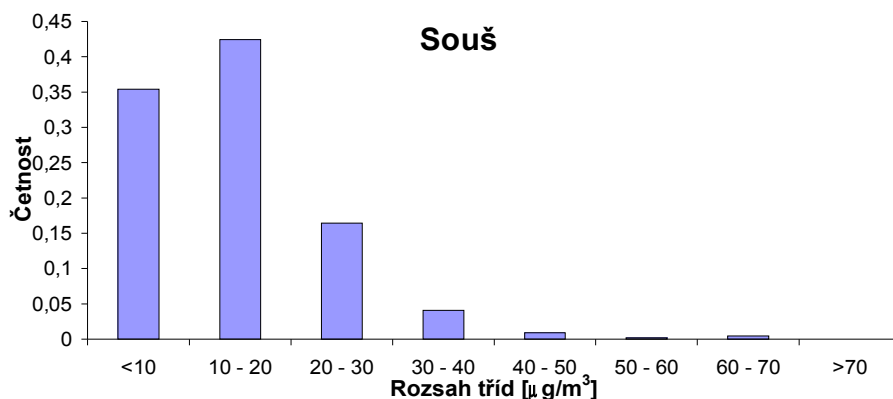
Obr. č. 11: Průměrné měsíční koncentrace PM<sub>10</sub> a BS v μg/m<sup>3</sup> v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a v Liberci za celé sledované období.



V Jablonci a Liberci se koncentrace částic ve sledovaném období vyskytovaly nejvíce v třídách od 10 do 40 μg/m<sup>3</sup>. V Albrechticích byly zaznamenány nejvyšší četnosti koncentrací ve třídách od 10 do 30 μg/m<sup>3</sup>. Na Souši byl nejčastější výskyt koncentrací zaznamenán ve třídách od 0 do 20 μg/m<sup>3</sup>. (viz obr. č. 12)

Obr. č. 12: Histogramy 24 hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> naměřených v celém sledovaném období v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a v Liberci.





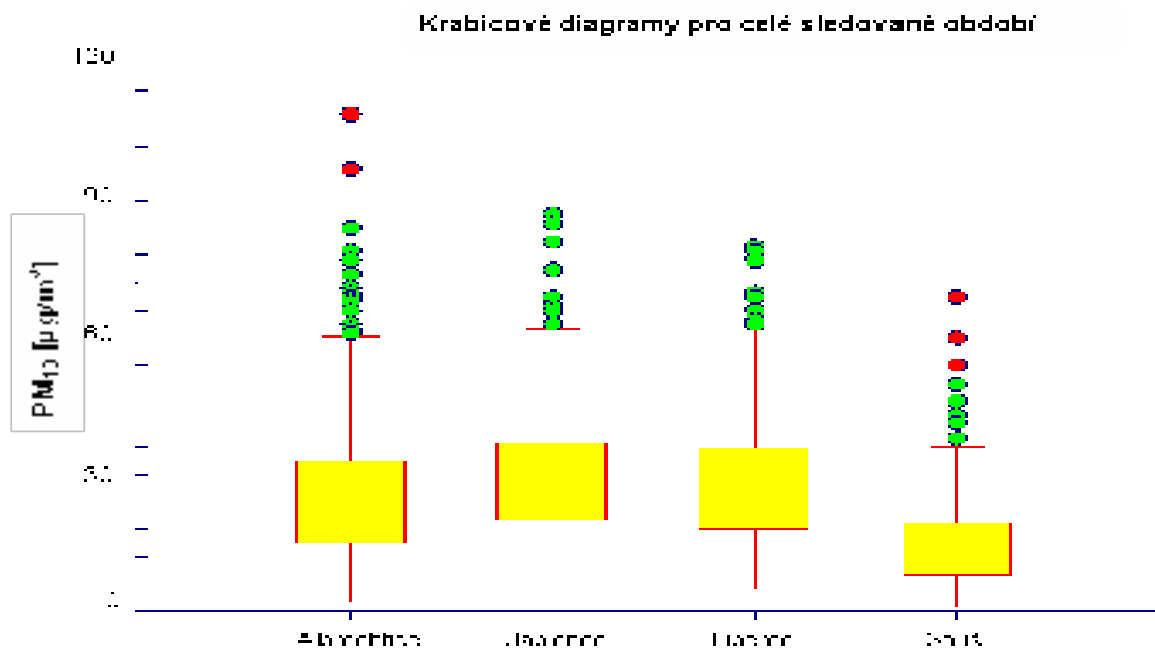
Ve sledované malé obci byl zaznamenán průměr denních koncentrací  $\text{PM}_{10}$ , za celé sledované období  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\pm 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Medián těchto koncentrací byl  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maximální koncentrace částic  $\text{PM}_{10}$ , která byla v Albrechticích naměřena, měla hodnotu  $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a minimální koncentrace měla hodnotu  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (viz obr. č. 13)

Maximální průměr denních koncentrací pro sledované období byl z porovnávaných lokalit zjištěn pro Jablonec nad Nisou. Průměr denních koncentrací v této lokalitě dosahoval hodnoty  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\pm 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Medián těchto koncentrací byl zjištěn jako  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maximální naměřená denní koncentrace v této lokalitě byla  $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a minimální koncentrace byla  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (viz obr. č. 13)

Druhý nejvyšší průměr denních koncentrací z porovnávaných lokalit za sledované období byl zjištěn v Liberci a to  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\pm 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Medián těchto koncentrací byl  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maximální naměřená denní koncentrace v této lokalitě měla hodnotu  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a minimální denní koncentrace hodnotu  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (viz obr. 13)

Oblastí s nejnižším průměrem koncentrací  $\text{PM}_{10}$  ze všech porovnávaných lokalit byla podle očekávání venkovská pozad'ová lokalita na Souši. Průměr denních koncentrací v této lokalitě byl zjištěn jako  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\pm 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Medián těchto denních koncentrací byl zjištěn jako  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maximální naměřená koncentrace měla hodnotu  $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a minimální koncentrace v této lokalitě byla  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (viz obr. 13)

Obr. č. 13: Krabicové diagramy koncentrací PM<sub>10</sub> v Albrechticích, Jablonci, Liberci a na Souši za celé sledované období. Linka uvnitř krabicového diagramu vyjadřuje medián. Krabicovým diagramem jsou omezeny 25 a 75 kvantil. Chybová úsečka ohraničuje nejnižší a nejvyšší hodnoty, které ještě nejsou odlehlé (méně než 1,5 vzdálenosti od 25/75 kvantilu) Zelené kroužky označují odlehlé hodnoty (mezi 1,5 a 3násobkem vzdálenosti od 25/75 kvantilu) Červené kroužky označují extrémní hodnoty (ve větší vzdálenosti než trojnásobek vzdálenosti od 25/75 kvantilu)



Data, která byla získána měřením koncentrací částic PM<sub>10</sub> nemají normální rozdělení, proto byl k porovnání zmíněných čtyř lokalit použit neparametrický Kruskal-Wallis test ( $p < 0,05$ ). Porovnávány byly koncentrace naměřené v těchto lokalitách v období od června 2005 do září 2006. Podle tohoto testu se prokázaly signifikantní rozdíly mezi všemi lokalitami kromě Jablonce a Liberce.

Charakteristika obce podle způsobu vytápění domácností byla zjišťována anketou, která proběhla začátkem roku 2007 formou řízeného rozhovoru. Touto formou bylo dotázáno 32 domácností. Z tohoto dotazníku vyplývá, že za rok spálí jedna domácnost průměrně 39,6 metrických centů uhlí a 7,7 plnometrů dřeva. Za zimní období spálí jedna domácnost v průměru 37,4 metrických centů uhlí a 6,5 plnometrů dřeva. Z 75,4% je páleno hnědé uhlí a z 24,6% uhlí černé. Koks nepoužívá nikdo z dotázaných. 62,6% domácností topí uhlím i dřevem, 19% topí hlavně dřevem a 9,2% topí hlavně uhlím a pouze 6,2% domácností topí plynem a 3% elektrickými přímotopy. Přitom 34,5% domácností uvedlo, že mají přípojku na plyn a 9,3% domácností uvedlo, že jsou vybaveni elektrickými přímotopy. Většina těchto domácností však používá stále lokální topeniště z finančních důvodů. Necelých 10% domácností uvedlo, občas spalují odpadky.

Průměr denních koncentrací byl v topné sezóně 2005/2006 ze všech čtyř lokalit nejvyšší v Albrechticích a to  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  následovaly města Jablonec nad Nisou a Liberec, kde byl průměr denních koncentrací shodný a to  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nejnižší průměr denních koncentrací v topné sezóně 2005/2006 byl naměřen podle očekávání ve venkovské pozadové lokalitě na Souši a to  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Průměr denních koncentrací BS byl zjištěn v této zimní sezóně jako  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , což bylo několikrát více než v mimotopném období. (viz obr. č. 14 v příloze)

V tomto topném období se rozložení četností koncentrací v různých třídách v Albrechticích velmi podobalo rozložení denních koncentrací v Jablonci a Liberci. Ve všech těchto lokalitách byly zaznamenány i velmi vysoké koncentrace částic. Naopak na Souši se i v topné sezóně koncentrace vyskytovaly nejčastěji ve třídách od 0 do  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (viz obr. č. 15 v příloze)

Maximální denní koncentrace  $\text{PM}_{10}$  byla v topné sezóně 2005/2006 zaznamenána v Albrechticích. Minimální denní koncentrace v tomto zimním období byla naměřena na Souši. V Albrechticích, v Jablonci a v Liberci byl zaznamenán nejvyšší měsíční průměr koncentrací částic v lednu 2006. V tomto měsíci byla také zaznamenána nejnižší průměrná měsíční teplota. Nejvyšší průměrná měsíční rychlost větru, za celé sledované období byla zaznamenána v prosinci. V tomto měsíci byl také zaznamenán velký pokles koncentrací částic ve všech porovnávaných lokalitách. (viz tab. č. 3 a 4 v příloze)

Tab. č. 3: Výsledné hodnoty 24 hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> a BS [μg/m<sup>3</sup>] naměřených v topném období od 2005/2006 v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a v Liberci.

<b>Topná sezóna 2005/2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	37	26	15	33	33
<b>Směr.odch.</b>	20	15	10	16	14
<b>Medián</b>	32	22	14	31	32
<b>Maximum</b>	109	68	60	87	80
<b>Minimum</b>	3	2	1	5	5
<b>Počet měř.</b>	166	128	181	171	166

V topném období 2005/2006 byly koncentrace PM<sub>10</sub> získané ve čtyřech zmíněných lokalitách porovnána také pomocí Kruskal-Wallis testu ( $p < 0,05$ ). Signifikantní rozdíly se podle tohoto testu v topné sezóně prokázaly pouze mezi Souší a všemi ostatní lokalitami. To znamená, že mezi Albrechticemi a porovnávanými městy se signifikantní rozdíly prokázat nepodařilo.

V Albrechticích v Jizerských horách byly měřeny koncentrace částic v ovzduší po dvě mimotopná období a to v létě roku 2005 a 2006. V obou mimotopných sezónách byl ze čtyř srovnávaných lokalit průměr denních koncentrací PM<sub>10</sub> naměřen nejvyšší v Jablonci a to 29 μg/m<sup>3</sup> v roce 2005 a 26 μg/m<sup>3</sup> v roce 2006. Druhý nejvyšší průměr denních koncentrací byl v obou letech naměřen v Liberci a to 28 μg/m<sup>3</sup> v roce 2005 a 24 μg/m<sup>3</sup> v roce 2006.

Třetí nejvyšší průměr koncentrací PM<sub>10</sub>, byl v obou mimotopných sezónách naměřen v Albrechticích a to 23 μg/m<sup>3</sup> v roce 2005 a 18 μg/m<sup>3</sup> v roce 2006. Podle očekávání byla oblastí s nejnižšími koncentracemi PM<sub>10</sub> v ovzduší v obou letních obdobích venkovská požad'ová lokalita Souš. Zde byly naměřeny průměry denních koncentrací v létě 2005 14 μg/m<sup>3</sup> a v létě 2006 15 μg/m<sup>3</sup>. (viz obr. 16 a 17 v příloze)

Pro všechny porovnávané lokality, kromě Souše, byly průměry denních koncentrací PM<sub>10</sub> v letním období 2005 vyšší než v druhém letním období 2006. Průměr denních koncentrací BS, které byly naměřeny v Albrechticích v letním období 2006, byl oproti zimě poměrně nízký a to 8 μg/m<sup>3</sup>.

V obou letních obdobích se v Albrechticích vyskytovaly koncentrace PM<sub>10</sub> s největší četností ve třídě od 10 do 20 μg/m<sup>3</sup>. V Jablonci i Liberci byly četnosti výskytu denních koncentrací ve větším zastoupení ve vyšších třídách než u Albrechtic. Naopak Souš se opět projevila jako nejčistší ze všech srovnávaných lokalit. (viz obr. č. 18 a 19 v příloze)



Maximální denní koncentrace ze všech lokalit byla v mimotopné sezóně 2005 naměřená v Albrechticích a to  $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Minimální denní koncentrace byly v tomto období naměřena jako  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tato koncentrace byla získána na Souši. V druhém sledovaném mimotopném období byla naměřena maximální denní koncentrace v Liberci a to  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Minimální denní koncentrace byla zjištěna ve výši  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a to na Souši. Nejnižší průměrná měsíční koncentrace částic byla ve všech lokalitách zaznamenána v srpnu 2006. (viz tab. č. 5 a 6 a 7 a 8 v příloze)

Tab. č. 5: Výsledné hodnoty 24 hodinových koncentrací  $\text{PM}_{10}$  a BS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] naměřených v mimotopném období 2005 v Albrechticích, na Souši, v Jablonci nad Nisou a v Liberci.

Mimotop. sezóna 2005	Albrechtice ( $\text{PM}_{10}$ )	Souš ( $\text{PM}_{10}$ )	Jablonec ( $\text{PM}_{10}$ )	Liberec ( $\text{PM}_{10}$ )
<b>Průměr</b>	23	14	29	28
<b>Směr.odch.</b>	13	8	12	13
<b>Medián</b>	19	13	27	24
<b>Maximum</b>	74	36	66	66
<b>Minimum</b>	2	1	6	5
<b>Počet měř.</b>	127	125	127	127

Tab. č. 6: Výsledné hodnoty 24 hodinových koncentrací  $\text{PM}_{10}$  a BS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] naměřených v mimotopném období 2006 od v Albrechticích, na Souši, v Jablonci nad Nisou a v Liberci.

Mimotop. sezóna 2006	Albrechtice ( $\text{PM}_{10}$ )	Albrechtice (BS)	Souš ( $\text{PM}_{10}$ )	Jablonec ( $\text{PM}_{10}$ )	Liberec ( $\text{PM}_{10}$ )
<b>Průměr</b>	18	8	15	26	24
<b>Směr. odch.</b>	10	4	9	11	12
<b>Medián</b>	17	8	13	25	23
<b>Maximum</b>	69	39	69	69	80
<b>Minimum</b>	4	1	2	10	8
<b>Počet měř.</b>	139	119	181	171	166

V mimotopných obdobích 2005 a 2006 byly koncentrace  $\text{PM}_{10}$  získané ve čtyřech zmíněných lokalitách porovnány také pomocí Kruskal-Wallis testu ( $p < 0,05$ ). Signifikantní rozdíly se podle tohoto testu v obou mimotopných sezónách podařilo prokázat mezi všemi lokalitami kromě Jablonce a Liberce.

V současné době platí v České republice denní imisní limit pro  $PM_{10}$   $50 \mu g/m^3$  s maximálním možným počtem 35 překročení za kalendářní rok. Za celé sledované období došlo v Albrechticích k překročení imisního limitu v necelých 10% dnů. Pro srovnání v Jablonci to pro stejné období bylo také necelých 10% dnů, v Liberci necelých 9% dnů a na Souši necelé 1% dnů. To znamená, že z měřených dnů došlo v tomto období k překročení imisního limitu ve 42 dnech shodně v Albrechticích a v Jablonci, ve 38 dnech v Liberci a ve 3 dnech na Souši. K překročení imisního limitu docházelo v Albrechticích pouze od listopadu 2005 do května 2006. Ve 12 měsících tedy došlo k 42 překročení denního imisního limitu, což je více než 35 maximálně povolených překročení.

Pro topnou sezónu 2005/2006 byla situace odlišná. V tomto období došlo v Albrechticích k překročení limitu v 36 z celkových 42 dnů, ve kterých zde byl limit překročen za celých 15 měsíců. Což znamená, že ve sledované malé obci, došlo od června 2005 do září 2006 k překročení imisního limitu z 86% v topném období. Pro srovnání v Jablonci i Liberci došlo v této topné sezóně shodně k překročení stanoveného limitu ve 24 dnech, což u Jablonce představuje 57% a pro Liberec 63% překročení imisního limitu z celého období 15 měsíců. Na Souši byl denní imisní limit překročen jen ve 3 dnech, z toho ve dvou zimních dnech a jednom letním. V topné sezóně v Albrechticích došlo tedy k překročení imisního limitu v 21% dnů. V tomto období došlo v Jablonci a Liberci shodně ke 14% dnů, ve kterých byl limit překročen.

V celém sledovaném období spolu denní koncentrace  $PM_{10}$  ve všech porovnávaných lokalitách poměrně silně korelovaly. Všechny korelace byly zjištěny jako statisticky významné ( $p < 0,05$ ). Nejslabší korelace byla zaznamenána mezi Albrechticemi a Souší ( $r = 0,45$ ). Netěsnější vztah byl nalezen mezi Jabloncem a Libercem ( $r = 0,92$ ). Za zmínku také stojí, že i v průběhu celých 15 měsíců, byl nalezen těsnější vztah mezi koncentracemi  $PM_{10}$  v Albrechticích a obou srovnávaných městech než v Albrechticích a na Souši. Koncentrace BS v Albrechticích také korelovaly poměrně silně s koncentracemi  $PM_{10}$  v Jablonci a Liberci. Naopak vztah koncentrace částic BS v Albrechticích a koncentrací  $PM_{10}$  na Souši nebyl nalezen příliš těsný (0,34). (viz tab. č. 9)

Tab. č. 9: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) pro sledované lokality během celého sledovaného období.

	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Albrechtice (BS)</b>	0,87	1		
<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	0,45	0,34	1	
<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	0,67	0,58	0,60	1
<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>	0,66	0,66	0,61	0,92

V topném období 2005/2006 byl zaznamenán těsnější vztah mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> v Albrechticích a ve srovnávaných městech Jablonci ( $r = 0,68$ ) a Liberci ( $r = 0,62$ ) než mezi Albrechticemi a Souší ( $r = 0,33$ ). Nejvíce spolu korelovaly koncentrace PM<sub>10</sub> v Jablonci a Liberci ( $r = 0,93$ ). Koncentrace BS v Albrechticích v této zimní sezóně poměrně dobře korelovaly s koncentracemi PM<sub>10</sub> v Jablonci ( $r = 0,65$ ) a v Liberci ( $r = 0,63$ ). Mnohem volnější vztah byl zaznamenán mezi koncentracemi BS v malé obci a koncentracemi PM<sub>10</sub> na Souši ( $r = 0,15$ ). Všechny korelace byly zjištěny jako statisticky významné ( $p < 0,05$ ). (viz tab. č. 10)

Tab. č. 10: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) pro sledované lokality během topného období 2005/2006.

	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Albrechtice (BS)</b>	0,89	1		
<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	0,33	0,15	1	
<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	0,68	0,65	0,44	1
<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>	0,62	0,63	0,41	0,93

V obou mimotopných obdobích 2005 a 2006 spolu poměrně silně korelovaly koncentrace  $PM_{10}$  ve všech porovnávaných lokalitách a všechny korelace byly zjištěny jako statisticky významné ( $p < 0,05$ ). Nejtěsnější vztah byl po obě letní sezóny zaznamenán opět mezi Jabloncem a Libercem. V prvním letním období koncentrace  $PM_{10}$  v Albrechticích více korelovaly s koncentracemi na Souši. V druhém letním období tomu bylo jinak a koncentrace těchto částic, naměřené v Albrechticích, nejsilněji korelovaly s koncentracemi v Jablonci. (viz tab. č. 11 a 12)

Tab. č. 11: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) pro sledované lokality během mimotopného období 2005.

	<b>Albrechtice (<math>PM_{10}</math>)</b>	<b>Souš (<math>PM_{10}</math>)</b>	<b>Jablonec (<math>PM_{10}</math>)</b>
<b>Souš (<math>PM_{10}</math>)</b>	0,73	1	
<b>Jablonec (<math>PM_{10}</math>)</b>	0,66	0,71	1
<b>Liberec (<math>PM_{10}</math>)</b>	0,61	0,72	0,92

Tab. č. 12: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) pro sledované lokality během mimotopného období 2006.

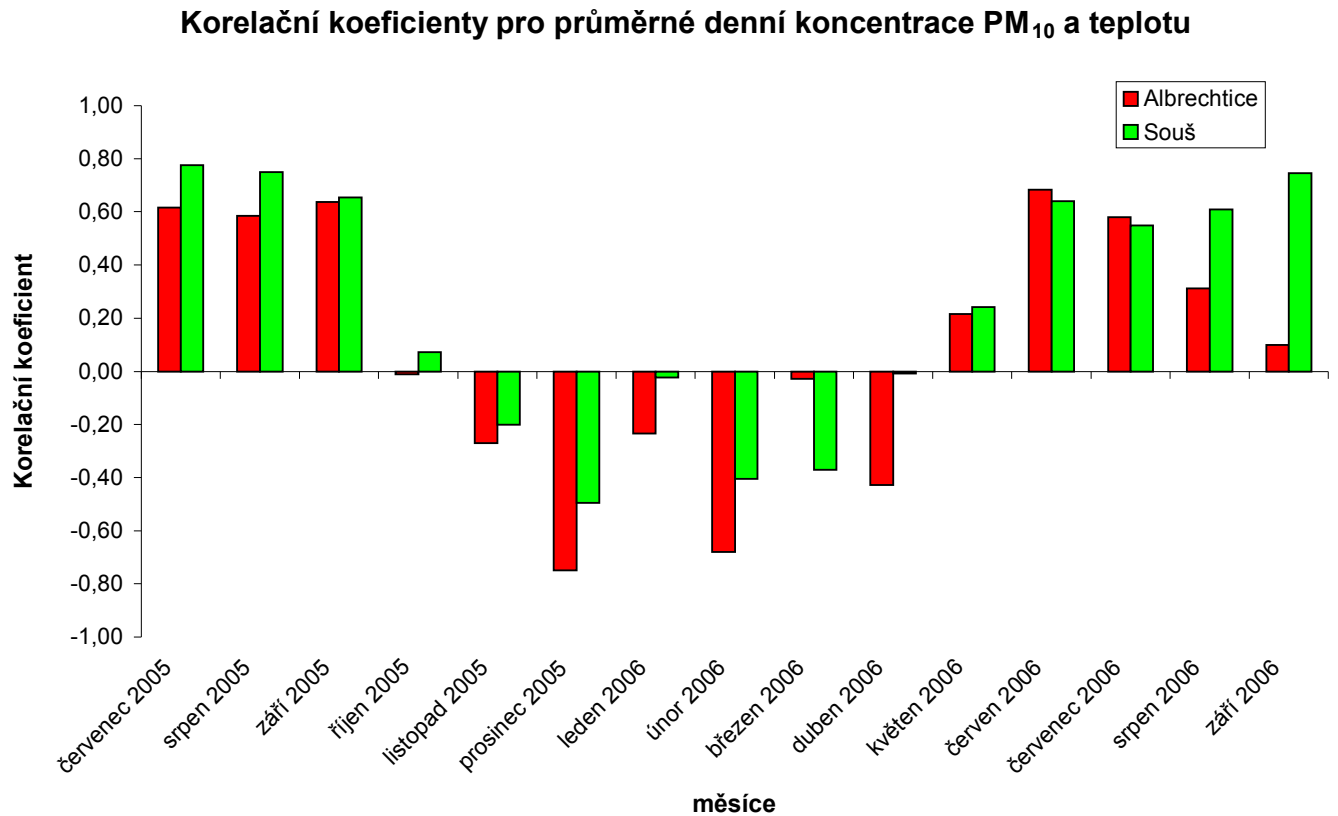
	<b>Albrechtice (<math>PM_{10}</math>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (<math>PM_{10}</math>)</b>	<b>Jablonec (<math>PM_{10}</math>)</b>
<b>Albrechtice (BS)</b>	0,68	1		
<b>Souš (<math>PM_{10}</math>)</b>	0,53	0,51	1	
<b>Jablonec (<math>PM_{10}</math>)</b>	0,68	0,59	0,66	1
<b>Liberec (<math>PM_{10}</math>)</b>	0,62	0,64	0,69	0,92

Ve vztahu koncentrací PM<sub>10</sub> a teploty se projevovaly značné rozdíly v průběhu roku. Mezi denními koncentracemi částic a průměrnou denní teplotou v letních měsících byla přímá úměrnost a v zimních měsících nepřímá úměrnost. Říjen a květen by se daly chápat jako určitá přechodná období. (viz tab. č. 13 a obr. č. 20)

Tab. č. 13: Přehled korelačních koeficientů ( $p < 0,05$ ) mezi denními koncentracemi PM<sub>10</sub> a teplotou pro Albrechtice a Souš.

	<b>Albrechtice</b>	<b>Souš</b>
<b>červenec 2005</b>	0,62	0,78
<b>srpen 2005</b>	0,58	0,75
<b>září 2005</b>	0,64	0,65
<b>říjen 2005</b>	-0,01	0,07
<b>listopad 2005</b>	-0,27	-0,20
<b>prosinec 2005</b>	-0,75	-0,50
<b>leden 2006</b>	-0,23	-0,02
<b>únor 2006</b>	-0,68	-0,40
<b>březen 2006</b>	-0,03	-0,37
<b>duben 2006</b>	-0,43	-0,01
<b>květen 2006</b>	0,21	0,24
<b>červen 2006</b>	0,68	0,64
<b>červenec 2006</b>	0,58	0,55
<b>srpen 2006</b>	0,31	0,61
<b>září 2006</b>	0,10	0,75

Obr. č. 20: Hodnoty korelačních koeficientů pro vztah mezi průměrnými denními koncentracemi PM<sub>10</sub> a průměrnou denní teplotou v jednotlivých měsících pro celé sledované období v Albrechticích a na Souši.



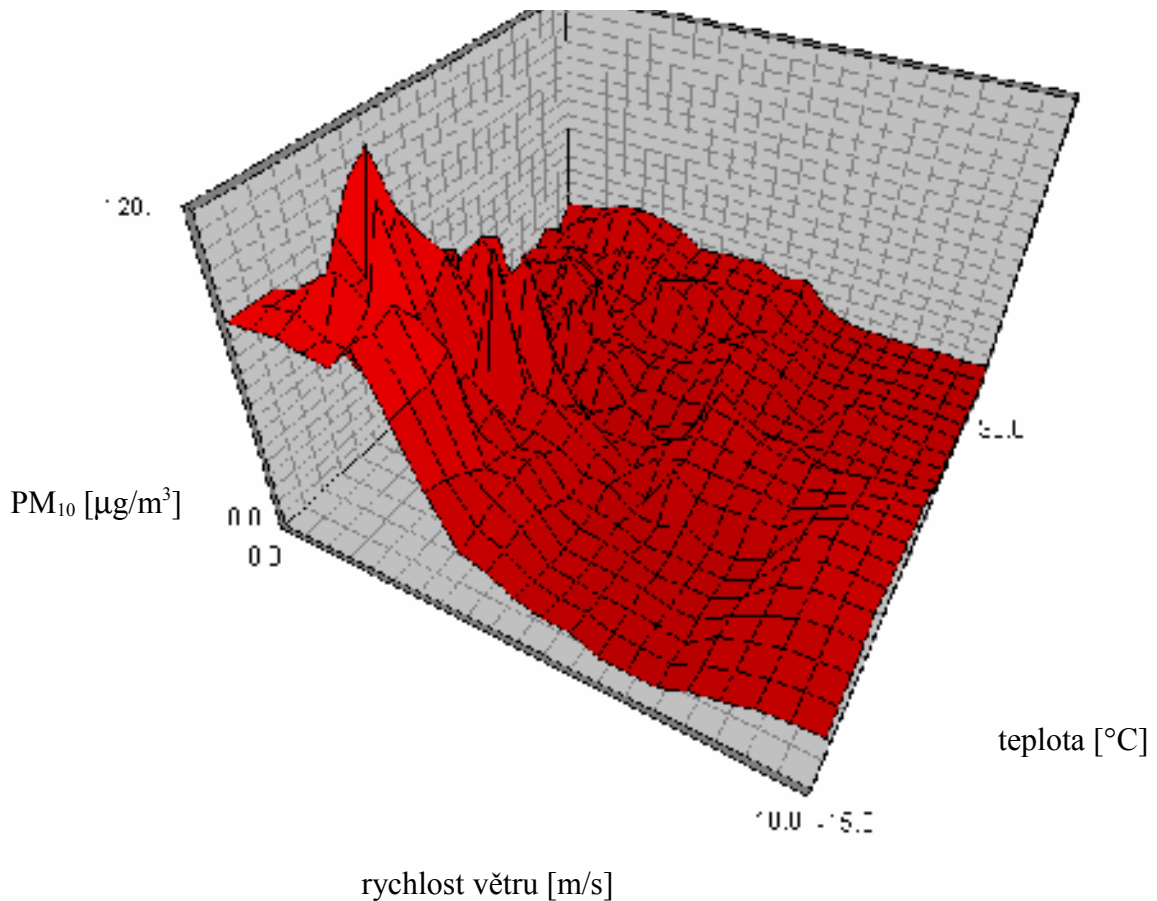
V průběhu celého sledovaného období byla v Albrechticích mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> a teplotou zjištěna nepřímá úměrnost, korelační koeficient pro toto období byl  $r = -0,36$ . Pro topnou sezónu byl mezi těmito veličinami nalezen o něco těsnější vztah, korelační koeficient byl  $r = -0,41$ . V letním období 2006 byl nalezen korelační koeficient  $r = 0,34$  a v létě 2005  $r = -0,01$ . Mezi koncentracemi částic BS a teplotou byl nalezen poměrně těsný vztah v průběhu celého sledovaného období, korelační koeficient byl zjištěn jako  $r = -0,67$ . (viz obr. č. 21 v příloze) V prosinci 2005 až únoru 2006 byl tento vztah ještě těsnější, korelační koeficient měl hodnotu  $r = -0,78$ . Všechny korelace byly zjištěny jako statisticky významné ( $p < 0,05$ ).

Mezi denními koncentracemi částic  $PM_{10}$  a průměrnou denní rychlostí větru byla v celém sledovaném období zjištěna nepřímá úměrnost s korelačním koeficientem  $r = -0,28$ . V zimním období byly tato závislost o něco těsnější. Korelační koeficient v tomto období byl zjištěn jako  $r = -0,43$ . Pro obě sledovaná letní období byl korelační koeficient mezi těmito veličinami nalezen také záporný, ale tento vztah již nebyl tak těsný jako v zimním období. Pro mimotopnou sezónu 2005 byl korelační koeficient mezi rychlostí větru a koncentracemi částic  $PM_{10}$   $r = -0,18$  a pro mimotopnou sezónu 2006 byl tento koeficient  $r = -0,23$ . Všechny korelace byly zjištěny jako statisticky významné ( $p < 0,05$ ). Za zmínku ovšem stojí, že při průměrných denních rychlostech větru nad 3,5 m/s průměrné denní koncentrace  $PM_{10}$ , za celé sledované období, nikdy nestoupily nad  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (viz graf č. 20 v příloze)

Byl také pozorován vztah mezi denními koncentracemi  $PM_{10}$ , rychlostí větru a teplotou. Největší koncentrace částic byly pozorovány při nízkých teplotách a nízkých rychlostech větru. S rostoucí teplotou a rychlostí větru koncentrace částic v ovzduší klesaly. Jak již bylo uvedeno, při rychlostech větru nad 3,5 m/s nestoupily koncentrace  $PM_{10}$  nad  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . a při průměrné denní teplotě nad  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  stoupla denní koncentrace  $PM_{10}$  nad  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jen v jednom případě. (viz obr. č. 23)

Obr. č. 23: Vztah průměrných denních koncentrací PM<sub>10</sub>, průměrné denní teploty a průměrné denní rychlosti větru v Albrechticích za celé sledované období.

### Vztah koncentrací PM<sub>10</sub>, rychlosti větru a teploty



Při zkoumání denního chodu 15 minutových koncentrací PM<sub>10</sub> v Albrechticích a 1 hodinových na Souši bylo zjištěno, že v Albrechticích byla denní maxima zaznamenána hlavně mezi 16 a 24 hodinou. V období celém sledovaném období byla v Albrechticích denní maxima zaznamenána mezi 16 a 24 hodinou v 61% měřených dnů. Pro srovnání na Souši byla denní maxima v tomto období zaznamenána mezi 16 a 24 hodinou v 31% měřených dnů.



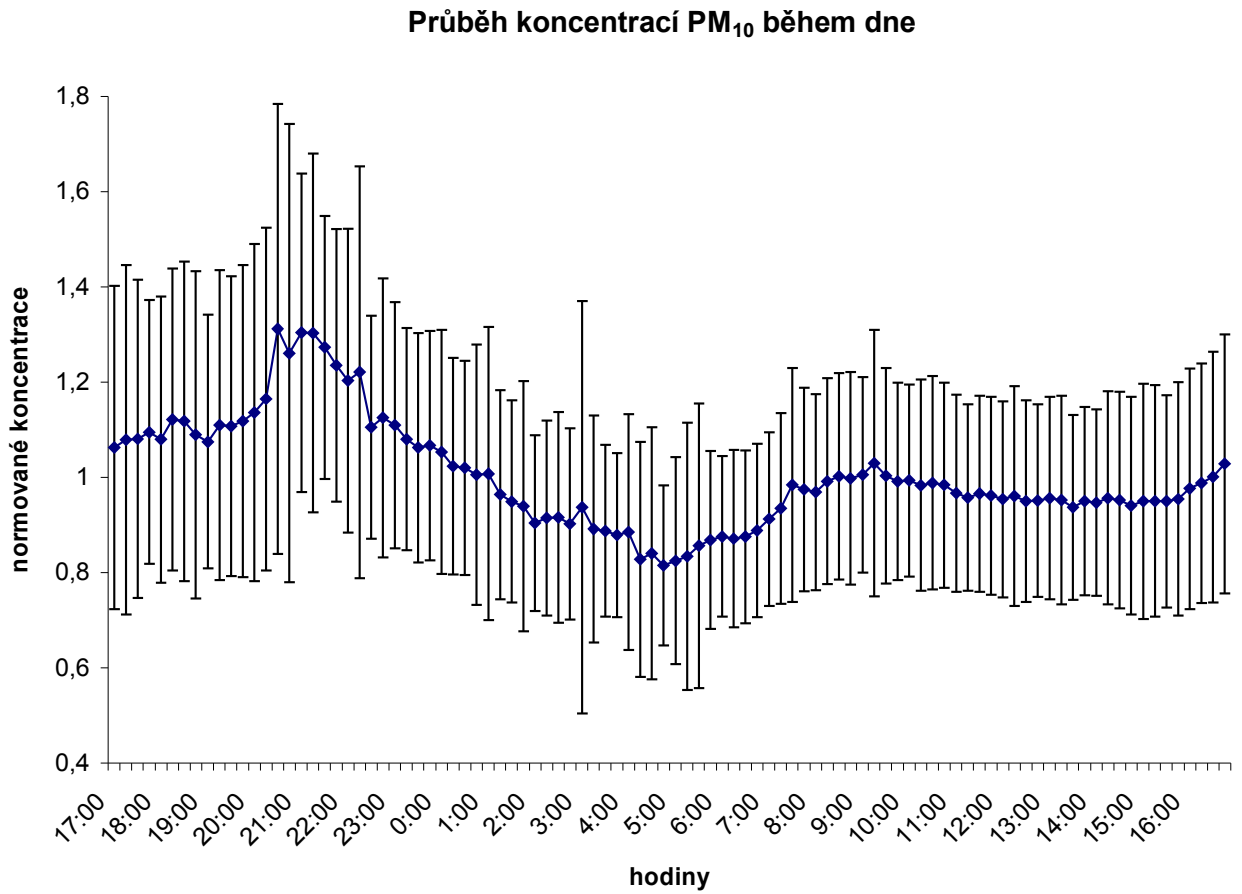
V průběhu jednotlivých měsíců byla v Albrechticích denní maxima zaznamenána mezi 16 a 24 hodinou hlavně v zimním období. Ve všech zimních měsících, kromě dubna, bylo více jak 60% denních maxim zaznamenáno od 16 do 24 hodiny. V průběhu celého sledovaného období, bylo zaznamenáno denní maximum mezi 16 a 24 hodinou, ve více než 50% dnů měsíce ve všech měsících kromě dubna 2006 a srpna 2005. (viz tab. č. 14)

Tab. č. 14: Přehled v jakém procentu dnů v měsíci, ve kterých probíhalo měření, nastalo denní maximum mezi 16 a 24 hodinou v Albrechticích a na Souši.

	<b>Albrechtice</b>	<b>Souš</b>
<b>červenec 2005</b>	65%	39%
<b>srpen 2005</b>	48%	35%
<b>září 2005</b>	73%	40%
<b>říjen 2005</b>	71%	32%
<b>listopad 2005</b>	63%	43%
<b>prosinec 2005</b>	70%	37%
<b>leden 2006</b>	73%	26%
<b>únor 2006</b>		43%
<b>březen 2006</b>	77%	32%
<b>duben 2006</b>	30%	27%
<b>květen 2006</b>	57%	23%
<b>červen 2006</b>	62%	20%
<b>červenec 2006</b>	55%	17%
<b>srpen 2006</b>	65%	26%
<b>září 2006</b>	53%	27%

I z průměrů 15 minutových normovaných koncentrací během dne za celé sledované období je zřetelné večerní maximum. Denní minimální koncentrace byly poměrně rovnoměrně rozloženy v průběhu dnů. Z průměrů normovaných koncentrací během dne je ale zřetelné denní minimum v časných ranních hodinách. (viz obr. č. 24)

Obr. č. 24: Průměrné hodnoty 15 minutových koncentrací během dne za celé sledované období se směrodatnými odchylkami. Uvedeny jsou průměry normovaných hodnot (hodnoty vyděleny denním průměrem).



## 6. Diskuse

Za celé sledované období průměr denních koncentrací  $PM_{10}$  v Albrechticích odpovídal  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V topné sezóně 2005/2006 byl tento průměr o něco vyšší a to  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . To odpovídá hodnotám, které naměřila Domasová (1999) v malé obci na Berounsku, kdy pro jednu topnou sezónu byl zjištěn průměr denních koncentrací  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a ve druhém topném období byl průměr o něco vyšší a to  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

V obou mimotopných sezónách 2005 a 2006 byly v Albrechticích naměřeny o něco nižší koncentrace  $PM_{10}$ . Průměr denních koncentrací byl zjištěn jako  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  v roce 2005 a  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  v roce 2006. Domasová (1999) naměřila tento průměr v mimotopné sezóně opět o něco vyšší jako  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Důvodem toho, že v malé obci na Berounsku byly naměřeny o něco vyšší koncentrace než v Albrechticích, je pravděpodobně to, že měření v malé obci na Berounsku probíhalo v údolí a měření v Albrechticích probíhalo v sedle údolí, kde se dají předpokládat lepší rozptylové podmínky.

Albrechtice jsou poměrně oblíbenou turistickou lokalitou a je zde velké množství rekreačních objektů. Dalo by se proto předpokládat, že ve volných dnech, v důsledku lidských aktivit, zde budou vyšší koncentrace částic v ovzduší. Podobný stav pozoroval například Chaloulakou et al. 2005 v Athénách. Tam byly koncentrace částic ve všedních dnech prokazatelně vyšší než o víkendech. V Albrechticích se ovšem rozdíl mezi koncentracemi částic ve všedních a volných dnech prokázat nepodařilo. Důvodem může být to, že dlouhá zima 2005/2006, ve které byly zvláště dobré lyžařské podmínky, lákala do malé obce velké množství turistů a to i ve všedních dnech.

Na necelé dva měsíce byla veškerá aparatura, která byla použita ve sledované malé obci Albrechtice, přemístěna na blízkou stanici AIM na Souši. Zde probíhalo měření pomocí této aparatury v kolokaci s měřením AIM. Důvodem tohoto kolokačního měření byla snaha porovnat data naměřená pomocí aparatury, která byla použita v této studii v malé obci, s daty AIM, která byla získána za stejných podmínek. Během tohoto měření bylo zjištěno, že koncentrace  $PM_{10}$ , naměřené pomocí DustTraku, Harvard impaktoru a  $\beta$ -radiometrie (AIM), spolu silně korelují.

Koncentrace BS byly zjištěny velmi nízké a mezi nimi a zjištěnými koncentracemi PM<sub>10</sub> byla spíše nepřímá úměrnost. Důvodem tohoto faktu je zřejmě to, že toto měření probíhalo v relativně čisté lokalitě na Souši, kde není žádný přímý zdroj tmavých částic. Proto zde tmavé částice představují jen velmi malou část z celkového aerosolu. Nízké koncentrace tmavých částic se pohybovaly ve většině těchto měření na hranici detekce. Z tohoto důvodu mají zjištěné koncentrace BS na Souši malou vypovídací hodnotu.

Za celé sledované období byl nejnižší průměr denních koncentrací částic PM<sub>10</sub> naměřen na venkovské pozad'ové stanici na Souši a to 15 µg/m<sup>3</sup> nejvyšší naopak v Jablonci ve výši 30 µg/m<sup>3</sup>. Druhý největší průměr denních koncentrací byl naměřen v Liberci a to 28 µg/m<sup>3</sup>. Průměr denních koncentrací v Albrechticích v Jizerských horách v tomto období odpovídal 26 µg/m<sup>3</sup>.

V topné sezóně 2005/2006 byla situace odlišná. Ze všech čtyř lokalit byly nejvyšší koncentrace zaznamenány v Albrechticích a to 37 µg/m<sup>3</sup> následovaly města Jablonec nad Nisou a Liberec, kde byl průměr denních koncentrací shodný a to 33 µg/m<sup>3</sup>. Nejnižší průměr denních koncentrací v topné sezóně 2005/2006 byl naměřen podle očekávání ve venkovské pozad'ové lokalitě na Souši a to 15 µg/m<sup>3</sup>. Nejvyšší průměrná denní koncentrace ze všech porovnávaných lokalit byla naměřená počátkem listopadu 2005 ve výši 109 µg/m<sup>3</sup> v Albrechticích.

V obou mimotopných sezónách 2005 i 2006 byl ze čtyř srovnávaných lokalit průměr denních koncentrací PM<sub>10</sub> naměřen nejvyšší v Jablonci a to 29 µg/m<sup>3</sup> v roce 2005 a 26 µg/m<sup>3</sup> v roce 2006. Druhý nejvyšší průměr denních koncentrací byl v obou letech naměřen v Liberci a to 28 µg/m<sup>3</sup> v roce 2005 a 24 µg/m<sup>3</sup> v roce 2006. Třetí nejvyšší koncentrace byla zaznamenána v Albrechticích a to 23 µg/m<sup>3</sup> v roce 2005 a 18 µg/m<sup>3</sup> v roce 2006. Podle očekávání byla oblastí s nejnižšími koncentracemi PM<sub>10</sub> v ovzduší v obou letních obdobích venkovská pozad'ová lokalita Souš. Zde byly naměřeny průměry denních koncentrací v létě 2005 14 µg/m<sup>3</sup> a v létě 2006 15 µg/m<sup>3</sup>. Pro všechny porovnávané lokality, kromě Souše, byly průměry denních koncentrací PM<sub>10</sub> v letním období 2005 vyšší než v druhém letním období 2006.

V Albrechticích došlo v průběhu roku k největším změnám v koncentracích PM<sub>10</sub> z porovnávaných lokalit. Projevily se zde největší rozdíly v průměru denních koncentrací v topné a mimotopné sezóně. Dá se říci, že v topném období zde byl průměr denních koncentrací téměř dvojnásobný oproti mimotopnému období. Podobně velký rozdíl byl zaznamenán i v malé obci na Berounsku (Domasová, 1999). Naopak například Gomišček et al. (2004) v Rakousku sezónní cykly v mimoměstské oblasti vůbec neznamenal. V obou blízkých městech byl průměr v zimní sezóně zhruba o 20% větší než v letních. Na Souši byly koncentrace PM<sub>10</sub> v topné a mimotopné sezóně téměř stejné, to by odpovídalo údajům, které zaznamenal Gomišček et al. (2004).

Dá se tedy říci, že získané výsledky neodpovídají předpokladu, že ovzduší v městských oblastech je více znečištěno částicemi PM<sub>10</sub> než ovzduší mimoměstských oblastí. Rozdíl v koncentracích mezi těmito oblastmi v Holandsku zjistila Zee et al. (1998) jako 13%. V PEACE studii byl rozdíl mezi těmito koncentracemi zjištěn dokonce jako 22%. (Hoek et al., 1997) V mimoměstské oblasti ve Švýcarsku zaznamenal i Monn et al. (1995) zhruba třetinu nižší koncentrace částic v ovzduší než ve městě. Cheng et al. (2000) pozoroval v Kanadě také o hodně nižší koncentrace částic v mimoměstských oblastech než v městských. V Albrechticích byly koncentrace těchto částic v topné sezóně zjištěny naopak dokonce o něco vyšší než v Jablonci a Liberci.

Podle Kruskal-Wallis testu ( $p < 0,05$ ) se signifikantní rozdíly podařilo v celém sledovaném období prokázat mezi všemi porovnávanými lokalitami, kromě Jablonce a Liberce. Stejná situace byla i v obou mimotopných obdobích. Odlišná situace však byla v topné sezóně. V této sezóně se podařilo prokázat signifikantní rozdíly pouze mezi Souší a všemi ostatními lokalitami. To znamená, že v topné sezóně se podle tohoto testu nepodařilo prokázat rozdíl mezi Albrechticemi a oběma městy. Toto zjištění tedy rovněž odporuje výše zmíněné teorii, že ovzduší v městských oblastech je více znečištěno částicemi PM<sub>10</sub> než ovzduší mimoměstských oblastí. (Zee et al., 1998, Hoek et al., 1997, Monn et al., 1995, Cheng et al., 2000)

Za sledované období od června 2005 do září 2006 došlo v Albrechticích v Jizerských horách k překročení imisního limitu v necelých 10% dnů. V Jablonci to pro stejné období bylo také necelých 10% dnů a v Liberci necelých 9% dnů. Na Souši došlo za celé období k překročení limitu pouze ve 3 dnech, což je necelé 1% dnů. Pro topnou sezónu 2005/2006 byla situace odlišná. V Albrechticích došlo od června 2005 do září 2006 k překročení imisního limitu z 86% v topném období. V Jablonci došlo v této topné sezóně k 57% a v Liberci k 63% překročení imisního limitu z celého období 15 měsíců. V obci docházelo k překročení denního imisního limitu pouze od listopadu 2005 do května 2006. V průběhu 12 měsíců byl denní limit překročen 42x, což je více než podle zákona povolených maximálně 35 překročení.

Na Souši byl denní imisní limit překročen jen ve 3 dnech, z toho ve dvou zimních dnech a jednom letním. V obou zimních dnech, kdy došlo k překročení imisního limitu na Souši, došlo k překročení tohoto limitu i v Albrechticích, Jablonci a v jednom z těchto dnů i v Liberci. Lze se tedy domnívat, že v těchto dnech měl dominantní vliv na koncentraci částic v ovzduší dálkový transport. Například Artínano et al. (2003) popsal, jak se dálkový transport písku ze Sahary ve velké míře podílí na překračování imisního limitu v Madridu.

V topné sezóně tedy došlo k překročení imisního limitu v Albrechticích v 21% měřených dnů. Tato hodnota je srovnatelná s procentem dní, ve kterých došlo k překročení tohoto limitu v malé obci na Berounsku. Zde došlo v jednom zimním období k překročení limitu v 26% dnů a v druhém období dokonce v 33% dnů. (Domasová, 1999) V Jablonci a v Liberci k tomuto překročení v topné sezóně 2005/2006 došlo shodně ve 14% dnů. To tedy svědčí o zdroji znečištění v obou malých obcích, který se projevuje ve velké míře v topném období. Naproti tomu například Van Dingenen et al. (2004) při srovnání evropských městských a mimoměstských lokalit zaznamenal překročení imisních limitů ve větší míře v městských oblastech. Tato data ale pocházela většinou ze západoevropských lokalit.

Je tedy zřejmé, že koncentrace částic  $PM_{10}$  v malé obci na Liberecku, ve sledovaném období, byly o hodně vyšší v topné sezóně než v mimotopné. Lze tedy usuzovat, že se v malé obci projevuje v zimní sezóně velký vliv lokálních topenišť. Jak vyplývá i z ankety, která proběhla ve sledované malé obci, většina obyvatel používá k vaření a vytápění lokální topeniště. Značná část obyvatel také uvedla, že spaluje nekvalitní hnědé uhlí a někdy i odpadky. Otázkou ovšem je, do jaké míry uvedené odpovědi odpovídají skutečnosti.

Aby bylo možné objasnit předpoklad, že lokální topeniště mají velký vliv na kvalitu ovzduší, probíhalo ve zmíněné lokalitě současně s měřením koncentrací  $PM_{10}$  i měření koncentrací částic BS. Touto metodou se zkoumalo zastoupení tmavých částic elementárního uhlíku, který značně pohlcuje světlo. Tyto částice pocházejí ve velké míře ze spalovacích procesů, při kterých se pálí uhlíkaté palivo.

Za celé sledované období byl průměr koncentrací BS zaznamenán jako  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . velké rozdíly v těchto koncentracích byly ovšem zaznamenány v topné a mimotopné sezóně. Průměr denních koncentrací BS byl zjištěn v topné sezóně jako  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , což bylo několikrát více než v mimotopném období. Průměr denních koncentrací BS, které byly naměřeny v Albrechticích v letním období 2006, byl zjištěn jako  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kožnarová (1999) zjistila v malé obci na Berounsku o něco vyšší hodnoty. V jednom zimním období naměřila  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a ve druhém  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V mimotopné sezóně zde byly naměřeny koncentrace BS ve výši  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . V této malé obci na Berounsku byly ovšem ve sledovaném období naměřeny i o něco vyšší koncentrace  $PM_{10}$  než v Albrechticích. To odpovídá předpokladu, že v místě měření v Albrechticích panují příznivější rozptylové podmínky než v místě měření v malé obci na Berounsku.

Rozdíl mezi koncentracemi částic  $PM_{10}$  a BS, který je vyjádřený jako hodnota v průsečíku osy y s regresní přímkou  $PM_{10}$  a BS, když koncentrace BS byly na ose x byl  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro celé sledované období. Pro topnou sezónu 2005/2006 byl tento rozdíl o něco menší a to  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pro mimotopnou sezónu 2006 byl rozdíl mezi koncentracemi těchto částic zaznamenán větší než v zimním období a to  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Což ukazuje, že rozdíl v koncentracích BS a  $PM_{10}$  byl větší v letním období, kdy se dá předpokládat větší příspěvek světlých částic.

Kožnarová (1999) zaznamenala v malé obci na Berounsku podobné rozdíly a to pro jedno zimní období  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pro druhé zimní období  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a pro letní období  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Větší rozdíl v koncentracích  $PM_{10}$  a BS v letním období oproti zimnímu zaznamenal i Vallius et al. (2000) v Helsinkách. Podobné výsledky konstatoval i Muir and Laxen (1995). To potvrzuje teorii, že částice  $PM_{10}$  jsou v létě obohaceny ještě z dalších zdrojů, které na koncentrace BS nemají vliv.

Pro celé sledované období byl průměr mezi denními koncentracemi BS/PM<sub>10</sub> zjištěn jako 0,59. Tyto poměry se pro jednotlivé dny pohybovaly od 0,18 do 1,34. Pro topné období 2005/2006 byl tento poměr o něco vyšší a to 0,73. Minimální poměr v tomto období byl 0,29 a maximální 1,34. V mimotopné sezóně 2006 byl tento poměr naopak o něco nižší a to 0,46. Minimum v tomto období bylo zjištěno jako 0,18 a maximum jako 1,30. Kožnarová (1999) zjistila tento poměr v malé obci na Berounsku jako 0,78 pro celé sledované období.

Poměr PM<sub>10</sub>/BS byl pro celé období zjištěn jako 2,0. V topné sezóně měl hodnotu 1,5 a v mimotopné sezóně hodnotu 2,5. V PEACE studii (Hoek et al., 1997) byl tento poměr vyjádřen pro mimoměstskou oblast Prahy jako 2,4 a pro Prahu jako 1,8. Pro Teplice byl tento poměr 1,3 a pro mimoměstskou oblast Teplic jako 1,5. Problémem ovšem je, že zde bylo za venkovskou oblast považováno i malé město a to v případě Prahy Benešov a u Teplic Prachatic. Ve studii Hoek et al. (1997) zjistil poměr PM<sub>10</sub>/BS blížící se 1 pro Řecko, Norsko a střední Evropu. Chaloulakou et al. (2005) v Aténách pozoroval tento poměr menší než 1. V této lokalitě byl ovšem patrný velký vliv dopravy. V tomto srovnání se jeví poměr PM<sub>10</sub>/BS v Albrechticích v zimě (1,5) jako relativně vysoké zastoupení BS.

Vztah denních koncentrací PM<sub>10</sub> a BS byl v Albrechticích po celé sledované období poměrně těsný. Korelační koeficient měl hodnotu  $r = 0,87$ . Pro topné období byl tento koeficient zjištěn jako  $r = 0,89$  a pro mimotopné období jako  $r = 0,68$ . To ukazuje na hlavní zdroj PM v topení.

V malé obci na Berounsku Kožnarová (1999) pozorovala korelaci BS a PM<sub>10</sub> pro zimní i letní období jako  $r = 0,73$ . V letním období však zde byl pozorován o něco volnější vztah mezi těmito koncentracemi než v Albrechticích. V Holandsku byla zjištěna korelace BS a PM<sub>10</sub> jako  $r = 0,80$  až  $0,85$ . Zde byla ovšem pozorována větší variabilita zdrojů částic než v malé obci. (Janssen et al., 1997) V Aténách byl zjištěn tento koeficient jako 0,66, dominantním zdrojem částic zde však byla doprava. (Chaloulakou et al., 2005)

Za celé sledované období spolu denní koncentrace PM<sub>10</sub> ve všech porovnávaných lokalitách poměrně silně korelovaly. Nejslabší korelace byla zaznamenána mezi Albrechticemi a Souší. Netěsnější vztah byl nalezen mezi Jabloncem a Libercem ( $r = 0,92$ ). Korelace mezi sledovanou obcí a oběma městy byla slabší a to  $r = 0,67$  (Jablonec) a  $r = 0,66$  (Liberec). Nejméně korelovaly hodnoty PM<sub>10</sub> mezi Albrechticemi a Souší ( $r = 0,45$ ).



V topném období 2005/2006 byl opět zaznamenán těsnější vztah mezi koncentracemi  $PM_{10}$  v Albrechticích a ve srovnávaných městech Jablonci ( $r = 0,68$ ) a Liberci ( $r = 0,62$ ) než mezi Albrechticemi a Souší ( $r = 0,33$ ). Nejvíce spolu korelovaly koncentrace  $PM_{10}$  v Jablonci a Liberci ( $r = 0,93$ ).

V obou mimotopných obdobích 2005 a 2006 spolu poměrně silně korelovaly koncentrace  $PM_{10}$  ve všech porovnávaných lokalitách. Nejtěsnější vztah byl po obě letní sezóny zaznamenán opět mezi Jabloncem a Libercem. V prvním letním období koncentrace  $PM_{10}$  v Albrechticích více korelovaly s koncentracemi na Souši ( $r = 0,73$ ). V druhém letním období tomu bylo jinak a koncentrace těchto částic, naměřené v Albrechticích, nejsilněji korelovaly s koncentracemi v Jablonci ( $r = 0,68$ ).

Je tedy zřejmé, že vztah mezi koncentracemi  $PM_{10}$  v jednotlivých lokalitách je rozdílný pro topnou a mimotopnou sezónu. V topné sezóně se projevuje poměrně těsný vztah mezi Albrechticemi a oběma městy, ale mezi Souší a ostatními lokalitami je tento vztah volnější. V letním období byl tento vztah pozorován jako poměrně těsný mezi všemi lokalitami.

Tento těsný vztah mezi Albrechticemi a oběma městy v topné sezóně je zřejmě způsoben velkým vlivem topení na kvalitu ovzduší v tomto období. Domasová (1999) pozorovala podobně těsné vztahy mezi koncentracemi částic v malé obci na Berounsku a přilehlých městech v topné sezóně. Těsné vztahy mezi koncentracemi částic v městské a mimoměstské oblasti, za kterou ovšem bylo považováno i malé město, pozoroval i Hoek et al. (1997).

Byl pozorován volnější vztah mezi koncentracemi  $PM_{10}$  v zimní sezóně mezi Souší a ostatními porovnávanými lokalitami. Důvodem je zřejmě to, že oblast Souše je jen velmi řídko obydlena, a proto se zde v zimním období málo topí. Důvodem bude ale zřejmě také to, že silnice, která vede okolo stanice AIM dále na Frýdlant, je v zimním období v určitém úseku uzavřena. Tato silnice je i v zimním období velmi špatně sjízdná, protože se k její údržbě používá pouze pluhování. V důsledku toho je zde doprava v zimním období podstatně omezena oproti letnímu období. Důvodem těchto nízkých koncentrací na Souši bude ale také to, že zde panují jiné klimatické podmínky. Cheng et al. (2000) pozoroval také mnohem volnější vztah mezi koncentracemi částic ve městech a v neobydlených oblastech Kanady.

V průběhu celého sledovaného období koncentrace BS v Albrechticích korelovaly poměrně silně s koncentracemi PM<sub>10</sub> v Jablonci ( $r = 0,58$ ) a Liberci ( $r = 0,66$ ). Naopak vztah koncentrace částic BS v Albrechticích a koncentrací PM<sub>10</sub> na Souši nebyl nalezen příliš těsný ( $r = 0,34$ ). V zimní sezóně koncentrace BS v Albrechticích poměrně dobře korelovaly s koncentracemi PM<sub>10</sub> v Jablonci ( $r = 0,65$ ) a v Liberci ( $r = 0,63$ ). Mnohem volnější vztah byl zaznamenán mezi koncentracemi BS v obci a koncentracemi PM<sub>10</sub> na Souši ( $r = 0,15$ ). V obou mimotopných sezónách koncentrace BS v Albrechticích, stejně jako koncentrace PM<sub>10</sub>, poměrně silně korelovaly s koncentracemi PM<sub>10</sub> ve všech porovnávaných lokalitách.

Je tedy zřejmé, že částice PM<sub>10</sub> v zimním období na Souši měly zřejmě jiný zdroj než částice v malé obci. Malé zastoupení částic BS na Souši se potvrdilo i během kolokačního měření, které proběhlo v září až listopadu 2006. Poměrně těsný vztah byl pozorován v topné sezóně mezi koncentracemi BS v Albrechticích a koncentracemi PM<sub>10</sub> v Jablonci a Liberci.

Tento fakt podporuje představu, že koncentrace částic v zimním období v obou městech i v Albrechticích je zřejmě velmi topením. Ve městech je velkým zdrojem částic také doprava. Tuto představu potvrzuje i fakt, že obě města leží od Albrechtic ve větší vzdálenosti než Souš. Souš je od sledované obce vzdálena vzdušnou čarou necelé 4 km, Jablonec necelých 10 km a Liberec 16 km. Kdyby tedy ovlivňovaly koncentrace částic v ovzduší spíše místní přírodní podmínky, než lidská činnost, měl by být vztah koncentrací částic v ovzduší těsnější mezi Albrechticemi a blízkou Souší než mezi Albrechticemi a vzdálenějšími městy.

Vztah koncentrací PM<sub>10</sub> mezi Jabloncem a Libercem se ukázal jako nejtěsnější ve všech obdobích. To je možné vysvětlit relativně stejnými meteorologickými podmínkami a malou vzdáleností obou měst. Podobné vztahy pozorovala například Zee et al. (1998) v Holandsku.

V Albrechticích byla měřena teplota od 19. prosince 2005 do 21. září 2006 korelace mezi těmito teplotami a teplotami, které byly naměřeny v rámci AIM na Souši pro toto období byla velmi silná a to  $r = 0,92$ . Z důvodu přepsání části dat v počátku měření nebyla celá místní řada k dispozici, proto byly pro vyjádření vztahu koncentrací částic a teploty použity průměrné denní teploty naměřené na Souši pro období celých sledovaných patnácti měsíců.

V průběhu celého sledovaného období byla v Albrechticích mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> a teplotou zjištěna nepřímá úměrnost, korelační koeficient pro toto období byl  $r = -0,36$ . Pro topnou sezónu byl mezi těmito veličinami nalezen o něco těsnější vztah, korelační koeficient byl  $r = -0,41$ . Domasová (1999) zjistila v malé obci na Berounsku pro vztah denních koncentrací PM<sub>10</sub>, naměřených pomocí Harvard impaktoru a minimální denní teploty korelační koeficient pro jedno zimní období jako  $r = -0,44$  a pro druhé období  $r = -0,10$ . Což velmi odpovídá údajům zjištěným v Albrechticích. To svědčí o tom, že čím je chladněji, tím se více topí a uvolňuje se tedy do ovzduší více částic. Zimní podmínky, zvláště nízká teplota, také neumožňují aerosolu velkou disperzi a depozici.

Tuto nepřímou úměrnost mezi koncentracemi částic a teplotou v zimním období potvrzuje i fakt, že nejvyšší průměrná měsíční koncentrace BS i PM<sub>10</sub>, za celé sledované období, ve všech porovnávaných lokalitách byla pozorována v lednu 2006. V tomto měsíci byla také naměřena nejnižší průměrná měsíční teplota. Domasová (1999) pozorovala v malé obci na Berounsku také nejvyšší průměrnou měsíční koncentraci PM<sub>10</sub> v měsíci s nejnižší průměrnou měsíční teplotou.

V letním období 2006 byl v Albrechticích pro PM<sub>10</sub> a teplotu nalezen korelační koeficient  $r = 0,34$  a v létě 2005  $r = -0,01$ . Léto 2005 bylo ovšem celkově chladnější než léto 2006. Burton et al. (1996) ve Philadelphii prokázal v létě pozitivní korelaci s teplotou. Byl zde nalezen korelační koeficient  $r = 0,64$ . Zde byl ovšem pozorován ještě značný příspěvek resuspendovaných částic.

Ve vztahu koncentrací PM<sub>10</sub> a teploty se projevovaly značné rozdíly v průběhu roku. Mezi denními koncentracemi částic a průměrnou denní teplotou v letních měsících byla přímá úměrnost a v zimních měsících nepřímá úměrnost. Říjen a květen by se daly chápat jako určitá přechodná období. K podobným závěrům došel Braniš (2002) při porovnání výsledků z 97 stanic AIM z celé České republiky. Zde by se jako přechod dal považovat již duben a říjen. V Albrechticích tímto zlomovým měsícem byl až květen, což se dá vysvětlit chladným horským klimatem Albrechtic a také nezvykle dlouhou zimou 2005/2006.

Mezi denními koncentracemi částic BS a průměrnou denní teplotou byl nalezen poměrně těsný vztah v průběhu celého sledovaného období, korelační koeficient byl zjištěn jako  $r = -0,67$ . V prosinci 2005 až únoru 2006 byl tento vztah ještě těsnější, korelační koeficient měl hodnotu  $r = -0,78$ . Nejvyšší koncentrace BS byly při velmi nízkých teplotách. To potvrzuje teorii, že čím je chladněji, tím se více topí a uvolňuje se do ovzduší více částic ze spalovacích procesů.

Mezi denními koncentracemi částic PM<sub>10</sub> a průměrnou denní rychlostí větru byla v celém sledovaném období zjištěna nepřímá úměrnost s korelačním koeficientem  $r = -0,32$ . V zimním období byla tato závislost o něco těsnější. Korelační koeficient v tomto období byl zjištěn jako  $r = -0,43$ . Pro obě sledovaná letní období byl korelační koeficient mezi těmito veličinami nalezen také záporný, ale tento vztah již nebyl tak těsný jako v zimním období. Pro mimotopnou sezónu 2005 byl korelační koeficient mezi rychlostí větru a koncentracemi částic PM<sub>10</sub>  $r = -0,18$  a pro mimotopnou sezónu 2006 byl tento koeficient  $r = -0,23$ . Nejtěsnější závislost byla pozorována v listopadu 2005, pro tento měsíc měl korelační koeficient hodnotu  $r = -0,60$ . Naopak nejvolnější vztah mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> a rychlostí větru byl pozorován v červenci 2005, korelační koeficient měl hodnotu  $r = -0,08$ .

Harrison et al. (1997) v Birminghamu prokázal v zimním období negativní korelace koncentrací částic s rychlostí větru a v létě naopak pozitivní korelace. Nižší koncentrace částic v zimním období při vyšších rychlostech větru se dají vysvětlit jako důsledek zředování a výměny vzduchu. Vyšší koncentrace v létě jsou naopak způsobeny zvýšeným příspěvkem větrem resuspendovaných částic. V Albrechticích se prokázala také negativní korelace mezi koncentracemi PM<sub>10</sub> a rychlostí větru. V letních obdobích se prokázala opět negativní korelace, i když tento vztah nebyl tak těsný. V městském prostředí však lze předpokládat větší příspěvek resuspendovaných částic než na venkově.

Aldrin et al. (2005) pozoroval v Oslu v průběhu dvou let také nepřímou úměrnost mezi koncentracemi částic a rychlostí větru. Zde však byla dominantním zdrojem částic doprava. Také Kukkonen et al. (2005) pozoroval při studování kvality ovzduší ve čtyřech evropských městech nejvyšší hodnoty PM<sub>10</sub> při nejnižších rychlostech větru, stejně jako v Albrechticích.

V prosinci 2005 byl zaznamenán značný pokles průměrné měsíční koncentrace částic ve všech porovnávaných lokalitách. V tomto měsíci byla zaznamenána i nejvyšší průměrná měsíční rychlost větru za celé sledované období. To potvrzuje zmíněnou představu, že koncentrace částic v zimním období negativně koreluje s rychlostí větru. (Harrison et al., 1997) Za zmínku také stojí, že při průměrných denních rychlostech větru nad 3,5 m/s průměrné denní koncentrace PM<sub>10</sub>, za celé sledované období, nikdy nestoupily nad 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Byl také pozorován vztah mezi denními koncentracemi PM<sub>10</sub>, rychlostí větru a teplotou. Největší koncentrace částic byly pozorovány při nízkých teplotách a nízkých rychlostech větru. S rostoucí teplotou a rychlostí větru koncentrace částic v ovzduší klesaly. Jak již bylo uvedeno, při rychlostech větru nad 3,5 m/s nestoupily koncentrace PM<sub>10</sub> nad 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . a při průměrné denní teplotě nad 20 °C stoupla denní koncentrace PM<sub>10</sub> nad 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  jen v jednom případě.

Při zkoumání denního chodu průměrných 15 minutových koncentrací  $PM_{10}$  v Albrechticích a 1 hodinových na Souši bylo zjištěno, že v Albrechticích byla denní maxima zaznamenána hlavně mezi 16 a 24 hodinou. Po celé sledované období byla v Albrechticích denní maxima zaznamenána mezi 16 a 24 hodinou v 61% měřených dnů. Pro srovnání na Souši byla denní maxima v tomto období zaznamenána mezi 16 a 24 hodinou v 31% měřených dnů. Tento stav odpovídá rovnoměrnému rozložení maximálních koncentrací během dnů, protože 8 hodin mezi 16 a 24 hodinou je 30% dne.

V průběhu jednotlivých měsíců byla v Albrechticích denní maxima zaznamenána mezi 16 a 24 hodinou hlavně v zimním období. Ve všech zimních měsících, kromě dubna, bylo více jak 60% denních maxim zaznamenáno od 16 do 24 hodiny. V průběhu celého sledovaného období, bylo zaznamenáno denní maximum mezi 16 a 24 hodinou, ve více než 50% dnů měsíce ve všech měsících kromě dubna 2006 a srpna 2005. Pro srovnání na Souši v této době nastala denní maxima maximálně ve 43% dnů v měsíci. I z průměrů 15 minutových normovaných koncentrací během dne za celé sledované období je zřetelné večerní maximum. Denní minimální koncentrace byly poměrně rovnoměrně rozloženy v průběhu dnů. Z průměrů normovaných koncentrací během dne je ale zřetelné denní minimum v časných ranních hodinách.

Je tedy zřejmé, že když k těmto maximálním koncentracím ve večerních hodinách docházelo v mnohem větší míře v malé obci než na blízké pozadřové stanici na Souši. Lze se tedy domnívat, že tato maxima jsou ovlivněna lidskou činností, kterou je v tomto případě odpolední a večerní topení. Kuhlbusch et al. (2001) pozoroval v Poruhří také maximální denní koncentrace  $PM_{10}$  způsobené lidskou činností v době ranní a večerní dopravní špičky. McCracken a Smith (1998) pozorovali v Guatemale denní maxima ve vnitřních prostorech kuchyní, která byla způsobená přípravou pokrmů. Etyemezian et al. (2005) pozoroval v Addis Abebě denní maxima  $PM_{10}$  okolo sedmé hodiny ráno a v odpoledních a večerních hodinách. Tyto denní špičky byly způsobeny dopravou, přípravou pokrmů a vytápěním domácností.

## 7. Závěr

Malá obec Albrechtice v Jizerských horách budí na první pohled dojem relativně čistého prostředí vhodného k rekreaci a ozdravným pobytům. Na staré pohlednici ze 30. let 20. století se dokonce píše „Albrechtsdorf – Isergebirge Luftbad“, což znamená „Albrechtice – jizerskohorské vzdušné lázně“. Zájem o Albrechtice v Jizerských horách jako o rekreační středisko přetrval do dnešní doby, kdy se mnohonásobně zvýšil jak v letních, tak v zimních měsících. Do této vesnice jezdí za sportovním vyžitím a „nezničenou přírodou“ tisíce chalupářů, škol v přírodě a návštěvníků pensionů. Z této práce je ale zřejmé, že Albrechtice mají k „vzdušným lázním“ poměrně daleko.

Koncentrace  $PM_{10}$  v topné sezóně 2005/2006 byla v malé obci zjištěná dokonce o něco vyšší než v okolních městech Jablonci nad Nisou a Liberci. V tomto období byl poměr částic  $BS/PM_{10}$  roven 0,79, což svědčí o tom, že značná část aerosolových částic v tomto období pochází ze spalovacích procesů v lokálních topeništích. Imisní limity pro  $PM_{10}$  vyplývají ze směrnice EU 1999/30/EC. V České republice jsou tyto limitní hodnoty zohledněny podle § 55 odst. 1 zákona č. 86/2002 Sb. O ochraně ovzduší v nařízení vlády č. 350/2002 Sb. Od 31. 12. 2006 vešla v platnost novelizace tohoto nařízení novým nařízením vlády č. 597/2006 Sb. Imisním limitem pro 24 hodin je  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tato hodnota smí být překročena maximálně 35x během jednoho kalendářního roku. Po celé sledované období došlo ve sledované malé obci k překročení imisního limitu pro  $PM_{10}$  v necelých 10% dnů a v topné sezóně dokonce v 21% dnů. V Albrechticích během 12 měsíců k překročení denního imisního limitu ve 42 dnech, což je více než 35 maximálně povolených překročení. I tento fakt svědčí o tom, že situaci malých sídel, kde převládá vytápění domácností hnědým uhlím, je nutné věnovat větší pozornost.

Skutečnost, že je nutné se problematikou malých sídel zabývat, potvrzuje i fakt, že v těchto sídlech žije poměrně velká část populace našeho státu. V České republice žije v obcích do 500 obyvatel necelých 9% z celkové populace. V obcích do 5000 obyvatel je to dokonce více než 37% z celkové populace. (Internet ČSÚ a)

Je zřejmé, že zhoršená kvalita ovzduší v malých obcích zvláště v topném období je velmi aktuálním problémem. Tento stav je způsoben hlavně tím, že v malých sídlech se k vytápění využívá především tuhých paliv, které jsou spalovány v lokálních topeništích. Vysoké koncentrace škodlivin v ovzduší většinou ještě podporuje tradiční údolní expozice českých vesnic a s ní spojené nepříznivé rozptylové podmínky. I když je v současné době vyvíjena snaha plynofikovat malé obce, je zřejmé, že většina obyvatel těchto obcí stále využívá lokálních topenišť pravděpodobně především z ekonomických důvodů. Z tohoto důvodu tedy v blízké budoucnosti v kvalitě ovzduší malých obcí nelze očekávat výrazné zlepšení. Z toho vyplývá, že kvalita ovzduší v malých obcích je v současné době velmi aktuální problematikou zřejmě nejen u nás, ale také ve východní Evropě a nově přistoupivších zemích EU.

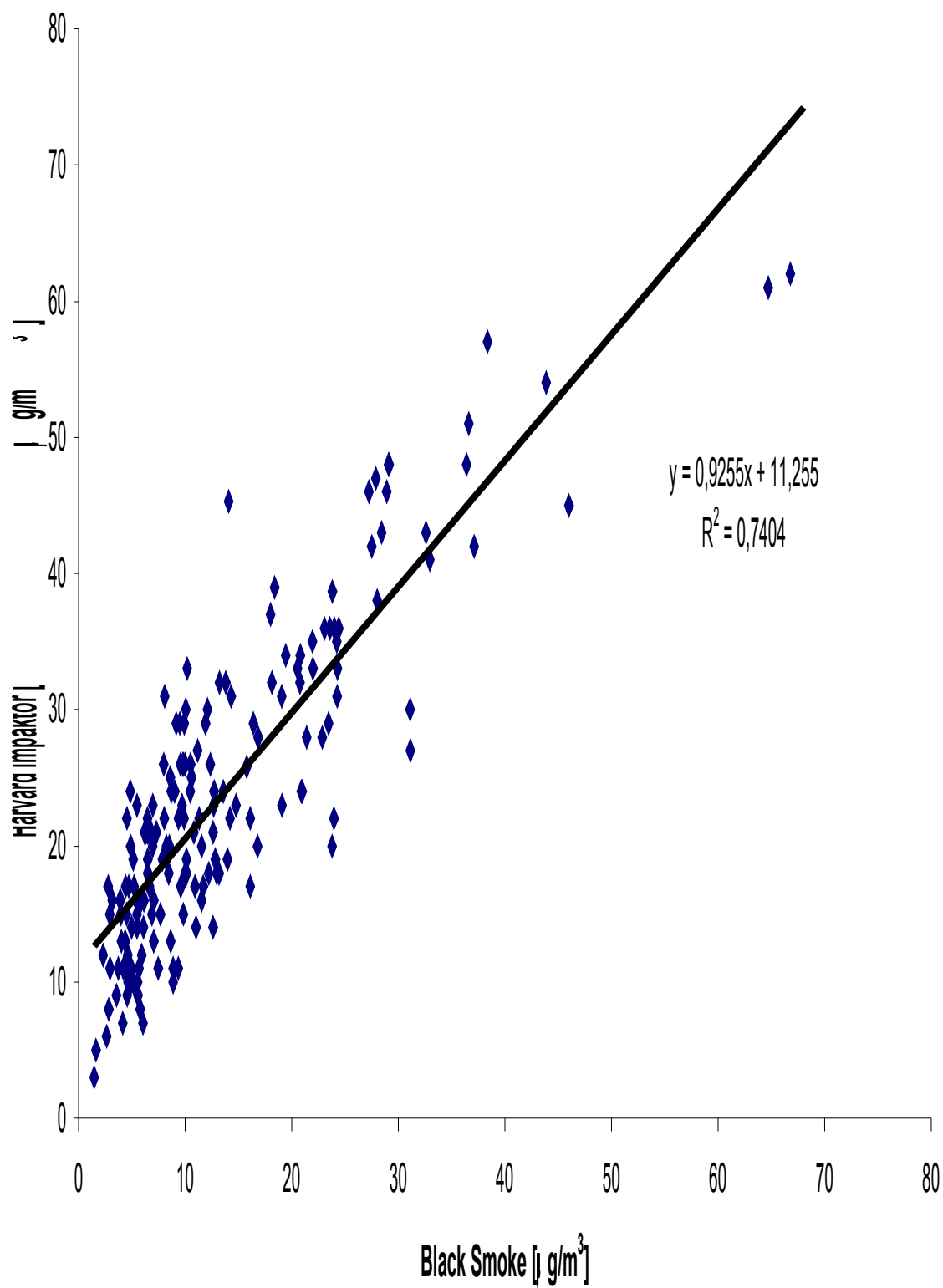
## 8. Přílohy



Obr. č.1: Mapa, na které je zvláště sledovaná malá obec Albrechtice v Jizerských horách.

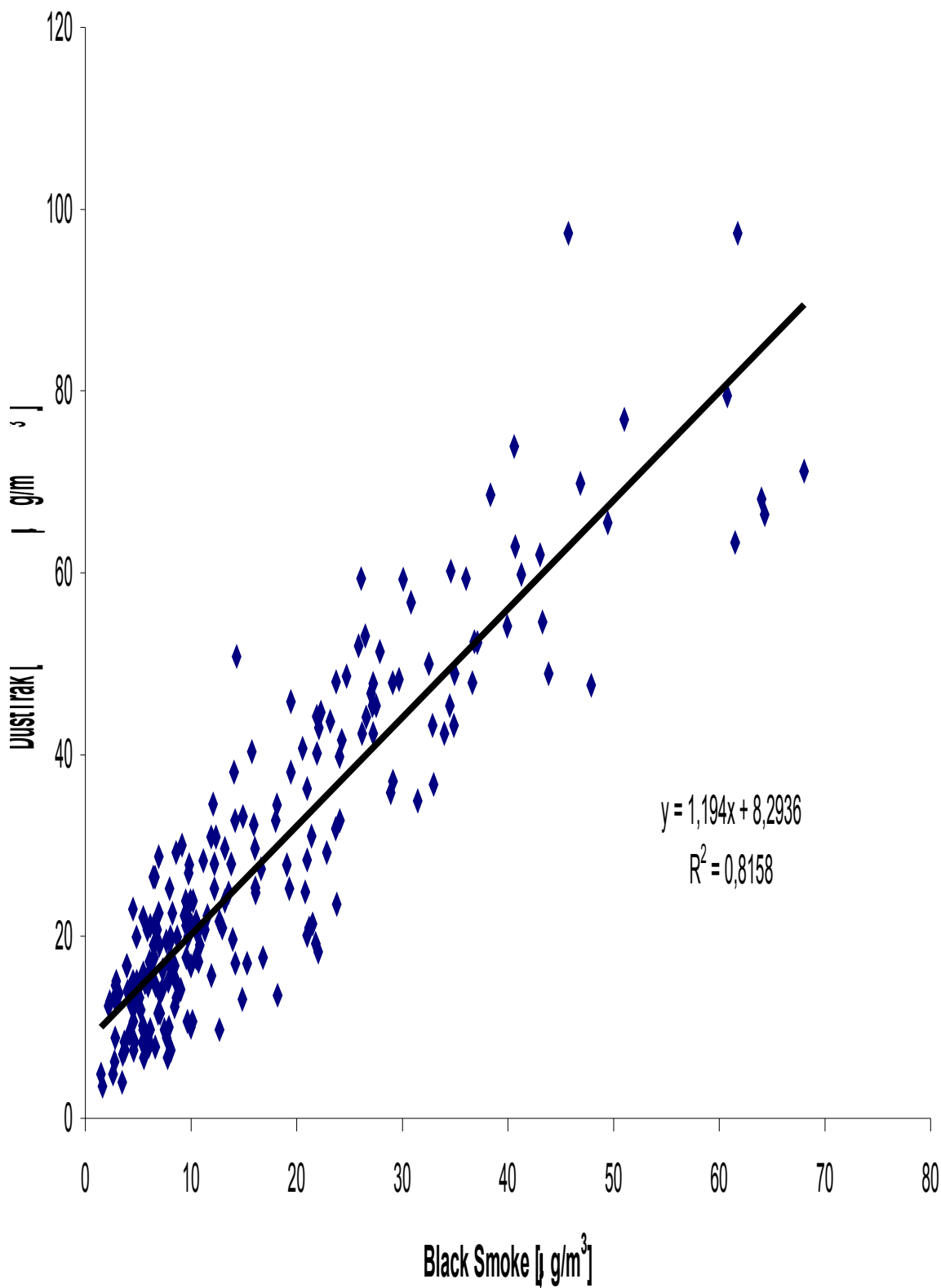


## Regresní závislost: Harvard impaktor a Black Smoke



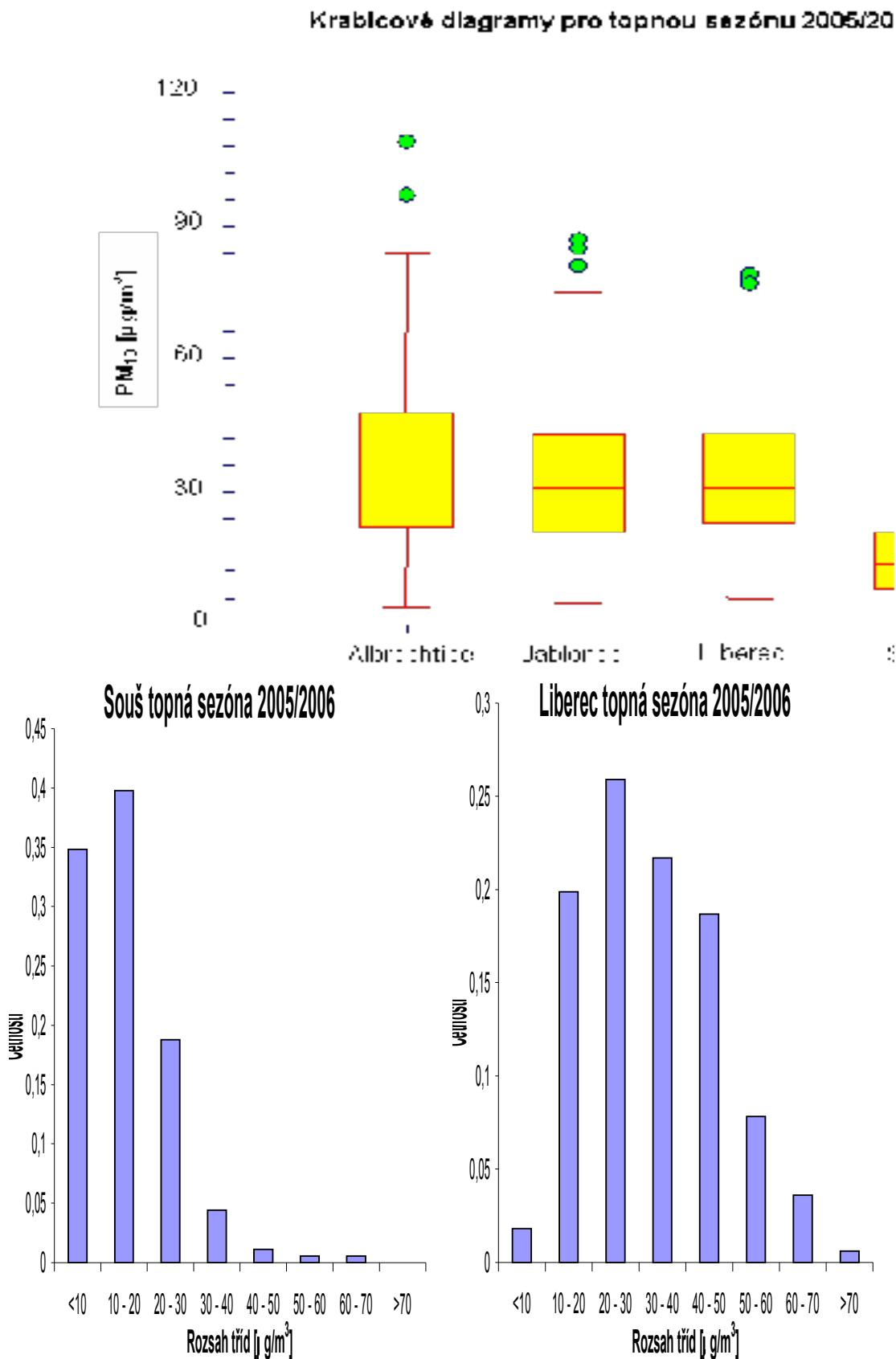
Obr. č. 6: Regresní závislost mezi koncentracemi  $\text{PM}_{10}$  naměřenými pomocí Harvard impaktoru a koncentracemi Black Smoke za celé sledované období v Albrechticích.

### Regresní závislost: DustTrak a Black Smoke

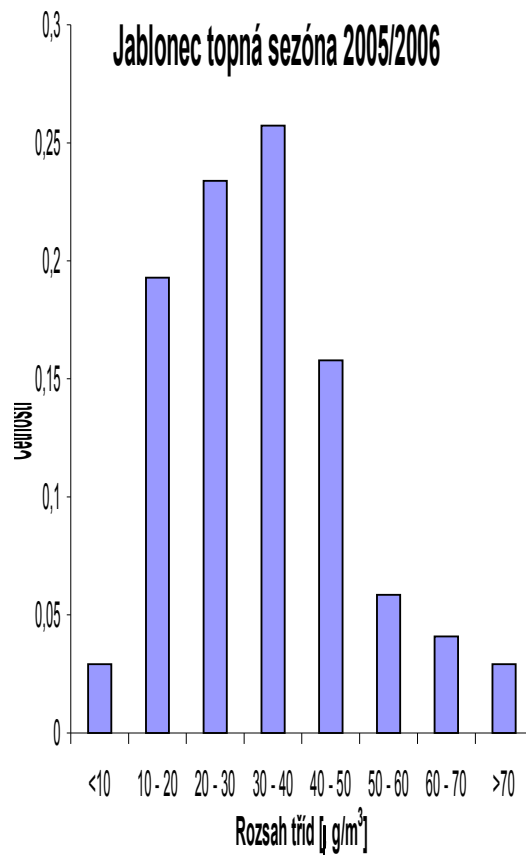
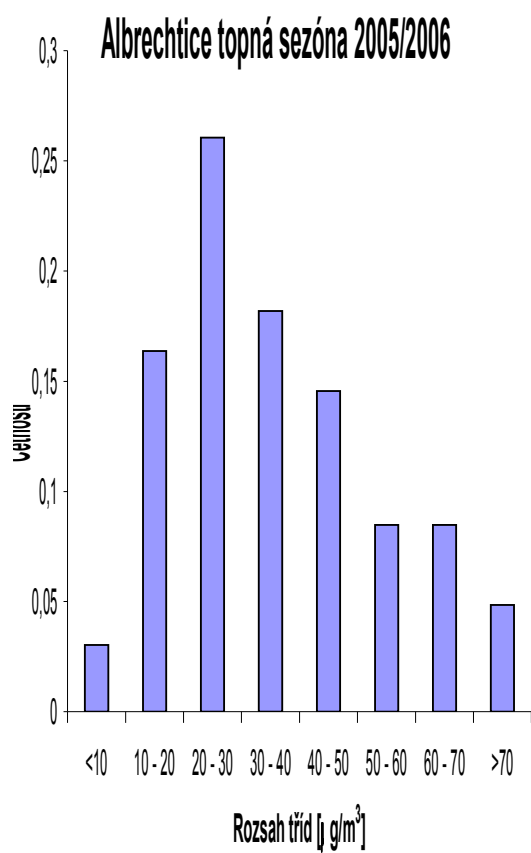


Obr. č. 7: Regresní závislost mezi koncentracemi  $PM_{10}$  naměřenými pomocí DustTrak a koncentracemi Black Smoke za celé sledované období v Albrechticích.

br. č. 14: Krabicové diagramy koncentrací  $PM_{10}$  v Albrechticích, Jablonci, Liberci a na Souši za topnou sezónu 2005/2006. Linka uvnitř krabicového diagramu vyjadřuje medián. Krabicovým diagramem jsou omezeny 25 a 75 kvantil. Chybová úsečka ohraničuje nejnižší a Zelené kroužky označují odlehlé hodnoty (mezi 1,5 a 3násobkem vzdálenosti od 25/75 kvantilu) Červené kroužky označují extrémní hodnoty (ve větší vzdálenosti než troj vzdálenosti od 25/75 kvantilu)



Obr. č. 15: Histogramy 24 hodinových koncentrací  $PM_{10}$  naměřených v topné sezóně 2005/2006 v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a v Liberci.



Tab. č. 4: Výsledné hodnoty 24 hodinových koncentrací  $\text{PM}_{10}$  a BS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] naměřených v měsících topného období od 2005/2006 v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a v Liberci.

<b>Listopad 2005</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	47	32	12	39	35
<b>Směr. odch.</b>	23	13	14	20	17
<b>Medián</b>	54	27	7	35	33
<b>Maximum</b>	109	64	60	85	79
<b>Minimum</b>	8	6	1	10	12
<b>Počet měř.</b>	30	20	30	30	29

<b>Prosinec 2005</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	29	21	12	22	23
<b>Směr. odch.</b>	17	12	10	10	10
<b>Medián</b>	26	21	9	21	23
<b>Maximum</b>	71	44	54	39	46
<b>Minimum</b>	4	3	2	5	6
<b>Počet měř.</b>	30	19	31	28	31

<b>Leden 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	48	38	15	41	42
<b>Směr. odch.</b>	20	15	8	7	9
<b>Medián</b>	47	37	12	75	64
<b>Maximum</b>	84	68	38	87	80
<b>Minimum</b>	13	15	6	10	16
<b>Počet měř.</b>	29	23	31	29	28

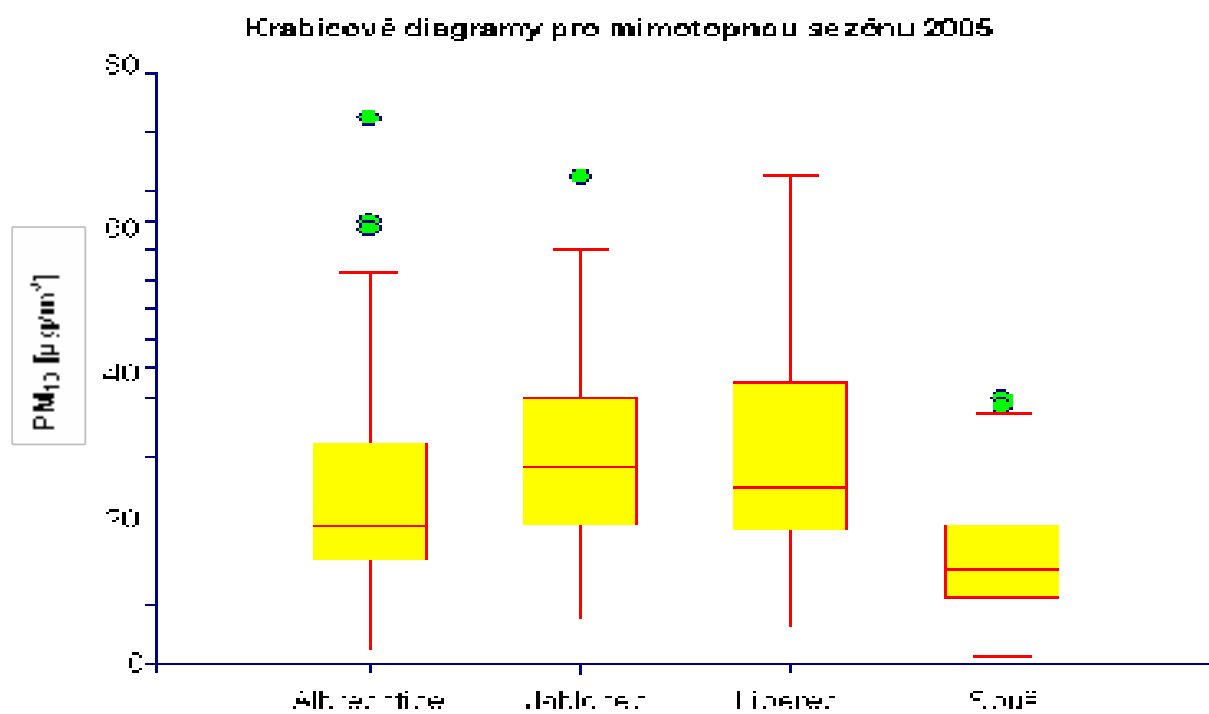
<b>Únor 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	28		15	32	35
<b>Směr. odch.</b>	13		6	18	18
<b>Medián</b>	10		7	10	13
<b>Maximum</b>	62		28	87	77
<b>Minimum</b>	3		1	5	5
<b>Počet měř.</b>	26		28	27	24

<b>Březen 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
--------------------	--------------------------------------	-------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------

<b>Průměr</b>	34	22	20	33	34
<b>Směr. odch.</b>	14	7	11	13	12
<b>Medián</b>	31	22	17	32	33
<b>Maximum</b>	69	38	49	67	62
<b>Minimum</b>	11	9	5	13	16
<b>Počet měř.</b>	21	16	31	29	30

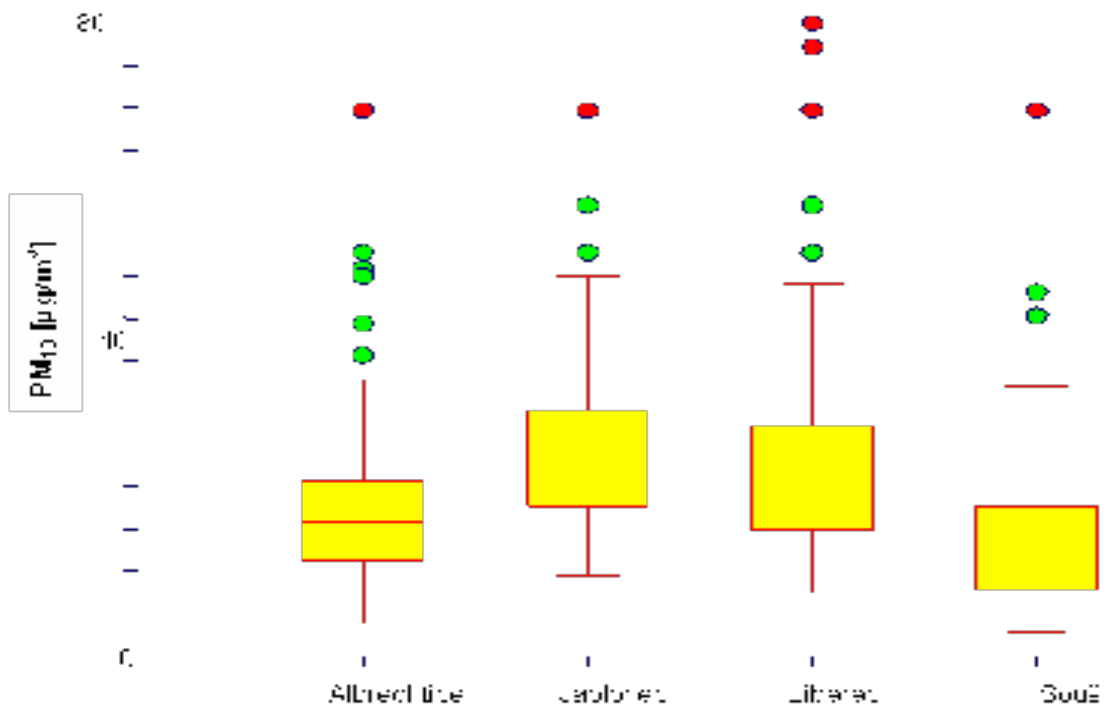
<b>Duben 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	27	17	17	31	30
<b>Směr. odch.</b>	10	9	7	10	11
<b>Medián</b>	26	16	16	31	29
<b>Maximum</b>	49	44	36	49	60
<b>Minimum</b>	14	5	7	14	13
<b>Počet měř.</b>	30	24	30	28	24

Obr. č. 16: Krabicové diagramy koncentrací PM<sub>10</sub> v Albrechticích, Jablonci, Liberci a na Souši za mimotopnou sezónu 2005. (Popisky viz obr. č. 14)

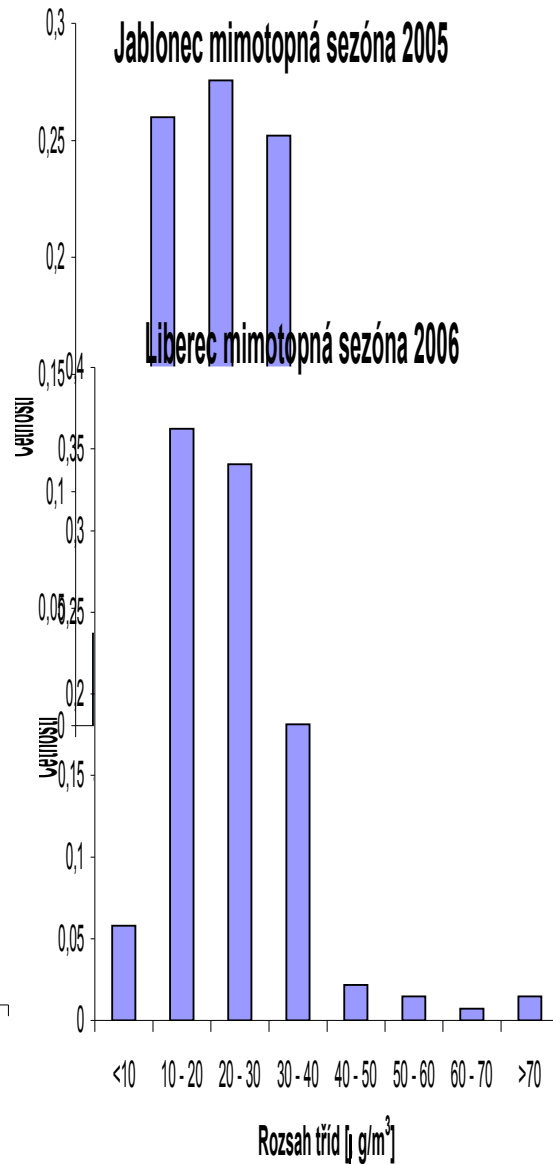
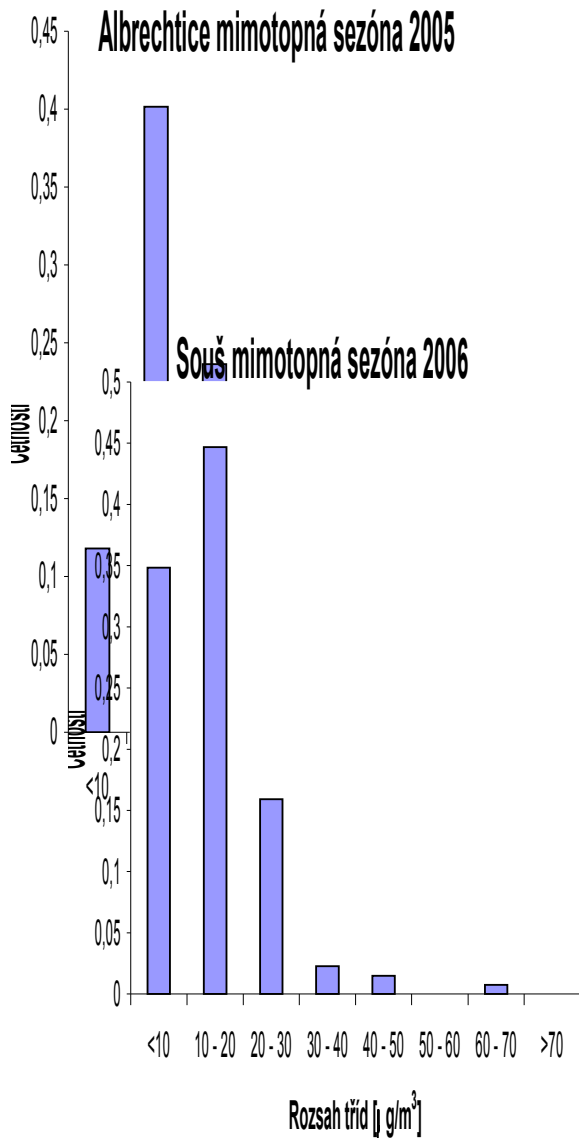
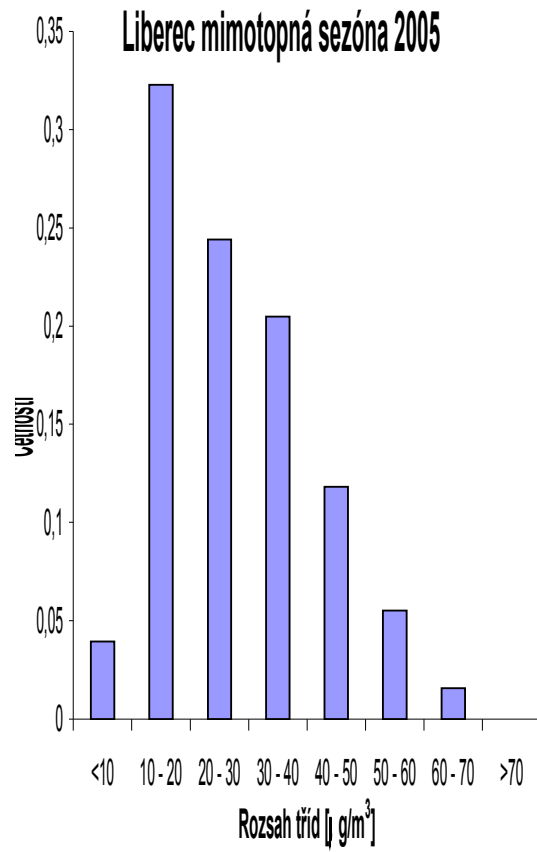
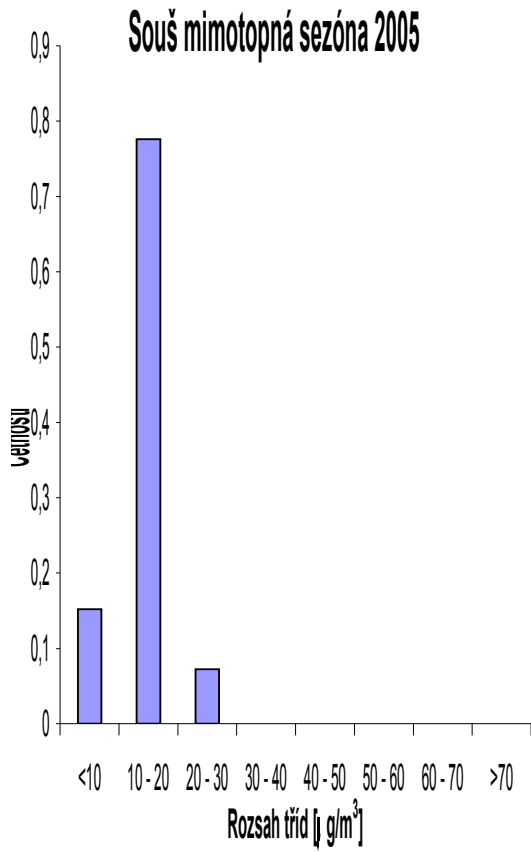


Obr. č. 17: Krabicové diagramy koncentrací  $PM_{10}$  v Albrechticích, Jablonci, Liberci a na Souši za mimotopnou sezónu 2006. (Popisky viz obr. č. 14)

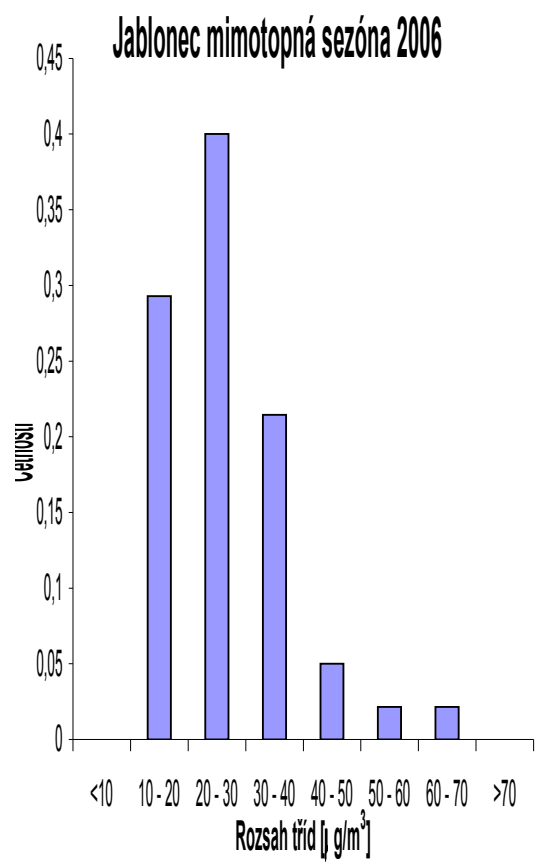
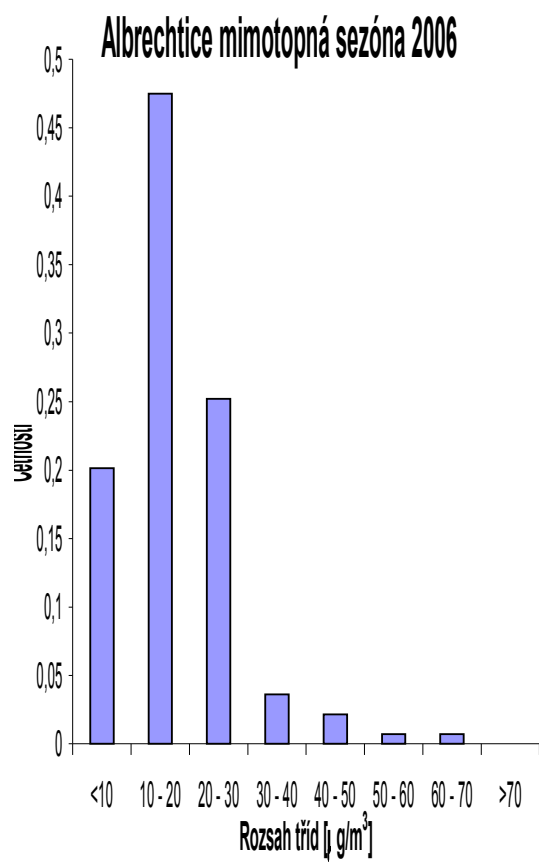
KirabiconA diagramu paa minncapnan zashni 2006







Obr. č. 19: Histogramy 24 hodinových koncentrací  $\text{PM}_{10}$  naměřených v mimotopné sezóně 2006 v Albrechticích, na Souši, v Jablonci a v Liberci.



Tab. č. 7: Výsledné hodnoty 24 hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> a BS [μg/m<sup>3</sup>] naměřených v měsících mimotopného období 2005 v Albrechticích, na Souši, v Jablonci nad Nisou a v Liberci.

<b>Červenec 2005</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	17	12	23	21
<b>Směr.odch.</b>	7	5	8	9
<b>Medián</b>	15	13	22	19
<b>Maximum</b>	36	23	43	41
<b>Minimum</b>	6	3	7	5
<b>Počet měř.</b>	31	31	31	31

<b>Srpen 2005</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	18	13	27	23
<b>Směr.odch.</b>	8	6	9	9
<b>Medián</b>	16	11	26	22
<b>Maximum</b>	41	26	49	46
<b>Minimum</b>	5	5	10	10
<b>Počet měř.</b>	31	29	31	31

<b>Září 2005</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	23	15	31	31
<b>Směr.odch.</b>	10	7	12	12
<b>Medián</b>	24	15	32	32
<b>Maximum</b>	43	29	54	50
<b>Minimum</b>	2	1	6	6
<b>Počet měř.</b>	30	30	30	30

<b>Říjen 2005</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	35	21	18	36	36
<b>Směr.odch.</b>	16	9	10	15	15
<b>Medián</b>	36	22	17	34	38
<b>Maximum</b>	74	31	36	66	66
<b>Minimum</b>	8	2	6	10	10
<b>Počet měř.</b>	31	22	31	31	31

Tab. č. 8: Výsledné hodnoty 24 hodinových koncentrací PM<sub>10</sub> a BS [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] naměřených v měsících mimotopného období 2006 od v Albrechticích, na Souši, v Jablonci nad Nisou a v Liberci.

<b>Květen 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	21	12	18	27	28
<b>Směr. odch.</b>	15	9	13	15	20
<b>Medián</b>	17	8	15	25	21
<b>Maximum</b>	69	39	69	69	80
<b>Minimum</b>	6	4	2	10	9
<b>Počet měř.</b>	30	29	30	30	30

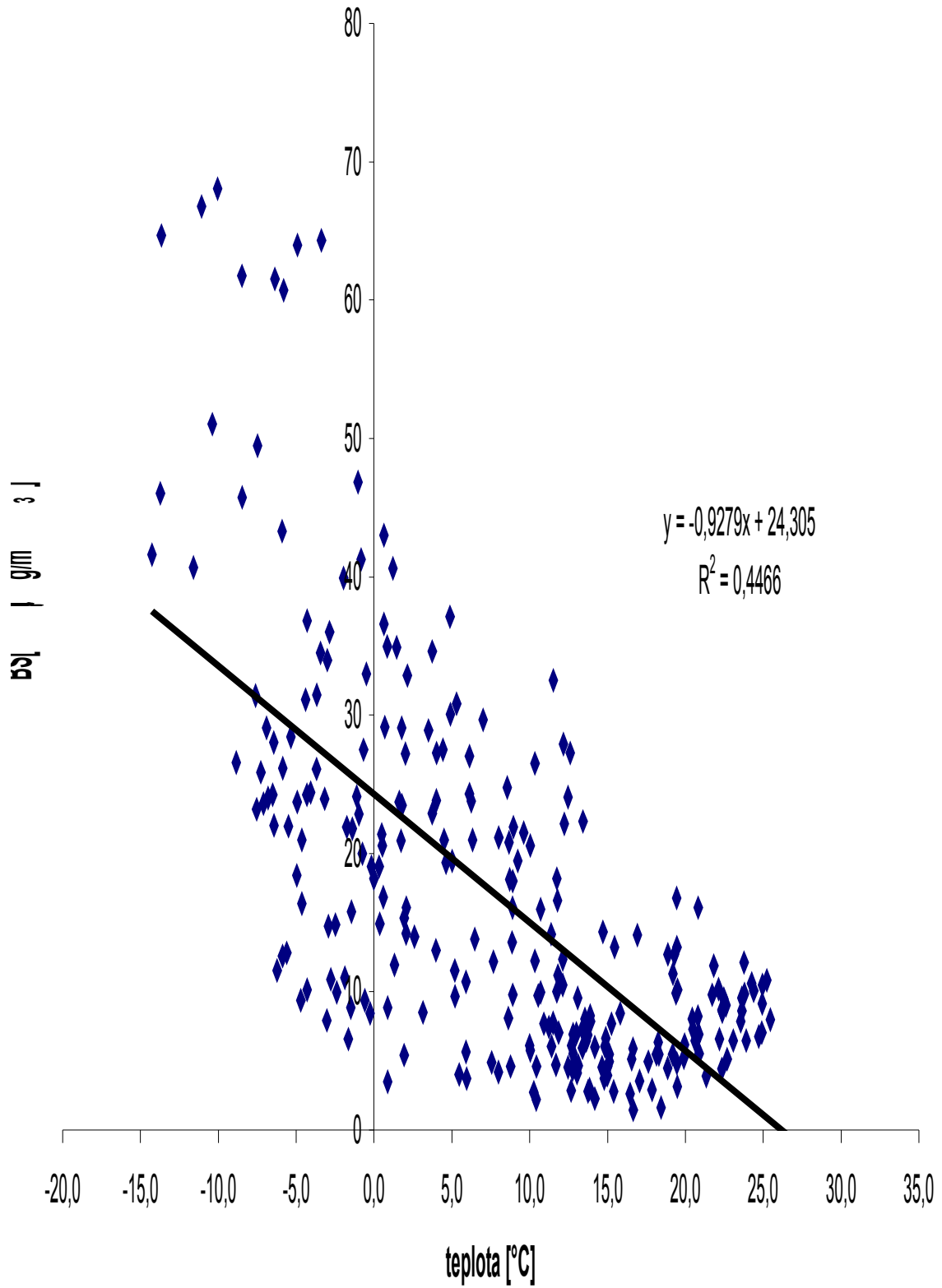
<b>Červen 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	16	6	16	26	24
<b>Směr. odch.</b>	5	2	6	7	7
<b>Medián</b>	15	6	17	25	24
<b>Maximum</b>	30	9	33	45	40
<b>Minimum</b>	8	4	4	16	10
<b>Počet měř.</b>	28	23	31	31	30

<b>Červenec 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	19	8	17	31	26
<b>Směr. odch.</b>	8	3	4	10	7
<b>Medián</b>	20	8	16	30	26
<b>Maximum</b>	35	16	30	51	39
<b>Minimum</b>	4	1	11	12	11
<b>Počet měř.</b>	31	29	19	27	26

<b>Srpen 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	13	5	7	19	15
<b>Směr. odch.</b>	4	2	3	4	5
<b>Medián</b>	13	5	6	19	15
<b>Maximum</b>	23	16	16	27	27
<b>Minimum</b>	5	1	3	10	8
<b>Počet měř.</b>	31	25	31	31	31

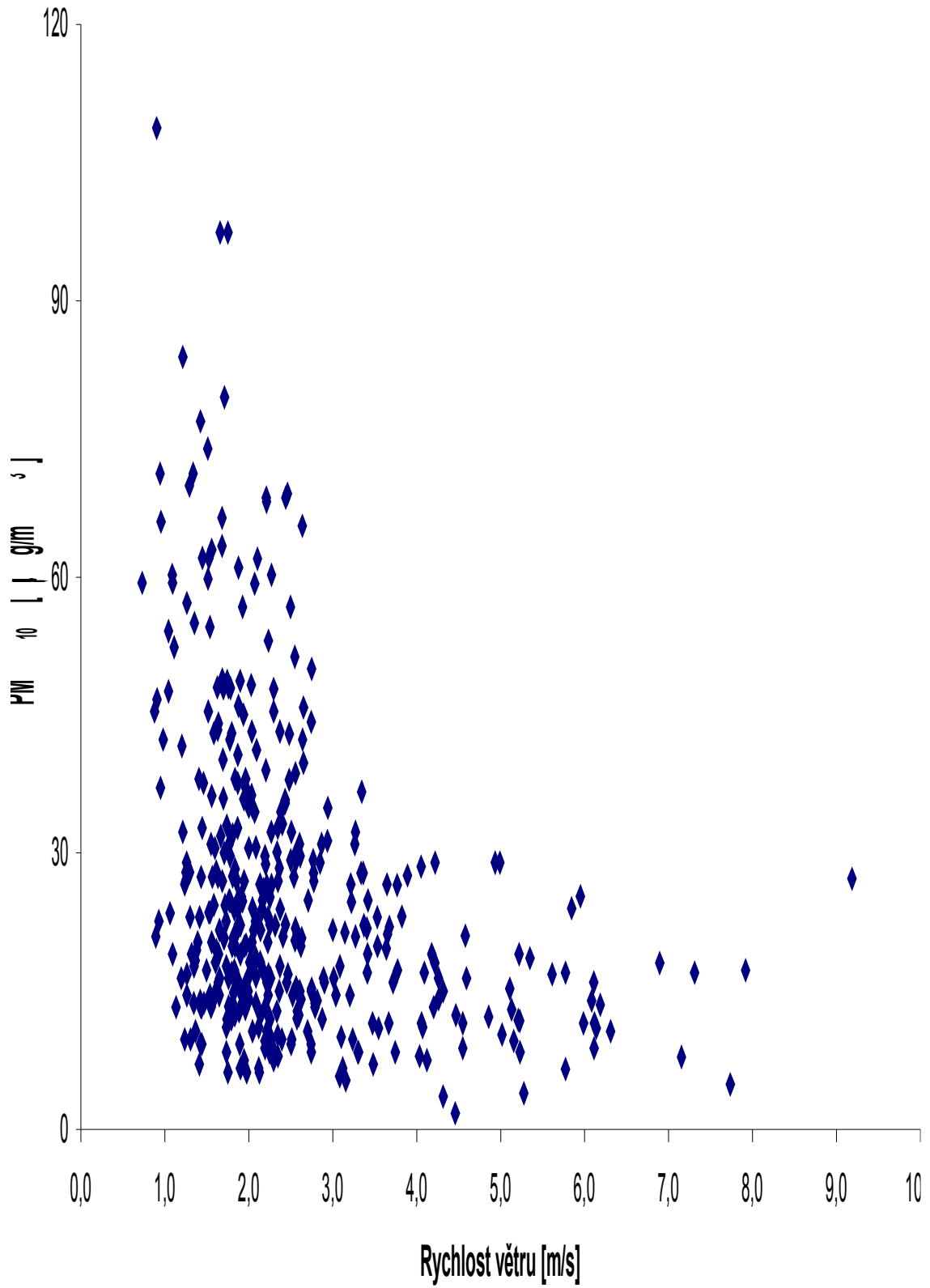
<b>Září 2006</b>	<b>Albrechtice (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Albrechtice (BS)</b>	<b>Souš (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Jablonec (PM<sub>10</sub>)</b>	<b>Liberec (PM<sub>10</sub>)</b>
<b>Průměr</b>	22	9	15	34	28
<b>Směr. odch.</b>	9	4	7	15	8
<b>Medián</b>	21	9	11	13	12
<b>Maximum</b>	49	15	32	69	51
<b>Minimum</b>	8	3	6	13	12
<b>Počet měř.</b>	18	13	30	30	24

## Regresní závislost: BS a teplota



Obr. č. 21: Regresní závislost mezi průměrnými denními koncentracemi BS a průměrnou denní teplotou v Albrechticích v průběhu celého sledovaného období.

## Vztah koncentrací $PM_{10}$ a rychlosti větru v Albrechticích



Obr. č. 22: Vztah mezi průměrnými denními koncentracemi  $PM_{10}$  a průměrnou denní rychlostí větru v Albrechticích za celé sledované období

## 9. Literatura

Abraham J., Ciechanowicz-Kusztal R., Drüeke M., Jodłowska-Opyd G., Kallweit D., Keder J., Kulaszka W. and Novak J. (1999): Common Report on Air Quality in the Black triangle region 1999, DrukPol, Jelenia Góra.

Aldrin M. and Haff I. (2005): Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume and meteorology, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 39, 2145-2155.

Alves C., Pio C. and Duarte A. (2001): Composition of extractable organic matter of air particles from rural and urban Portuguese areas, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 35, (32), 5485-5496.

Alves C., Reis M. A. and Freitas M. C. (1998): Air particulate matter characterisation of a rural area in Portugal, *NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH*, 136-138, (2), 941-947.

Artiñano B., Salvador P., Alonso D. G., Querol X. and Alastuey A. (2003): Anthropogenic and natural influence on the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> aerosol in Madrid (Spain). Analysis of high concentration episodes, *ENVIRONMENTAL POLLUTION*, 125,(3), 453-465.

Ashbaugh L. L., Carvacho O. F., Brown M. S., Chow J. C., Watson J. G. and Magliano K. C. (2003): Soil sample collection and analysis for the Fugitive Dust Characterization Study, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 37, (9-10), 1163-1173.

Bednář J. (1985): Vybrané kapitoly z meteorologie, Univerzita Karlova, Praha.

Bencko V., Cikrt M. a Letner J. (1995): Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka, Grada, Praha.

Bericko M., Luciani A., Formignani M. (1997): Atmospheric aerosol in an urban area – Measurements of TSP and PM<sub>10</sub> standards and pulmonary deposition assessments, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 31, (21), 3659-3665.



Bezačinský M. et al. (1988): Stopové prvky a toxické látky v životním prostředí, Dům techniky ČSVTS, Ústí nad Labem.

Braniš M. (2002): Emise versus imise, aneb jak vyjádřit a chápat změny v kvalitě ovzduší (příklad s aerosoly), OCHRANA OVZDUŠÍ, 1, 7-11.

Braniš M. and Domasová M. (2003): PM<sub>10</sub> and black smoke in a small settlement: case study from the Czech Republic, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 37, 83-92.

Brimblecombe P. (1996): Air composition and chemistry, Cambridge University.

Brits E., Schoeters G. and Verschaeve L. (2004): Genotoxicity of PM<sub>10</sub> and extracted organics collected in an industrial, urban and rural area in Flanders, Belgium, ENVIRONMENTAL RESEARCH, 96, (2), 109-118.

Burton R. N., Suh H. H. and Koutrakis P. (1996): Spatial variation in particulate concentrations within metropolitan Philadelphia, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 30, 400-407.

Chaloulakou A., Kassomenos P., Grivas G. and Spyrellis N. (2005): Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece, ENVIRONMENT INTERNATIONAL, 31, 651-659.

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.

Chow J. C., Watson J. G., Pritchett L. C., Pierson W. R., Frazier C. A. and Purcell R. G. (1993): The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U.S. air quality studies, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 27A, 1185-1201.

Domasová M. (1999): Měření kvality ovzduší metodou PM<sub>10</sub> v malé obci na Berounsku během zimních období 1997/1999, diplomová práce, Univerzita Karlova, Praha.

Donkelaar T. M. (1996): Measurements of atmospheric aerosols in Prague and analysis of their elemental composition, Institute for Environmental Studies Charles University Prague.

Elvingson P. and Ågren Ch. (2004): Air and the Environment, Elanders Infologistics AB, Mölnlycke.

Etyemezian V., Tesfaye M., Yimer A., Chow J.C., Mesfin D., Nega T., Nikolich G., Watson J.G., Wondmagegn M. (2005): Results from a pilot-scale air quality study in Addis Ababa, Ethiopia, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 39, 7849-7860.

Fischer P. H., Hoek G., van Reeuwijk H., Briggs D. J., Lebret E., van Wijnen J. H., Kingham S. and Elliott P. E. (2000): Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 34, (22), 3713-3722.

Fuller G. W., Carslaw D. C. and Lodge H. W. (2002): An empirical approach for the prediction of daily mean PM<sub>10</sub> concentrations, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 36, (9), 1431-1441.

Gilmour P. S., Brown D. M., Lindsay T. G., Beswick P. H., MacNee W. and Donaldson K. (1996): Adverse health effects of PM<sub>10</sub> particles: involvement of iron in generation of hydroxyl radical, *OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL MEDICINE*, 53, (12), 817-22.

Gomišček B., Hauck H., Stopper S. and Preining O. (2004): Spatial and temporal variations of PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and particle number concentration during the AUPHEP—project, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 38, (24), 3917-3934.

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. and Künzli N. (2005): Elemental composition and reflectance of ambient fine particles at 21 European locations, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 39, (32), 5947-5958.

Götschi T., Oglesby L., Mathys P., Monn Ch., Manalis N., Koistinen K., Jantunen M., Hanninen O., Polanska L. and Kunzli N. (2002): Comparison of Black Smoke and PM<sub>2,5</sub> Levels in Indoor and Outdoor Environments of Four European Cities, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 36, 1191-1197.

Götz G., Mészáros E. and Vali G. (1991): Atmospheric particles and nuklei, Akadémiai Kiadó, Budapest.

Hamilton R. S. and Trudie A. M. (1991): Airborne particulate elemental carbon: its sources, transport and contribution to dark smoke and soiling, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 25A, 715-723.

Harrison R. M. (2001): Pollution – Causes, Effects and Control, The royal society of chemistry, Cambridge.

Harrison R. M., Deacon A. R., Appleby R. S. and Jones M. R. (1997): Sources and processes affecting concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Particulate Matter in Birmingham (U.K.), ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 31, (24), 4103-4117.

Hinds C. W. (1999): Aerosol technology – Properties, behavior and measurement of airborne particles, John Wiley and sons, New York.

Hoek G., Forsberg B., Borowska M., Hlawiczka S., Vaskövi E., Welinder H., Braniš M., Beneš I., Kotešovec F., Hagen L. O. et al. (1997): Wintertime PM<sub>10</sub> and black smoke concentrations across Europe: results from the peace study, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 31, (21), 3609-3622.

Hoek G., Meliefste K., Cyrys J., Lewné M., Bellander T., Brauer M., Fischer P., Gehring U., Heinrich J., van Vliet P. and Brunekreef B. (2002): Spatial variability of particle concentrations in three European areas, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 36, 4077-4088.

Hueglin Ch., Gehrig R., Baltensperger U., Gysel M., Monn Ch. and Vonmont H. (2005): Chemical characterisation of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 39, (4), 637-651.

Hůnová I. a Šantroch J. (1999): Promítnutí právních předpisů Evropské Unie do legislativy upravující ochranu kvality ovzduší v České republice. OCHRANA OVZDUŠÍ, 4, 1-7.

Hůnová I. a Šantroch J. (2000): Právní předpisy Evropské Unie a jejich důsledky pro monitorování prašného aerosolu (PM10) pro Českou republiku. OCHRANA OVZDUŠÍ, 6, 1-3.

Internet, ČHMI: <http://www.chmi.cz/meteo/ok/infklim.html>.

Internet ČHMÚ a: [http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/exceed/summary/limit\\_2006.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/exceed/summary/limit_2006.html).

Internet ČHMÚ b: [http://www.chmu.cz/uoco/isko/tab\\_roc/tab\\_roc.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/tab_roc/tab_roc.html).

Internet ČHMÚ c: [http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution\\_locality/loc\\_LSOU.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution_locality/loc_LSOU.html).

Internet ČHMÚ d: [http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution\\_locality/loc\\_LJNM.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution_locality/loc_LJNM.html).

Internet ČHMÚ e: [http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution\\_locality/loc\\_LLIM.html](http://www.chmu.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution_locality/loc_LLIM.html).

Internet ČSÚ a: <http://www.czso.cz/csu/2006edicniplan.nsf/p/4019-06>.

Internet ČSÚ b: <http://www.czso.cz/xl/edicniplan.nsf/p/13-5101-06>.

Internet Eur-lex (2006): <http://eur-lex.europa.eu/cs/prep/index.htm>.

Internet Sbírka zákonů: <http://web.mvcr.cz/sbirka/2002/sb037-02.pdf>.

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), 1185-119.

Jones N. C., Thornton C. A., Mark D. and Harrison R. M. (2000): Indoor/outdoor relationships of particulate matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 34, (16), 2603-2612.

Junge C. E. (1963): *Air Chemistry and radioactivity*, Academic Press, New York.

Katsouyanni K. (1995): Health effects of air pollution in southern Europe: are there interacting factors?, *ENVIRON HEALTH PERSPECT*, 103, 23-27.

Kožnarová J. (1999): Měření prašného aerosolu v ovzduší metodou "Black Smoke" v modelovém území, diplomová práce, Univerzita Karlova, Praha.

Kuhlbusch T. A. J., John A. C. and Fissan H. (2001): Diurnal variations of aerosol characteristics at a rural measuring site close to the Ruhr-Area, Germany, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 35, (1), 13-21.

Kukkonen J., Pohjola M., Sokhi R. S., Luhana L., Kitwiroon N., Fragkou L., Rantamäki M., Berge E., Odegaard V., Slordal L. H., Denby B., Finardi S. (2005): Analysis and evaluation of selected local-scale PM10 air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 39, 2759-2773.

Laakso L., Hussein T., Aarnio P., Komppula M., Hiltunen V., Viisanen Y. and Kulmala M. (2003): Diurnal and annual characteristics of particle mass and number concentrations in urban, rural and Arctic environments in Finland, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 37, (19), 2629-2641.

McCracken J. P. and Smith K. R. (1998): Emissions and efficiency of improved woodburning cookstoves in highland Guatemala, *ENVIRONMENT INTERNATIONAL*, 24, (7), 739-747.

Moldan B. (1977): *Geochemie atmosféry*, Academia, Brno.

Monn Ch., Braendli O., Schaeppi G., Schindler Ch., Ackermann-Liebrich U., Leuenberger Ph. and Sapaldia Team (1995): Particulate matter < 10 µm (PM<sub>10</sub>) and total suspended particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 29, (19), 2565-2573.

Monn Ch., Naef R. and Koller T. (2003): Reactions of macrophages exposed to particles <10 µm, *ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 91, (1), 35-44.

Muir D. and Laxen D. P. H. (1995): Black smoke as a surrogate for PM<sub>10</sub> in health studies?, *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 29, 959-962.

Ostro B. (1993): The association of air pollution and mortality: examining the case for interference, *ARCHIVES OF ENVIRONMENTAL HEALTH*, 48, 326-342.

Pearce D. and Crowards T. (1996): Particulate matter and human health in the United Kingdom, *FUEL AND ENERGY ABSTRACTS*, 37, (5), 387.

Pope C. A., Dockery D. W., Spengler J. D. and Raizenne M. E. (1991): Respiratory Health and PM<sub>10</sub> Pollution – A Daily time Series Analysis, *AMERICAN REVIEWS RESPIRATORY DISEASES*, 144, (3), 668-674.

Pope 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.

Pratsinis S., Ellis E. C., Novakov T., Friedlander S. K. (1984): The carbon containing component of the Los Angeles aerosol: source apportionment and contribution to the visibility budget, *JOURNAL OF THE AIR POLLUTION CONTROL ASSOCIATION*, 31, 643-650.

Querol X., Alastuey A., Viana M. M., Rodriguez S., Artiñano B., Salvador P., Garcia do Santos S., Fernandez Patier R., Ruiz C. R., de la Rosa J. et al. (2004): Speciation and origin of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Spain, *JOURNAL OF AEROSOL SCIENCE*, 35, (9), 1151-1172.

Reichhart T. (1995): Waighhing the helt risks of airborne particulates, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 29, (8), 360-364.

Rodríguez S., Querol X., Alastuey A. and Mantilla E. (2002): Origin of high summer PM10 and TSP concentrations at rural sites in Eastern Spain, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 36, (19), 3101-3112.

Roorda-Knape M. C., Janssen N.A. H., de Hartog J. J., van Vliet P. H. N., Harssema H. and Brunekreef B. (1998): Air pollution from traffic in city districts near major motorways, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 32, (11), 1921-1930.

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 PM<sub>10</sub> at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 35, (21), 3701-3713.

Ruuskanen J., Tuch Th., Ten Brink H., Peters A., Khlystov A., Mirme A., Kos G. P. A., Brunekreef B., Wichmann H. E., Buzorius G., Vallius M., Kreyling W. G. and Pekkanen J. (2001): Concentrations of ultrafine, fine and PM<sub>2.5</sub> particles in three European cities, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 35, 3729-3738.

Schwartz J, Koenig J, Slater D and Larson T. (1993): Particulate air pollution and hospital emergency visits for asthma in Seattle, AMERICAN REVIEW OF RESPIRATORY DISEASE, 147, 826-831.

Smolík J., Schwartz J., Veselý V., Kugler J., Sýkorová I., Kučera J. a Havránek V. (1997): Tuhé emise u fluidního spalování hnědého uhlí, OCHRANA OVZDUŠÍ, 1, 16.

Spurný K., Jech Č., Sedláček B. a Štorch O. (1961): Aerosoly, Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

Stern C. (1977): Air pollution, Academic press, New York.

Studecký K., Kreníková V. a Richter M. (1994): Spalování odpadů v cementárnách, Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.

Šiška F. (1981): Ochrana ovzdušia, Alfa, Bratislava.

Špičák V. (2004): Alergologie, Galín, Praha.

Tonooka Y., Liu J., Kondou Y., Ning Y. and Fukasawa O. (2006): A survey on energy consumption in rural households in the fringes of Xian city, ENERGY AND BUILDINGS, 38, (11), 1335-1342.

Turnbull A. B. and Harrison R. M. (2000): Major component contributions to PM<sub>10</sub> composition in the UK atmosphere, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 34, (19), 3129-3137.

Vallius M. J., Ruuskanen J., Mirme A. and Pekkanen J. (2000): Concentrations and Estimated Soot Content of PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub> in Subarctic Urban Atmosphere, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 34, 1919-1925.

Van Dingenen R., Raes F., Putaud J. P., Baltensperger U., Charron A., Facchini M. C., Decesari S., Fuzzi S., Gehrig R., Hansson H. C. et al. (2004): A European aerosol phenomenology—1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 38, (16), 2561-2577.

Vigotti M. A., Rossi G., Bisanti L., Zanobetti A. and Schwartz J. (1996): Short-term effects of urban air pollution on respiratory health in Milan, Italy, 1980-89, JOURNAL OF EPIDEMIOLOGI AND COMMUNITY HEALTH, 50, 71-75.

Vincent J. H. (1989): Aerosol sampling: science and practice, John Wiley and sons, New York.



Williams S. N. and Self S. (1983): The October 1902 plinian eruption of Santa Maria volcano, Guatemala, JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH, 16, (1-2), 33-56.

Zee S. C. and Hoek G. (1998): Charaktrization of particulate air pollution in urban and non-urban areas in the Netherlandes, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 32, 3717-3729.