

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Bc. Petr ŘEZNÍČEK

**Hodnocení úrovně znečištění ovzduší prašným
aerosolem frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ ve městě Olomouci**

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Martin Jurek, Ph. D.

Olomouc 2011

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci řešil samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

Pardubice, 14. 4. 2011

.....

Tímto upřímně děkuji RNDr. Martinu Jurkovi, PhD. za cenné rady a odborné vedení při řešení této práce. Dále děkuji Ing. Jitce Pudelové z oddělení ochrany ovzduší Magistrátu města Olomouce za poskytnutí verifikovaných dat, ochotu a další cenné informace. Také bych rád poděkoval Mgr. Blance Krejčí a Mgr. Ondřeji Kosíkovi, pracovníkům ČHMÚ Ostrava, za poskytnutá data z dalších měřicích stanic v Olomouci.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr ŘEZNÍČEK**
Osobní číslo: **R09905**
Studijní program: **N1301 Geografie**
Studijní obor: **Regionální geografie**
Název tématu: **Hodnocení úrovně znečištění ovzduší prašným aerosolem
frakcí PM10 a PM2,5 ve městě Olomouci**
Zadávající katedra: **Katedra geografie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem diplomové práce je zhodnotit míru a vývoj úrovně znečištění prašným aerosolem na území města Olomouce z imisních dat dostupných prostřednictvím Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) a z odboru životního prostředí Magistrátu města Olomouce. Zhodnocena budou imisní data o frakci PM10 z dopravních a pozadových monitorovacích stanic ve městě a také imisní data o frakci PM2,5.

Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**
Rozsah pracovní zprávy: **20 000 - 24 000 slov**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Harrop, O. (2002) Air Quality Assessment and Management : A Practical Guide. Spon Press. ISBN 0-415-23411-5. Griffin, R. D. (2007) Principles of Air Quality Management. 2nd ed. CRC Press. ISBN 978-0-8493-7099-1. Moussiopoulos, N. (ed.) (2003) Air Quality in Cities. Springer. ISBN 3-540-00842-X. WHO (2006) Air Quality Guidelines : Global Update 2005. WHO, Regional Office for Europe. ISBN 92-890-2192-6. Časopisy Ochrana ovzduší (ISSN 1211-0337), Meteorologické zprávy (ISSN 0026-1173), Atmospheric Environment (ISSN 1352-2310), Water, Air & Soil Pollution (ISSN 1573-2932), Science of the Total Environment (ISSN 0048-9697).

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Martin Jurek, Ph.D.**
Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: **5. března 2010**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. dubna 2011**

L.S.

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.
děkan

Doc. RNDr. Zdeněk Szczyrba, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 5. března 2010

Obsah

Seznam použitých zkratk a značek	8
Úvod.....	9
1 Cíl práce.....	10
2 Použitá data a metody zpracování	11
2.1 Přehled literatury	11
2.2 Datová základna	13
2.2.1 Klasifikace měřicích stanic EoI	13
2.2.2 Charakteristika měřicích stanic v Olomouci.....	14
2.2.3 Použitá data.....	18
2.3 Metody zpracování	19
3 Teoretická východiska	26
3.1 Charakteristika suspendovaných částic	26
3.2 Nejvýznamnější zdroje suspendovaných částic v ovzduší	27
3.3 Těžké kovy	28
3.3.1 Obecná charakteristika.....	28
3.3.2 Průnik těžkých kovů do organismu	29
3.3.3 Těžké kovy a suspendované částice.....	30
3.3.4 Charakteristika jednotlivých těžkých kovů.....	30
3.4 Limity pro suspendované částice a těžké kovy	36
3.4.1 Hodnoty doporučené WHO, EU a US EPA	36
3.4.2 Legislativní rámec ochrany ovzduší v České republice.....	38
3.4.3 Suspendované částice a index kvality ovzduší	39
3.4.4 Těžké kovy v suspendovaných částicích	41
3.5 Vliv suspendovaných částic na nemocnost a úmrtí	42
3.6 Srovnání suspendovaných částic PM ₁₀ a PM _{2,5}	44
3.6.1 Hodnoty PM ₁₀ a PM _{2,5} ve vybraných evropských městech.....	44

3.6.2	Analýza suspendovaných částic při spalování paliv v malém topeništi ...	46
4	Výsledky analýzy.....	48
4.1	Měsíční a roční průměrné koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5}	48
4.2	Maximální průměrné denní koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5}	56
4.3	Topná období 2004/2005 až 2009/2010 v denostupních.....	59
4.4	Průměrné koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5} v ročních obdobích a chladných a teplých polovinách roku	60
4.5	Průměrné koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5} ve dnech v týdnu	67
4.6	Průměrné koncentrace PM ₁₀ a PM _{2,5} podle skupin synoptických situací	73
4.7	Imise těžkých kovů v PM ₁₀	84
5	Diskuze	92
6	Závěr	95
7	Shrnutí a klíčová slova.....	97
8	Summary and key words	99
9	Seznam použitých pramenů.....	101

Seznam použitých zkratk a značek

AIMS	Automatizovaná imisní monitorovací stanice
CITEAIR	Společná informovanost o kvalitě ovzduší v evropských městech (Common Information to European Air)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
EU	Evropská unie
IRZ	Integrovaný registr znečišťování
ISKO	Integrovaný systém kvality ovzduší
NAAQS	Národní standardy (imisní) kvality ovzduší (National Ambient Air Quality Standards)
PM ₁	Suspendované částice velikostní frakce do 1 mikrometru - submikronové
PM _{2,5}	Suspendované částice velikostní frakce do 2,5 mikrometrů
PM ₁₀	Suspendované částice velikostní frakce do 10 mikrometrů
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
TSP	Celkové suspendované částice (Total Suspended Particulates)
TZL	Tuhé znečišťující látky
US EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí (United States Environmental Protection Agency)
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)
24h	Čtyřiadvacetihodinový

Úvod

Devadesátá léta 20. století jsou v oblasti ochrany ovzduší vnímána jako období úspěchu, kdy v České republice došlo k zásadnímu snížení emisí díky restrukturalizaci národní ekonomiky, zpřísnění právních předpisů a následné realizaci opatření na ochranu ovzduší (odsiřování, denitrifikace a odprašení velkých zdrojů emisí, změna používaných paliv aj.). V souvislosti s tím byl na území státu zaznamenán pokles ve znečištění ovzduší zejména u oxidu siřičitého a suspendovaných částic. Poklesový trend však na přelomu tisíciletí ustal, koncentrace znečišťujících látek spíše stagnovaly nebo dokonce mírně rostly, celkově s poměrně výraznými meziročními výkyvy.

Z hlediska kvality ovzduší není stav životního prostředí v České republice stále optimální. Zhoršená kvalita ovzduší ovšem není plošného charakteru, ale vyskytuje se spíše lokálně. V hustě osídlených regionech představuje znečištěné ovzduší riziko dlouhodobých dopadů na zdraví obyvatel. Stav znečištění ovzduší závisí v posledních letech zejména na množství emisí z dopravy a lokálních topenišť, průmyslové zdroje již mají na celkové imisní situaci menší podíl. Stav životního prostředí je také ovlivňován řadou vnějších, člověkem nevyvolaných faktorů a na meziročních výkyvech znečišťujících látek se velkou měrou podílejí aktuální rozptylové podmínky. S ohledem na různé přírodní faktory a těžko předvídatelný vývoj antropogenního vlivu mohou v budoucnu nastat značné výkyvy v pozitivním i negativním smyslu.

Jednou z nejzávažnějších znečišťujících látek v ovzduší se v posledních letech stal prašný aerosol. Jeho zdroje jsou značně diverzifikované, stejně jako jeho chemická a fyzikální povaha. U řady oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší (OZKO) vyhlášených na území ČR je právě prašný aerosol rozhodnou látkou pro jejich vymezení. Je jednou ze základních složek zimního smogu, ovšem jeho zdroji nejsou pouze sezónně emitující teplárny, kotelny a lokální topeniště, ale ve stále větší míře také doprava. Prašným aerosolem přitom nejsou zatížena nutně jen centra měst a okolí rušných komunikací, ale často také venkovské obce, zejména v souvislosti s používáním méně kvalitních paliv a spalovacích zařízení. Za pozornost také stojí obsah těžkých kovů, které se v prašném aerosolu vážou. Proto nepřekvapuje, že se v zemích EU, a tedy i v České republice, věnuje sledování imisí prašného aerosolu v posledních letech značná pozornost.

1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit míru a vývoj úrovně znečištění prašným aerosolem na území města Olomouce z imisních dat dostupných prostřednictvím Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) a z odboru životního prostředí Magistrátu města Olomouce. Zhodnocena budou imisní data o frakci PM_{10} z dopravních a pozadových monitorovacích stanic ve městě Olomouci a také imisní data o frakci $PM_{2,5}$, a to za období leden 2004 až prosinec 2010.

2 Použitá data a metody zpracování

2.1 Přehled literatury

Při vypracování diplomové práce bylo převážně využito dokumentů z elektronických zdrojů, avšak mnoho užitečných informací bylo získáno také z některých zdrojů v tištěné podobě.

Nejvýznamnějším zdrojem v tištěné podobě byla kniha *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, vydaná kolektivem autorů (editor Jiří Kurfürst) v Chrudimi nakladatelstvím Vodní zdroje Ekomonitor v roce 2008. Byly z ní čerpány obecné informace o charakteru suspendovaných částic a jejich rozdělení dle frakcí do jednotlivých skupin, jejich složení při znečišťování z dopravy, informace o době setrvání suspendovaných částic v ovzduší a také informace k těžkým kovům (jejich obecná charakteristika, průnik do organismu a část charakteristik u jednotlivých těžkých kovů). Také byla z této knihy popsána část vlivů suspendovaných částic na nemocnost a úmrtí.

Dalším tištěným zdrojem informací byla neprodejná publikace od Ing. Jitky Pudelové s názvem *Kvalita ovzduší města Olomouce*, vydaná Odborem životního prostředí Magistrátu města Olomouce v roce 2009. Z této informační brožury byly převzaty některé informace k charakteristice měřicích stanic v Olomouci. Informace o měřicích stanicích v Olomouci byly také doplněny elektronickým zdrojem informací, konkrétně online novinovým článkem Olomouckého deníku.

Jako významný tištěný zdroj poznatků by měl být zmíněn časopis *Ochrana ovzduší*, odborný technický časopis vycházející šestkrát ročně, z toho obvykle jednou jako dvojčíslo za dvojnásobnou cenu. Nepřetržitě vychází již od roku 1969 a obsahově je zaměřen na informace o znečišťování ovzduší a kvalitě ovzduší v České republice a v zahraničí. Dále informuje o negativních účincích škodlivých látek, nejlepších dostupných technikách omezování emisí ze zdrojů znečišťování ovzduší, prezentuje nové poznatky a technické novinky a popularizuje výsledky programů a projektů vědy a výzkumu. Časopis je od roku 2006 řazen mezi odborná recenzovaná periodika, kde se autoři článků řídí závaznými pokyny pro publikování článků. Jeho projekt byl finančně podpořen v grantovém řízení Ministerstva životního prostředí (*Ochrana ovzduší*, 2004).

Zdrojem informací v tištěné formě se stala také kniha *Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě* (1996, v originálním názvu *Air quality guidelines for Europe*). Poprvé

byla vydána Světovou zdravotnickou organizací v roce 1987 jako výsledek více než dvouleté intenzivní práce předních odborníků mnoha oborů. Ministerstvo životního prostředí České republiky vydalo český překlad této práce v roce 1996 v nákladu 1 000 výtisků. V roce 1997 byly Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě aktualizovány a v roce 2000 bylo vydáno druhé vydání. Český překlad směrnice z roku 1996 byl využit v kapitole charakteristiky suspendovaných částic a v kapitole o vlivech suspendovaných částic na nemocnost a úmrtí. Nejnovější poznatky o účincích znečištěného ovzduší na zdraví lidí, publikované ve vědecké literatuře od dokončení druhého vydání, byly vydány ve formě aktualizací směrnic kvality ovzduší pro vybrané znečišťující látky jako *Air quality guidelines for Europe : global update 2005*. Podrobně popisuje čtyři znečišťující látky: suspendované částice, ozon, oxid dusičitý a oxid siřičitý. Publikace je dostupná také on-line a byly z ní převzaty aktuální doporučené nejvyšší hodnoty limitů pro suspendované částice podle WHO.

Informací na *internetových stránkách ČHMÚ* bylo využito v kapitole o suspendovaných částicích a indexu kvality ovzduší, neboť odtud byly převzaty hodnoty koncentrací suspendovaných částic v jednotlivých kategoriích indexu kvality ovzduší. Také odtud bylo zjištěno, že se index kvality ovzduší změnil a výpočet nyní vychází z jiných hodnot. Dále byly z internetových stránek ČHMÚ převzaty informace o EoI klasifikaci měřicích stanic a také podrobnosti k jednotlivým měřicím stanicím sledujícím ovzduší ve městě Olomouci. Kapitola o indexu kvality ovzduší byla dále doplněna informacemi o výpočtu indexu kvality ovzduší v evropském měřítku dle internetových stránek projektu CITEAIR. Z internetových stránek ČHMÚ byla pro výpočet teplot topných období použita Metodika provádění emisní bilance malých zdrojů. Dále byl z internetových stránek ČHMÚ využit kalendář synoptických typů a jejich popis. Na internetových stránkách ostravské pobočky ČHMÚ byly nalezeny užitečné a aktuální informace o aktuálním stavu znečištění ovzduší.

Vlivu suspendovaných částic na zdravotní stav obyvatelstva se blíže věnují také studie Státního zdravotního ústavu, jako např. *Expozice obyvatel suspendovaným částicím a Souhrnná zpráva za rok 2009*. Doplnujícím zdrojem informací se stala také prezentace z konference v Duchcově v roce 2010 s názvem „Známe priority“, sestavená čtyřmi autory a hodnotící zdroje znečišťování ovzduší v dané lokalitě. Dalším zdrojem byla také zpráva Ing. Pavla Machálka (2003) o emisích tuhých znečišťujících látek, respektive její dodatek o toxikologicky závažných látkách v emisích suspendovaných částic PM₁₀ a problematika emisí prachu. Tyto zdroje informací byly využity

při sestavování kapitol o charakteru suspendovaných částic, o nejvýznamnějších zdrojích suspendovaných částic, u kapitoly o těžkých kovech v suspendovaných částicích a u kapitoly o vlivu suspendovaných částic na nemocnost a úmrtí.

Limitní hodnoty v ochraně ovzduší pro suspendované částice byly zpracovávány ze směrnice Evropského parlamentu a Rady, ze Sbírký zákonů České republiky a z internetových stránek americké agentury US EPA.

Z informací o látkách ohlašovaných do Integrovaného registru znečišťování, dostupných z internetových stránek IRZ, byly u těžkých kovů sestaveny jejich jednotlivé charakteristiky.

Na internetových stránkách monitoringu ovzduší města Olomouce byly získány informace o světelném numerickém informačním panelu, jeho dočasném odstavení a o jeho přemístění na novou pozici na Dolní náměstí v Olomouci. Také odtud pocházejí některé informace o jednotlivých měřicích stanicích sledujících ovzduší ve městě Olomouci.

Hodnoty PM_{10} a $PM_{2,5}$ ve vybraných evropských městech byly pro ilustraci problému v zahraničí zpracovány s využitím článku Querola et al. (2004) z časopisu Atmospheric Environment.

Analýza suspendovaných částic při spalování paliv v malém topeništi byla vypracována z elektronické aktualizace krajského programu ke zlepšení kvality ovzduší Ústeckého kraje.

2.2 Datová základna

V období od ledna 2004 do konce prosince 2010, ze kterého jsou zpracovávána data v této diplomové práci, monitorovaly kvalitu ovzduší města Olomouce čtyři měřicí stanice. V současné době monitorují ovzduší města Olomouce tři z nich, neboť čtvrtá stanice čeká na své nové umístění (Pudelová, J. 2009).

2.2.1 Klasifikace měřicích stanic EoI

Klasifikaci stanic pro výměnu informací (EoI) poprvé uvádí Rozhodnutí Rady 97/101/EC a tato klasifikace je závazná pro členské i přidružené země EU. Předpokladem je její převzetí jako jediné oficiální Evropské klasifikace stanic. Na území České republiky je klasifikace imisních stanic výsledkem provedených prací a splněním cíle etapy DÚ01-1.E1 řešeného projektu VaV/740/2/00, který aplikoval klasifikaci EoI na stanice vstupující do procesu hodnocení kvality ovzduší. Poprvé je

v tabelárních sestavách uvedena v roce 2000 v *Přehledu stanic a metod měření kvality ovzduší registrovaných v IIS-ISKO a Souhrnných přehledech překročení imisního limitu a max. hodnot na stanicích ČR v roce 2000* (ČHMÚ, 2001).

Úplná klasifikace EoI se skládá ze tří základních písmen oddělených lomítkem. Klasifikace EoI musí být v dané konkrétní lokalitě potvrzena odborným týmem pracovníků a teprve poté může být uváděna tato úplná klasifikace o třech základních písmenech. Pro některé stanice je klasifikace převážně odvozena z účelu zavedení příslušné stanice a je uváděna pouze neúplná klasifikace, složená z jednoho až dvou písmen (ČHMÚ, 2001).

Tab. 1 Klasifikace stanic pro výměnu informací EoI

Typ stanice	Typ zóny	Charakteristika zóny
Dopravní T	Městská U	Obytná R
Průmyslová I	Předměstská S	Obchodní C
Pozářová B	Venkovská R	Průmyslová I
		Zemědělská A
		Přírodní N
		Obytná/obchodní RC
		Obchodní/průmyslová CI
		Průmyslová/obytná IR
		Obytná/obchodní/průmyslová RCI
		Zemědělská/přírodní AN

Pramen: ČHMÚ (online, 2001)

2.2.2 Charakteristika měřicích stanic v Olomouci

AIMS Olomouc (MOLO)

Pozářová městská obytná měřicí stanice, která byla umístěna ve sportovním areálu u plaveckého bazénu. Od dubna roku 2006 probíhala v okolí stanice intenzivní stavební činnost a od 26. 10. 2006 byla stanice posunuta o zhruba 20 metrů. Z důvodu úprav ve sportovním areálu je od 31. 03. 2007 mimo provoz. Automatizovaný měřicí program sledoval hodnoty SPM, PM₁₀, PM_{2,5} metodou RADIO. Dále zde probíhalo měření těžkých kovů v PM₁₀ a měření polycyklických aromatických uhlovodíků (ISKO, 2009). Vlastníkem měřicí stanice je ČHMÚ, který v současné době nemá vlastní data

o znečištění ovzduší ve městě Olomouci. Měřicí stanice čeká na své nové umístění na území města Olomouce a jako vhodná již byla vybrána lokalita u hejčínského gymnázia. Automatizovaná měřicí stanice by měla být umístěna u tamního hřiště na házenou v průběhu léta 2011. Ing. Jitka Pudelová z odboru životního prostředí magistrátu města Olomouce vyjádřila pochybnosti, zda měření nebude zkreslováno emisemi z dopravy z nedalekého velmi frekventovaného dopravního křížení ulic Erenburgova, Na Šibeníku, Na Trati a Tomkovy ulice, neboť se dle EoI klasifikace nejedná o stanici dopravní, ale o stanici pozad'ovou městskou obytnou (Tauberová, D. 2010).

Olomouc-Šmeralova (MOLS)

Pozad'ová městská obytná měřicí stanice na Šmeralově ulici v areálu vysokoškolských kolejí. Metodou TEOM (oscilační mikrováhy) v intervalu 30 minut zachycuje částice PM_{10} a zároveň měří i těžké kovy v PM_{10} . Měřicí stanice je garantována Státním zdravotním ústavem, nyní se sídlem v Ostravě. (ISKO, 2009). V okolí stanice probíhala od září 2006 do listopadu 2008 stavební činnost, konkrétně výstavba nové budovy Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého.

Olomouc-Velkomoravská (MOLV)

Měřicí stanice byla v březnu 2004 přemístěna z Hotelového domu do hustě obydlené a dopravou zatížené oblasti na ulici Velkomoravská. Jedná se o dopravní městskou obytnou měřicí stanici, která v kombinovaném typu měření získává data o částicích PM_{10} metodou radiometrie – absorpce beta záření. Vlastníkem a provozovatelem je město Olomouc (ISKO, 2009). Měřicí analyzátor suspendovaných částic byl od listopadu 2009 Magistrátem města Olomouce rozšířen o zařízení na měření jemnější frakce suspendovaných částic $PM_{2,5}$ (Pudelová, J. 2009).

Olomouc-Hodolany (MOLD)

Stanice Olomouc-Hodolany je umístěna v průmyslovém areálu potravinářské společnosti Lesaffre Česko a monitoruje kombinovaným programem měření SO_2 , NO_x a teplotu. Provozována je městem Olomouc a její EOI klasifikace je neurčena (ISKO, 2009). Od března 2010 také nově umístěným analyzátozem sleduje data o suspendovaných částicích PM_{10} (Pudelová, J. 2009).

Tab. 2 Měřicí stanice v Olomouci v roce 2011

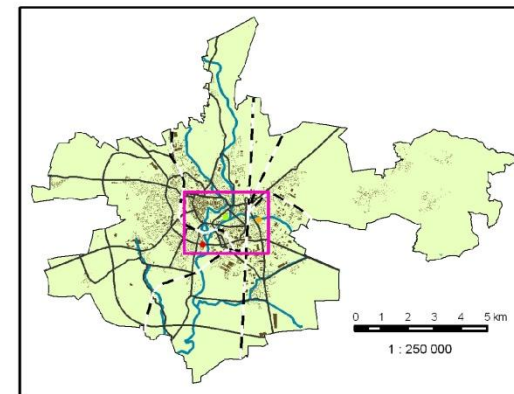
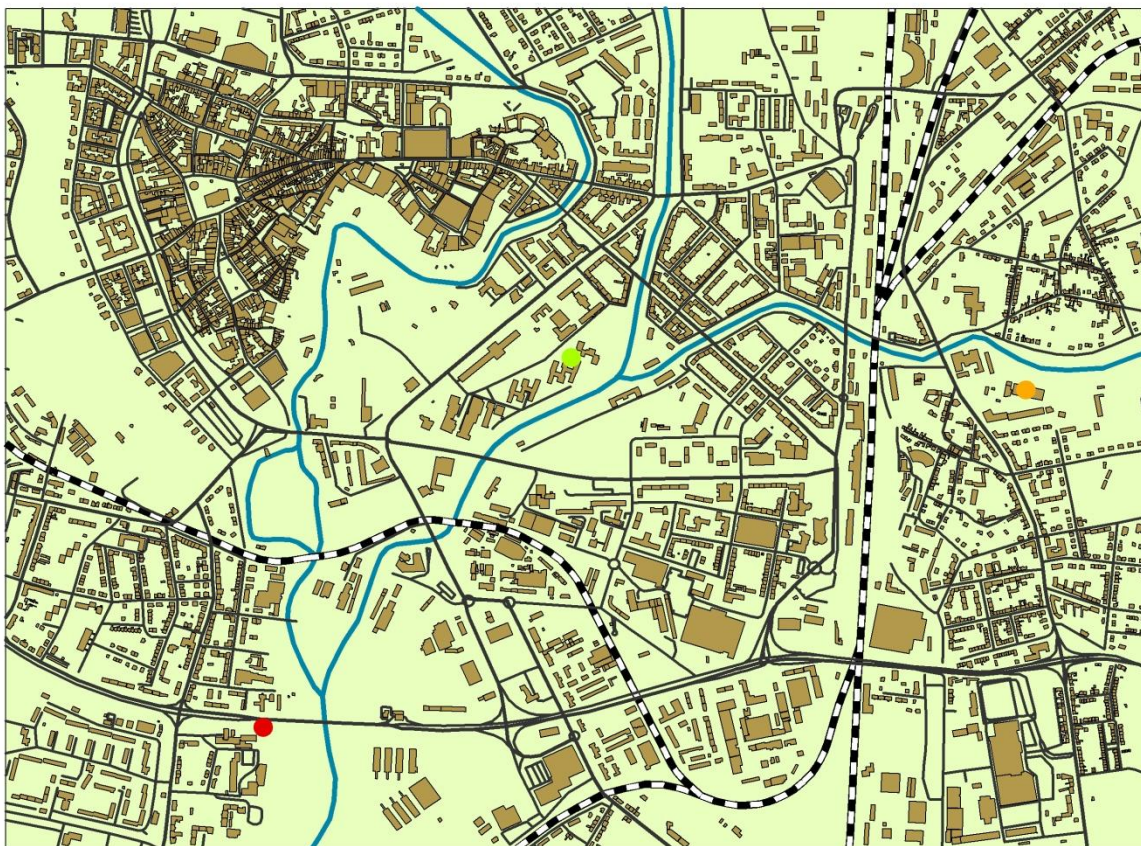
Kód lokality	Název	EOI	Vlastník	ISKO číslo	Kód MP	Typ MP	Metoda
MOLO	Olomouc	B/U/R	ČHMÚ	1075	MOLOA	A	RADIO
				1592	MOLO0	TK	GRV, ICP-MS
MOLS	Olomouc- Šmeralova	B/U/R	Státní zdravotní ústav	1197	MOLSA	A	TEOM
				1692	MOLS0	TK	ICP-MS
MOLV	Olomouc- Velkomoravská	T/U/R	město Olomouc	1622	MOLVK	K	RADIO
MOLD	Olomouc- Hodolany	neurčeno	město Olomouc	1248	MOLDK		

Pramen: ČHMÚ Tabelární přehled (online, 2010)

Vysvětlivky: MP – měřicí program, A – automatizovaný, K – kombinované měření, TK – měření těžkých kovů v PM₁₀

STANICE MĚŘÍCÍ SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE V OLOMOUCI

v roce 2010



Měřicí stanice

- Olomouc-Velkomoravská (MOLV)
- Olomouc-Šmeralova (MOLS)
- Olomouc-Hodolany (MOLD)

- železnice
- silnice
- řeky
- budovy
- obec Olomouc



Software: ArcGIS 9.2
Data: www.openstreetmap.org

Obr. 1: Mapa stanic měřících suspendované částice v Olomouci v roce 2010

2.2.3 Použitá data

Data pro tuto diplomovou práci vycházejí z tabulkových souhrnů a byla získána čtyřmi stanicemi pro sledování kvality ovzduší ve městě Olomouci, z nichž jsou v současné době v provozu tři.

Vyhodnocována byla data o průměrných denních koncentracích suspendovaných částic frakce PM_{10} ze všech čtyř měřicích stanic v následujících obdobích:

- pro stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) za období 10. 3. 2004 až prosinec 2010
- pro stanici Olomouc (MOLO) za období leden 2004 až březen 2007
- pro stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) za období leden 2004 až prosinec 2010
- pro stanici Olomouc-Hodolany (MOLD) za období březen 2010 až prosinec 2010

Data o průměrných denních koncentracích suspendovaných částic frakce $PM_{2,5}$ byla měřena na dvou měřicích stanicích a vyhodnocena:

- pro stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) za období listopad 2009 až prosinec 2010
- pro stanici Olomouc (MOLO) za období leden 2004 až březen 2007

Dále byla zpracována dostupná data o koncentracích těžkých kovů v suspendovaných částicích PM_{10} ze dvou měřicích stanic:

- ze stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS) za období leden 2004 až prosinec 2010 s intervalem sběru hodnot 14 dní
- ze stanice Olomouc (MOLO) za období 21. 1. 2005 až březen 2007 s intervalem sběru dat jeden až dva dny

Imisní data ze stanic Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Hodolany (MOLD) byla poskytnuta Odborem životního prostředí Magistrátu města Olomouce, Oddělením ochrany ovzduší. Zbývající imisní data ze stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS) a ze v současné době nefungující měřicí stanice Olomouc (MOLO) byla získána z databáze ISKO díky ČHMÚ Ostrava, oddělení Ochrany čistoty ovzduší.

Na internetových stránkách města Olomouce <http://www.olomouc.eu/ovzdusi> jsou v podstatě v reálném čase dostupná data z měřicích stanic Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Hodolany (MOLD). Měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská měří a na internetových stránkách zobrazuje aktuální naměřené hodnoty množství PM_{10} , $PM_{2,5}$, SO_2 , NO_2 , O_3 v ovzduší, dále venkovní teplotu, množství srážek a směr a rychlost větru. Druhá měřicí stanice v majetku města Olomouc-Hodolany na internetových stránkách zobrazuje aktuální naměřené hodnoty množství PM_{10} , SO_2 a NO_2 v ovzduší a venkovní teplotu (Magistrát města Olomouce, 2011a).

Od konce února 2008 informuje občany města Olomouce o situaci v ovzduší světelný numerický informační panel. Jedná se o data z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská a zobrazuje aktuálně naměřené hodnoty koncentrací škodlivin SO_2 , NO_2 a PM_{10} a aktuálně naměřenou venkovní teplotu. Dále jsou na informačním panelu uvedeny zákonné limitní hodnoty koncentrací škodlivých látek a aktuální čas. Výstupy na světelném panelu ovšem odpovídají aktuálně naměřeným hodnotám, které mohou být zatíženy chybami například v důsledku kalibrace měřicích přístrojů (Magistrát města Olomouce, 2008).

Dříve byl tento světelný informační panel nainstalován v podloubí radnice na Horním náměstí v Olomouci, avšak z důvodu rekonstrukce radničních prostor byl přesunut na nové nedaleké umístění ve výloze domu U Zlatého jelena na Dolním náměstí v Olomouci. Od února 2010 do počátku ledna 2011 byl tento panel dočasně uložen v budově Magistrátu města Olomouce, avšak nyní je již v obvyklém provozu a je umístěn občanům více na očích (Magistrát města Olomouce, 2011b).

2.3 Metody zpracování

Pro zpracování hodnot v této diplomové práci byly použity statistické výpočty v MS Excel 2007. Sloupcové a spojnicové grafy prezentují výsledky pro větší přehlednost, lepší porovnání hodnot a správné pochopení zpracovávané problematiky.

Data s hodnotami koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$, naměřená na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Hodolany (MOLD), poskytl Magistrát města Olomouce v podobě přehledových tabulek pro období roků 2004 až 2010. Jedná se o verifikací ošetřená data, sestavená do tabulek s denními a měsíčními průměry pro měřené veličiny vždy pro daný rok.

Verifikovaná data z měřicích stanic Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) byla poskytnuta z databáze ISKO oddělením Ochrany čistoty ovzduší ČHMÚ

Ostrava. Jedná se o vyžádané znečišťující látky (PM_{10} , $PM_{2,5}$, imise těžkých kovů v PM_{10}) za období let 2004 až 2010. Data mají podobu tabulkového exportu s hodinovým chodem hodnot pro každý den v případě suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ a s intervalem chodu hodnot jeden až dva dny nebo čtrnácti dní v případě naměřených hodnot o imisích těžkých kovů v PM_{10} . Hodnoty hodinového chodu koncentrací u suspendovaných částic byly nejprve zprůměrovány na denní průměry, neboť nebyly zpracovávány grafy hodinového chodu koncentrací, a také pro porovnatelnost s denními průměry z datové sady od Magistrátu města Olomouce.

Z průměrných denních hodnot koncentrací suspendovaných částic PM_{10} byly vypočteny hodnoty měsíčních průměrů pro všechny čtyři měřicí stanice a z nich byl sestaven graf za celé sledované období (obr. 2). Dále byl srovnáván poměr hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z pozadřových měřicích stanic Olomouc (MOLO), Olomouc-Šmeralova (MOLS) a z klasifikací EoI neurčené stanice Olomouc-Hodolany (MOLD) vůči hodnotám z dopravní měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010 (obr. 3). Pro chod průměrných měsíčních hodnot koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v příslušných letech na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc (MOLO) byly sestaveny grafy zvlášť (obr. 4 a obr. 6) a znázorněn je i chod koncentrací suspendovaných částic PM_{10} , vůči kterému jsou na obr. 5 a obr. 7 zobrazeny poměry hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$.

Roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v letech 2004 až 2010 na obr. 8 byly vypočteny zprůměrováním všech měsíčních průměrů vždy pro daný rok, a tudíž zde a na několika dalších grafech není zobrazena měřicí stanice Olomouc-Hodolany (MOLD) pro příliš krátký interval měření hodnot. V grafu je znázorněna hodnota ročního limitu pro suspendované částice PM_{10} $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Poměr hodnot ročních průměrných koncentrací PM_{10} z měřicích stanic Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) vůči hodnotám na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010 zobrazuje graf na obr. 9.

Dále byly hledány maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic pro každý měsíc. Tato průměrná denní maxima pro suspendované částice PM_{10} v každém měsíci jsou zobrazena na obr. 10 pro všechny čtyři měřicí stanice v letech 2004 až 2010. Maximální průměrné denní koncentrace v každém měsíci sledovaných let pro suspendované částice $PM_{2,5}$ na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská

(MOLV) a Olomouc (MOLO) zobrazují pro příslušná období grafy zvláště na obr. 11 a obr. 12.

Teplota topného období byla vypočtena dle výpočtového vztahu z Metodiky provádění emisní bilance malých zdrojů, která je uveřejněna na internetových stránkách ČHMÚ. K tomuto výpočtu je třeba znát průběh venkovních teplot z meteorologických dat v měsících topného období. Topné období je definováno jako období od 1. září do 31. května následujícího roku. Topné období a topné dny popisuje v současné legislativě vyhláška č. 194/2007 Sb.

Teplota topného období je vypočtena v jednotce denostupňů, odvozených ze středních denních teplot ze všech klimatologických a srážkoměrných stanic ČHMÚ. Střední denní teplotou vnějšího vzduchu t_{es} je průměr denních teplot topného období. Jako střední denní teplota vnitřního vzduchu ve vytápěných domácnostech je brána hodnota 21 °C. Hodnota D_{21} se tedy vypočte dle následujícího vzorce (Machálek, P., Machart, J., 2003):

$$D(t_{is}) = d (t_{is} - t_{es})$$

$$D_{21} = d (21 - t_{es})$$

D = počet denostupňů

d = počet dnů se střední denní teplotou nižší nebo rovnající se 13 °C

t_{is} = střední denní teplota vnitřního vzduchu (ve vytápěných domácnostech) 21 °C

t_{es} = střední denní teplota vnějšího vzduchu (průměr denních teplot topného období)

Pro každou obec je hodnota D_{21} odvozena jako lineární regrese nadmořské výšky dané obce a denostupňů za topné období. Hodnota je poté normalizována a z výsledku je v dané lokalitě odvozena spotřeba tepla na byt za topné období. Ze spotřeby tepla se dopočítává spotřeba daného paliva a z ní, pomocí emisních faktorů, produkované emise. Pro účely této diplomové práce byl využit pouze vzorec na výpočet denostupňů ve sledovaných letech 2004 až 2010 a průměrné denní teploty vnějšího vzduchu byly převzaty z tabulkových souhrnů Magistrátu města Olomouce z hodnot naměřených monitorovací stanic Olomouc-Velkomoravská. Výsledek je prezentován grafem na obr. 13.

Hodnoty průběhů koncentrací suspendovaných částic v ročních obdobích jednotlivých let byly vypočteny aritmetickým průměrem ze vždy tří po sobě logicky jdoucích měsíců. Zimní průměrné koncentrace byly vypočteny aritmetickým průměrem z hodnoty koncentrace v prosinci daného roku a z hodnot koncentrací v lednu a únoru roku následujícího. Chybí tedy hodnoty průměrných koncentrací za poslední zimu z důvodu absence dat z ledna a února roku 2011. Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV), Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) prezentují grafy na obr. 14, obr. 15 a obr. 16. Průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ spolu s hodnotami koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ze stanice Olomouc (MOLO) ve všech čtyřech ročních obdobích v letech 2004 až 2006 prezentují zvlášť grafy na obr. 17 až obr. 20.

Aritmetickým průměrem hodnot koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ze šesti po sobě jdoucích měsíčních průměrných koncentrací vznikly grafy na obr. 21 a obr. 22, které prezentují průběhy koncentrací na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV), Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) v teplých a chladných polovinách roků 2004 až 2010. Období od počátku dubna do konce září daného roku je považováno za teplou polovinu roku a jako chladná polovina roku je bráno období od začátku října do konce března roku následujícího. Průměrné hodnoty koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ spolu s hodnotami koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ze stanice Olomouc (MOLO) v teplých a chladných polovinách roků 2004 až 2006 prezentují zvlášť grafy na obr. 23 a obr. 24.

U každého dne byla funkcí DENTÝDNE zjištěna číselná hodnota, která vyjadřuje číslo dne v týdnu podle kalendářního data. Pro každý den v týdnu byla poté zjištěna hodnota průměrné koncentrace a průběh hodnot těchto koncentrací v jednotlivých dnech v týdnu pro suspendované částice PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010 znázorňuje graf na obr. 25, na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006 graf na obr. 26 a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010 graf na obr. 27. Průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006 zobrazuje graf na obr. 28.

Z vypočtených hodnot průměrných koncentrací v pondělí až v pátek byla aritmetickým průměrem vypočtena hodnota koncentrace v pracovních dnech a z aritmetických průměrů sobot a nedělí hodnota koncentrace ve dnech pracovního klidu

– o víkendech. Graf na obr. 29 zobrazuje průměrné koncentrace PM_{10} na jednotlivých stanicích v pracovních dnech a o víkendech v letech 2004 až 2010. Hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v pracovních dnech byly porovnávány vůči hodnotám průměrných koncentrací o víkendech a tento poměr v letech 2004 až 2010 na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV), Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) prezentuje graf na obr. 30. Znázorněná hodnota 100 % znamená v daných letech průměrnou hodnotu koncentrace suspendovaných částic PM_{10} o víkendech. Průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ spolu s hodnotami koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ze stanice Olomouc (MOLO) v pracovních dnech a o víkendech v letech 2004 až 2006 prezentuje zvlášť graf na obr. 31.

Koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ byly dále posuzovány ve spojitosti s typy synoptických situací pro každý den. Při typizaci povětrnostních situací je brán zřetel nejen na okamžitý stav přízemního a výškového proudění, ale i na polohu frontální zóny, na charakter tlakového pole a na vzduchové hmoty. Tyto parametry mají rozhodující vliv na rozložení vertikálních pohybů a tím i na počasové projevy (ČHMÚ, 2005a). Typizace povětrnostních situací je dodnes prováděna na základě metodického předpisu dle „*Katalogu povětrnostních situací pro území ČSSR. Praha, ČHMÚ 1968.*“, ve kterém je uveden popis jednotlivých typů synoptických situací. Kalendář synoptických typů je pro území České republiky pravidelně sestavován ČHMÚ od roku 1946 a do roku 1990 byl kalendář jednotný pro území celého tehdejšího Československa. Od roku 1991 je pro území České republiky a pro území Slovenské republiky sestavován zvlášť po vzájemné konzultaci meteorologů z ČHMÚ a SHMÚ. Publikován je každoročně v časopise Meteorologické zprávy a od roku 2002 je součástí internetových stránek ČHMÚ. Data za předchozí rok jsou k dispozici v definitivní verzi obvykle v průběhu dubna, pracovní verze je od roku 2006 zveřejňována čtyřikrát ročně s odstupem dvou až tří měsíců po ukončení čtvrtletí (ČHMÚ, 2011a).

Data o jednotlivých typech synoptických situací ve dnech sledovaného období let 2004 až 2010 byla převzata z tohoto kalendáře z internetových stránek ČHMÚ. Jelikož v době zpracování této diplomové práce nebyla dostupná data v definitivní verzi pro rok 2010, byl pro tento rok využit kalendář synoptických typů v pracovní verzi.

Ze všech synoptických situací z kalendáře synoptických typů byly vytvořeny tři skupiny: skupina cyklonálních situací, skupina anticyklonálních situací a skupina brázd

a front. Povětrnostní situace s indexem c náleží do skupiny situací cyklonálních a konkrétně se jedná o situace: Wc – západní cyklonální situace, Wcs – západní cyklonální situace s jižní dráhou, NWc – severozápadní cyklonální situace, Nc – severní cyklonální situace, NEc – severovýchodní cyklonální situace, Ec – východní cyklonální situace, SEc – jihovýchodní cyklonální situace, SWc1-3 – jihozápadní cyklonální situace, C – cyklona nad střední Evropou, Cv – cyklona výšková.

Povětrnostní situace z kalendáře synoptických typů s indexem a byly seskupeny do skupiny situací anticyklonálních povětrnostních situací a do této skupiny náleží Wa – západní anticyklonální situace, Wal – západní anticyklonální situace letního typu, NWA – severozápadní anticyklonální situace, NEa – severovýchodní anticyklonální situace, Ea – východní anticyklonální situace, SEa – jihovýchodní anticyklonální situace, Sa – jižní anticyklonální situace, SWa – jihozápadní anticyklonální situace, A – anticyklona nad střední Evropou, Ap1-4 – putující anticyklona.

Do třetí skupiny brázd a front byly zahrnuty situace B – brázda nízkého tlaku nad střední Evropou, Bp – brázda postupující přes střední Evropu a Vfz – vchod frontální zóny.

Hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ pro cyklonální situace, anticyklonální situace a pro synoptické situace brázd a front v letech 2004 až 2010 pro měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV), Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) prezentují grafy na obr. 33, obr. 34 a obr. 35. Vyhodnoceny byly také průměrné četnosti výskytu synoptických situací z jednotlivých skupin rozdělených synoptických situací v letech 2004 až 2010 (graf na obr. 32).

Dále byly hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ během cyklonálních situací z měřicích stanic Olomouc-Velkomoravská (MOLV), Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) porovnávány pro teplé poloviny roků 2004 až 2010 (graf na obr. 36) a chladné poloviny roků 2004 až 2010 (graf na obr. 39). Hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ během anticyklonálních situací za teplé a chladné poloviny roků 2004 až 2010 prezentují grafy na obr. 37 a na obr. 40 a hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ během synoptické situace brázd a front v teplých a chladných polovinách roků 2004 až 2010 grafy na obr. 38 a na obr. 41. Do samostatných grafů jsou opět zpracovány hodnoty pro suspendované částice PM_{2,5} z měřicí stanice Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006. Hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} pro cyklonální situace, anticyklonální situace a pro synoptické situace brázd a front zobrazují grafy

na obr. 42, obr. 43 a na obr. 44. Průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ pro cyklonální situace, anticyklonální situace a pro synoptické situace brázd a front v teplých polovinách roků 2004 až 2006 prezentují grafy na obr. 45, obr. 46 a na obr. 47, v chladných polovinách roků 2004 až 2006 grafy na obr. 48, obr. 49 a na obr. 50.

Při zpracování imisí těžkých kovů v suspendovaných částicích PM_{10} z hodnot exportu databáze ISKO byly nejprve aritmetickým průměrováním vypočteny měsíční průměry, a to pro data z měřicí stanice Olomouc (MOLO) a z měřicí stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS) a pro všechny těžké kovy v suspendovaných částicích, které jsou měřicími stanicemi sledovány. Z průměrných měsíčních hodnot imisí těžkých kovů v suspendovaných částicích PM_{10} byly vypočteny roční průměrné koncentrace v letech 2004 až 2010 (obr. 51 a 52). Vzhledem k nedostatečnému intervalu sběru dat těžkých kovů v suspendovaných částicích PM_{10} byly zpracovány pouze průměrné koncentrace v ročních obdobích, teplých a chladných polovinách roků a roční průměry.

Vypočtené průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých těžkých kovů byly také rozděleny do dvou skupin na arsen, kadmium, chrom, nikl a měď, mangan, olovo podle rozpětí vypočtených průměrných hodnot, aby byly v grafech lépe pozorovatelné rozdíly a průběhy jejich koncentrací. Aritmetickým průměrem hodnot tří po sobě logicky jdoucích měsíců byly vypočteny průměrné koncentrace těžkých kovů v suspendovaných částicích PM_{10} na měřicích stanicích Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) v ročních obdobích (obr. 53 až 60).

Zprůměrováním šesti měsíčních hodnot koncentrací těžkých kovů v suspendovaných částicích PM_{10} vždy z dubna až září byly vypočteny hodnoty koncentrací v teplých polovinách sledovaných roků a aritmetickým průměrem hodnot z října až března roku následujícího hodnoty koncentrací v chladných polovinách sledovaných let (obr. 61 až 64).

3 Teoretická východiska

3.1 Charakteristika suspendovaných částic

Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě definuje pojem suspendované částice jako „částice rozptýlené v ovzduší a přetrvávající v něm dlouho dobu, protože jsou příliš malé na to, aby měly významnou pádovou rychlost, (jiná používaná synonyma jsou *polétavý prach a prašný aerosol*)“. K jejich popisu se používá mnoho pojmů, neboť jejich složení je komplexní a význam jejich velikosti při určování expozice je různý (Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, 1996).

Suspendované částice představují paletu jemně dispergovaných tuhých či kapalných látek s původem v mnoha přírodních i antropogenních zdrojích. Jsou také složitou směsí organických a anorganických látek, jejichž hmota a složení většinou podněcují k rozdělení na dvě hlavní skupiny: hrubé částice s aerodynamickým průměrem větším než 2,5 μm a na jemné částice s aerodynamickým průměrem menším než 2,5 μm (Keder, J. et al., 2010).

Toto rozdělení je již zavedený standard a částice jsou označovány jako PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Poslední výzkumy stále více zdůrazňují také význam částic submikronových s aerodynamickým průměrem menším než 1 μm a menším než 0,1 μm a označovaných jako PM_1 a $\text{PM}_{0,1}$ (Kurfürst, J. et al., 2008). Respirabilita a schopnost vázat na sebe jiné látky, ať již sorpcí či kondenzací, vzrůstá totiž u suspendovaných částic s jejich zmenšující se velikostí. Rozdíly v obsahu jednotlivých těžkých kovů, vázaných v atmosféře na suspendované částice, udává původ částic (Machálek, P., 2003).

Jemné částice do 2,5 μm mají svůj původ v lidských činnostech a jedná se především o emise z dopravních prostředků a z lokálních topenišť – lokálně působících spalovacích procesů (Keder, J. et al., 2010). Obsahují opětovně zkondenzované organické či kovové páry a sekundárně vytvořené aerosoly, vzniklé kondenzací plyných složek (Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, 1996). V současnosti jsou velikostní frakce velmi jemných částic a jemných částic považovány za zdravotně nejvýznamnější. (Keder, J. et al., 2010).

Větší hrubé částice o velikosti nad 2,5 μm obsahují zvířený prach z průmyslových závodů a materiál zemského povrchu. V mlhách je přítomný určitý podíl kapiček kyselin, ačkoliv obecně je kyselá složka suspendovaných částic a jejich mutagenního účinku obsažena v jemné frakci (Keder, J. et al., 2010). U znečištění

dopravou jsou hlavními zdroji hrubé frakce $PM_{2,5-10}$ prach z vozovek, oděry pneumatik a spalovací procesy s emisemi částecek paliva a sazí. Hlavní složkou je krystalický materiál, oxidy kovů (Si, Al, Ti, Fe), $CaCO_3$, uhlíkaté agregace sazí a částčky pneumatik (Kurfürst, J. et al., 2008).

Měření částic s aerodynamickým průměrem menším než $10\ \mu m$ (PM_{10}) je prováděno na doporučení agentury US EPA, neboť v USA jsou běžně používány metody měření celkových suspendovaných částic. Tato metoda avšak v aridních oblastech zachycuje i zvířený prach jiného původu než ze spalovacích procesů a navíc velikosti zachycených částic značně přesahují rozsah velikostí zájmových částic, které pronikají do horních cest dýchacích (Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, 1996).

Důležitou charakteristikou tuhých znečišťujících částic je doba jejich setrvání v atmosféře, která u jemných částic činí dny až týdny, u hrubých částic řádově sekundy až hodiny. Suspendované částice bývají charakterizovány různými parametry, například koncentrací, velikostí povrchu nebo objemem a hmotností částic (Kurfürst, J. et al., 2008).

Na suspendované částice se váží, kromě dalších znečišťujících látek a příměsí, především těžké kovy a persistentní organické polutanty (POPs). Ty se do ovzduší dostávají z řady zdrojů s projevy účinků na lokální, regionální i globální úrovni. Účinky se rozumí zejména karcinogenita, reprodukční poruchy, změny vývojového a imunitního systému a endokrinní narušení, které může v extrémních případech vést až k narušení biologické diverzity (Machálek, P., 2003).

Suspendované částice jsou rozlišovány na primární, vznikající na zdrojích znečišťování ovzduší, a na sekundární, vznikající chemickými reakcemi nebo kondenzačními procesy v atmosféře. Primární částice z hlediska fyzikálního stavu rozlišujeme na formy tuhé fáze (zachytitelné na filtru) a na formy volatilní (emitované při vyšších teplotách a kondenzující po ochlazení a zředění). V současnosti je velmi sledovaný problém určení emisních zdrojů frakcí suspendovaných částic a nalezení emisních faktorů pro dané frakce, minimálně pro PM_{10} a $PM_{2,5}$ (Machálek, P., 2003).

3.2 Nejvýznamnější zdroje suspendovaných částic v ovzduší

Dýcháme vzduch, který znečišťují škodlivé látky produkované širokým spektrem zdrojů. Mezi nejvýznamnější zdroje suspendovaných částic obecně patří doprava a spalovací procesy, produkované průmyslovou výrobou, výrobou energie a domácími topeništi (Státní zdravotní ústav, 2009).

Konkrétněji jsou nejvýznamnějšími zdroji znečištění ovzduší zejména spalovací procesy s fosilními palivy, spalovací procesy s biomasou, spalovací motory, spalování paliv v domácnostech, požáry, vypalování za účelem mýcení, zpracování rud, opracování kovů a eroze (Machálek, P., 2003).

Suspendované částice z automobilové dopravy spolu s lokálními topeništi tvoří hlavní příčinu zvýšené zátěže ve městech a plošně zatěžují obyvatelstvo České republiky. Navíc není zatím známa žádná prahová hodnota koncentrace, pod kterou by nemohly být očekávány zdravotní dopady (Státní zdravotní ústav, 2009).

Koncentrace suspendovaných částic ve vnějším ovzduší neboli prašnost je nejvýznamnějším problémem ochrany ovzduší nejen v České republice, ale i v celé Evropské unii (Keder, J. et al., 2010).

Poznatky US EPA uvádějí některé zdroje suspendovaných částic a jejich podrobnější komentář. U stacionárních zdrojů na spalování fosilních paliv byly získány emisní faktory pro tuhé částice zachycené na filtru, pro volatilní částice, zachycované kondenzací, jsou emisní faktory ve stádiu výzkumu. U otevřených ohnišť probíhá spalování při nižších teplotách než u technologických zdrojů na spalování fosilních paliv a suspendované částice jsou v širokém spektru velikostí a se zvýšeným podílem organického uhlíku. U mobilních zdrojů je stanovení $PM_{2,5}$ stále ve stádiu studia, především kvůli různým typům motorů. Ostatní zdroje znečišťování ovzduší, například některé průmyslové technologie jako je zpracování dřeva či metalurgie, mohou být významným zdrojem částic $PM_{2,5}$. Sekundární prašnost a přirozená eroze půdy vodou také mohou být zdrojem suspendovaných částic frakcí různých velikostí, včetně PM_{10} a $PM_{2,5}$. Na suspendované částice jsou vázány látky jako těžké kovy a persistentní organické polutanty, tudíž je účelné sledovat obsah těchto látek v erodujících půdách (Machálek, P., 2003).

3.3 Těžké kovy

3.3.1 Obecná charakteristika

V periodické soustavě je přibližně osmdesát prvků řazeno ke kovům a z toho je přibližně třicet prvků označováno jako kovy těžké. Dnes pod tímto názvem rozumíme stabilní kovy nebo metaloidy s měrnou hmotností větší než $4,5 \text{ g/cm}^3$. Při posuzování životního prostředí řadíme do této skupiny (do které jsou zařazeny i „lehčí“ kovy, jako například hliník, beryllium nebo selen) také sloučeniny těžkých kovů, kdežto

organokovové sloučeniny pravidelně posuzujeme jako organické polutanty. Těžké kovy jsou tedy skupina látek, u nichž jsou současně posuzovány vlastnosti, zdroje a účinky na životní prostředí a lidský organismus (Kurfürst, J. et al., 2008).

Těžké kovy jsou někdy označovány jako toxické kovy, což je však vzhledem k jejich esencialitě v rostlinných i živočišných organismech pojem zavádějící. Za toxickou totiž můžeme označit jakoukoliv látku, u které je míra jejího působení překročena směrem ke škodlivým účinkům. Pod pojem těžké kovy ekotoxikologické studie zejména zahrnují měď, zinek, kadmium, rtuť, olovo, chrom, nikl, mangan a železo a dále „polokovy“ arsen a selen. Prvky jsou sledovány různě dle zaměření studií na škodlivost účinků nebo esencialitu a působení kovů v organismech (Kurfürst, J. et al., 2008).

3.3.2 Průnik těžkých kovů do organismu

Hlavními vstupními branami těžkých kovů do organismu jsou především potravní řetězec a dýchací ústrojí, v omezené míře a některých případech pak i pokožka. Při vdechování jsou kovy vázány na suspendované částice jako součást hmoty tuhé částice, nebo jako produkty sorpce. Kov je po vstupu do organismu v iontové formě transportován červenými krvinkami nebo specifickými bílkovinami krevním řečištěm. V některých orgánech dochází k vazbě do specifických buněčných struktur – akumulaci kovu (Kurfürst, J. et al., 2008). Tab. 3 uvádí ovlivnění některých cílových orgánů.

Tab. 3 Orgány ovlivněné těžkými kovy

Kov	Cílový orgán
Pb	dlouhé kosti, mozek, játra, placenta
As	centrální nervový systém, pokožka, vlasy
Cd	ledviny, játra, varlata
Hg	mozek, játra, ledviny, imunitní systém
Cr	pľíce, játra, ledviny, pohlavní orgány, pokožka
Ni	pľíce, srdce, imunitní systém, pokožka

Zdroj: Kurfürst, J. (2008)

Nejvíce vnímavý na intoxikaci těžkými kovy je organismus starých lidí a dětí, kde přítomnost kovů způsobuje riziko rychlého dělení buněk nebo genotoxických efektů. Organismus je poškozován přímo úměrně době setrvání kovu v organismu. Tělo

vyloučí polovinu naakumulované toxické látky za biologický poločas. Pro jednotlivé kovy jsou hodnoty biologického poločasu různé. V případě arsenu, chromu a kobaltu jde o hodiny až dny, u kadmia a olova se jedná o dvacet až třicet let. U rtuti a dalších prvků záleží také na tom, zda se jedná o anorganickou sloučeninu, nebo o sloučeninu organokovového typu. Některé životní stereotypy, jako je stravování, kouření a požívání alkoholu, mohou ovlivňovat vliv kovů na lidský organismus (Kurfürst, J. et al., 2008).

3.3.3 Těžké kovy a suspendované částice

V atmosféře jsou těžké kovy vázány na suspendované částice a jejich původ udává rozdíly v obsahu jednotlivých kovů. Schopnost vázat na sebe jiné látky vzrůstá se zmenšující se velikostí suspendovaných částic (Machálek, P., 2003). Tabulka 4 udává rozpětí koncentrací těžkých kovů pro suspendované částice různého původu.

Tab. 4 Rozpětí koncentrací kovů pro suspendované částice původu městského, zemědělského a z volné přírody

Prvek	Koncentrační rozpětí (ng·m ⁻³)		
	Volná příroda	Zemědělská oblast	Městská oblast (USA)
As	0,007 - 1,9	1,00 - 28	2,0 - 2320
Cd	0,003 - 1,1	0,40 - 1000	0,2 - 7000
Cr	0,005 - 11,2	1,10 - 44	2,2 - 124
Cu	0,029 - 12,0	3,00 - 280	3,0 - 5140
Hg	0,005 - 1,3	0,05 - 160	0,6 - 458
Mn	0,010 - 16,7	3,70 - 99	4,0 - 488
Ni	0,001 - 60,0	0,60 - 78	1,0 - 328
Pb	0,001 - 64,0	2,00 - 1700	30,0 - 96270

Zdroj: *Kompendium ochrany kvality ovzduší (2008)*

3.3.4 Charakteristika jednotlivých těžkých kovů

Arsen (As)

Největší množství arsenu se používá na výrobu přípravků konzervujících dřevo a v zemědělství na výrobu pesticidů (herbicidů, insekticidů) k ochraně rostlin před škůdci. ve veterinární praxi se arsenitany a arseničnany používaly ke zmírnění příznaků otravy dobytka selenem a obsahuje ho i bojová otravná látka Lewisit. K dalšímu využití patří

slitiny s dalšími kovy, použité například v akumulátorech, a výroba polovodičů. Arsen se také využívá ve sklářství (IRZ, 2006).

Do ovzduší se arsen dostává lidskou činností, nejvíce spalováním fosilních paliv v elektrárnách. Při spalování uhlí v domácnostech zůstává značná část arsenu v popelu. Dále jsou významnými zdroji arsenu nadměrné užívání pesticidů a dřevo konzervované prostředky s obsahem arsenu. Vysoké koncentrace mohou být také v okolí metalurgických závodů. Jeho přirozeným zdrojem v ovzduší je vulkanická činnost a atmosférickým spadem se dostává do vody nebo půdy. V okolí nalezišť arsenových rud lze nacházet vysoké koncentrace v důlních vodách. V půdě nebo vodě může arsen přetrvávat velice dlouhou, neboť se silně akumuluje v sedimentech. Tvoří hlavní složku některých minerálů po celém světě a nachází se i v uhlí. Arsen patří mezi inhibitory biochemických reakcí a může se zapojovat do potravního řetězce. Toxicita a způsob jeho absorpce organismem závisí na rozpustnosti sloučeniny. Nejedovatý kovový arsen je v organismu metabolizován na toxické látky a všechny ostatní látky s obsahem arsenu jsou jedovaté. Vázaný v organických látkách je obvykle méně toxický než arsen z anorganických sloučenin (IRZ, 2006).

Arsen řadíme mezi karcinogeny způsobující rakovinu plic a kůže, a také zvyšuje pravděpodobnost nádorů jater, ledvin a močového měchýře. Při inhalování se projevuje bolestí v krku a podrážděním plic. Může tedy být označován jako látka velmi nebezpečná pro zdraví člověka i pro řadu dalších organismů. Na území České republiky je obsah arsenu v prašném aerosolu sledován poměrně velkým počtem stanic. Kromě stanic ČHMÚ jsou v imisní databázi ISKO ukládána data i ze stanic ORGREZ a ze stanic Státního zdravotního ústavu (IRZ, 2006).

Kadmium (Cd)

Kadmium slouží v největším množství k výrobě Ni-Cd a solárních baterií. Dále se používá jako stabilizátor plastů, k legování mědi a tvorbě ochranných povlaků nebo k výrobě domácích spotřebičů (IRZ, 2006). Jako škodlivina z dopravy se do ovzduší dostává opotřebením pneumatik při jízdě, u kterých se při výrobě používá jako plnidlo kaučuku (Kurfürst, J. et al., 2008).

Jeho nejvýznamnějším přirozeným zdrojem jsou výbuchy sopek a mezi hlavní antropogenní zdroje emisí kadmia patří jeho těžba a zpracování, spalování fosilních paliv a odpadů, hnojení fosfátovými hnojivy či galvanické pokovování a výroba Ni-Cd akumulátorů. V atmosféře se kadmium váže na částice jílu nebo emitované částice

popílku a může zde setrvávat více než týden, dokud nepřejde pomocí atmosférické depozice do vody nebo půdy nebo se akumuluje do organismů (IRZ, 2006). Vysokou schopnost kumulovat se v organismu má díky velmi dlouhému biologickému poločasu (15 až 30 let) (Státní zdravotní ústav, 2010).

Kadmium je velmi toxický prvek výrazně poškozující ledviny s možností způsobení rakoviny plic a prostaty. Pomalá detoxikace představuje riziko chronických otrav. Dále také zesiluje toxické účinky jiných kovů, například zinku a mědi. V klasifikaci EPA je řazen jako pravděpodobný lidský karcinogen (IRZ, 2006). Obsah kadmia v krvi výrazně ovlivňuje kuřáctví, neboť u kuřáků byla jeho koncentrace v krvi zhruba třikrát vyšší než u nekuřáků, což bylo opakovaně potvrzeno u dospělé české populace. (Státní zdravotní ústav, 2010).

Chrom (Cr)

V kyslíkové atmosféře je čistý chrom nestálý a okamžitě se na něm tvoří tenká vrstvička oxidu nepropustná pro kyslík. V ocelářství se chrom často využívá k výrobě speciálních slitin nebo ke galvanickému pokovování. Jako oxidační činidlo se používá oxid chromový, v katalytické chemii nachází uplatnění estery kyseliny chromové. Chromany a chromité soli slouží k vybarvování tkanin, výrobě organických barviv, k moření a leptání kovů a při vyčiňování kůží v kožedělném průmyslu. Některé přípravky na konzervaci dřeva obsahují sloučeniny chromu, používané také jako inhibitory koroze v chladících vodách elektráren (IRZ, 2006).

Do ovzduší se ve velkém množství dostává v suspendovaných částicích ve stavu Cr^{3+} při spalování fosilních paliv. Chrom je obsažen v cementu, tudíž jsou jeho producenty cementárny, dále spalovny komunálních odpadů, emise z klimatizačních chladících věží a odpadní vody z průmyslu strojírenského, kožedělného, textilního a z metalurgie a povrchové úpravy kovů. Do ostatních složek životního prostředí se dostává atmosférickou depozicí. Obsahují ho i některé výrobky denní spotřeby jako inkousty, barviva, papír, výrobky z kůže či baterie (IRZ, 2006). U dopravy jsou jeho zdroji výfukové plyny z automobilů s katalyzátorem, opotřebením rotujících částí motoru a azbest z opotřebených brzdových obložení, který chrom obsahuje (Kurfürst, J. et al., 2008).

Chrom přírodního původu existuje pouze ve stavu Cr^{3+} a je silně vázán na částice půdy, tudíž se ve vodě rozpouští pouze v malém množství a vázaný na nečistoty v ní klesá ke dnu. V nízkých koncentracích je přítomen ve všech typech půd a v sopečném

prachu. Velmi toxický pro organismy a mnohem mobilnější je Cr^{6+} , který se však přítomností jakékoliv organické hmoty rychle redukuje na Cr^{3+} . V potravních řetězcích se chrom nehromadí a v ovzduší průměrně setrvává 10 dní navázan na suspendované částice (IRZ, 2006).

Oxidační stavy Cr^{3+} a Cr^{6+} jsou značně odlišné. V metabolismu savců je jako esenciální stopový prvek obsažen Cr^{3+} a jeho nedostatek může vyvolávat únavu, stres, úbytek váhy a snížení schopnosti těla odstraňovat glukózu z krve. Zdraví prospěšný je jen do určitého množství a při vyšších dávkách je zdraví škodlivý, u citlivých jedinců vyvolávající astmatický záchvat. Výrazně toxičtější a nebezpečnější je Cr^{6+} . Celkově je chrom klasifikován jako lidský karcinogen způsobující rakovinu plic (IRZ, 2006).

Měď (Cu)

Hlavní použití nachází měď ve výrobě elektrických vodičů, menší potom jako přísada do slitin mincí, bronzu a dalších. Vyrábějí se z ní elektromagnety, elektrická relé, integrované obvody, plechy a trubky odolné proti korozi (IRZ, 2006).

Přirozenými zdroji jsou sopečné výbuchy, zvětrávání, požáry a rozklad biomasy. Hlavními antropogenními zdroji jsou těžba a zpracování měděných rud (galvanizovny, povrchové úpravny kovů) a spalování fosilních paliv a odpadů. Do vody a půdy přechází ze vzduchu atmosférickou depozicí. V půdách je silně vázána na organické látky a jílové částice (IRZ, 2006).

Měď je esenciálním prvkem pro živočichy, vyšší rostliny i pro lidský organismus, avšak ve větším množství je značně toxická, obzvláště pro vodní organismy. Nezbytná je pro růst a vývoj kostí, tkání, mozku, srdce a dalších orgánů. Uplatňuje se při tvorbě hemoglobinu a některých enzymů a důležitá je pro správné využití vitamínu C. Její nedostatek se u dětí projevuje fyzickou a duševní retardací. Vysoké dávky mědi naopak způsobují žaludeční a střevní bolesti, poškození jater, ledvin a anemii (IRZ, 2006).

Mangan (Mn)

Nejvíce manganu se využívá na výrobu manganových feroslitin užívaných v oblasti hutnictví železa především pro výrobu oceli, na výrobu surového železa a jako významný legovací kov. Další využití manganu je hlavně výroba suchých baterií, barviv, měkkých feritů, hnojiv, potravy zvířat, palivových přísad, svařovacích elektrod a při úpravě vody (Geofond, 2000).

Informace o mechanismech jeho působení nejsou úplné a mangan ovlivňuje značné množství reakcí. Dlouhotrvající nadbytek v lidském organismu způsobuje poruchy v metabolismu vápníku a hořčíku. Naopak při nedostatku manganu je bráněno účinnému zabudování vápníku do kostí a ani zvýšený přívod vápníku v potravě nezajistí odpovídající zlepšení při léčbě osteoporózy. U lidí s onemocněním osteoporózou je obsah manganu v těle výrazně nižší. Nezbytný je mangan pro rozmnožování a normální funkci nervového systému (Institut Galenus, 2003).

Nikl (Ni)

Nejvíce niklu se spotřebovává na výrobu nerez oceli, okolo 65 %. Společně se železem, chromem a manganem patří mezi základními kovy pro výrobu legovaných ocelí, na které se využívá dalších 12 %, a zbývajících 23 % niklu se využívá na výrobu slitin, nabíjecích baterií, katalyzátorů a dalších chemikálií, keramiky, mincí a odlitků, k barvení skla (na zeleno) a k pokovování. Jako tenká niklová vrstva se často nanáší na povrchy méně odolných kovů, nejčastěji železa, a běžně se takto upravují pracovní nástroje i chirurgické nástroje. Jeho značné odolnosti se využívá při výrobě chemického nádobí. Nikl se v potravinářství využívá k výrobě ztužených tuků z rostlinných olejů. Také je součástí velmi odolných slitin, mimo jiné pro výrobu šperků, jako je populární bílé zlato. V současnosti vysoký podíl produkce niklu končí jako surovina pro výrobu elektrických článků, například jako nikl-hydridové baterie v mobilních telefonech s možností mnohonásobného dobíjení. Galvanické elektrické články z nikl-kadmia mají vyšší elektrickou kapacitu, avšak vzhledem k prokázané toxicitě kadmia se tato výroba postupně omezuje (IRZ, 2006).

Nikl přirozeně vzniká sopečným popelem, půdními prachy, meteoritickým prachem nebo je uvolňován při lesních požárech. Mezi antropogenní zdroje patří jeho těžba a zpracování, spalování fosilních paliv a odpadu a rafinerie ropy a plynu. Atmosférickou depozicí v ovzduší se může nikl dostávat do vody nebo půdy, kde se vyskytuje jeho většina v prostředí. Zde se často váže na částice s obsahem železa a manganu. Pro některé vodní organismy je jeho toxicita poměrně vysoká, a proto jsou přípustné koncentrace ve vodárenských tocích limitovány přísněji než v pitné vodě (IRZ, 2006).

Jako zdroj znečištění ovzduší z dopravy se nikl dostává do ovzduší hlavně z brzdového obložení a opotřebením různých namáhaných spojů vozidel (Kurfürst, J. et al., 2008).

Vliv niklu na zdravotní stav lidského organismu je jednoznačně negativní. Alergií na nikl trpí 6 až 10 % obyvatelstva České republiky a náušnice jsou při alergickém působení zvláště nebezpečné pro oblast ucha. Nikl patří mezi podezřelé karcinogeny způsobující rakovinu plic, nosní přepážky a vzácněji hltanu. Kuřáci jsou v cigaretovém kouři ohrožováni velmi toxickým tetrakarbonyl niklem. Z přijaté potravy, 90 % celkového příjmu, nepředstavují 2 až 3 % absorbovaného niklu velké riziko (IRZ, 2006).

Olovo (Pb)

Olovo se nejvíce zpracovává pro výrobu olověných elektrických akumulátorů a je stále převažujícím materiálem pro výrobu střeliva. Díky účinnému pohlcování rentgenového záření a gama paprsků slouží jako ochrana na pracovištích s tímto elektromagnetickým zářením. Olovem se pokrývají vnitřní stěny ocelových nádrží na uchovávání koncentrované kyseliny sírové, neboť je vůči jejímu působení vysoce rezistentní. Přidáváním olova do skla se značně zvyšuje index jeho lomu a z olovnatého skla se vyrábějí skleněné lustry a dekorativní skleněné předměty. Vysoce odolné je vůči korozi vodou a dříve bylo využíváno ke konstrukci vodovodních rozvodů. V současnosti se využívání olova a jeho slitin omezuje vzhledem k jejich prokázané toxicitě, ačkoliv mají velice široké spektrum využití (IRZ, 2006).

Olovo je uvolňováno při lesních požárech, výrobě akumulátorů a jeho těžbě a zpracování. Nejvýznamnějším zdrojem olova jsou však antropogenní emise, především spalování odpadů a olovnatého benzínu (IRZ, 2006). Dříve benzín obsahoval olovo v podobě tetraethylolova, dnes je však jasný trend přechodu na motory s katalyzátory. U dopravy patří mezi jeho zdroje mazadla, oleje, částice z opotřebování ložisek a pláště pneumatik, u kterých se používá jako výplňový materiál (Kurfürst, J. et al., 2008).

V ovzduší se olovo váže na suspendované částice a setrvává v atmosféře přibližně deset dní. Ve vodě jsou koncentrace nízké a nejsou hlavním expozičním zdrojem, avšak u ryb dochází při akutní intoxikaci k úhynu udušením. Bioakumulace je u olova vysoká, a proto se významně hromadí v biomase organismů. Kontaminací surovin, z obalů (konzerv, smaltu či olovnatého skla) nebo použitím kontaminované vody se může olovo dostávat do potravin (IRZ, 2006).

Do lidského organismu se olovo dostává přibližně ze 30 % plicní inhalací z ovzduší, zhruba 60 % příjmem potravy a zbývajících 10 % se do těla dostává pitnou

vodou. Z půdy přijímají olovo pouze malé děti. Poločas setrvání olova v kostech je řádově desítky let a v krvi zůstává 28 až 36 dní. Z kostí se olovo snadno vrací zpět do krve, a to hlavně při změně fyziologického stavu člověka. Schopnost vylučování olova je u dětí výrazně nižší než u dospělých, kteří vyloučí až 99 % z dlouhodobého hlediska (IRZ, 2006). Projevy (chronické) otravy jsou nechutenství, malátnost, bolesti hlavy a kloubů, žaludeční a střevní potíže, křeče v břiše, poškození jater a periferního, popřípadě centrálního nervstva (Kurfürst, J. et al., 2008).

3.4 Limity pro suspendované částice a těžké kovy

3.4.1 Hodnoty doporučené WHO, EU a US EPA

V roce 2005, na základě nových poznatků, upravila WHO Směrnice kvality ovzduší pro znečišťující látku částice v ovzduší. Nejvyšší hodnoty ročního průměru navrhla pro jemné částice frakce $PM_{2,5}$ $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a pro 24 hodinový průměr hodnotu $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, která by neměla být překročena více než 3 dny v roce. Částicím frakce PM_{10} byla určena nejvyšší hodnota ročního průměru $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a hodnota 24 hodinového průměru $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (WHO, 2006).

Tab. 5 Doporučené nejvyšší hodnoty navržené WHO

	Roční průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	24 hodinový průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
$PM_{2,5}$	10	25
PM_{10}	20	50

Pramen: WHO (online, 2006)

Ačkoliv je míra pro PM_{10} více uváděna a je to také indikátor důležitosti pro většinu epidemiologických dat, WHO Air quality guidelines jsou založeny na studiích, které jako indikátor využívají $PM_{2,5}$. Hodnoty směrnice $PM_{2,5}$ jsou přepočteny na odpovídající hodnoty směrnice PM_{10} aplikací $PM_{2,5} / PM_{10}$ poměru o hodnotě 0,5. Tento poměr je typický pro městské oblasti v rozvojových zemích a je na spodku zde nalezeného rozsahu 0,5–0,8. S ohledem na místní standardy a za předpokladu dostupných relevantních dat je možné zahrnout jinou hodnotu tohoto poměru, která bude lépe odrážet místní podmínky (WHO, 2006).

Příloha XIV směrnice 2008/50/ES uvádí při době průměrování kalendářního roku pro suspendované částice $PM_{2,5}$ cílovou hodnotu $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ do 1. ledna 2010. Jako mezní hodnoty s dobou průměrování kalendářního roku uvádí pro 1. fázi $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s mezní hodnotou 20 % k 11. červnu 2008, poté snížení následujícího 1. ledna a dále každých 12 měsíců o stejné roční procento až na 0 % dne 1. ledna 2015. Pro 2. fázi uvádí mezní hodnotu $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ do 1. ledna 2020. V roce 2013 Evropská komise přezkoumá orientační mezní hodnotu s ohledem na nové poznatky o dopadech na zdraví a životní prostředí, technickou proveditelnost a zkušenosti členských států s cílovou hodnotou (Úřední věstník Evropské unie, 2008).

Číselné vyjádření doporučených hodnot bylo vzhledem k dostupnosti údajů stanoveno na základě studií na dospělých, avšak snížením expozice na doporučené hodnoty by pokleslo riziko negativních zdravotních dopadů jak u dospělých, tak zároveň u dětí (Státní zdravotní ústav, 2009).

Rozsáhlý vědecký výzkumný program CAFE (Clean Air for Europe) poukazuje na vážná zdravotní rizika již při polovičních hodnotách, než jsou navrhovány WHO a EU, a doporučil stanovení limitu u suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na hodnotu mezi 12 a $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Hluk & Emise, 2007).

Pro lepší ochranu veřejného zdraví a prosperitu milionů Američanů po celých Spojených Státech vydala 21. 9. 2006 Americká agentura US EPA Finální revizi národních norem kvality ovzduší. Pro suspendované částice to je nejvíce ochranný soubor národních standardů kvality ovzduší, jaký byl kdy vydán (US EPA, 2006). NAAQS pro suspendované částice jsou uvedeny v Tab. 6.

Tab. 6 Národní standardy kvality ovzduší US EPA

	Roční průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	24 hodinový průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
$PM_{2,5}$	15	35
PM_{10}	odvolán	150

Zdroj: US EPA (2006)

Nejvyšší hodnoty ročního průměru navrhla pro jemné částice frakce $PM_{2,5}$ $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a k dosažení tohoto limitu nesmí být překročena hodnota ročního průměru $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 3 roky po sobě. Pro 24 hodinový průměr u $PM_{2,5}$ uvádí hodnotu limitu $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Limitní hodnota pro suspendované částice frakce PM_{10} byla zrušena pro nedostatek

důkazů poukazujících na zdravotní problémy v důsledku dlouhodobé expozice znečištění suspendovanými částicemi. 24 hodinový průměr PM_{10} by neměl být překročen více než jednou do roka po dobu tří let. Hodnoty nabyly platnosti v prosinci 2006 (US EPA, 2006).

3.4.2 Legislativní rámec ochrany ovzduší v České republice

Imisní limity pro ochranu zdraví podle nařízení vlády 597/2006 Sb. stanovují pro PM_{10} imisní limit s dobou průměrování 24 hodin $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a tato hodnota nesmí být překročena více jak 35krát v kalendářním roce. Pro průměrování za kalendářní rok je tento limit stanoven na $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Nařízení vlády č. 42/2011 Sb. ze dne 2. února 2011, kterým se mění nařízení vlády č. 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, udává imisní limit pro $PM_{2,5}$ s dobou průměrování kalendářního roku $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V části C udává toto nařízení cílový imisní limit v městských požad'ových lokalitách pro $PM_{2,5}$ $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s dobou průměrování let 2013, 2014 a 2015. Cílový imisní limit pro $PM_{2,5}$ je stanoven pro rok 2015 a je vyjádřen jako průměr ročních průměrných úrovní znečištění ovzduší $PM_{2,5}$ za roky 2013, 2014 a 2015 ve všech městských požad'ových lokalitách. Hodnoty jsou zjišť'ovány z míst odběru vzorků zřízených podle bodu 1.6 části A přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 42/2011 Sb. (Nařízení vlády č. 42/2011 Sb., 2011).

Tab. 7 Imisní limity PM_{10} a $PM_{2,5}$ dle nařízení vlády vlády č. 42/2011 Sb.

	Roční průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	24 hodinový průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
$PM_{2,5}$	25	-
PM_{10}	40	50

Pramen: Nařízení vlády č. 42/2011 Sb. (online, 2011)

V části E udává nařízení vlády č. 42/2011 Sb. požadovaný pokles klouzavé roční koncentrace $PM_{2,5}$ v městských požad'ových lokalitách k roku 2020. Pokles klouzavé průměrné roční koncentrace $PM_{2,5}$ od roku 2010 k roku 2020 je vyjádřen jako pokles klouzavé průměrné roční koncentrace vypočítané za kalendářní roky 2018, 2019 a 2020 vůči klouzavé průměrné roční koncentraci vypočítané za kalendářní roky 2009, 2010 a 2011 (Nařízení vlády č. 42/2011 Sb., 2011).

Tab. 8 Pokles klouzavé roční koncentrace PM_{2,5} v městských pozad'ových lokalitách k roku 2020 dle nařízení vlády č. 42/2011 Sb.

Výchozí koncentrace ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Cíl snížení (%)
$\leq 8,5$	0
8,6 - 13,0	10
13,1 - 18,0	15
18,1 - 22,0	20
$\geq 22,1$	veškerá vhodná opatření pro dosažení $18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Pramen: Nařízení vlády č. 42/2011 Sb. (online, 2011)

3.4.3 Suspendované částice a index kvality ovzduší

Výpočet indexu kvality ovzduší se provádí z hodinových koncentrací oxidu siřičitého (SO₂), oxidu dusičitého (NO₂), ozonu (O₃), suspendovaných částic (PM₁₀) a osmihodinových klouzavých koncentrací oxidu uhelnatého (CO). Index kvality ovzduší zohledňuje možný vliv imisí na zdravotní stav obyvatelstva a výpočet je prováděn z aktuálního měření, tudíž data nejsou verifikována. V dané lokalitě je index kvality ovzduší zjišťován pro každou veličinu zvlášť a prezentován je nejvyšší z nich. ČHMÚ rozděluje index kvality ovzduší do šesti tříd. Staré hodnoty koncentrací PM₁₀ v indexu kvality ovzduší dle ČHMÚ uvádí tabulka 9.

Tab. 9 Staré hodnoty koncentrací PM₁₀ v indexu kvality ovzduší dle ČHMÚ

Index	Kvalita ovzduší	Hodinový průměr koncentrace ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
1	velmi dobrá	0 – 15
2	dobrá	16 – 30
3	uspokojivá	31 – 50
4	vyhovující	51 – 70
5	špatná	71 – 150
6	velmi špatná	nad 150

Pramen: ČHMÚ (2005b)

Algoritmus pro výpočet indexu kvality ovzduší byl pozměněn, aby lépe odpovídal aktuální situaci. V současnosti je do výpočtu zahrnuta hodinová koncentrace PM₁₀, neboť lépe vystihuje aktuální stav, a klouzavá 24h průměrná koncentrace PM₁₀ je

uváděna pouze jako informativní údaj (ČHMÚ, 2011b). Nové hodnoty pro koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v jednotlivých třídách jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Nové hodnoty koncentrací PM₁₀ v indexu kvality ovzduší dle ČHMÚ

Index	Kvalita ovzduší	Hodinový průměr koncentrace (μg·m ⁻³)
1	velmi dobrá	0 – 20
2	dobrá	21 – 40
3	uspokojivá	41 – 70
4	vyhovující	71 – 90
5	špatná	91 – 180
6	velmi špatná	nad 180

Pramen: ISKO (2010)

Při porovnání starých a nových hodnot koncentrací PM₁₀ v tabulkách 9 a 10 je zřejmé, že u všech kategorií došlo ke změnám intervalů hodnot přípustných hodinových průměrů koncentrací. Nové hodnoty intervalů hodinových průměrů koncentrací PM₁₀ byly posunuty směrem vzhůru a zatímco například hodnota hodinového průměru koncentrace 71 μg·m⁻³ dříve patřila do páté kategorie indexu kvality ovzduší, hodnotící kvalitu ovzduší jako špatnou, nyní dle nového intervalového rozpětí hodnot je tato koncentrace zařazena do čtvrté kategorie indexu kvality ovzduší, hodnotící kvalitu ovzduší jako vyhovující. U šesté kategorie, hodnotící kvalitu ovzduší jako velmi špatnou, byla dokonce posunuta hranice celého intervalu o 30 μg·m⁻³.

ČHMÚ od konce února roku 2011 spustil aktualizované webové stránky, umístěné na <http://portal.chmi.cz>, s informacemi o kvalitě ovzduší a aktuálním přehledem dat z automatizovaných měřicích stanic. Uvedeny jsou zde aktuální hodinové koncentrace znečišťujících látek z on-line připojených monitorovacích stanic a z nich odvozený index kvality ovzduší. Po kliknutí na kód konkrétní stanice se zobrazí naměřené hodinové koncentrace za posledních 24 hodin (ČHMÚ, 2011b).

Od března roku 2004 funguje v Evropě projekt Společná informovanost o kvalitě ovzduší v evropských městech (Common Information to European Air - CITEAIR). Pro zobrazování a srovnávání kvality ovzduší v evropských městech téměř v reálném čase byla vytvořena a spuštěna interaktivní webová stránka <http://www.airqualitynow.eu>. Všechna měření jsou pro větší srozumitelnost

transformována v jeden relativní údaj, Společný index kvality ovzduší (Common Air Quality Index – CAQI). Na základě iniciativy měst a regionů, kterých je do projektu CITEAIR zapojeno zatím zhruba dvacet, byly vyvinuty tři odlišné varianty indexu umožňující srovnání ve třech různých časových periodách (hodinové, denní a roční). Kvůli eliminaci vlivu různých monitorovacích sítí jsou do indexu zahrnovány hodnoty z dopravních a zároveň i pozad'ových měřicí stanic. Hodnoty indexů jsou pro města poskytující hodinová data aktualizovány každou hodinu a dále jsou uváděny denní indexy platné pro předcházející den. Tab. 11 uvádí rozmezí úrovní suspendovaných částic PM₁₀ u všeobecného indexu kvality ovzduší. Pro dopravní i pozad'ové měřicí stanice jsou hodnoty koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ v jednotlivých kategoriích stejné (Air quality now, 2007).

Tab. 11 Rozmezí úrovní koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ u všeobecného indexu kvality ovzduší pro dopravní i pozad'ové měřicí stanice dle CITEAIR

Hodnoty kvality ovzduší	1 hodina	24 hodin
Velmi nízké	0 - 25	0 - 12
Nízké	26 - 50	13 - 25
Střední	51 - 90	26 - 50
Vysoké	91 - 180	51 - 100
Velmi vysoké	nad 180	nad 100

Pramen: Air quality now (2007)

V České republice jsou do projektu CITEAIR poskytována data prostřednictvím ČHMÚ pro města Prahu a Brno. Pro obě města jsou poskytována data o suspendovaných částicích PM₁₀ z dopravních i pozad'ových měřicí stanic (Air quality now, 2007).

3.4.4 Těžké kovy v suspendovaných částicích

Nařízení 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší udává pro těžké kovy následující limity.

Imisní limit pro ochranu zdraví lidí, jediný v současné době řádně stanovený u těžkých kovů, byl pro olovo (Pb) stanoven na 500 ng·m⁻³ při době průměrování jeden rok (Portál veřejné správy České republiky, 2011).

Jako cílové imisní limity a dlouhodobé imisní cíle vybraných znečišťujících látek, vyhlášené pro ochranu zdraví lidí, udává pro celkový obsah těžkého kovu v PM_{10} hodnotu pro arsen (As) $6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, pro kadmium (Cd) $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a pro nikl (Ni) $20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ při dobách průměrování jednoho roku (Portál veřejné správy České republiky, 2011).

Rtuť a další látky dle nařízení 597/2006 Sb. nemají stanoveny přípustné úrovně znečištění ovzduší. Úroveň znečištění ovzduší rtuť je tedy posuzována z hlediska ročního aritmetického průměru a pro znečišťující látky arsen, kadmium, rtuť a nikl se provádí alespoň orientační měření celkové depozice (Portál veřejné správy České republiky, 2011).

3.5 Vliv suspendovaných částic na nemocnost a úmrtí

Lidský organismus ohrožují především tuhé znečišťující látky s původem v antropogenních procesech, avšak nelze přehlížet ani zdroje biologického původu produkující například bakterie, plísně nebo pyly, jejichž působení může vést až k alergickým reakcím (Machálek, P., 2003).

Nyní jsou již pro běžně nacházené úrovně znečištění ve městech prokázány zdravotní dopady, jako jsou předčasná úmrtí, zvýšené riziko vzniku nádorových onemocnění nebo zhoršení zdravotních obtíží a nemocí, spojených zejména se srdečně-cévním a dýchacím systémem (Státní zdravotní ústav, 2009)

Účinky tuhých znečišťujících částic v ovzduší, mimo částic s dráždivými účinky, se projevují pozvolna a mnohdy velmi nenápadně, a to i při vysoké hladině znečištění ovzduší. Organismus je přitom ohrožován dvěma možnými způsoby: v místech ukládání suspendovaných částic vznikají zánětlivá ložiska, nebo se jednotlivé látky vstřebávají do organismu. Při vstřebávání látek přitom nezáleží na tom, zda jsou látky na tuhých částicích adsorbované či uvolněné rozpouštěcím nebo reakčním mechanismem na samotných částicích (Machálek, P., 2003).

Škodlivé účinky tuhých znečišťujících látek v ovzduší jsou dle hledisek WHO posuzovány jednak jako krátkodobé, jednak jako dlouhodobé.

Vliv částic $PM_{2,5}$ je u účinků krátkodobých větší než vliv částic PM_{10} , neboť na jemnější látky jsou vázány sulfáty a látky silně kyselého charakteru. Dle provedených studií WHO ale nelze jednoznačně určit hranice, kdy se začíná projevovat vliv zvýšené koncentrace tuhých látek v ovzduší (Kurfürst, J. et al., 2008). Již krátkodobé vystavení zvýšeným denním koncentracím suspendovaných částic PM_{10} způsobuje nárůst nemocnosti, kojenecké úmrtnosti i celkové úmrtnosti, především

na onemocnění srdce a cév, zvýšení výskytu kašle a ztíženého dýchání, zejména u astmatiků (Státní zdravotní ústav, 2009).

Modelová studie WHO předpokládá při nárůstu obsahu suspendovaných částic v ovzduší o $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nad hodnotu pozadí na 1 milion obyvatel 8 následných úmrtí, 6 hospitalizací v důsledku respiračních onemocnění, 10 000 člověkodnů užívání bronchiálních medikamentů a 11 000 člověkodnů příznaků podráždění dýchacích cest. Počty úmrtí a hospitalizací v souvislosti s expozicí suspendovaným částicím mohou být značně sporné, avšak vysoké člověkodny užívání medikamentů a trvání příznaků podráždění dýchacích cest mají vysokou pravděpodobnost přímé souvislosti s krátkodobým zvýšením suspendovaných částic v ovzduší (Machálek, P., 2003).

Dlouhodobá expozice znečištěnému ovzduší se suspendovanými částicemi PM_{10} představuje riziko chronických i akutních účinků na zdraví dětí. Chronickými účinky je myšleno například poškození vývoje a snížení plicních funkcí, akutními účinky rozumíme zhoršení projevů astmatu nebo incidence respiračních onemocnění. Široký okruh zdravotních dopadů mohou mít koncentrace suspendovaných částic i u dospělých a pravděpodobný je i jejich podíl na vzniku rakoviny plic. Účinky suspendovaných částic frakce PM_{10} bývají uváděny i při průměrných ročních koncentracích nižších než $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Při chronické expozici suspendované částice frakce $\text{PM}_{2,5}$ redukuje očekávanou délku života již od průměrných ročních koncentrací $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Státní zdravotní ústav, 2009). WHO v některých studiích uvádí závěry, že dlouhodobá expozice snižuje věk dožití o 1 až 2 roky (Machálek, P., 2003).

Zachycení částic z vdechnutého vzduchu v respiračním traktu závisí hlavně na způsobu dýchání a na velikosti částic (na jejich aerodynamickém průměru). Větší částice (nad $10 \mu\text{m}$) jsou při dýchání nosem zachycovány v horních partiích dýchacího ústrojí, odkud jsou vykašlány nebo spolknuty. V blízkosti malých dolních dýchacích cest se zachycuje hlavní podíl částic o velikostech 5 až $10 \mu\text{m}$ (Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, 1996).

Nejmenší částice (označené $\text{PM}_{1,0}$ nebo submikrometrické částice) pronikají až do plicních sklípků (Keder, J. et al., 2010). Suspendované částice se tedy z hlediska škodlivých účinků na lidský organismus dělí dle klesající velikosti na vdechovatelné, thorakální a respirabilní, což přibližně odpovídá zachytu částic v nosohltanu, průduškách a v plicních sklípcích. Zájem posledních výzkumů se koncentruje zejména na suspendované částice $\text{PM}_{2,5}$ a menší, submikronové PM_1 (Machálek, P., 2003).

Charakter depozice je značně změněn při dýchání ústy, kdy mimohrudníková depozice je menší a tracheobronchiální a plicní depozice jsou vyšší. Při tělesné námaze a při mluvení se poměr dýchání ústy k dýchání nosem zvyšuje. Jemné částice PM_{2,5} se při dýchání ústy deponují především v plicích a částice o velikosti 3 až 5 μm se významně zachycují kromě plic také v tracheobronchiální oblasti. Větší částice se na úkor depozice v plicích ukládají převážně v průdušnici a průduškách (Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě, 1996).

3.6 Srovnání suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5}

3.6.1 Hodnoty PM₁₀ a PM_{2,5} ve vybraných evropských městech

Vyhodnocovány a srovnávány byly hodnoty a charakteristiky suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} ze sedmi vybraných regionů Evropské unie. Data pocházejí ze vždy alespoň ročních dat, a to z období let 1998 až 2002.

Tab. 12 Roční průměrné hodnoty PM₁₀ na měřicích stanicích sedmi regionů EU

PM ₁₀	městská pozad'ová	městská dopravní
Rakousko	–	53
Německo	28–38	37-51
Španělsko	31-42	45-55
Švédsko	17-23	26-51
Nizozemsko	25	30
Spojené Království	25	35
Švýcarsko	24	42

Pramen: Querol, X., et al. (2004)

Nejvyšší roční průměrné hodnoty PM₁₀ na pozad'ových městských měřicích stanicích byly zaznamenány ve Španělsku a Německu, kde kolísaly mezi 28 až 42 μg·m⁻³. V ostatních pozad'ových městských měřicích stanicích se roční průměrné hodnoty PM₁₀ pohybovaly kolem 25 μg·m⁻³, s nejnižšími hodnotami 17 až 23 μg·m⁻³ zaznamenanými ve Švédsku. Podobné kolísání hodnot bylo naměřeno i na dopravních městských měřicích stanicích. Nejvyšší roční průměrné hodnoty byly naměřeny v Rakousku, Německu a Španělsku: 37 až 55 μg·m⁻³. V Nizozemsku a Spojeném

Království se hodnoty PM_{10} na dopravních městských pohybovaly od 30 do $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ve Švédsku od 26 do $51 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Querol, X., et al., 2004).

Tab. 13 Roční průměrné hodnoty $PM_{2,5}$ na měřicích stanicích sedmi regionů EU

$PM_{2,5}$	městská pozad'ová	městská dopravní
Rakousko	-	38
Německo	22–30	25–39
Španělsko	19-25	28–35
Švédsko	8 15	13-18
Nizozemsko	20	20
Spojené království	16	24
Švýcarsko	19	22

Pramen: Querol, X., et al. (2004)

Pro $PM_{2,5}$ byly na pozad'ových městských měřicích stanicích naměřeny nejvyšší roční průměrné hodnoty ve Španělsku a Německu, kde kolísaly v rozmezí 19 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na ostatních pozad'ových městských měřicích stanicích se hodnoty pohybovaly v rozmezí 16 až $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, s výjimkou Švédska (8 až $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Na dopravních městských měřicích stanicích ve Španělsku, Rakousku a Německu kolísaly hodnoty $PM_{2,5}$ v rozmezí od 25 do $39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v Nizozemsku a Spojeném království od 20 do $24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ve Švédsku od 13 do $18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Querol, X., et al., 2004).

Poměr $PM_{2,5}/PM_{10}$ je závislý na typu a umístění měřicí stanice a liší se tedy mezi rozdílnými regiony EU. Na pozad'ových městských měřicích stanicích se pohybuje v rozmezí od 0,4-0,5 (na Kanárských ostrovech a na jihu Španělska) do 0,8 v Nizozemsku, Německu a severním a oblastech středního Španělska. Poměry $PM_{2,5}/PM_{10}$ na dopravních městských měřicích stanicích jsou obvykle 0,6–0,7. Nižší hodnoty (0,4) byly pozorovány na některých dopravních městských měřicích stanicích ve Švédsku a na Kanárských ostrovech. Tyto hodnoty poukazují na větší podíl silničních prachových emisí (obrušování silnic a pneumatik, posyp pískem a solení) a na prach z pouští z Afriky (Querol, X., et al., 2004).

3.6.2 Analýza suspendovaných částic při spalování paliv v malém topeništi

Státní projekt VaV SM 9/9/04 Omezování emisí znečišťujících látek do ovzduší, dílčí úkol Monitoring malých stacionárních zdrojů, porovnával emise ze spalování různých typů paliv v malém stacionárním zdroji. Vytipované reprezentativní reálné topeniště o výkonu 35 kW, typ EMKA IV – rošt z roku 1974 bylo monitorováno při spalování běžných tuzemských paliv: hnědého uhlí; dřeva; paliv z obnovitelných zdrojů (štěpkových granulí nebo dřevěných briket); domácí palivové směsi stavebního dřeva, prachového uhlí a kuchyňského odpadu. Z výsledků analýz pro PM_{10} a $PM_{2,5}$ vyplývá následující tabulka (KÚ Ústeckého kraje, 2005).

Tab. 14 Výsledek analýzy suspendovaných částic při použití různých druhů paliv

	TSP ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	PM₁₀ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	PM_{2,5} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	TSP (%)	PM₁₀ (%)	PM_{2,5} (%)	PM_{2,5}/PM₁₀ (%)
Hnědé uhlí	524,8	60,3	60,1	100	11	11	100
Palivové dřevo	114,6	29,8	29,7	100	26	26	100
Dřevěné brikety	68,5	12,3	12,1	100	18	18	98
Směs paliv a odpadu	153,5	39,9	34,6	100	26	23	87

Pramen: KÚ Ústeckého kraje (2005)

Z prachové analýzy vyplývá důležitý fakt, že se při spalování paliv nevyskytuje téměř žádná hrubá frakce $PM_{2,5-10}$. Hodně TZL emitují všechna použitá paliva a potom až jemnou frakci $PM_{2,5}$. Množství znečišťujících látek emitovaných při použití různých paliv v malém stacionárním zdroji vzhledem ke spalování hnědého uhlí představuje v poměru následující tabulka.

Tab. 15 Podíl emisí suspendovaných částic za normálních podmínek vůči hnědému uhlí při použití jednotlivých paliv (v %)

	Hnědé uhlí	Palivové dřevo	Dřevěné brikety	Směs paliv a odpadu
PM_{2,5}	100	49	20	58
PM₁₀	100	50	20	66

Pramen: KÚ Ústeckého kraje (2005)

Při spalování uvedených typů paliv v porovnání se spalováním hnědého uhlí je produkováno méně suspendovaných částic, a to dokonce i v případě spalování směsi paliv a odpadu. Nejméně suspendovaných částic je produkováno při spalování dřevěných briket, kdy jsou hodnoty emisí přibližně pětinové oproti emisím při spalování hnědého uhlí.

Emisní limit REZZO 2 je pro topeniště o výkonech 0,5 MW – 5 MW stanoven na 250 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ TSP. Monitorovaný starý malý zdroj emisí produkuje při spalování hnědého uhlí 524,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ TSP, u nového malého stacionárního zdroje je uváděna produkce emisí výrazně nižší, v rozmezí 90 až 210 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ TSP. Situace v kvalitě ovzduší by tak i při zachování stávajícího poměru paliv mohla být výrazněji lepší, neboť analýza byla prováděna na kotli z roku 1974 a jistým předpokladem jsou inovace spalovacích zařízení v domácích kotelnách (KÚ Ústeckého kraje, 2005).

4 Výsledky analýzy

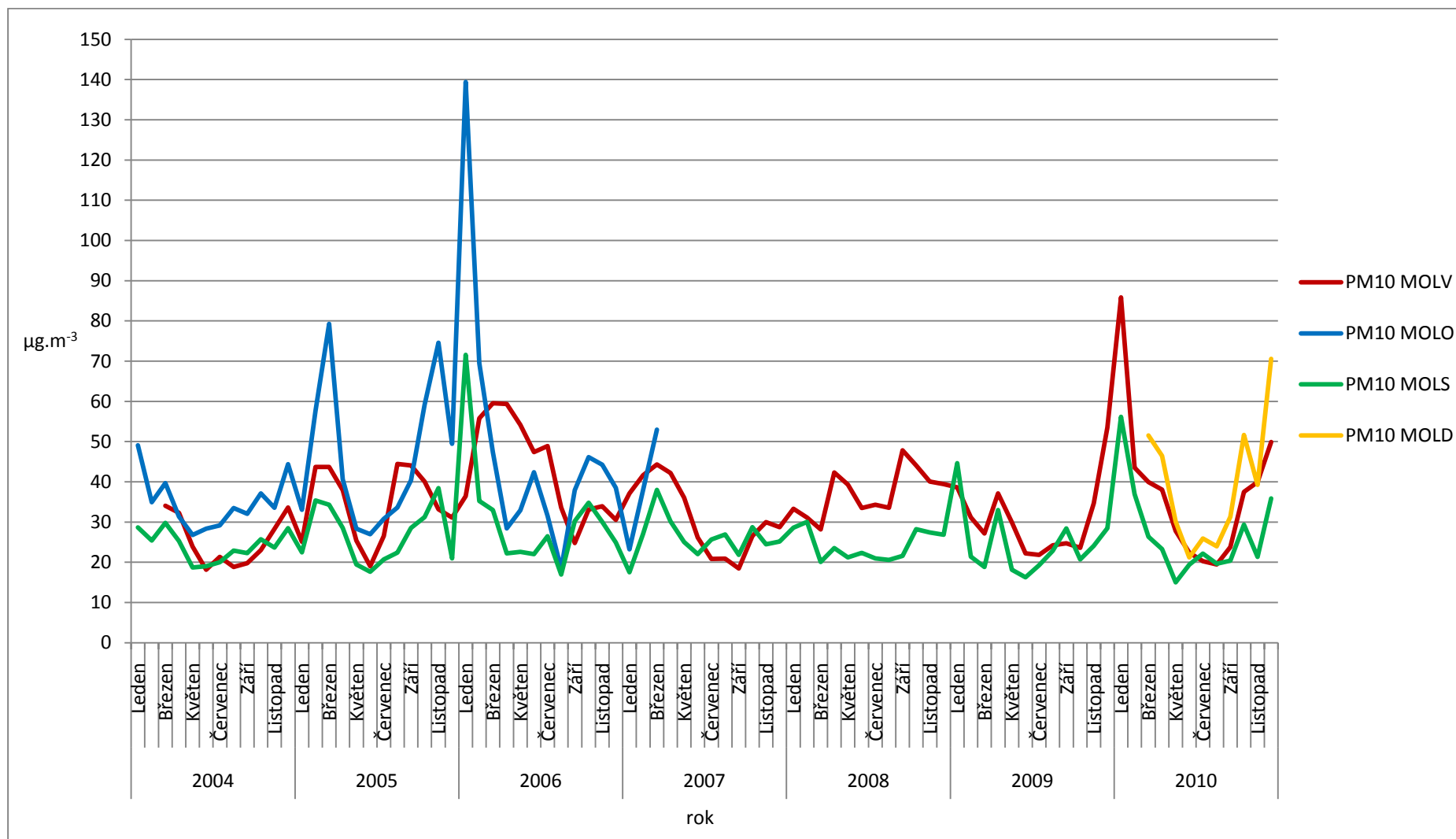
4.1 Měsíční a roční průměrné koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5}

Průběh hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na měřicích stanicích v Olomouci ve sledovaném období let 2004 až 2010 zobrazuje graf na obr. 2. Maximální měsíční průměrná hodnota koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ nastala v lednu roku 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kdy byla naměřena hodnota koncentrace 139 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Tento výkyv k vysokým hodnotám se ve stejném měsíci projevil také na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS), kde byla naměřena nejvyšší průměrná měsíční hodnota této měřicí stanice z celého sledovaného období, a to 72 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) je nárůst průměrných měsíčních hodnot na začátku roku 2006 pozorovatelný až o měsíc později, avšak hodnoty přes 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byly naměřeny od února až do května a i v červnu a červenci se pohybovaly těsně pod 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vysoké měsíční průměrné hodnoty koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ přes 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ se na stanici Olomouc (MOLO) objevily dále v únoru a březnu roku 2005 a v období již zmíněného maxima na začátku roku 2006, kdy přesáhly hodnotu koncentrace 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v říjnu roku 2005 a klesly těsně pod hodnotu 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ až v březnu roku 2006. V březnu a listopadu roku 2005 hodnoty průměrné měsíční koncentrace dokonce přesahovaly 70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Přes 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla také naměřena hodnota průměrné měsíční koncentrace v březnu roku 2007, v posledním roce a měsíci měření stanice Olomouc (MOLO).

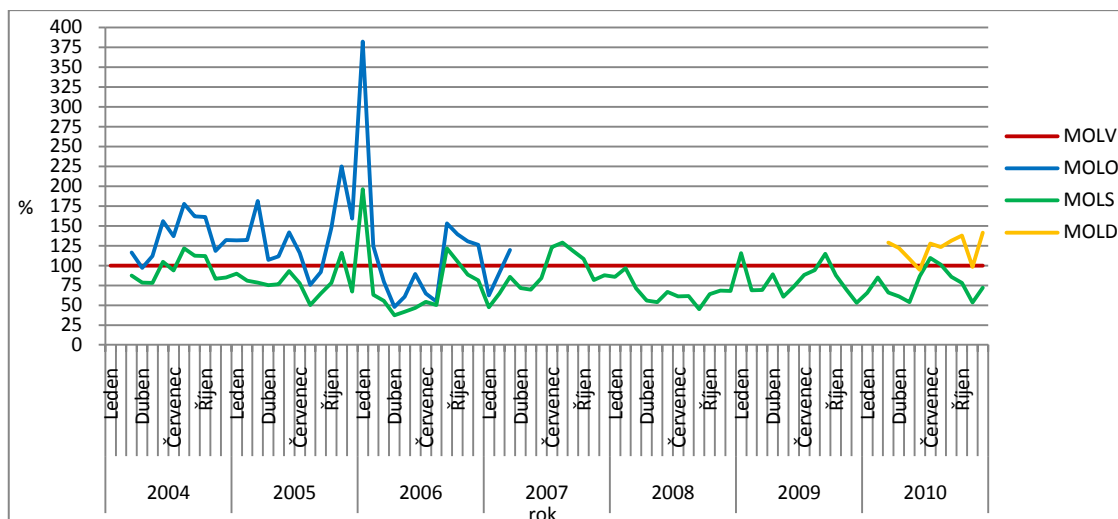
Na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byla maximální průměrná měsíční hodnota koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ naměřena v lednu roku 2010, a to 86 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Měsíční průměrnou hodnotu přes 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vykazuje tato stanice ještě v prosinci roku 2009 a rostoucí trend na 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a výše vykazuje i na konci roku 2010. Vysoké hodnoty v lednu roku 2010 se projevují i v chodu hodnot koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ naměřených na stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS), kdy zde byla naměřena druhá nejvyšší hodnota průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic ze sledovaného období, a to 56 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ve zbytku hodnoceného období hodnoty průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) kolísaly převážně v rozmezí 20 až 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s výkyvy v několika měsících přes toto rozmezí.

Průměrné měsíční hodnoty koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v roce 2010 na stanici Olomouc-Hodolany (MOLD) jsou vyšší než hodnoty naměřené stanicemi Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Šmeralova (MOLS), ale kopírují jejich průběh s poklesem hodnot do června a následným růstem hodnot do prosince zmíněného roku. V prosinci roku 2010 vykazují data ze stanice Olomouc-Hodolany (MOLD) vysokou průměrnou měsíční hodnotu koncentrace suspendovaných částic PM_{10} $71 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Poměr hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z měřicích stanic Olomouc (MOLO), Olomouc-Šmeralova (MOLS) a Olomouc-Hodolany (MOLD) vůči hodnotám z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) zobrazuje graf na obr. 3 a hodnoty průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) zde představují 100 %. Vůči nim jsou nejvíce rozdílné naměřené hodnoty suspendovaných částic PM_{10} ze stanice Olomouc (MOLO), která v lednu roku 2006 vykazovala téměř čtyřnásobně vyšší naměřené hodnoty oproti stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV). Dále jsou hodnoty suspendovaných částic PM_{10} z této měřicí stanice nejvíce odlišné v srpnu roku 2004 (o 78 %), v březnu roku 2005 (o 81 %) a v listopadu roku 2005 (o 125 %), kdy jsou hodnoty měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ve všech případech o mnoho vyšší. Stanice Olomouc (MOLO) měřila vyšší hodnoty koncentrací po většinu období své činnosti, pouze v srpnu a září roku 2005, v období března až srpna roku 2006 a v lednu a v únoru roku 2007 naměřila hodnoty nižší. Nejnižší hodnotu suspendovaných částic PM_{10} oproti měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) naměřila v dubnu roku 2006, pouze 48 %. Hodnoty měsíčních průměrných koncentrací PM_{10} ze stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS) jsou naopak po většinu sledovaného období nižší než hodnoty ze stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV), a to zhruba o 20 %. Výrazněji vyšší jsou opět v lednu 2006, a to o 96 %. Vyšší jsou také v srpnu roku 2004, v září roku 2006 a v červenci a v srpnu roku 2007, vždy nejméně o 20 %. Měřicí stanice Olomouc-Hodolany (MOLD) vykazuje po celé své funkční období vyšší naměřené hodnoty oproti stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV), a to nejméně o 20 %, jenom v červnu a v listopadu roku 2010 jsou hodnoty měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} přibližně stejné.

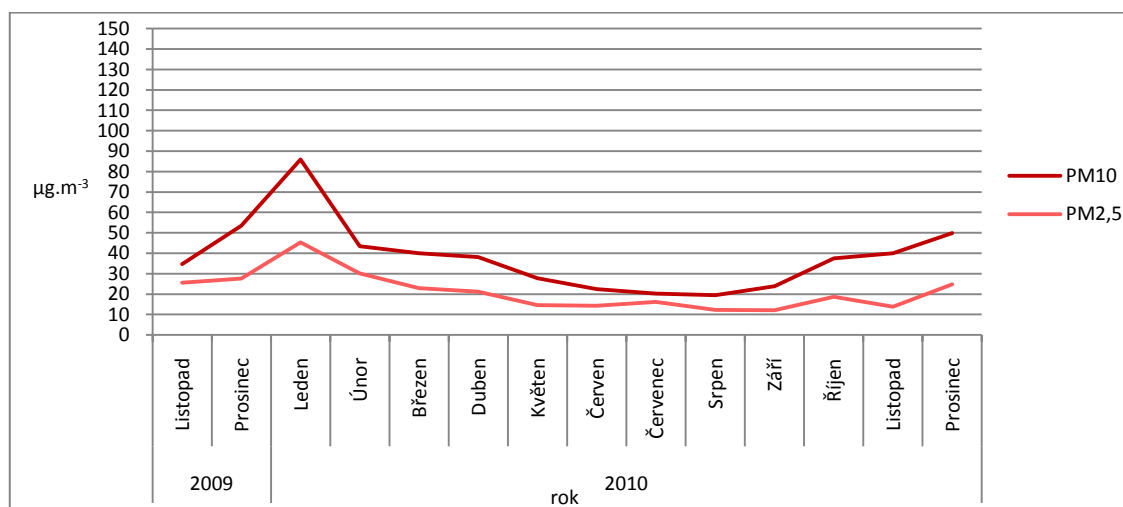


Obr. 2: Průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na měřicích stanicích v Olomouci v letech 2004 až 2010



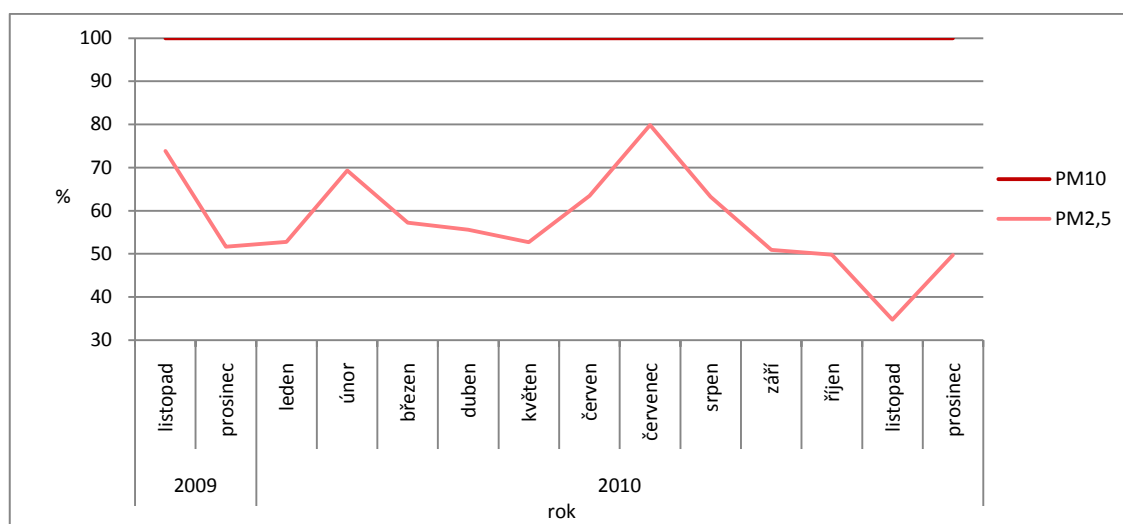
Obr. 3: Poměr hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ z měřicích stanic vůči hodnotám z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010

V průběhu hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) lze vidět maximální naměřenou hodnotu 45 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v lednu roku 2010 (obr. 4). Od té doby byl v naměřených hodnotách měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} zaznamenán pokles a v období od dubna do listopadu roku 2010 se naměřené hodnoty pohybovaly v rozmezí 10 až 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Průběh měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} je až na vyšší hodnoty na počátku roku 2010 vcelku vyrovnaný a přibližně ho kopíruje i průběh hodnot suspendovaných částic PM₁₀.



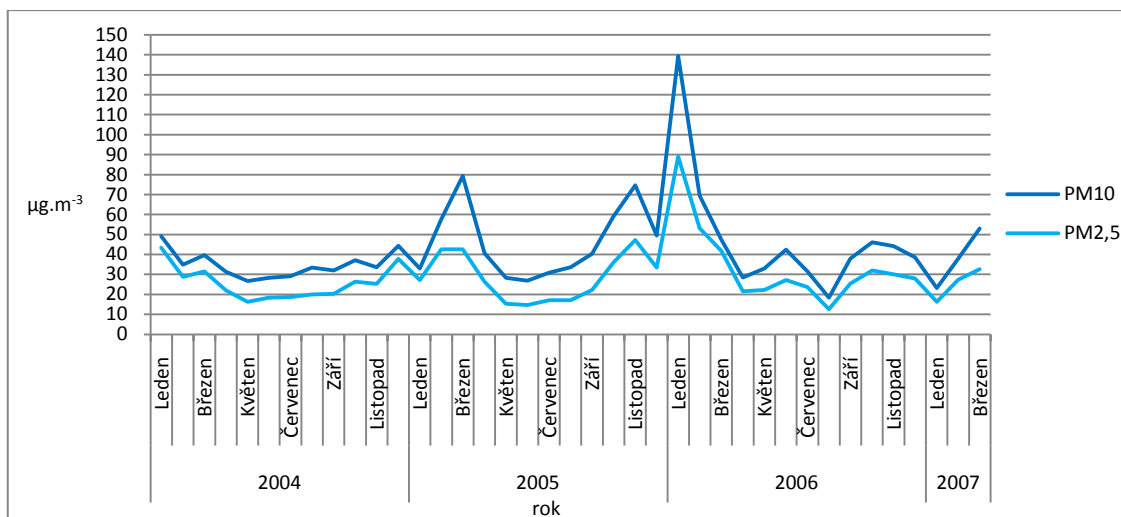
Obr. 4: Měsíční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2009 a 2010

Největší podíl zaujímají průměrné měsíční hodnoty koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ z hodnot průměrných měsíčních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v červenci roku 2010, kdy tvořil 80 % naměřené koncentrace. Většinu období měření stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) tvořil podíl suspendovaných částic $PM_{2,5}$ ze suspendovaných částic PM_{10} 50 až 70 %. 70 % tvořil tento podíl v listopadu roku 2009 a v únoru roku 2010, naopak v listopadu roku 2010 byl tento podíl pouze 35 % (obr. 5).



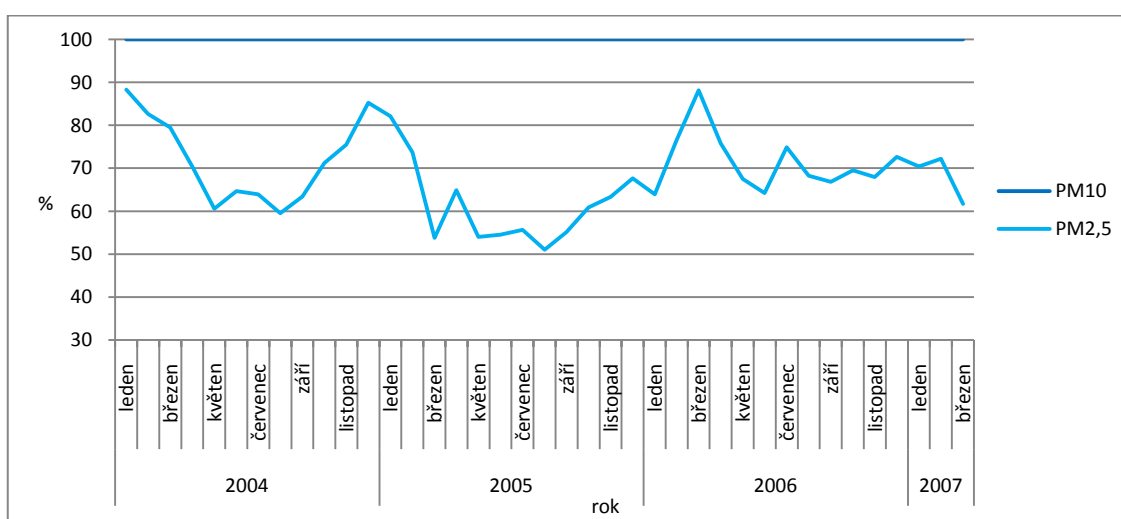
Obr. 5: Poměr hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2009 a 2010

Velmi vysoké hodnoty měsíčních průměrných koncentrací na konci roku 2005 a na začátku roku 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) vykazují křivky pro suspendované částice $PM_{2,5}$ a zároveň i pro suspendované částice PM_{10} . Nejvyšší byla hodnota průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v lednu roku 2006 $89 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 6). Přes $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla hodnota průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v lednu roku 2004, v únoru a březnu roku 2005 a s výjimkou prosince roku 2005 v období již zmíněného maxima od listopadu 2005 do března roku 2006. Po většinu období monitorování stanice se naměřené hodnoty suspendovaných částic $PM_{2,5}$ pohybovaly v rozmezí 10 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s mírnými poklesy hodnot v letních měsících a výraznějším poklesem v lednu roku 2007. Nejnižší hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ $13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla zaznamenána v srpnu roku 2006.



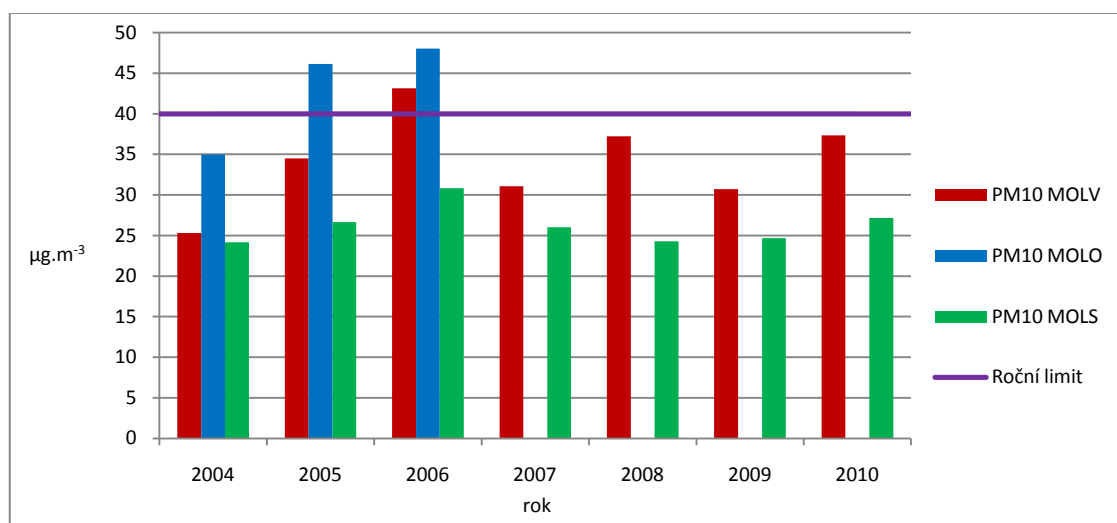
Obr. 6: Měsíční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2007

Největší podíl měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} z hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) nastal na počátku roku 2004 (přes 80 %), po poklesu na 60 % v létě roku 2004 se tento poměr opět výrazně zvýšil v zimě na přelomu let 2004 a 2005 (opět přes 80 %) a poté ještě výrazněji poklesl na jaře a v létě roku 2005 (pod 60 %). Na podzim a v zimě roku 2005 podíl suspendovaných částic PM_{2,5} ze suspendovaných částic PM₁₀ opět stoupal s maximem v březnu roku 2006, kdy tvořil 88 %. Poté poklesl a od léta roku 2006 je jeho chod přibližně vyrovnaný na hodnotách kolem 70 % (obr. 7).



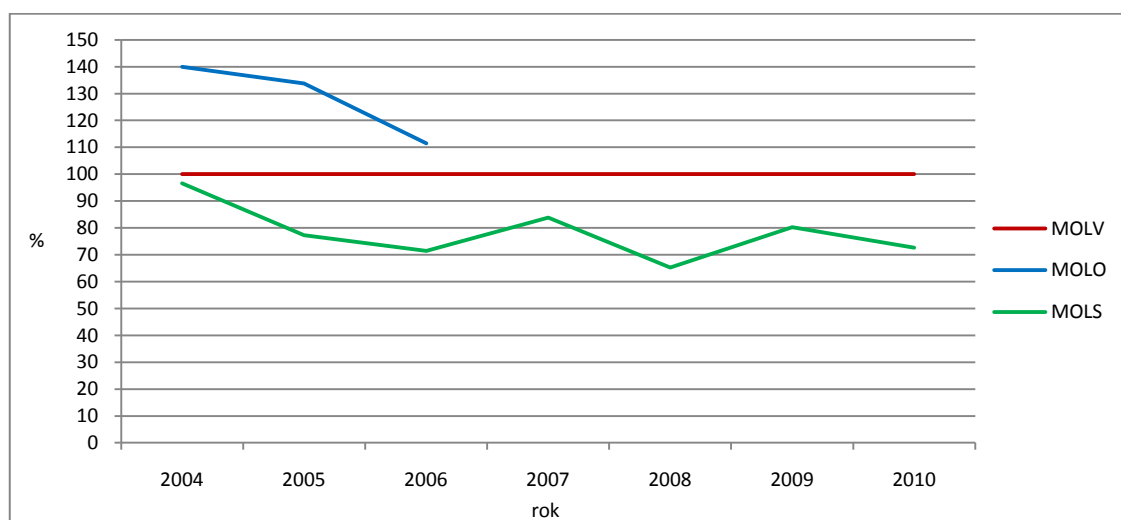
Obr. 7: Poměr hodnot měsíčních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2007

Roční limit pro suspendované částice PM_{10} je v České republice stanoven na $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato limitní hodnota byla překročena na měřicí stanici Olomouc (MOLO) ve dvou po sobě jdoucích letech, v roce 2005 a v roce 2006 (obr. 8). V roce 2006 byl tento limit překročen také hodnotami naměřenými na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV). Překročené limitní hodnoty roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) se pohybovaly v rozmezí 45 až $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, hodnota koncentrace překročeného limitu v roce 2006 na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byla $43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnižší hodnota roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} byla naměřena měřicí stanicí Olomouc-Šmeralova (MOLS) v roce 2004 a roce 2008, kdy dosahovala hodnoty $24 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. S výjimkou v roce 2006, kdy byla na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) naměřena hodnota $31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, byla hodnota roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na této měřicí stanici kolem $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byly nejnižší v roce 2004, kdy bylo naměřeno $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V roce 2005 hodnota roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} vzrostla na $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a po zmíněném maximu v roce 2006 opět poklesla v roce 2007 na hodnotu ročního průměru $31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Stejný roční průměr suspendovaných částic PM_{10} byl na této měřicí stanici zaznamenán v roce 2009. Hodnoty roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} byly na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) stejné také v letech 2008 a 2010 s naměřenou hodnotou $37 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 8: Roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicích stanicích v Olomouci v letech 2004 až 2010

Srovnáním hodnot ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na měřicích stanicích Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) vůči hodnotám z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010 je zřejmé, že nejvyšší hodnoty ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} byly v letech 2004 až 2006 naměřeny na měřicí stanici Olomouc (MOLO) (obr. 9). Nejvíce odlišné byly naměřené hodnoty mezi měřicí stanicí Olomouc (MOLO) a měřicí stanicí Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v roce 2004 při rozdílu 40 %. V následujícím roce tento rozdíl klesl na 34 % a v roce 2006 až na 11% rozdíl mezi hodnotami ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} . Hodnoty roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) nepřesáhly po celé sledované období let 2004 až 2010 hodnoty ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV). Největšího rozdílu mezi hodnotami ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} bylo dosaženo v roce 2008 (35 %) a nejméně odlišné jsou hodnoty ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v roce 2004, kdy je v hodnotách z měřicích stanic Olomouc-Šmeralova (MOLS) a Olomouc-Velkomoravská (MOLV) pouze 3% rozdíl. Ve zbývajících letech byly hodnoty ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z měřicích stanic Olomouc-Šmeralova (MOLS) a Olomouc-Velkomoravská (MOLV) rozdílné přibližně o 20 až 30 %.



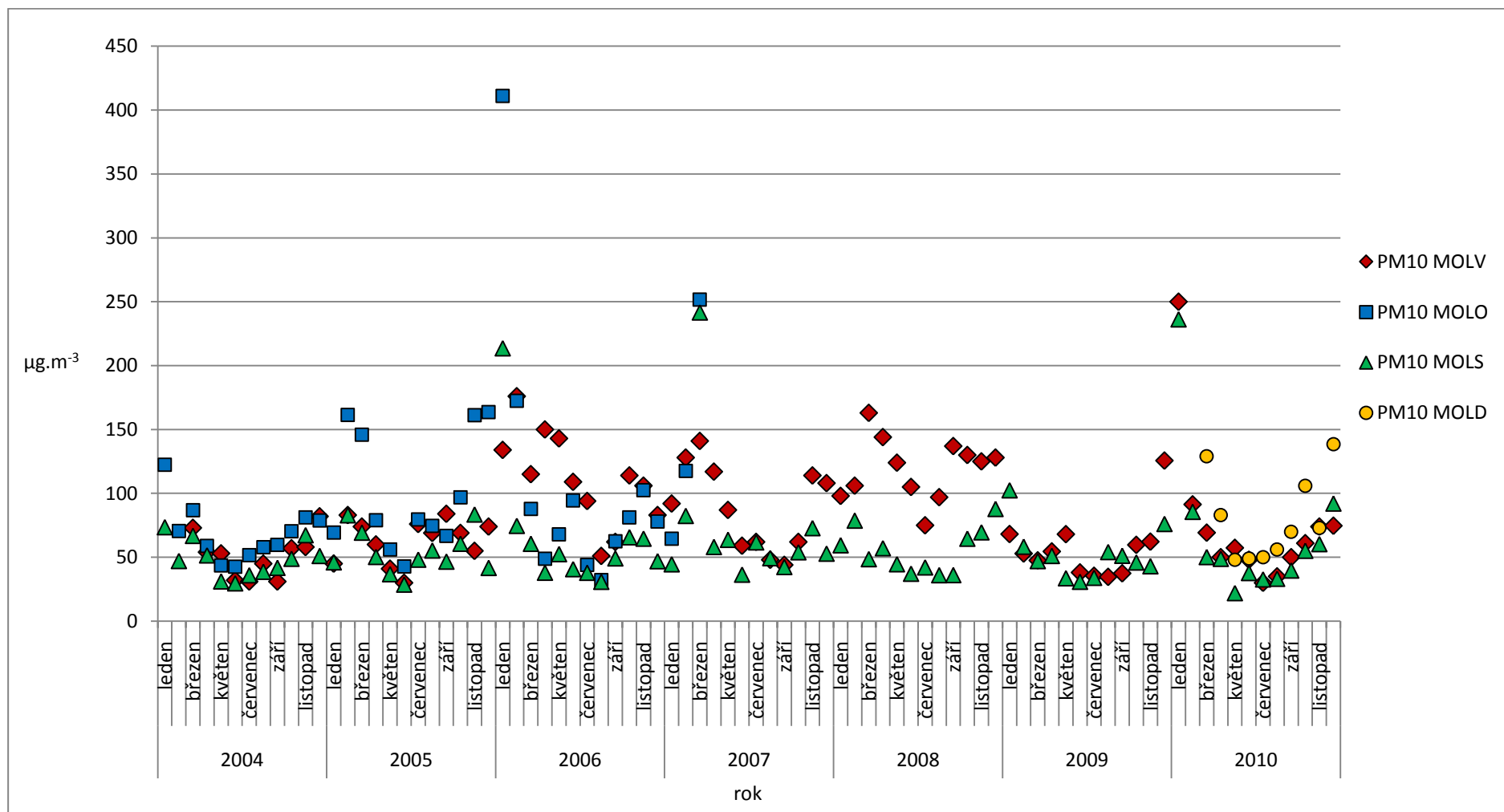
Obr. 9: Poměr hodnot ročních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na měřicích stanicích Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) vůči hodnotám z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010

4.2 Maximální průměrné denní koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5}

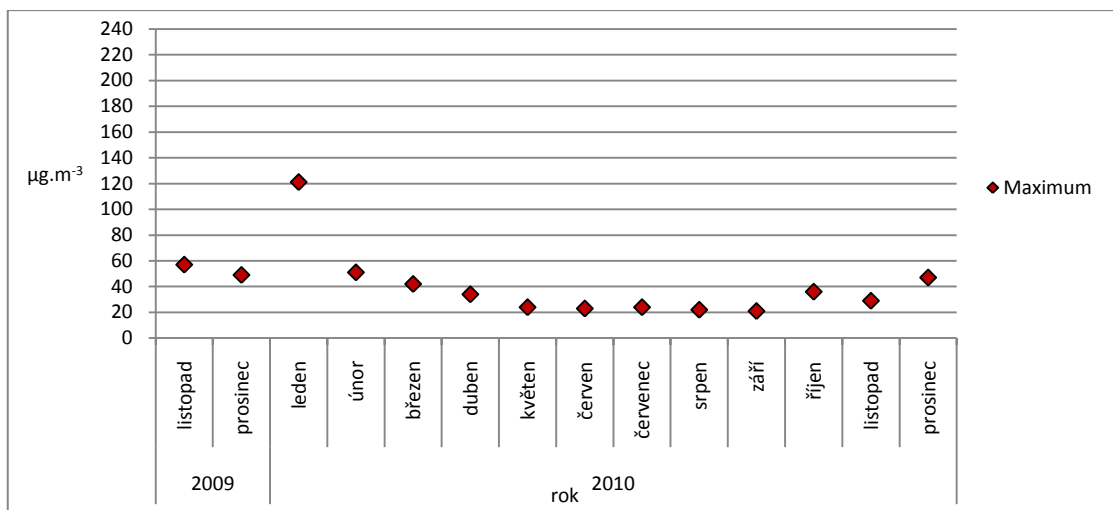
Nejvyšší hodnoty maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ bylo dosaženo v průběhu měsíce ledna roku 2006, kdy byla na měřicí stanici Olomouc (MOLO) naměřena hodnota 411 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 10). V období od počátku roku 2004 až do zmíněného extrému na počátku roku 2006 jsou maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) až na pár výjimek vyšší než jsou hodnoty maxim průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ v daných měsících na měřicích stanicích Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Šmeralova (MOLS). Hodnota maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v lednu roku 2006 je na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) zhruba třetinová a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) je přibližně poloviční. V průběhu roku 2006 se hodnoty maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ v každém měsíci z měřicí stanice Olomouc (MOLO) pohybují mezi hodnotami maxim z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV), která jsou nad těmito hodnotami, a z měřicí stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS), která jsou pod těmito hodnotami. Vysoká je na měřicí stanici Olomouc (MOLO) také hodnota maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ v březnu roku 2007, kdy dosáhla hodnoty 252 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ve stejném měsíci a roce je podobně vysoká i hodnota naměřená měřicí stanicí Olomouc-Šmeralova (MOLS) 242 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V měsících roku 2008 jsou maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) nad maximy průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ z měřicí stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS), a to dokonce v některých případech o 50 a více $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V měsících roků 2009 a 2010 je chod maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ poměrně vyrovnaný a hodně podobný, s poklesem hodnot vždy v létě a s výkyvem k vysokým hodnotám v lednu roku 2010, kdy byla na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) naměřena hodnota maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ 250 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) hodnota 236 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ naměřené na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) až na tři výjimky nepřesahují ve sledovaných měsících hodnotu průměrné denní koncentrace 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ naměřené

na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) také kromě tří výjimek nepřesahují ve sledovaných měsících hodnotu průměrné denní koncentrace $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Hodolany (MOLD) v měsících jejího měření roku 2010 přibližně kopírují chod hodnot na ostatních měřicích stanicích s poklesem hodnot v létě a s výkyvy k vyšším hodnotám v zimě. Maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{10} z měřicí stanice Olomouc-Hodolany (MOLD) jsou v měsících roku 2010 vyšší než hodnoty maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z měřicích stanic Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Šmeralova (MOLS). Nejvíce hodnot maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z měřicích stanic Olomouce se nacházelo v rozmezí hodnot 50 až $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

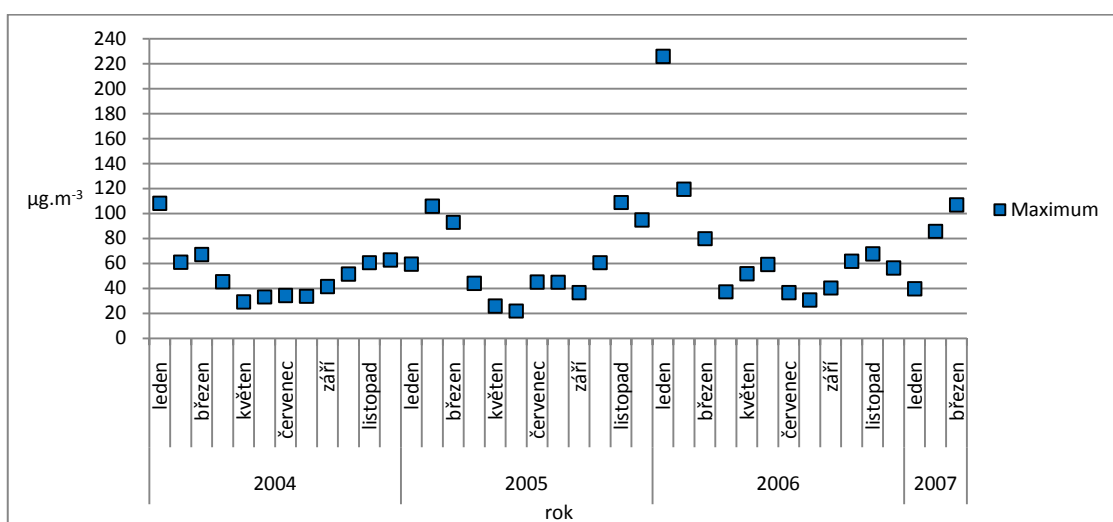
Maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) bylo dosaženo v lednu roku 2010, a to hodnoty $121 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 11). Hodnoty maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ se v období měsíců listopadu roku 2009 až března roku 2010 pohybovaly nad hodnotou $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V průběhu léta tyto hodnoty klesaly až na nejmenší hodnotu maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ v září roku 2010, kdy byla naměřena hodnota $21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ke konci roku 2010 opět hodnoty maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ vzrostly na téměř $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byla největší hodnota maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ $226 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřena v lednu roku 2006 (obr. 12). Nejnižší maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) bylo dosaženo v červnu roku 2005. Hodnoty na grafu na obr. 12 z měřicí stanice Olomouc (MOLO) kolísají mnohem více, než tomu bylo u hodnot z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) na obr. 11. Dobře lze pozorovat výkyvy hodnot maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ směrem vzhůru v obdobích zimních měsíců, kdy se hodnoty pohybují kolem $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a naopak poklesy hodnot maximálních průměrných denních koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ v měsících letních, kdy klesají na zhruba $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i méně.



Obr. 10: Maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v každém měsíci na měřicích stanicích v Olomouci v letech 2004 až 2010



Obr. 11: Maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} v každém měsíci na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2009 a 2010

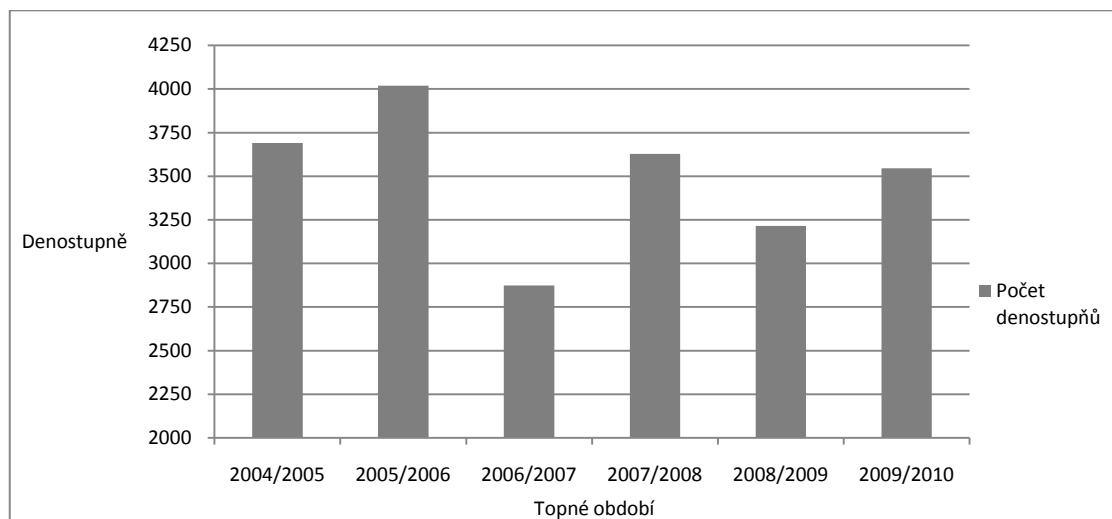


Obr. 12: Maximální průměrné denní koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} v každém měsíci na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2007

4.3 Topná období 2004/2005 až 2009/2010 v denostupních

Vypočteny byly teploty šesti topných období v letech 2004/2005 až 2009/2010 v denostupních (graf na obr. 13). Maximální teplota topného období, jediná přes 4 000 denostupňů (4 019 denostupňů), byla dosažena v topné sezóně 2005/2006. To bylo způsobeno velice chladnou zimou s vysokým počtem dnů se střední denní teplotou nižší nebo rovnající se 13 °C a také nízkými průměrnými denními teplotami v daném období. S touto situací souvisely i nepříznivé rozptylové podmínky. Velmi mírné, s rozdílem přes 1 100 denostupňů oproti předchozímu, bylo naopak topné období 2006/2007

s vypočtenými 2 874 denostupni, minimem v celém sledovaném období způsobeném nízkým počtem dnů topení a vysokým průměrem ze středních denních teplot. Další mírná zima byla na přelomu let 2008/2009, kdy bylo vypočteno 3 214 denostupňů a počet dnů topení byl necelých 200, což je zhruba stejné jako v posledním hodnoceném topném období 2009/2010. U něho je však nižší průměr denních středních teplot a počet denostupňů je tedy vyšší (3 546 denostupňů). Podobné hodnoty měla teplota topných období 2007/2008 (3 628 denostupňů) a 2004/2005 (3 691 denostupňů).

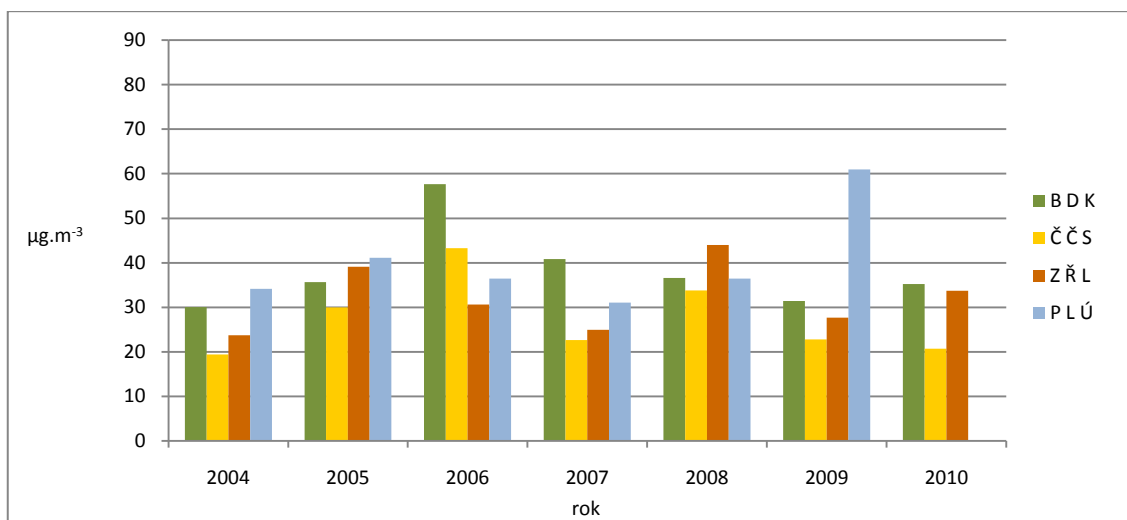


Obr. 13: Teploty topných období 2004/2005 až 2009/2010 v jednotce denostupňů

4.4 Průměrné koncentrace PM_{10} a $PM_{2,5}$ v ročních obdobích a chladných a teplých polovinách roku

V chodu koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích let 2004 až 2010 lze nejvyšší hodnoty na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) pozorovat v zimě roku 2009, kdy průměrná hodnota koncentrace suspendovaných částic PM_{10} za příslušné tři měsíce dosáhla hodnoty $61 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 14). Podobně vysoká byla na této měřicí stanici také hodnota průměrné koncentrace na jaře roku 2006, $58 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a z průměrů za jarní měsíce v letech 2004 až 2010 je tato hodnota nejvyšší. V ostatních letech se hodnota průměrů koncentrací suspendovaných částic PM_{10} z jarních měsíců pohybovala na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) mezi hodnotami 30 až $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Maximální hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v letních měsících na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) bylo dosaženo v roce 2006 ($43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a poté v roce 2008 ($34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Ve zbytku let sledovaného období se hodnoty letních průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10}

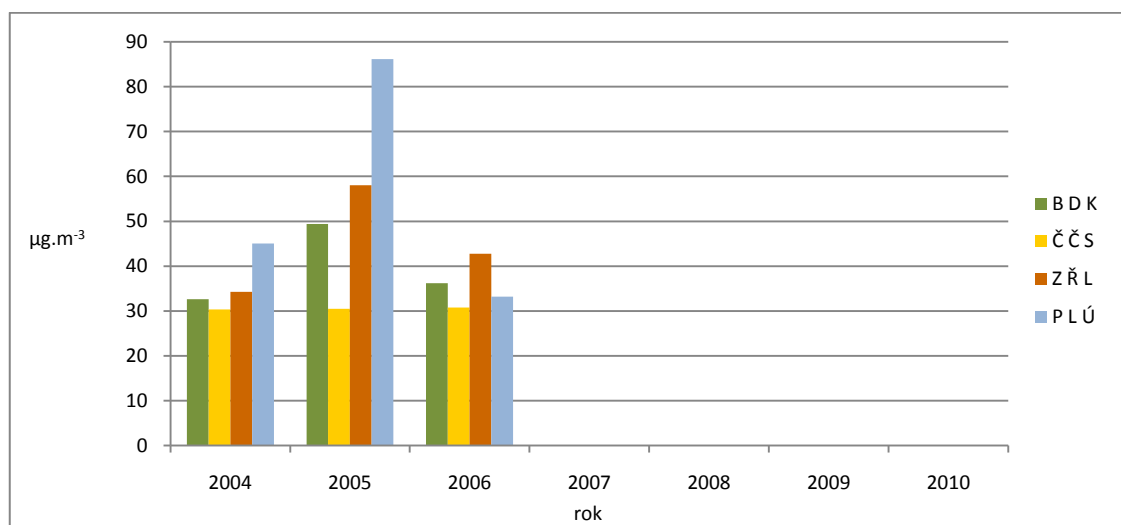
pohybovaly v rozmezí 20 až 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ s minimální průměrnou letní koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v roce 2004. Podzimní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byly nejvyšší v roce 2008, kdy dosáhly hodnoty 44 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a minimální hodnota pro podzimní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} nastala v roce 2004 (24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Zimní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) se kromě zmíněného maxima v roce 2009 pohybovaly v rozmezí přibližně 30 až 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a druhá nejvyšší hodnota nastala v roce 2005, 41 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V jednotlivých letech jsou v chodu průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) pozorovatelné nejnižší hodnoty v průměrech letních měsíců, akorát v roce 2006 je letní hodnota ovlivněna vysokou hodnotou jarního průměru a nejnižší hodnota byla v tomto roce dosažena na podzim.



Obr. 14: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010

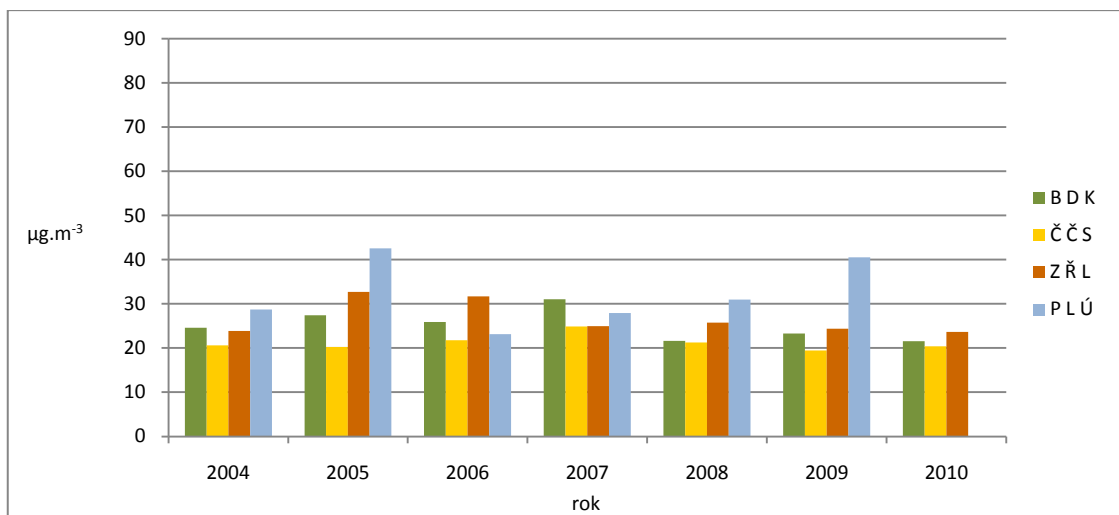
Na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byla extrémně vysoká hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v zimě roku 2005 86 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, což je nejvyšší hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích ze všech tří stanic měřících v Olomouci ve sledovaných letech 2004 až 2010 (obr. 15). Celkově byly v ročních obdobích roku 2005 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) naměřeny vysoké hodnoty ve všech ročních obdobích kromě léta. Hodnoty průměrných

koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v letních měsících dosahovaly ve všech letech měření stanice $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



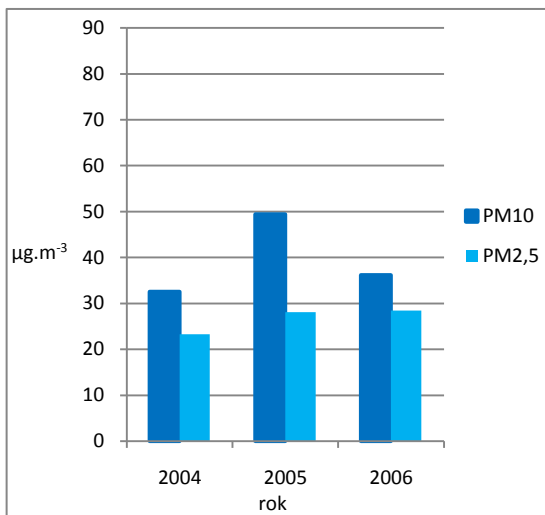
Obr. 15: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006

Nejvíce vyrovnaný je průběh hodnot průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích v letech 2004 až 2010 na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS), kde se téměř všechny hodnoty průměrů pohybovaly v rozmezí 20 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 16). Nejvyšších hodnot průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} bylo na této stanici dosaženo v zimě roku 2005 ($43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a v zimě roku 2009 ($41 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Ve všech sledovaných letech lze na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova vidět nejnižší průměrné hodnoty suspendovaných částic PM_{10} v letních měsících.

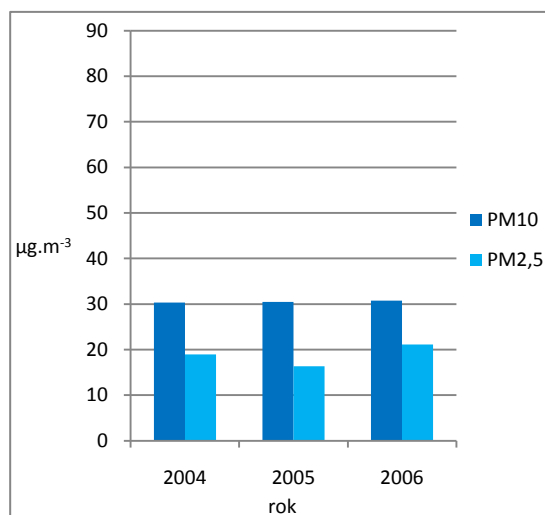


Obr. 16: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010

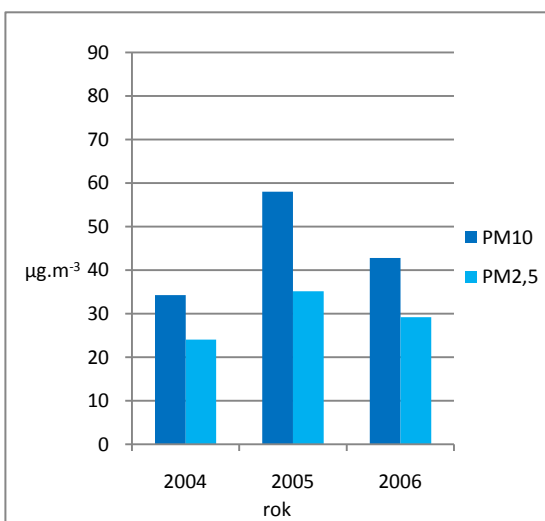
V chodu hodnot průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) (obr. 17 až 20) vidíme nejnižší hodnoty pro jemnější frakci $PM_{2,5}$ v letních měsících (obr. 18), a to ve všech letech 2004 až 2006. Letní průměrné hodnoty koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ dosáhly maximálně $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a to v roce 2006. Jarní průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006 se pohybovaly v rozmezí 20 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 17) s maximální hodnotou opět v roce 2006. Podzimní průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) dosáhly maxima $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2005 (obr. 19). Absolutně nejvyšší průměrná hodnota koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v ročních obdobích na měřicí stanici Olomouc (MOLO) $59 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byla dosažena v zimních měsících roku 2005 (obr. 20). Vysoká je také hodnota koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v zimních měsících roku 2004. Průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ opakují v ročních obdobích trend chodu koncentrací suspendovaných částic PM_{10} . V zimních měsících se hodnoty koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ nejvíce přibližují hodnotám koncentrací suspendovaných částic PM_{10} (obr. 7 a obr. 20).



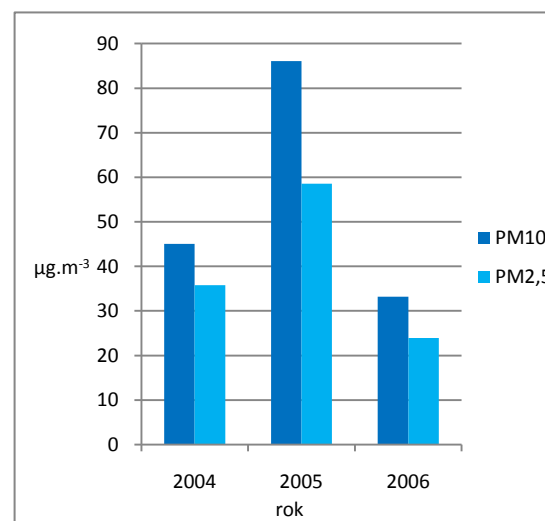
Obr. 17: Jarní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM10 a PM2,5 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006



Obr. 18: Letní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM10 a PM2,5 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006

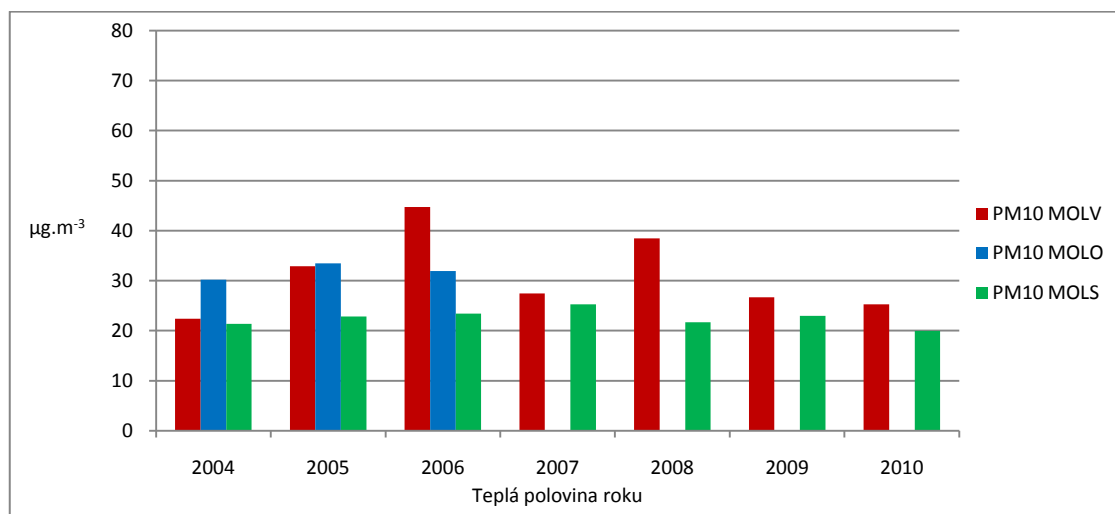


Obr. 19: Podzimní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM10 a PM2,5 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006



Obr. 20: Zimní průměrné koncentrace suspendovaných částic PM10 a PM2,5 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006

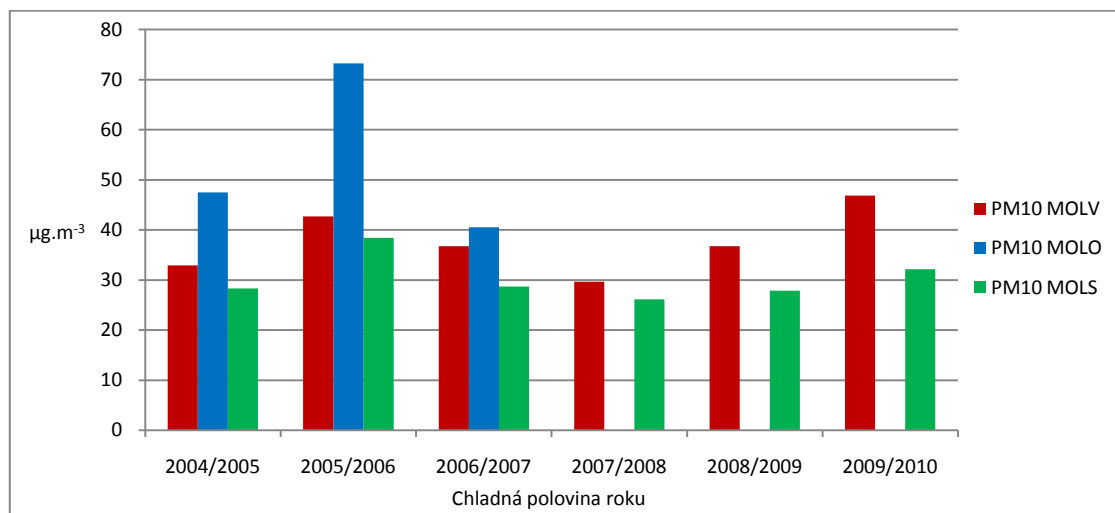
Vzestupné a sestupné trendy průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} lze lépe pozorovat v teplých a chladných polovinách roků 2004 až 2010. Trend chodu koncentrací na jednotlivých měřicích stanicích je méně výrazný v teplých polovinách roků (obr. 21) než v chladných polovinách roků (obr. 22). Na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v teplých polovinách roků 2004 až 2006 stoupaly až na maximální hodnotu ze všech naměřených hodnot $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v teplé polovině roku 2006 (obr. 21). V teplé polovině roku 2007 průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) výrazně poklesly na hodnotu $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a přibližně stejné byly hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} i v letech 2009 a 2010. Hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v teplých polovinách roků 2004 až 2006 mírně překračují hodnotu $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v teplých polovinách roků 2004 až 2010 se pohybují v rozmezí 20 až $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 21: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na jednotlivých měřicích stanicích v teplých polovinách roků 2004 až 2010

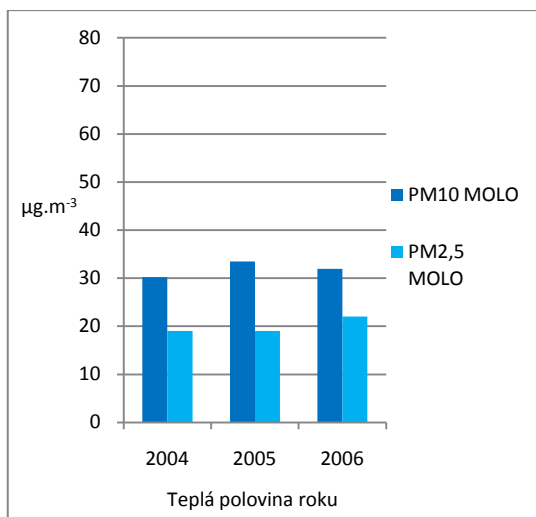
V trendu průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v chladných polovinách roků lze vidět velmi vysoké hodnoty na přelomu let 2005/2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kdy byla naměřena absolutně nejvyšší hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} $73 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 22). Měřicí stanice Olomouc (MOLO) naměřila vysokou průměrnou koncentrací suspendovaných částic PM_{10} také

v chladné polovině roku 2004/2005 $47 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Stejně vysoká byla hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v chladné polovině roku 2009/2010. Nejnížší byly hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v chladné polovině roku 2007/2008, kdy byla na obou měřicích stanicích naměřena průměrná hodnota pod $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

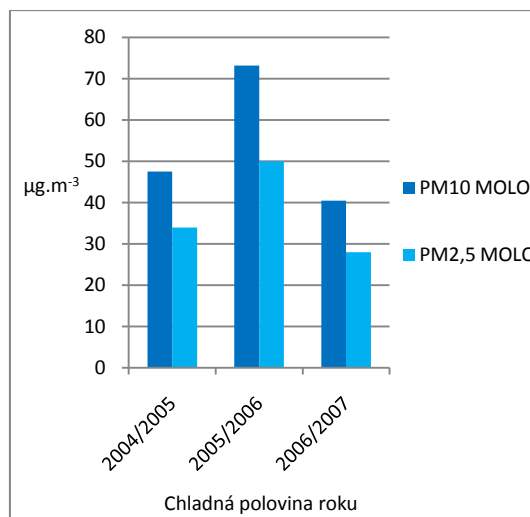


Obr. 22: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na jednotlivých měřicích stanicích v chladných polovinách roků 2004/2005 až 2009/2010

Průměrné koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ jsou v teplých polovinách roků 2004 až 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) přibližně stejné s hodnotou $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 23). Hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} jsou v teplých polovinách roků 2004 až 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) zhruba o třetinu vyšší v každém půlroce. V chladných polovinách roků 2004/2005 až 2006/2007 jsou na měřicí stanici Olomouc (MOLO) nejvyšší hodnoty suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ v chladné polovině roku 2005/2006 (obr. 24), kdy byla naměřena průměrná hodnota $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ve zbylých chladných polovinách roků 2004/2005 a 2006/2007 se hodnoty koncentrací suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$ pohybovaly kolem hodnoty $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a hodnoty koncentrací suspendovaných částic PM_{10} byly přibližně o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ vyšší. V chladné polovině roku 2005/2006 byla hodnota koncentrace suspendovaných částic PM_{10} vyšší o více než $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ než byla hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic $\text{PM}_{2,5}$.



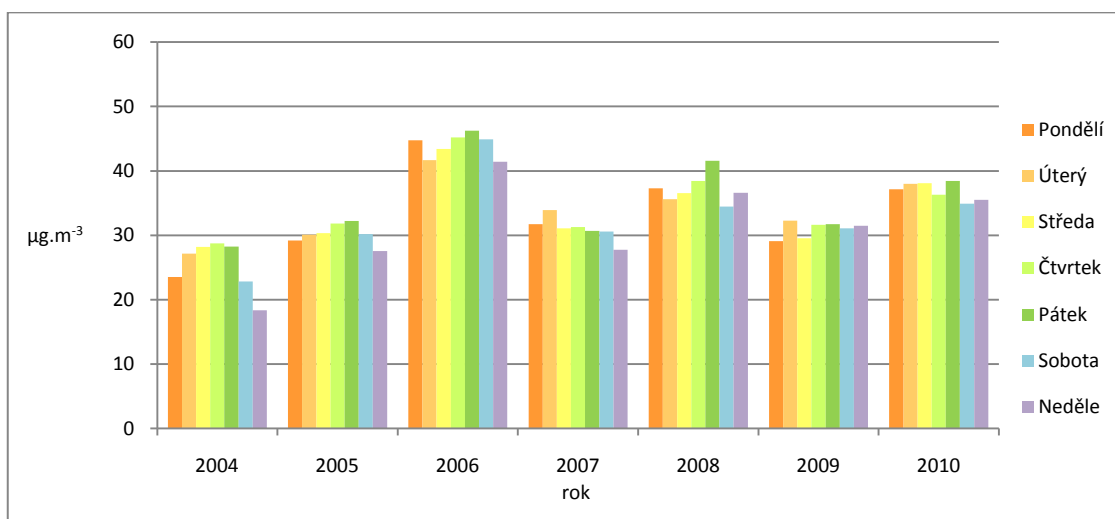
Obr. 23: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} v teplých polovinách roků 2004 až 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO)



Obr. 24: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} v chladných polovinách roků 2004/2005 až 2006/2007 na měřicí stanici Olomouc (MOLO)

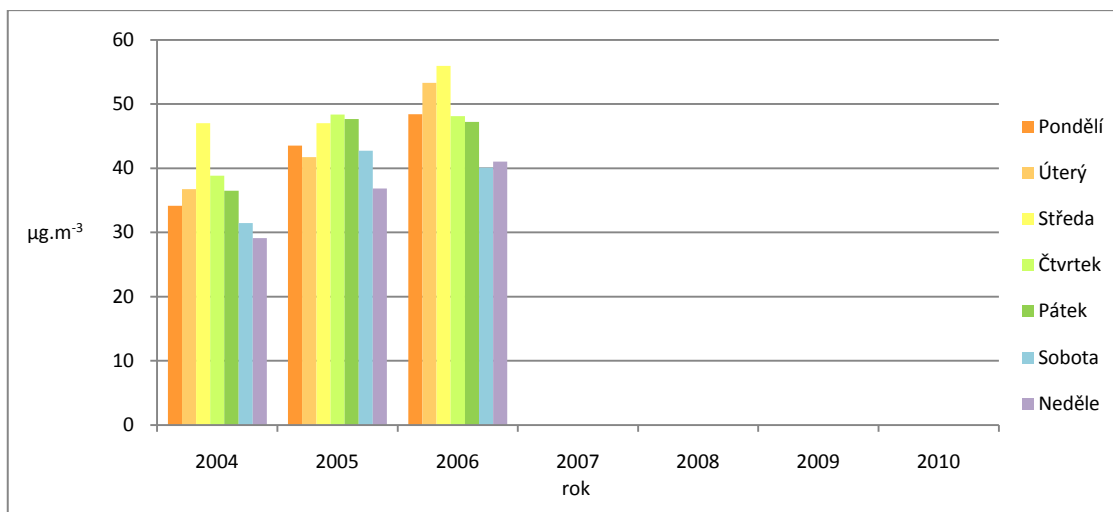
4.5 Průměrné koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5} ve dnech v týdnu

Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ ve dnech v týdnu v letech 2004 až 2010 na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byly nejvyšší v roce 2006, kdy v každém dni z týdne přesahovaly hodnotu 40 µg·m⁻³ (obr. 25). V letech 2004 až 2010 byly naopak nejnižší průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v roce 2004, kdy ani v jednom dni z týdne nepřesáhly hodnotu 30 µg·m⁻³. Absolutně nejnižší byly průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) o nedělích roku 2004 s hodnotou průměru 18 µg·m⁻³. Absolutně nejvyšší byly průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) o pátcích roku 2006 s hodnotou průměru 46 µg·m⁻³. V letech 2005, 2007 a 2009 byl průběh průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) podobný a pohyboval se kolem hodnoty 30 µg·m⁻³. V letech 2008 a 2010 se hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ pohybovaly v rozmezí 35 až 40 µg·m⁻³. Ve všech sledovaných letech 2004 až 2010 jsou na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) vidět poklesy hodnot průměrných koncentrací suspendovaných částic PM₁₀ o sobotách a nedělích.



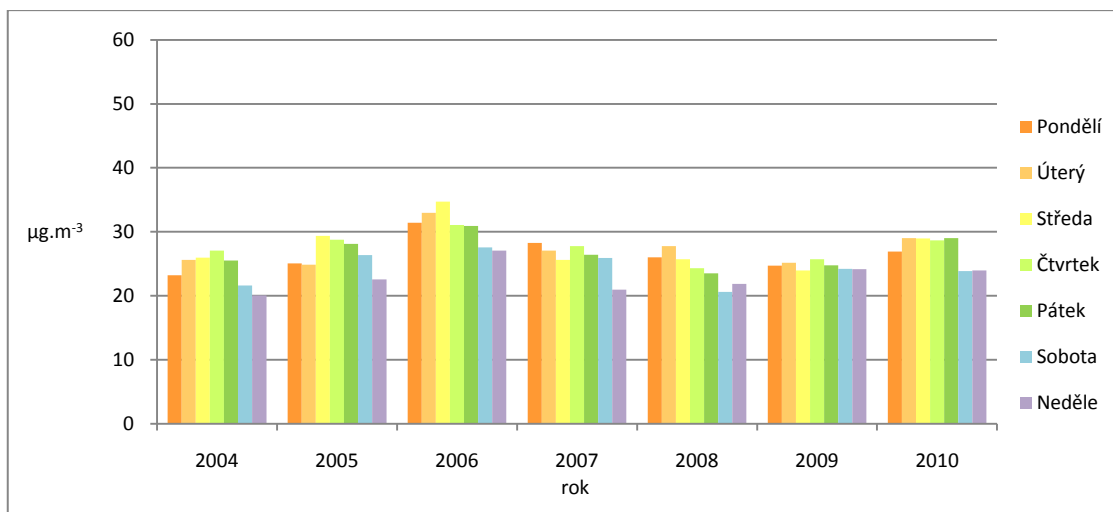
Obr. 25: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2004 až 2010

Poklesy hodnot průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} o sobotách a nedělích oproti hodnotám v průběhu pracovních dní lze pozorovat i na hodnotách z měřicí stanice Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006 (obr. 26). Nejvyšší hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ve dnech v týdnu nastaly v roce 2006, kdy v každém dni z týdne přesahovaly hodnotu $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Přes $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byly také hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) ve dnech v týdnu v roce 2005 s výjimkou hodnoty průměrné koncentrace z nedělí $37 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Výrazněji vyšší hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} v průběhu dní v týdnu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byly zaznamenány o středách let 2004 ($47 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a 2006 ($56 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).



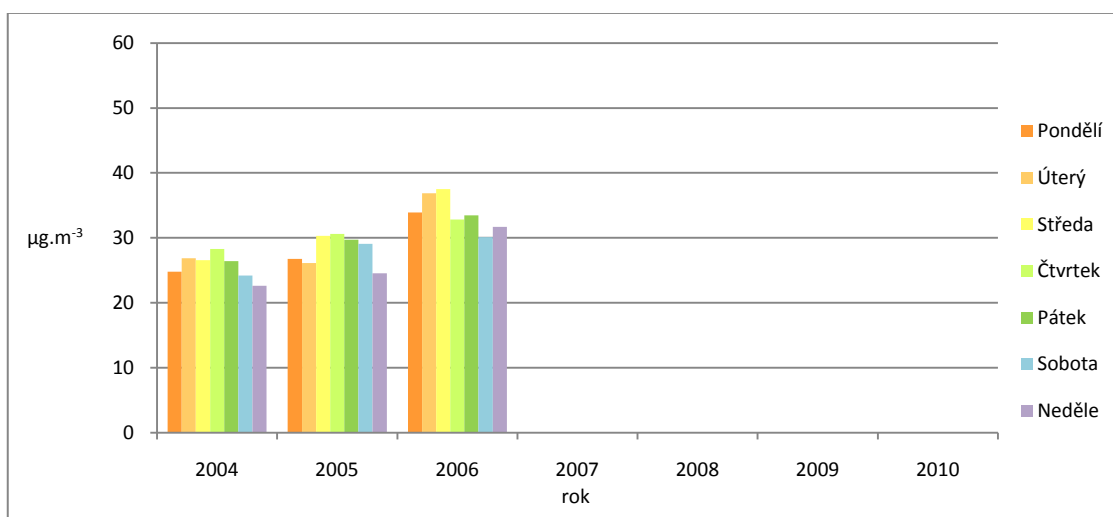
Obr. 26: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006

Průběh chodu hodnot průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ve dnech v týdnu je nejméně proměnlivý v letech 2004 až 2010 na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) (obr. 27). S výjimkou průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} během pracovních dnů roku 2006 se hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) pohybovaly v rozmezí 20 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Absolutně nejnižší ze dnů v týdnu byly průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) o nedělích roku 2007 s hodnotou průměru $21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Absolutně nejvyšší byly ze dnů v týdnu průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) o středách roku 2006 s hodnotou průměru $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



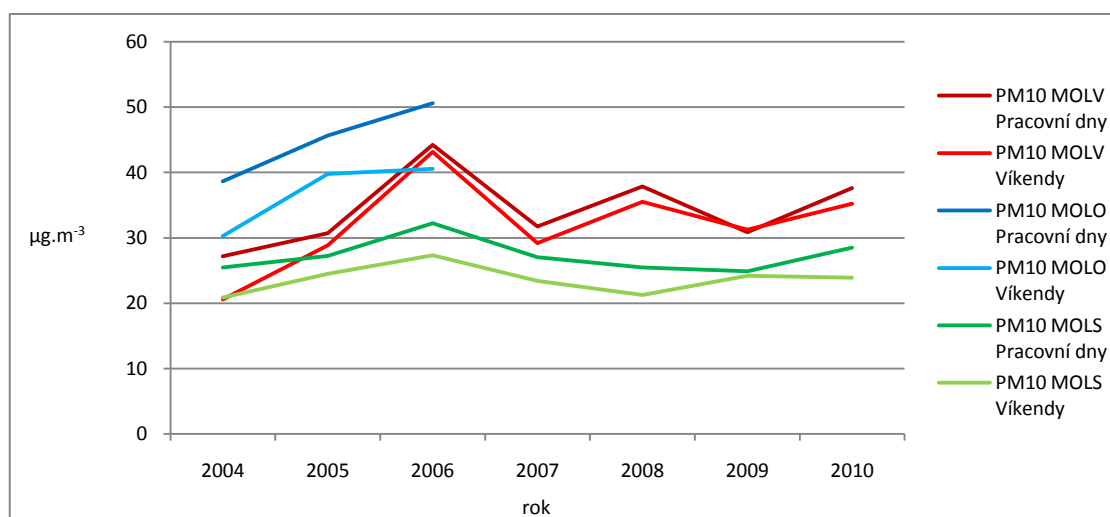
Obr. 27: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010

Hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byly opět nejvyšší v roce 2006, kdy se u všech dnů v týdnu pohybovaly nad hodnotou 30 µg·m⁻³ (obr. 28). V letech 2004 a 2005 se průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} pohybovaly v rozmezí hodnot 25 až zhruba 30 µg·m⁻³ a hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{2,5} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) ze dnů v týdnu byly nejnižší o nedělích, v roce 2006 o sobotách.



Obr. 28: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{2,5} ve dnech v týdnu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006

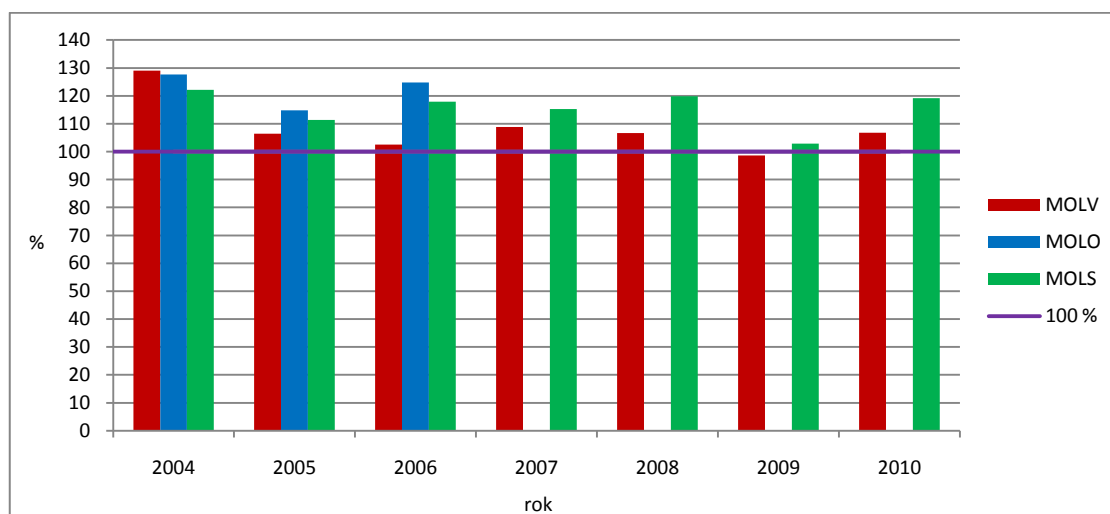
V grafu průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v pracovních dnech a o víkendech na jednotlivých měřicích stanicích v letech 2004 až 2010 na obr. 29 je dobře vidět pokles průměrných koncentrací znečištění ve dnech pracovního klidu ve všech letech. Výjimku tvoří akorát hodnoty z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV), kde se hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} o víkendech dostávají o něco málo nad hodnoty průměrných koncentrací v pracovních dnech v roce 2009. V tomtéž roce jsou hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v pracovních dnech a o víkendech velmi podobné také na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS). Rozdíl mezi hodnotami průměrných koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v pracovních dnech a koncentrací suspendovaných částic PM_{10} o víkendech v letech 2004 až 2010 je největší na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kdy v letech 2004 a 2006 dosahuje téměř $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 29: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na jednotlivých měřicích stanicích v pracovních dnech a o víkendech v letech 2004 až 2010

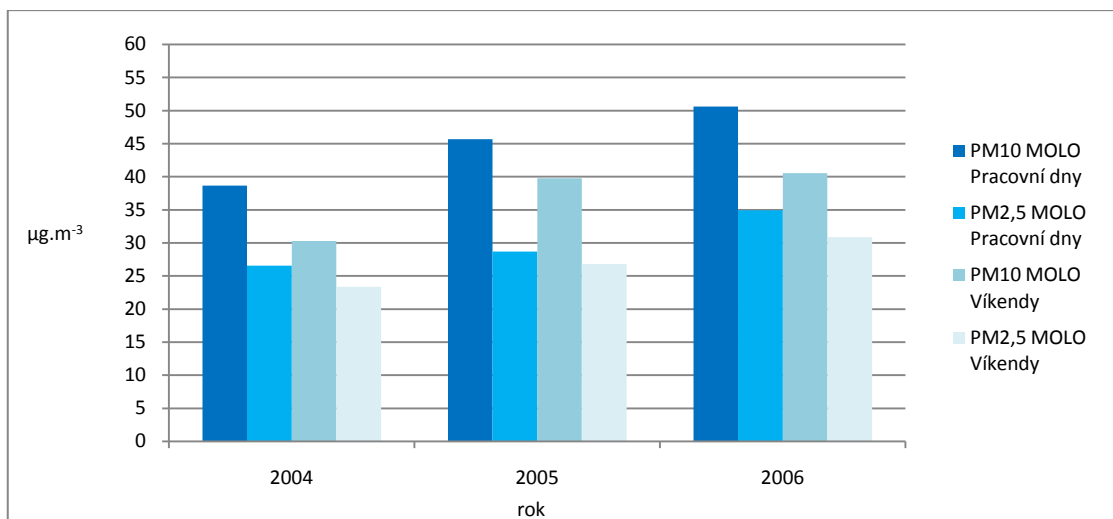
V grafu poměrů průměrných hodnot suspendovaných částic PM_{10} během pracovního týdne vůči hodnotám průměrů o víkendech na jednotlivých stanicích v letech 2004 až 2010 (obr. 30) jsou znovu dobře pozorovatelné vyšší hodnoty průměrných hodnot suspendovaných částic PM_{10} v pracovních dnech. V roce 2009 je na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) vidět o něco málo nižší hodnotu průměrných koncentrací v pracovních dnech než byla hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} o víkendech. Nejméně rozdílné jsou průměrné hodnoty suspendovaných částic PM_{10} během pracovního týdne vůči hodnotám průměrů

o víkendech na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2005 až 2010.



Obr. 30: Poměr průměrných hodnot suspendovaných částic PM_{10} během pracovního týdne vůči hodnotám průměrů o víkendech na jednotlivých stanicích v letech 2004 až 2010

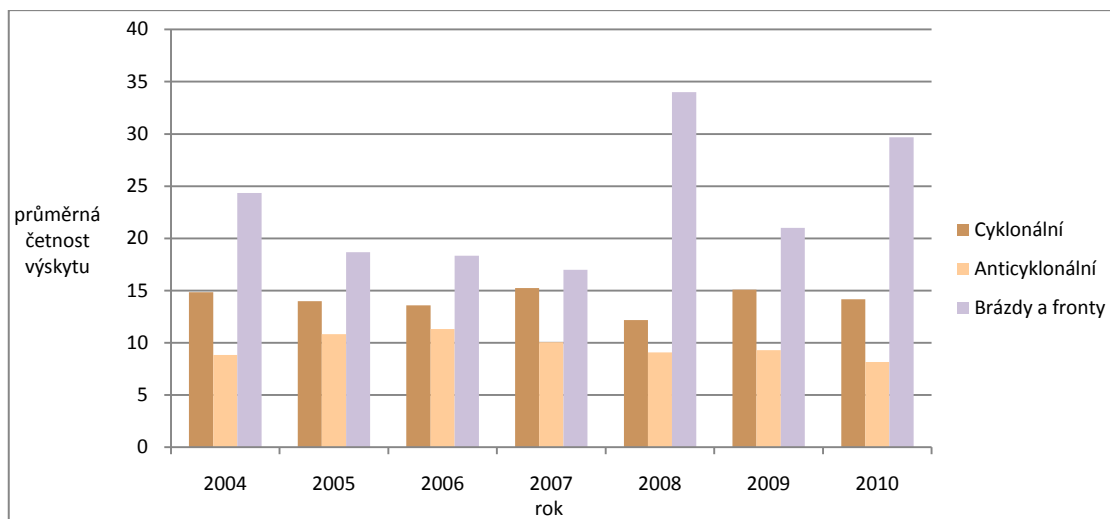
Také v trendu suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) lze vidět nižší naměřené hodnoty o víkendech v letech 2004 až 2006 (obr. 31). Suspendované částice $PM_{2,5}$ dosahovaly nejnižší průměrné koncentrace na měřicí stanici Olomouc (MOLO) o víkendech roku 2004, kdy byla naměřena hodnota pod $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší byly na měřicí stanici Olomouc (MOLO) víkendové hodnoty suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v roce 2006 a nejvyšší průměrná koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ byla na měřicí stanici Olomouc (MOLO) naměřena v pracovních dnech roku 2006 ($35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).



Obr. 31: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} v pracovních dnech a o víkendech na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006

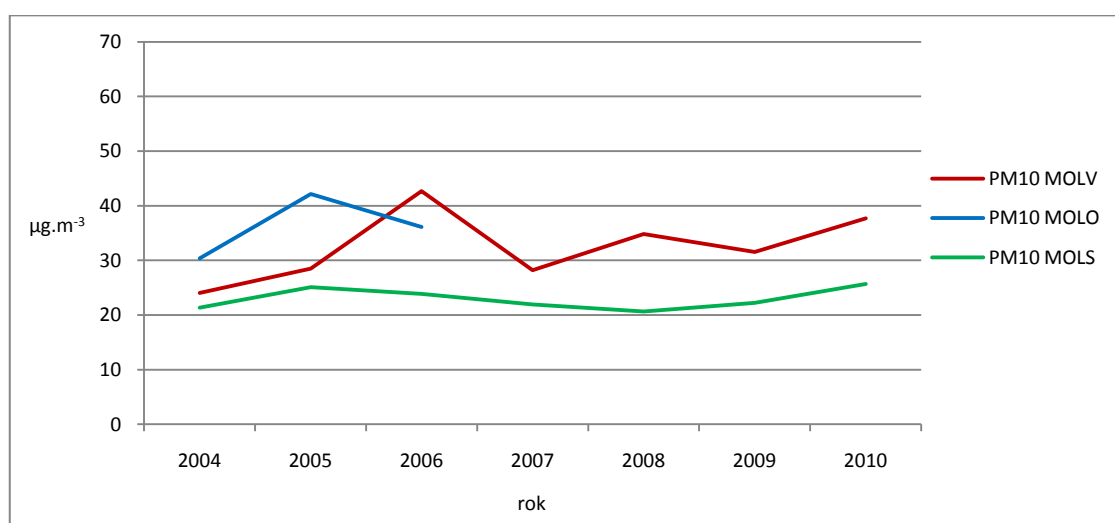
4.6 Průměrné koncentrace PM₁₀ a PM_{2,5} podle skupin synoptických situací

Průměrné četnosti výskytu synoptických situací z jednotlivých skupin rozdělených synoptických situací v letech 2004 až 2010 zobrazuje graf na obr. 32. Synoptické situace ze skupiny cyklonálních situací se průměrně vyskytovaly do patnácti výskytů za rok, anticyklonální situace se průměrně vyskytovaly do jedenácti výskytů za rok a situace ze skupiny brázd a front se průměrně vyskytovaly od sedmnácti do třiceti čtyř výskytů. Největší průměrné četnosti výskytu synoptických situací vykazuje skupina situací brázd a front, a to obzvláště v roce 2008, kdy se synoptické situace z této skupiny vyskytovaly zhruba třikrát častěji než synoptické situace z ostatních skupin.



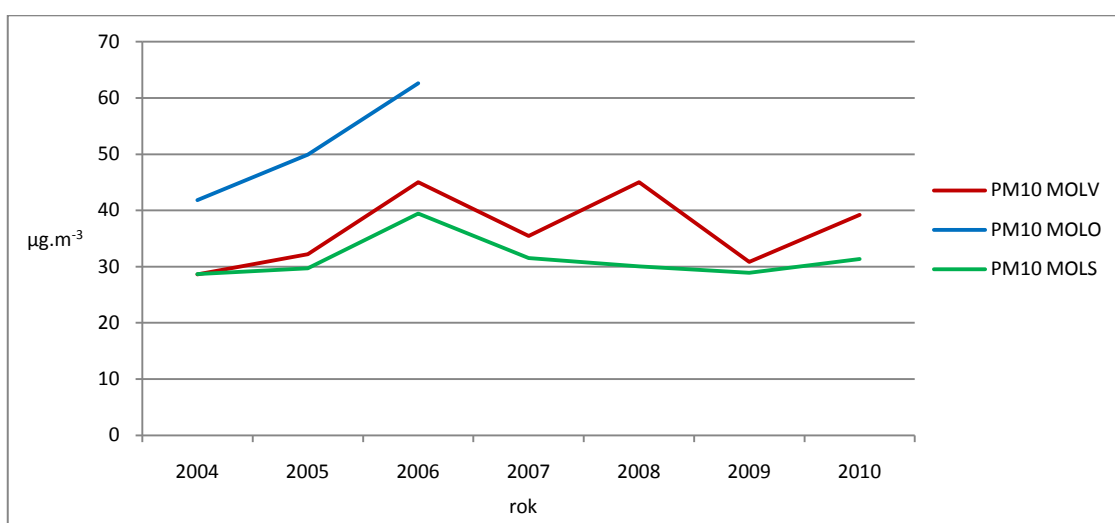
Obr. 32: Průměrné četnosti výskytu synoptických situací z jednotlivých skupin rozdělených synoptických situací v letech 2004 až 2010

Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} při cyklonálních situacích v letech 2004 až 2010 dosahovaly hodnot mezi 20 až $43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 33). Hodnotu přes $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ naměřila měřicí stanice Olomouc (MOLO) v roce 2005 a měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v roce 2006. Nejnižší byly po celé sledované období průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} z měřicí stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS), které se pohybovaly do hodnoty $26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na měřicích stanicích Olomouc (MOLO) a Olomouc-Velkomoravská (MOLV) se hodnoty pohybovaly převážně v rozmezí 30 až $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



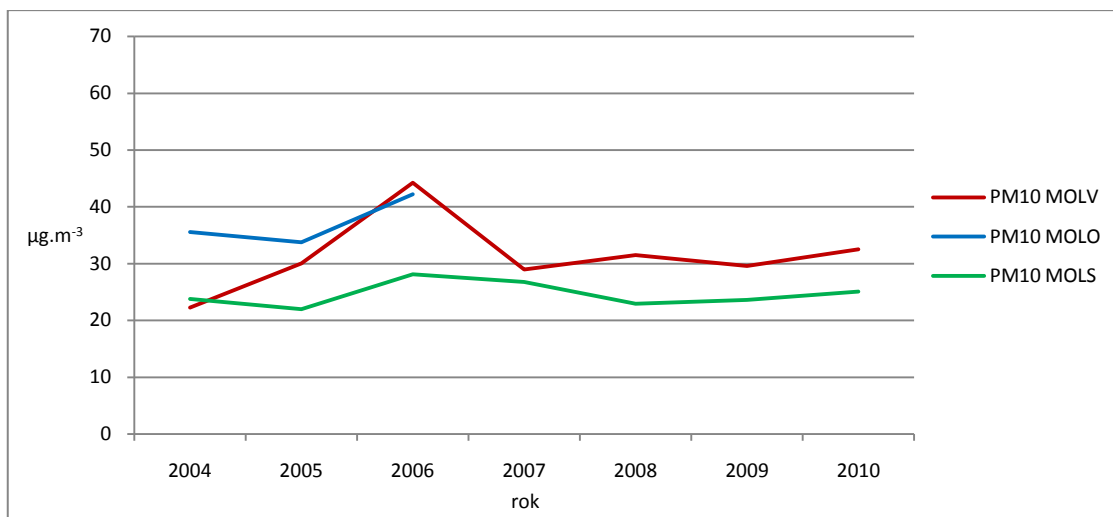
Obr. 33: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} pro cyklonální situace v letech 2004 až 2010

Při anticyklonálních situacích dosáhly průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v roce 2006 hodnoty $63 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 34). Také v letech 2004 a 2005 byly hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} na této měřicí stanici při anticyklonálních situacích vysoké, neboť v obou letech přesahovaly hodnotu $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byly naměřeny nejvyšší hodnoty průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} při anticyklonálních situacích v letech 2006 a 2008, kdy hodnota dosahovala $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) byl výkyv k vyšším hodnotám zaznamenán v roce 2006, kdy bylo naměřeno $39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



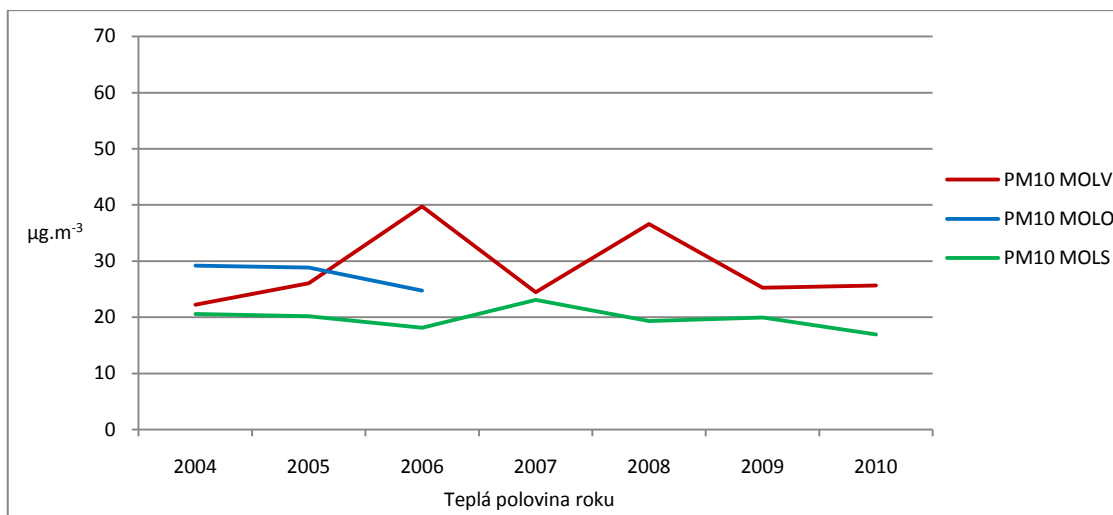
Obr. 34: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} pro anticyklonální situace v letech 2004 až 2010

U synoptických situací brázd a front v letech 2004 až 2010 byla hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ překročena pouze v roce 2006, a to na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) (obr. 35). Na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) se v letech 2004 až 2010 průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} pohybovaly do hodnoty $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



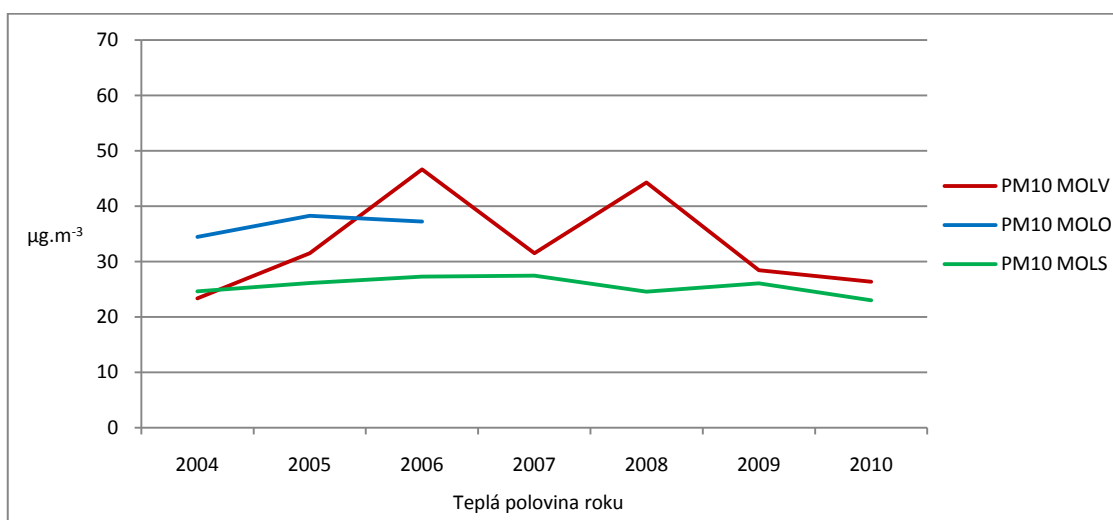
Obr. 35: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ pro synoptické situace brázd a front v letech 2004 až 2010

V teplých polovinách roků 2004 až 2010 se průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ při cyklonálních situacích pohybovaly většinou v rozmezí 20 až 30 µg·m⁻³ (obr. 36). Dvě výraznější maxima se objevila na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v letech 2006 a 2008, kdy hodnoty stoupaly v teplých polovinách roků i při anticyklonálních synoptických situacích (obr. 37) a při situaci brázd a front (38), a to až nad průměrnou koncentrací 50 µg·m⁻³. Trend průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ při cyklonálních situacích v teplých polovinách roků 2004 až 2010 mírně klesá na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) (obr. 36).



Obr. 36: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ pro cyklonální situace v teplých polovinách roků 2004 až 2010

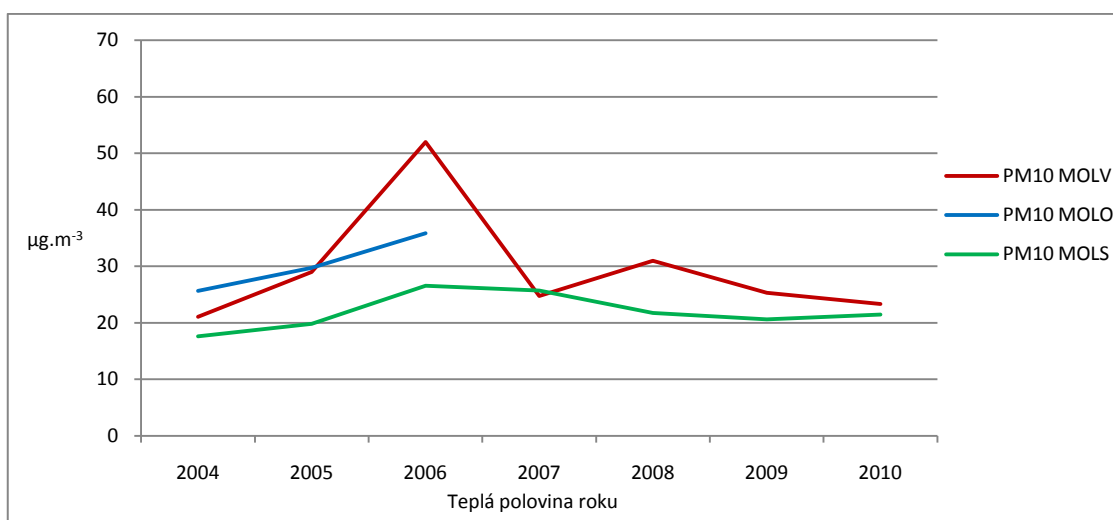
Vyšší průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ při anticyklonálních situacích v teplých polovinách roků byly naměřeny na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006 (obr. 37), kdy se přibližovaly hodnotě 40 µg·m⁻³. Také na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) byly průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ vyšší a přibližovaly se hodnotě 30 µg·m⁻³.



Obr. 37: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ pro anticyklonální situace v teplých polovinách roků 2004 až 2010

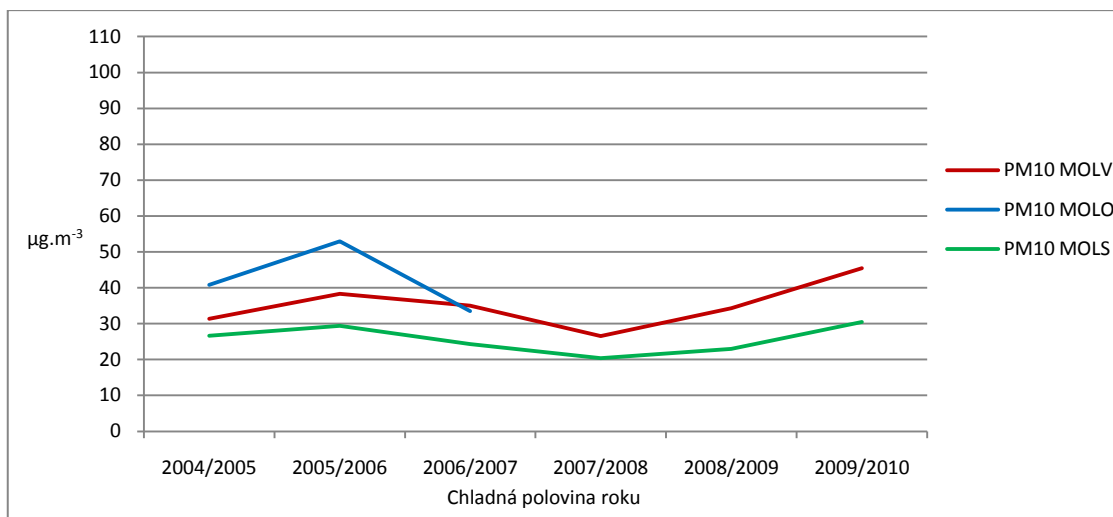
Na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byla v roce 2008 naměřena nižší hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ při brázdách a

frontách v teplých polovinách roků než tomu bylo při cyklonálních a anticyklonálních synoptických situacích, pouze $31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 38). Trend chodu průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} je na měřicí stanici Olomouc (MOLO) vzestupný a stoupl na $36 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v roce 2006. Na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) průměrná koncentrace suspendovaných částic PM_{10} při brázdách a frontách v teplých polovinách roků mírně stoupla v letech 2006 a 2007 a v ostatních letech se pohybovala kolem hodnoty $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



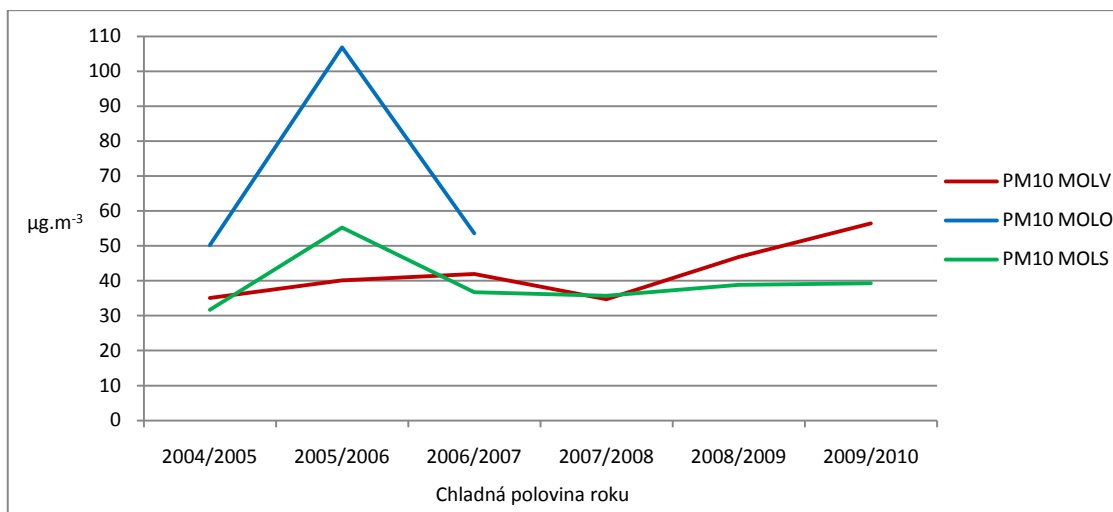
Obr. 38: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} pro synoptické situace brázd a front v teplých polovinách roků 2004 až 2010

V chladných polovinách roků 2004 až 2010 se průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} při cyklonálních situacích pohybovaly většinou v rozmezí 20 až $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 39). Vyšší hodnoty vykazovala v letech 2004 až 2006 měřicí stanice Olomouc (MOLO) při všech typech synoptických situací (obr. 39, 40 a 41). Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} se na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) většinou pohybovaly v rozmezí 30 až $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v rozmezí 20 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.



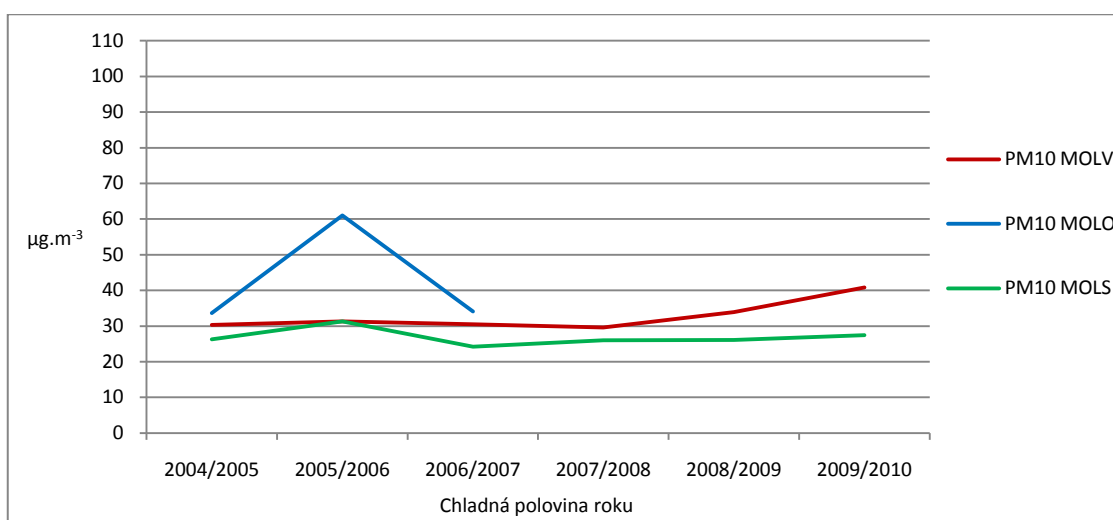
Obr. 39: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ pro cyklonální situace v chladných polovinách roků 2004 až 2010

Při anticyklonálních situacích chladných polovin roků 2004/2005 až 2009/2010 se průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) vyšplhaly na maximum 58 µg·m⁻³ v chladné polovině roků 2009/2010 (obr. 40). Velmi vysoké byly hodnoty v letech 2004 až 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kdy v chladné polovině let 2005/2006 dosáhla hodnota průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ přes 100 µg·m⁻³. Na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) se průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ většinou pohybovaly v rozmezí 30 až 40 µg·m⁻³ a maximum nastalo v chladné polovině let 2005/2006 55 µg·m⁻³.



Obr. 40: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ pro anticyklonální situace v chladných polovinách roků 2004 až 2010

Při synoptických situacích ze skupiny brázd a front byly v chladných polovinách roků 2004 až 2010 nejvyšší průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kde v chladné polovině let 2005/2006 stoupla hodnota naměřené koncentrace na 61 µg·m⁻³ (obr. 41). Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ se na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) pohybovaly do hodnoty 30 µg·m⁻³ a na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) mezi hodnotami průměrné koncentrace 30 až 40 µg·m⁻³.

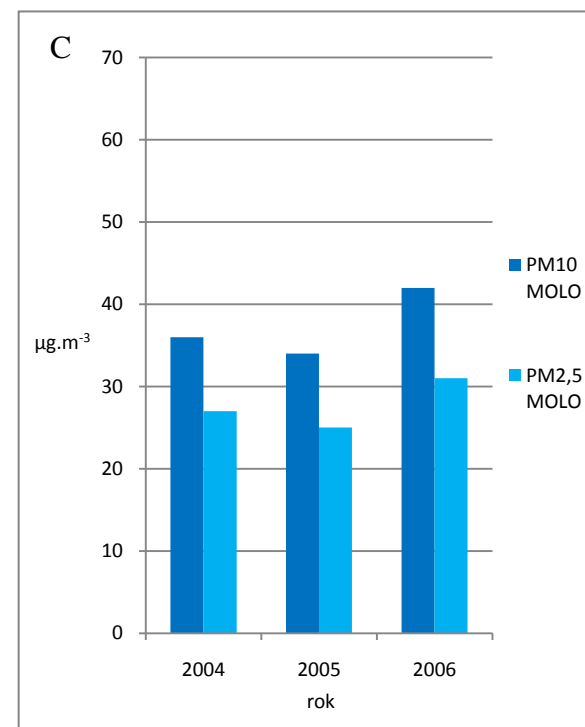
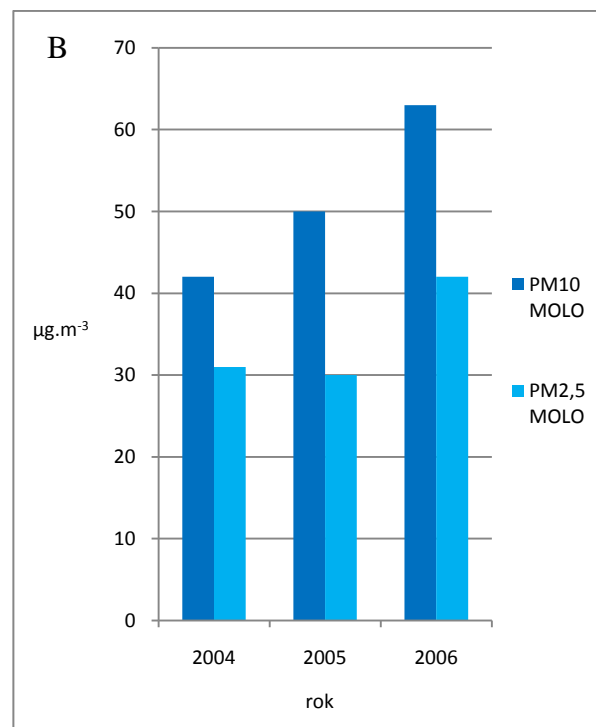
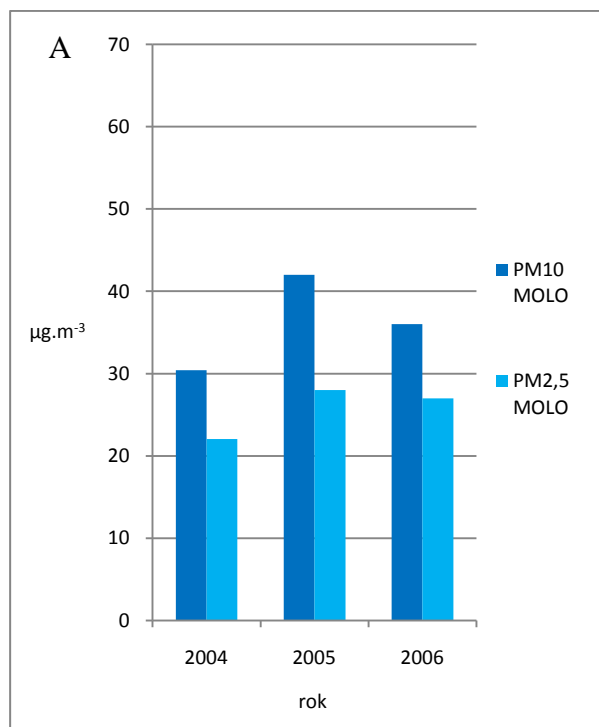


Obr. 41: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ pro synoptické situace brázd a front v chladných polovinách roků 2004 až 2010

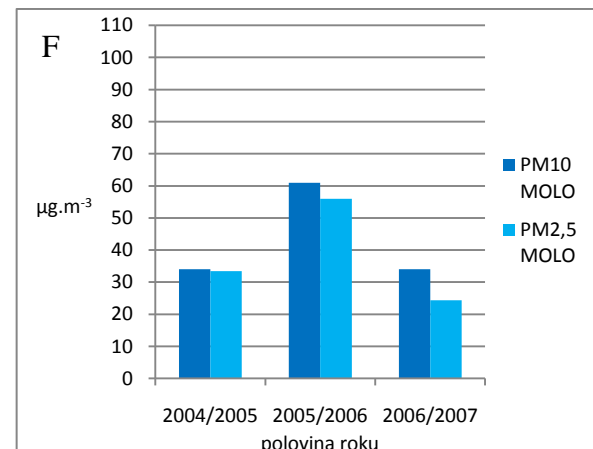
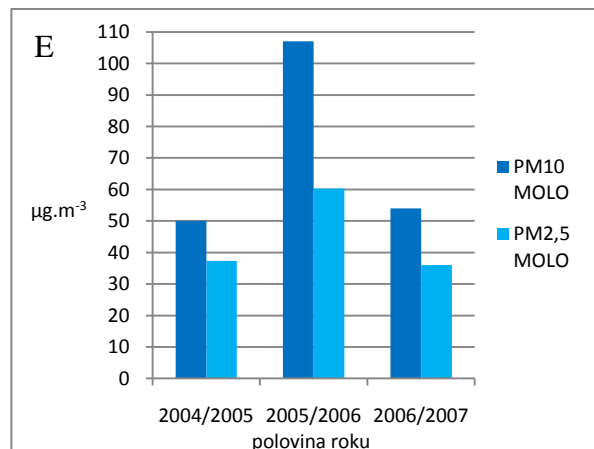
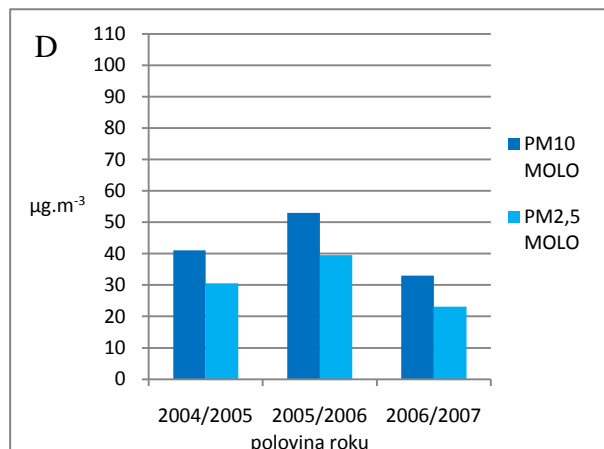
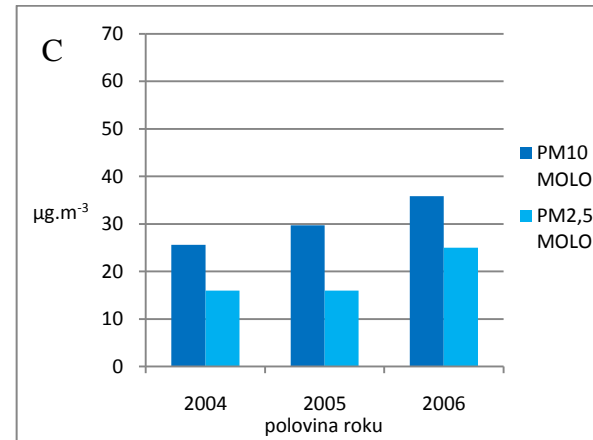
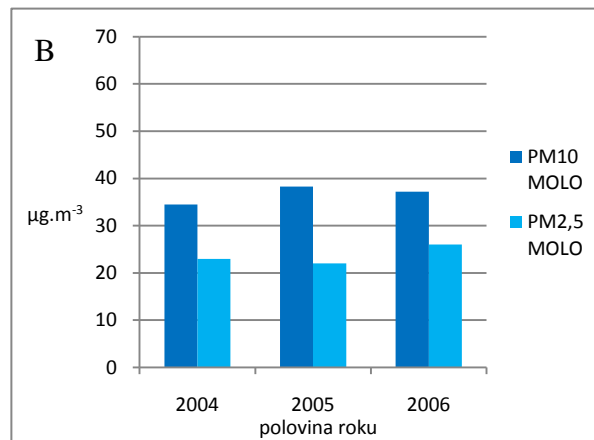
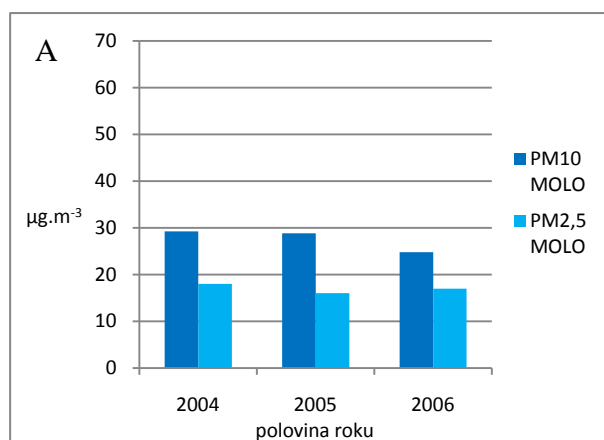
Průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byly nejvyšší při anticyklonálních situacích v roce 2006, kdy dosáhly hodnoty $42 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 43). Při cyklonálních synoptických situacích se pohybovaly v rozmezí hodnot 20 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 42) a při brázdách a frontách mezi 25 až $32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 44). Nejvíce se průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ přibližovaly koncentracím suspendovaných částic PM_{10} při synoptických situacích ze skupiny brázd a front.

V teplých polovinách roků 2004 až 2006 se na měřicí stanici Olomouc (MOLO) při cyklonálních situacích pohybovaly hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ mezi 15 až $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 45) a rozdíly mezi koncentracemi v jednotlivých letech byly malé. Při anticyklonálních situacích se průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v teplých polovinách let 2004 až 2006 pohybovaly mezi hodnotami 20 až $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ také s malými rozdíly koncentrací v jednotlivých letech (obr. 46) a při brázdách a frontách se průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v teplých polovinách let 2004 až 2006 pohybovaly mezi hodnotami 15 až $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 47). Nejvyšší v teplých polovinách roků 2004 až 2006 byly hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ při anticyklonálních typech synoptických situací.

V chladných polovinách roků 2004 až 2006 byly na měřicí stanici Olomouc (MOLO) naměřeny nejvyšší hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ při anticyklonálních typech synoptických situací (obr. 49). V chladné polovině let 2005/2006 tato hodnota dosáhla $108 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Při cyklonálním typu synoptických situací byly průměrné koncentrace suspendovaných částic $PM_{2,5}$ v chladných polovinách roků také nejvyšší na přelomu let 2005/2006, kdy byla naměřena hodnota $53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 48). Při synoptických situacích ze skupiny brázd a front se v chladných polovinách roků 2004 až 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) hodnoty průměrných koncentrací suspendovaných částic $PM_{2,5}$ nejvíce přibližovaly průměrným koncentracím suspendovaných částic PM_{10} (obr. 50).



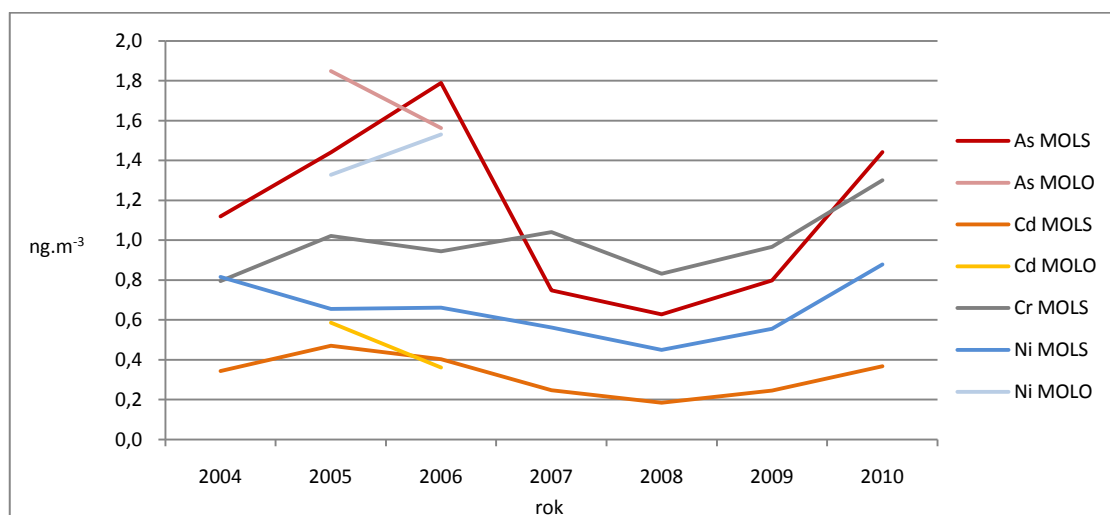
Obr. 42, 43 a 44: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v letech 2004 až 2006 pro: A) cyklonální situace B) anticyklonální situace C) synoptické situace brázd a front



Obr. 45, 46, 47, 48, 49 a 50: Průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) v teplých polovinách roků 2004 až 2006 pro: A) cyklonální situace B) anticyklonální situace C) synoptické situace brázd a front a chladných polovinách roků 2004 až 2006 pro: D) cyklonální situace E) anticyklonální situace F) synoptické situace brázd a front

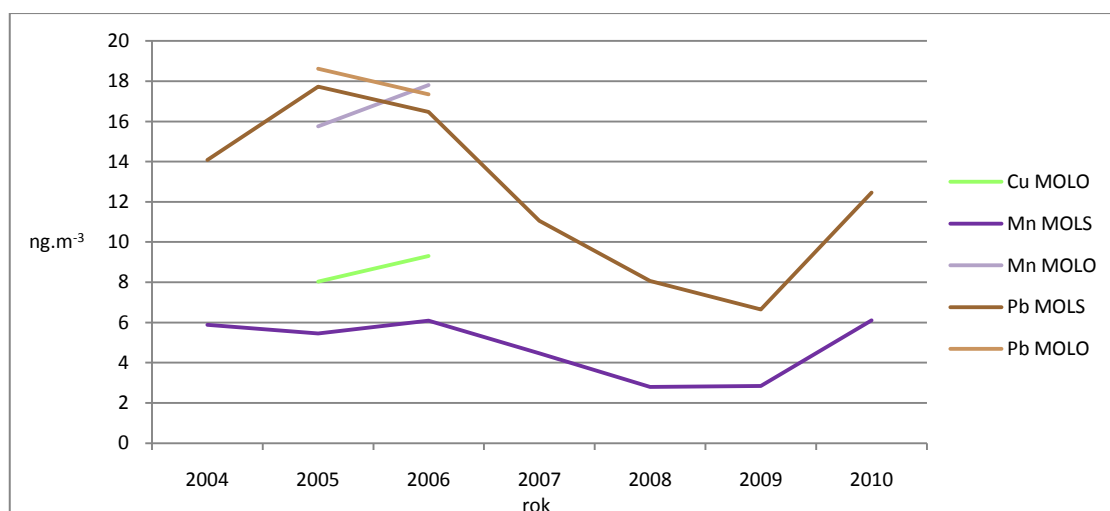
4.7 Imise těžkých kovů v PM₁₀

Kromě koncentrací suspendovaných částic byly vyhodnoceny také imise těžkých kovů v PM₁₀. V ročních průměrných koncentracích těžkých kovů je vidět pokles k nižším hodnotám v roce 2008 a naopak nárůst koncentrací lze pozorovat v roce 2006 (obr. 51). Největší výkyv lze sledovat u arsenu naměřeného měřicí stanicí Olomouc-Šmeralova (MOLS), kdy byla v roce 2006 hodnota ročního průměru 1,8 ng·m⁻³ a v roce 2007 poklesla na 0,7 ng·m⁻³. Vysokou hodnotu arsenu zaznamenala v roce 2006 i měřicí stanice Olomouc (MOLO). Hodnoty koncentrací všech těžkých kovů také stoupaly na konci sledovaného období v roce 2010. U kadmia se hodnoty průměrných koncentrací na obou měřicích stanicích pohybovaly v letech 2004 až 2010 mezi 0,2 až 0,6 ng·m⁻³. Hodnoty průměrných koncentrací niklu se v letech 2004 až 2010 na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) pohybovaly většinou v rozmezí 0,4 až 0,8 ng·m⁻³, na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byly v letech 2005 a 2006 naměřeny hodnoty kolem 1,4 ng·m⁻³. Koncentrace chromu na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) kolísaly v letech 2004 až 2010 mezi 0,8 až 1,3 ng·m⁻³. Hodnoty ročních limitů stanovených pro arsen na 6 ng·m⁻³, kadmium 5 ng·m⁻³ a nikl 20 ng·m⁻³ překročeny nebyly a ani se k nim hodnoty průměrných koncentrací ve sledovaném období nepřibližovaly.



Obr. 51: Roční průměrné koncentrace arsenu, kadmia, chromu a niklu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010

Roční průměrné koncentrace na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) byly pro měď naměřeny 8 a 9 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 52). Hodnoty průměrných koncentrací manganu se v letech 2004 až 2010 na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) pohybovaly v rozmezí 3 až 6 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$, na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byly v letech 2005 a 2006 průměrné roční koncentrace manganu vyšší, nad 16 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Roční průměrné koncentrace olova byly vysoké na obou měřicích stanicích v letech 2005 a 2006, přes 16 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. V dalších letech tyto koncentrace poklesly na minimum v roce 2009 (7 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a v roce 2010 opět vzrostly na 12 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$.



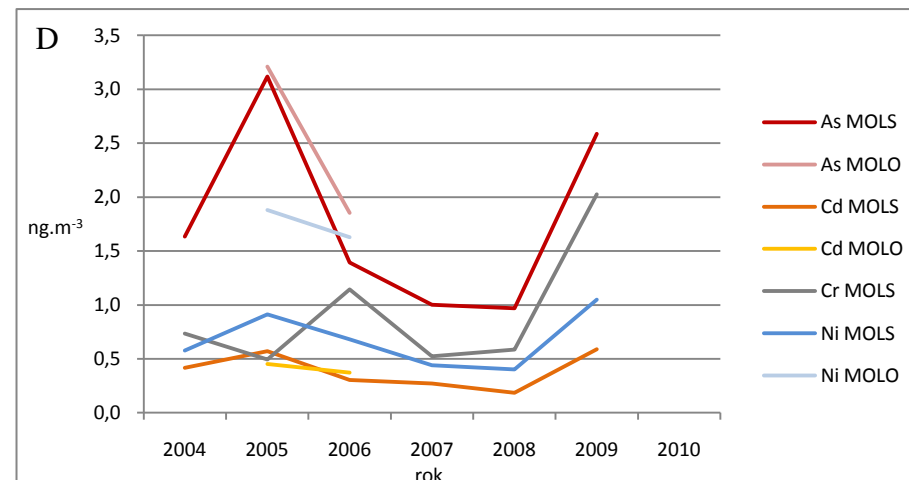
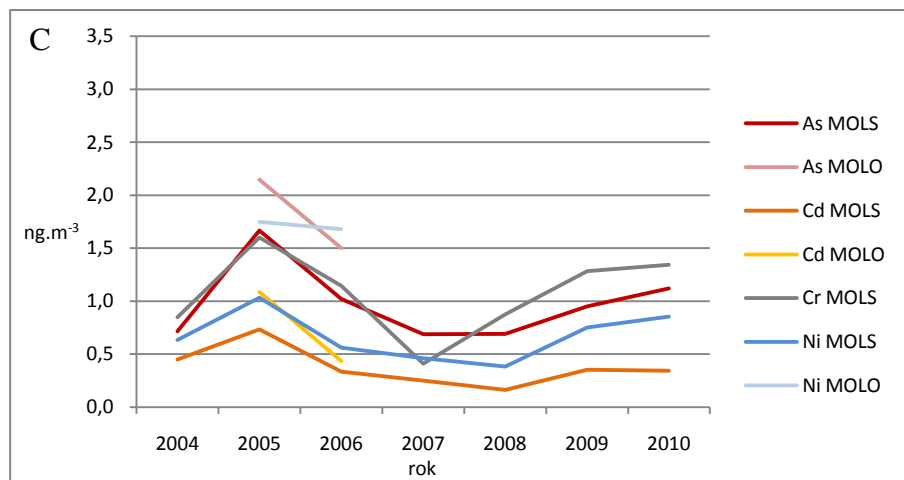
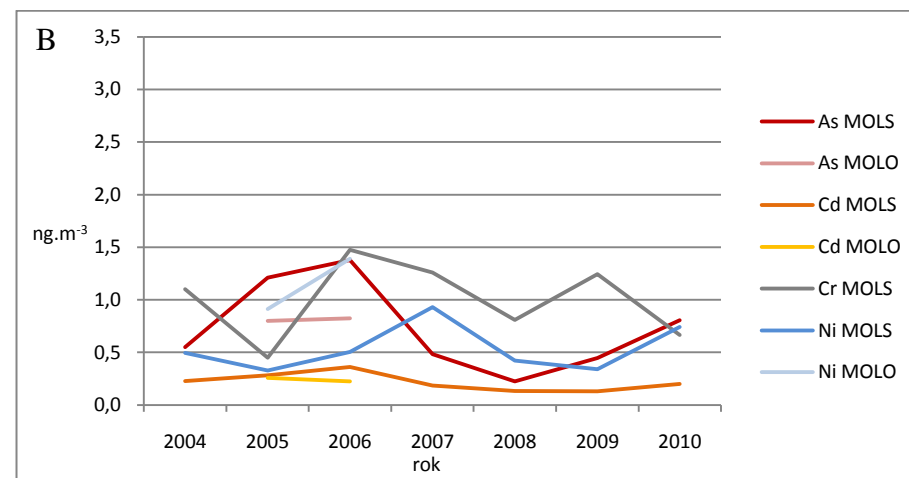
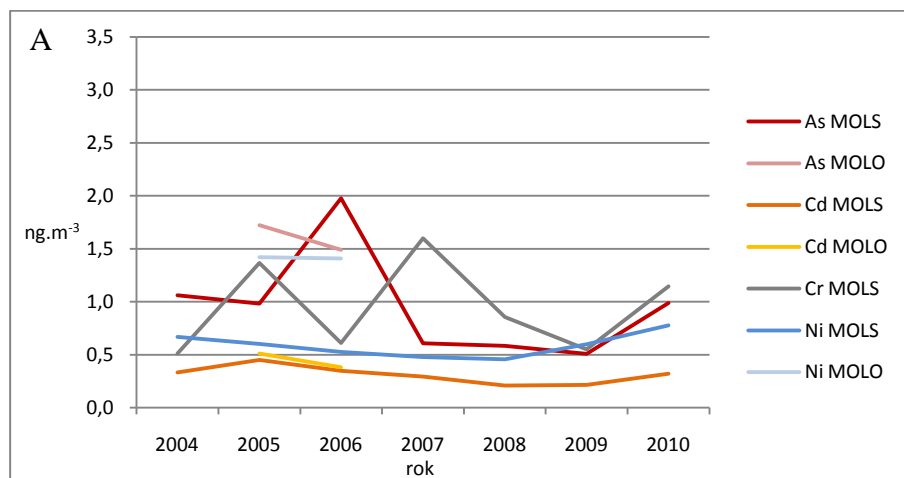
Obr. 52: Roční průměrné koncentrace mědi, manganu a olova na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010

Průměrné koncentrace arsenu byly v jarních měsících nejvyšší na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v roce 2006, kdy hodnota dosahovala 2 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 53). V jarních měsících let 2004, 2005 a 2010 se hodnota koncentrace pohybovala na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) kolem 1 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a ve zbylých letech mírně nad hodnotou 0,5 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Na měřicí stanici Olomouc (MOLO) se průměrné koncentrace arsenu v jarních měsících let 2005 a 2006 pohybovaly nad hodnotou 1,5 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Průměrná koncentrace niklu naměřeného měřicí stanicí Olomouc (MOLO) v jarních měsících let 2005 a 2006 byla o dost větší než naměřené hodnoty koncentrace niklu ze stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS). Velmi podobné byly v jarních měsících let 2005 a 2006 na obou měřicích stanicích průměrné koncentrace kadmia, které se pohybovaly pod hodnotou 0,5 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$. U chromu jsou v jarních měsících vidět velké

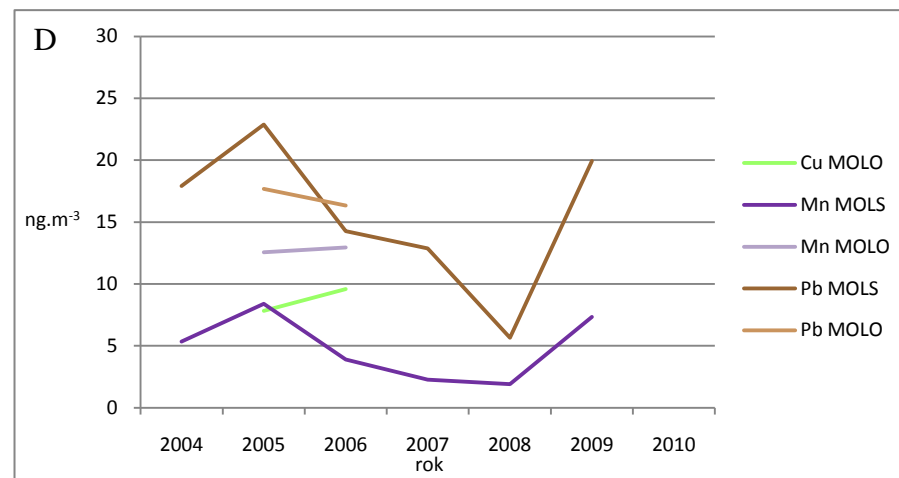
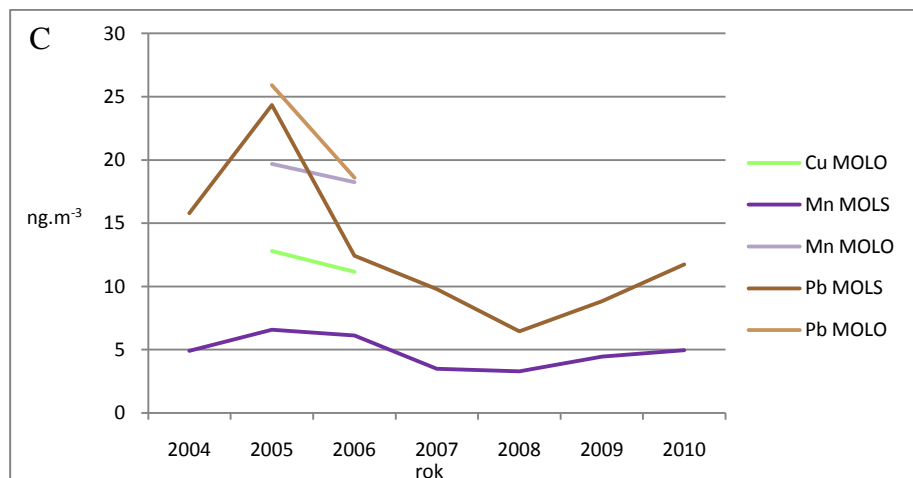
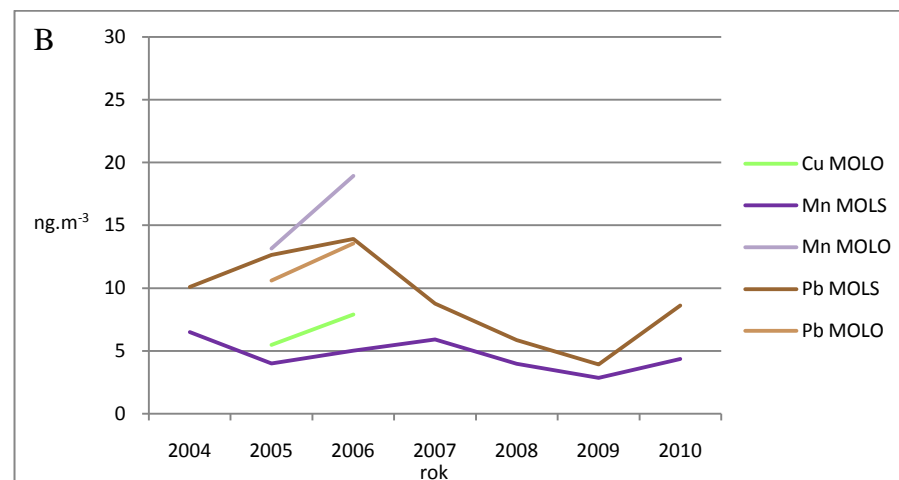
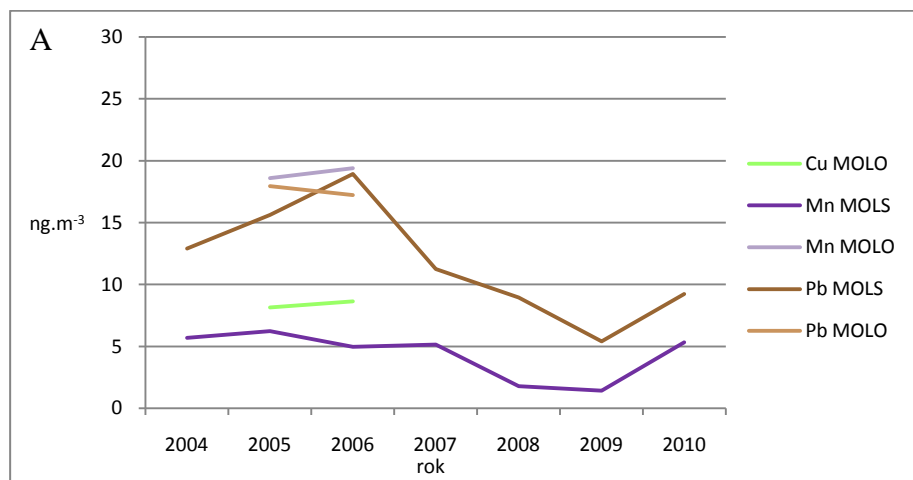
výkyvy k vyšším hodnotám v letech 2005 a 2007, kdy se pohybovaly pod a mírně nad hodnotou $1,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. V letních měsících byly hodnoty arsenu na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) nejvyšší v letech 2005 a 2006, kdy se pohybovaly mezi $1,0$ až $1,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 54). Pokles k nízkým hodnotám je viditelný v letních měsících roku 2008. Na měřicí stanici Olomouc (MOLO) byly hodnoty koncentrace arsenu v letních měsících obou sledovaných let $0,8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty koncentrace kadmia jsou v letních měsících let 2005 a 2006 pro obě měřicí stanice podobné, opět se pohybovaly do hodnoty $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a ani v letních měsících ostatních let na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) nepřekročily tuto hodnotu. Koncentrace niklu byly v letních měsících vyšší na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kde se v letech 2005 a 2006 pohybovaly mezi $0,9$ až $1,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty $0,9 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ dosáhly koncentrace niklu na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letních měsících roku 2007 a ve zbývajících letech se pohybovaly kolem koncentrace $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. V letních měsících byly na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) koncentrace chromu nejvyšší v roce 2006 ($1,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a nejnižší v roce 2005 ($0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$), v letních měsících ostatních let kolísaly kolem hodnoty $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. U průměrných koncentrací těžkých kovů v podzimních měsících byly zaznamenány pro všechny kovy vyšší hodnoty v roce 2005 (obr. 55). Hodnoty arsenu byly v podzimních měsících let 2005 a 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) vyšší zhruba o $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ než jsou hodnoty koncentrací naměřené na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS). Velmi podobný průběh koncentrace i hodnoty má v podzimních měsících let 2004 až 2010 chrom naměřený na stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) s minimem v roce 2007, kdy hodnota jeho koncentrace klesla pod $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Vyšší hodnoty oproti ostatním ročním obdobím byly zaznamenány u kadmia v podzimních měsících let 2004 až 2010, a to na obou měřicích stanicích. Hodnota koncentrace niklu ze stanice Olomouc (MOLO) byla v podzimních měsících let 2005 a 2006 $1,7 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) v podzimních měsících let 2004 až 2010 mezi $0,5$ až $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. V zimních měsících je na obou měřicích stanicích pozorovatelný velký výkyv k vysokým hodnotám v koncentracích arsenu, kdy bylo na přelomu let 2005 a 2006 dosaženo hodnoty koncentrace přes $3 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 56). V roce 2006 hodnota průměrné koncentrace arsenu na obou měřicích stanicích klesla pod $2 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) opět výrazně stoupla v zimních měsících roku 2009, kdy dosáhla koncentrace $2,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty koncentrací niklu v zimních měsících let 2004 až 2010 jsou na obou měřicích stanicích velmi podobné s podzimními koncentracemi. Hodnoty

koncentrací kadmia se pohybovaly kolem koncentrace $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. U chromu je v zimních měsících pozorovatelný výrazný nárůst koncentrace v roce 2009 stejně jakou i u ostatních těžkých kovů.

V koncentracích mědi měřené stanicí Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2005 a 2006 vidíme nejvyšší hodnoty v podzimních měsících, kdy se hodnoty koncentrací pohybovaly v rozmezí 10 až $15 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 59). V ostatních ročních obdobích se hodnoty koncentrací pohybovaly mezi 5 až $10 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 57, 58 a 60). Koncentrace manganu se v letech 2005 a 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO) pohybovaly v jarních, letních a podzimních měsících převážně v rozmezí 15 až $20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, v zimních měsících byly hodnoty nižší ($13 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). Na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) byly hodnoty koncentrací manganu v letech 2004 až 2010 většinou kolem hodnoty $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ s výraznějším výkyvem k vyšším hodnotám v zimních měsících roku 2005, kdy bylo naměřeno $8 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty koncentrací olova jsou na obou stanicích velmi podobné a nejvyšší hodnoty byly naměřeny v podzimních a zimních měsících roku 2005, kdy dosahovaly téměř $25 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$.

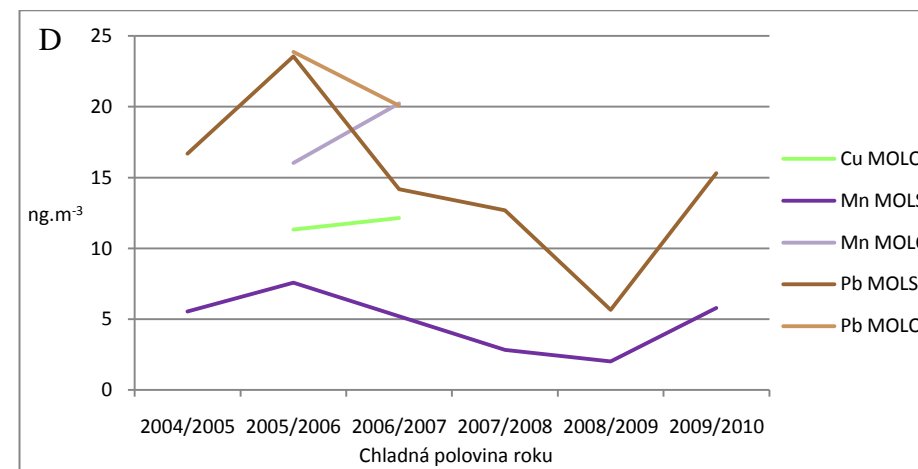
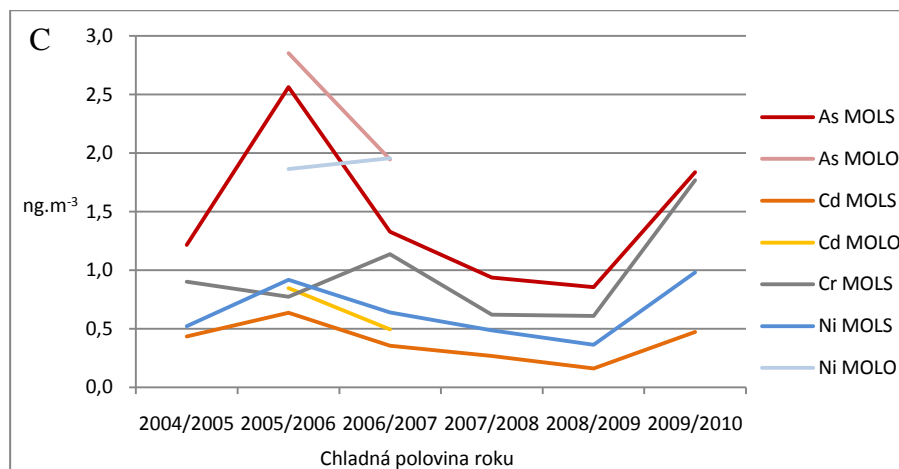
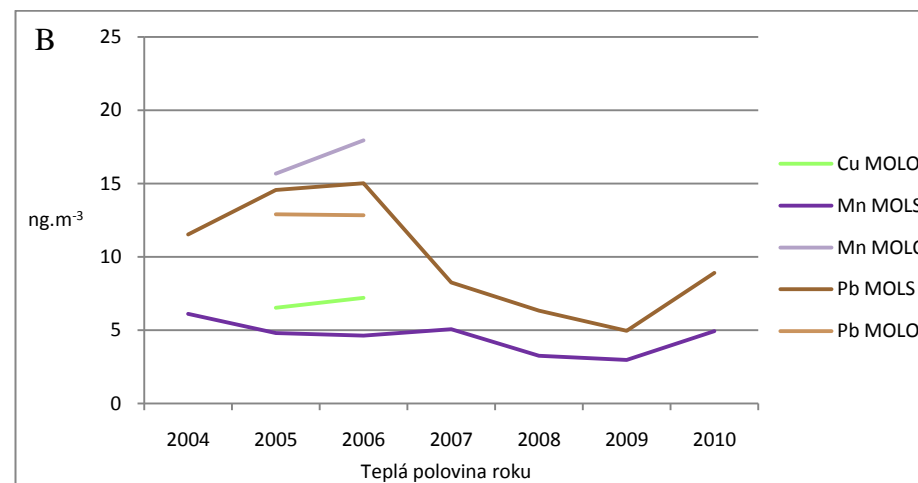
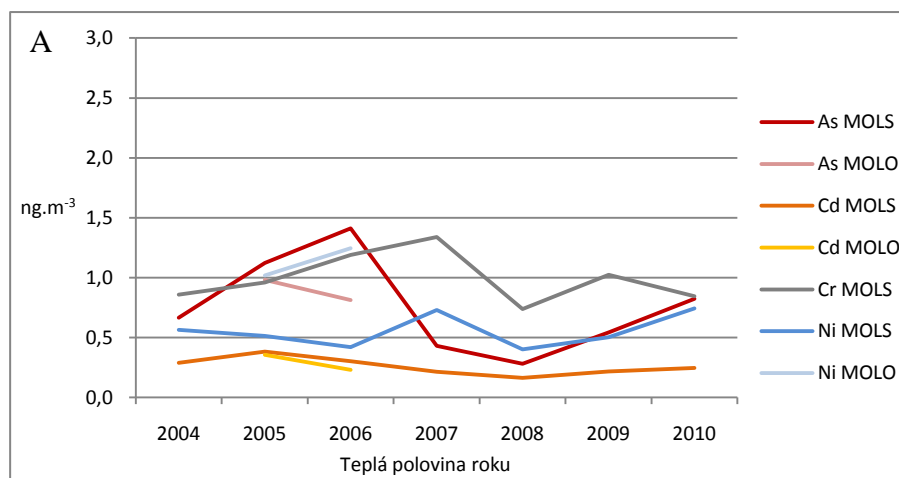


Obr. 53, 54, 55, 56: Průměrné koncentrace arsenu, kadmia, chromu a niklu na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010 pro: A) jarní měsíce B) letní měsíce C) podzimní měsíce D) zimní měsíce



Obr. 57, 58, 59, 60: Průměrné koncentrace mědi, manganu a olova na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) v letech 2004 až 2010 pro: A) jarní měsíce B) letní měsíce C) podzimní měsíce D) zimní měsíce

Při rozdělení let 2004 až 2010 na teplé a chladné poloviny (obr. 61 až 64) bylo nejvyšší hodnoty koncentrace arsenu dosaženo v chladné polovině roků 2005/2006, kdy byla hodnota na obou stanicích přes $2,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 63). Výkyv k vyšším hodnotám je pozorovatelný pro všechny těžké kovy také v chladné polovině roků 2009/2010. Průměrné koncentrace kadmia byly teplých polovinách roků 2004 až 2010 do $0,5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, v chladné polovině roku 2005/2006 tuto hodnotu mírně přesáhla měření na obou stanicích. V teplých polovinách roků 2004 až 2010 hodnoty koncentrací chromu na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) kolísaly kolem hodnoty $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a v chladných polovinách roků se pohybovaly spíše pod touto hodnotou s výjimkou ve zmíněném chladném půlroce 2009/2010, kdy dosahovaly $1,7 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (obr. 63). Hodnoty koncentrací mědi byly na měřicí stanici Olomouc (MOLO) vyšší v chladných polovinách roků přibližně o $10 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnoty koncentrací manganu z měřicí stanice Olomouc (MOLO) se pohybovaly v obou polovinách roků mezi 15 až $20 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ a hodnoty z měřicí stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS) přibližně kolem $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. U hodnot koncentrací olova je vidět velký nárůst v teplých polovinách let 2005 a 2006 (kolem $15 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a chladné polovině let 2005/2006 ($24 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$) a naopak výrazný pokles k hodnotě $5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ v teplé polovině roku 2009 a chladné polovině roků 2008/2009.



Obr. 61, 62, 63, 64: Průměrné koncentrace těžkých kovů v suspendovaných částicích PM₁₀ na měřicí stanici Olomouc (MOLO) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) v: A) a B) teplých polovinách let 2004 až 2010; C) a D) chladných polovinách let 2004 až 2010

5 Diskuze

Z výsledků analýzy bylo dle očekávání zjištěno, že průměrné koncentrace suspendovaných částic byly většinou vyšší na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV), která je dopravního typu, než na městské pozad'ové měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS). Překvapivé je však zjištění, že vyšší hodnoty než z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) a Olomouc-Šmeralova (MOLS) měřila často měřicí stanice Olomouc (MOLO), dříve umístěná u centra města a sledující podle své typizace městské pozad'ové hodnoty. Svůj vliv by zde mohly mít i vzdálenější zdroje znečišťování, jako například průmyslový podnik Moravské železářny. Také zde určitě hrálo roli proudění vzduchu, ovlivňující setrvání a rozptyl suspendovaných částic v okolí měřicí stanice. Od dubna 2006 probíhaly v okolí stanice Olomouc (MOLO) intenzivní pozemkové úpravy a stavební činnost, od konce října 2006 byla stanice posunuta. Tyto dvě události mohly mít vliv na vyšší koncentrace v létě a na podzim roku 2006, neboť stavební činnost může být velkým zdrojem prašnosti. Při výstavbě nové budovy Přírodovědecké fakulty od září 2006 do listopadu 2008 nedaleko měřicí stanice Olomouc-Šmeralova (MOLS) se ovšem stavební činnost nijak výrazně na hodnotách koncentrací neprojevila, což mohlo být ovlivněno příznivým směrem proudění vzduchu, případně odlišnou povahou pozemních a stavebních prací. Pro ověření této hypotézy však nejsou k dispozici relevantní empirická data. Podobné průměrné měsíční hodnoty koncentrací v porovnání s měřicí stanicí Olomouc-Velkomoravská (MOLV) byly naměřeny na měřicí stanici Olomouc-Hodolany (MOLD), avšak interval měření je na této stanici příliš krátký na zhodnocení koncentrací suspendovaných částic v delších časových úsecích.

Vysoké průměrné měsíční koncentrace suspendovaných částic PM_{10} byly zjištěny v únoru 2005, kdy bylo během topného období vypočteno také poměrně hodně denostupňů. Nejhorší ze sledovaného období však byla situace v zimě na přelomu let 2005/2006, způsobená tuhou zimou s vysokou četností výskytu inverzních situací. Na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) se vyšší hodnoty projeví až později, v průběhu jara 2006. Také v zimě na přelomu let 2009/2010 hodnoty koncentrací suspendovaných částic poměrně hodně stouply, což dokazují obě stanice měřicí v daném období, avšak ne tolik jako ve zmíněné zimě 2005/2006.

Nejvíce odlišné byly průměrné měsíční hodnoty koncentrací suspendovaných částic PM_{10} od naměřených hodnot měřicí stanicí Olomouc-Velkomoravská (MOLV)

v lednu roku 2006 na měřicí stanici Olomouc (MOLO), kdy v důsledku špatných rozptylových podmínek zimního období přesáhly hodnotu koncentrace z měřicí stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV) téměř čtyřikrát. Chladná zima 2005/2006 se také promítla do zvýšených ročních průměrů suspendovaných částic PM_{10} v letech 2005 a 2006. V průběhu chodu koncentrací suspendovaných částic PM_{10} v ročních obdobích lze pozorovat nejvyšší koncentrace v jarních a zimních měsících a nejnižší v letních měsících. V zimních měsících s rostoucími hodnotami suspendovaných částic PM_{10} rostou také hodnoty a podíl suspendovaných částic $PM_{2,5}$. V teplých polovinách roků jsou menší meziroční výkyvy koncentrací suspendovaných částic PM_{10} než v chladných polovinách roků. V průběhu koncentrací suspendovaných částic PM_{10} ve dnech v týdnu lze sledovat mírný pokles koncentrací o víkend, což lze dát do souvislosti s útlumem v intenzitě silniční dopravy.

Při srovnání limitů pro suspendované částice jsou nacházeny různé limitní hodnoty, udávané WHO, US EPA, EU i českou legislativou. Hlavní problémem je některými organizacemi či legislativami stále přesně neurčený limit pro suspendované částice $PM_{2,5}$, který by měl být dořešen co nejdříve s ohledem na škodlivost jemných frakcí suspendovaných částic. V indexu kvality ovzduší dle ČHMÚ došlo k posunu hodnot v kategoriích pro suspendované částice, čímž byl v tomto ohledu index kvality ovzduší zmírněn. Český index kvality ovzduší je rozdělen na šest kategorií, zatímco index kvality ovzduší dle evropského projektu CITEAIR má kategorií pět.

U těžkých kovů byl zatím řádně vymezen limit jen pro olovo a cílové imisní limity pro arsen, kadmium a nikl. Tyto limity překročeny nebyly, avšak bylo by dobré určit imisní limity i u zbývajících sledovaných těžkých kovů.

Při srovnání ročních průměrných hodnot koncentrací suspendovaných částic PM_{10} na pozad'ové měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS) s evropskými pozad'ovými stanicemi je patrné, že s naměřeným rozmezím hodnot koncentrací 24 až $31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ jsou u nás koncentrace suspendovaných částic PM_{10} nižší než ve Španělsku a Německu, ale např. vyšší než ve Švédsku. Nizozemsko, Spojené království a Švýcarsko mají podobnou roční průměrnou hodnotu koncentrace suspendovaných částic PM_{10} , pokud se u nás v daném roce nevyskytuje nějaká extrémní situace, jako nastala v zimě na přelomu let 2005/2006. Při srovnání městských dopravních stanic lze vidět, že jsou na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) měřeny nižší roční průměrné koncentrace suspendovaných částic PM_{10} než v Rakousku, Německu a Španělsku. Podobné hodnoty koncentrací bývají naměřeny dopravním typem měřících stanic

v Nizozemsku, Spojeném království a Švédsku. Pro suspendované částice $PM_{2,5}$ není v Olomouci dostatečně dlouhá řada měření dat pro výpočet ročních průměrů a srovnání s evropskými měřicími stanicemi.

6 Závěr

Znečištění venkovního ovzduší prašným aerosolem v Olomouci patří v posledních letech k nejzávažnějším tématům ochrany ovzduší ve městě. V souvislosti s překračováním imisních limitů pro suspendované částice frakce PM_{10} bývá Olomouc opakovaně zařazována do seznamu oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší (OZKO). S vymezením OZKO se započalo přijetím nového zákona 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, prvními hodnocená data se vztahovala k roku 2000. Počínaje tímto rokem souvisle až do roku 2008 byl na území Olomouce překračován 24h imisní limit PM_{10} . Podle nejnovějšího hodnocení OZKO (Věstník MŽP 4/2011) nedošlo v Olomouci k překročení imisního limitu PM_{10} za rok 2009, bylo by však předčasné chápat to jako známku dlouhodobějšího zlepšení imisí prašného aerosolu. Svou roli zde mohla sehrát relativně mírnější zima 2008/2009, ale také přesun části tranzitní dopravy na obchvat Olomouce. Zatímco samotná jižní větev obchvatu nutila vozidla mířící od Ostravy na Mohelnici vjíždět u Slavonína zpět do města, v listopadu 2007 byla zprovozněna I. etapa západní tangenty mezi Slavonínem a Křelovem a tranzitní doprava tak získala plnohodnotnou trasu obchvatu. Případný nárůst intenzity dopravy ve městě v dalších letech může znamenat opětovné zhoršení imisí prašného aerosolu.

Společně s frakcí PM_{10} byl v letech 2005–2008 také překročen cílový imisní limit pro benzo(a)pyren, jehož hlavními zdroji jsou nedokonalé spalování fosilních paliv, zejména v lokálních topeništích na pevná paliva (uhlí), ale také v mobilních zdrojích spalujících zejména naftu. Z toho lze usuzovat, že na nepříznivých koncentracích obou zmíněných znečišťujících látek se významnou měrou skutečně podílejí lokální a mobilní zdroje znečišťování ovzduší, která provozují v zásadě jednotlivci. Na tyto zdroje není možné současnými legislativními prostředky uplatnit účinná regulační opatření, regulace velkých zdrojů znečišťování ovzduší přitom v Olomouci zhoršenou imisní situaci nemůže vyřešit, objemy vypouštěných emisí z těchto zdrojů nejsou natolik zásadní. Vliv mobilních zdrojů se potvrzuje při porovnání imisí pracovních dnů a víkendů, srovnání imisí v chladném a teplém půlroce ukazuje na vliv emisí z vytápění bytů (v součinnosti s méně příznivými rozptylovými podmínkami v této části roku).

Ke zlepšení kvality ovzduší nejen ve městě Olomouci by mohla přispět větší informovanost obyvatel prostřednictvím médií, a to nejen vyhlášováním krizových situací. Větší veřejné povědomí o škodlivých dopadech a účincích suspendovaných

částic a dalších produktů znečišťujících ovzduší a produkovaných lidskou činností by mohlo zvýšit uvědomění lidí, že svým jednáním přímo ovlivňují ovzduší, které všichni dýcháme. Jednou z možností větší informovanosti by mohlo být zavedení indexu kvality ovzduší do meteorologického zpravodajství (v současnosti je jeho hodnocení veřejně dostupné pouze na webu ČHMÚ, který má zřejmě menší návštěvnost v porovnání s hromadnými sdělovacími prostředky). Největšími úskalími snahy o snižování emisí ze zdrojů provozovaných přímo občany-jednotlivci jsou jednak otázky pohodlí při výběru individuální či veřejné dopravy, ale také důvody ekonomické (vytápění zemním plynem či elektřinou se ve srovnání s pevnými palivy stává v posledních letech stále méně finančně příznivým).

Instalování analyzátorů na jemnější frakci suspendovaných částic $PM_{2,5}$ na měřicí stanici Olomouc-Velkomoravská (MOLV) v listopadu 2009 značně přispělo ke zlepšení možností monitoringu ovzduší ve městě Olomouci. Vhodné by bylo jejich další umístění, zejména na měřicí stanici Olomouc-Šmeralova (MOLS), která sleduje imise jako městská pozad'ová. V budoucnu by své uplatnění jistě našel i analyzátor na nejjemnější frakci suspendovaných částic PM_1 , neboť právě jemné frakce suspendovaných částic představují významné dlouhodobé zdravotní riziko. Také opětovné zahájení automatizovaného imisního monitoringu stanicí ČHMÚ by poskytlo data pro podrobnější charakterizaci prostorového rozložení imisí. Ta by však měla být pečlivě vybrána, aby poskytovala data dostatečně reprezentativní, nezkršená například vlivy z dopravy. Olomouc by se tak mohla znovu objevit i v celostátním hodnocení aktuálního indexu kvality ovzduší, kde na rozdíl od Přerova, Prostějova či Jeseníku už několik let chybí.

7 Shrnutí a klíčová slova

Diplomová práce *Hodnocení úrovně znečištění ovzduší prašným aerosolem frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ ve městě Olomouci* analyzuje imisní data získaná na stanicích sledování kvality ovzduší na území Olomouce v letech 2004 až 2010. Hodnoceny byly denní, měsíční a roční průměrné koncentrace, včetně přihlédnutí k možným vnějším faktorům ovlivňujícím imisní situaci, jako je topná sezóna, vliv synoptických situací či tzv. víkendový efekt poklesu intenzity dopravy na koncentrace znečišťujících látek.

Monitorovací stanice na území města byly ve sledovaném období zastoupeny pozadřovou stanicí Olomouc (MOLO) provozovanou ČHMÚ, která však dlouhodobě přerušila provoz, pozadřovou stanicí Olomouc-Šmeralova (MOLS) Zdravotního ústavu se sídlem v Olomouci a dvěma stanicemi městského imisního monitoringu (jedna dopravní, jedna průmyslová). Všechny zmíněné stanice sledovaly frakci PM_{10} (ne ale všechny po celé období let 2004–2010), pozadřová stanice MOLO navíc před odstávkou sledovala také jemnou frakci $PM_{2,5}$, od listopadu 2009 tuto frakci prašného aerosolu sleduje dopravní stanice Olomouc-Velkomoravská (MOLV).

Výsledky analýzy ukazují, že koncentrace prašného aerosolu jsou i v Olomouci nezanedbatelnou měrou ovlivňovány emisemi z vytápění lokálními zdroji ovzduší a také silniční dopravou. Při srovnání úrovně znečištění jednotlivých lokalit se monitorovací stanice ČHMÚ (MOLO) ukázala jako výrazně zatíženější ve srovnání se stanicí Olomouc-Šmeralova (MOLS). Obě jsou klasifikovány jako městské pozadřové, hodnoty koncentrací na stanici MOLS však dosahovaly v průměru jen 69 % hodnot ze stanice MOLO, která se úrovní znečištění blížila spíše hodnotám dopravní stanice MOLV a dočasně je i překračovala. Měření na stanici MOLO bylo na jaře 2007 přerušeno a od té doby se stále hledá její nové umístění ve městě.

Srovnání úrovně koncentrací jemné frakce $PM_{2,5}$ vůči frakci PM_{10} ukazuje, že jemná frakce představuje asi 50–80 % hodnot koncentrace PM_{10} . Na stanici MOLO byl v letech 2005–2006 patrný roční chod, kdy v létě podíl jemné frakce klesal k hodnotám okolo 60 %, zatímco v zimě překračoval 80 %. Na dopravní stanici MOLV v roce 2009 se naopak projevoval vyšší podíl jemné frakce v létě, přitom v zimě koncentrace obou frakcí rostly, ovšem frakce PM_{10} výrazněji. Obě řady imisních dat se však navzájem časově nepřekrývají a jsou celkově zatím příliš krátké na větší zobecnění zákonitostí ročního chodu $PM_{2,5}$.

Klíčová slova: znečištění ovzduší, Olomouc, prašný aerosol, suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5}, těžké kovy

8 Summary and key words

Diploma thesis *Assessment of the level of air pollution by particulate matter of the fractions PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the city of Olomouc* analyzes air quality data acquired from monitoring stations in the town of Olomouc in the years 2004 to 2010. Daily, monthly and annual average concentrations were assessed, including a specific insight into possible external factors influencing the air pollution levels, such as heating season, synoptic situations or the so-called weekend effect of the decrease in traffic intensity onto air pollutant concentrations.

The network of monitoring stations in the town contained one city-background station Olomouc (MOLO) of the Czech Hydrometeorological Institute, which has interrupted its function for a long period of time, since 2007 up to the present day, another city-background station Olomouc-Šmeralova (MOLS) run by the Olomouc Health Office, and two stations of municipal air quality monitoring (one traffic, one industrial). All the above-mentioned stations monitored PM_{10} fraction (although not all of them for the whole period of 2004-2010), the city-background station MOLO monitored also fine particles $PM_{2.5}$ before its decommission, and since November 2009 fine particles $PM_{2.5}$ are monitored at the traffic station Olomouc-Velkomoravská (MOLV).

The outputs of the analysis of particulate matter air pollution levels show a reasonable rate of influence by emissions from heating in local sources and by road traffic as well. In the comparison of the data from individual localities the station MOLO was much more heavily polluted when compared to the other city-background station of MOLS, where the air pollution levels were reaching an average of 69 % of the air pollution levels at MOLO. The MOLO station was closer in particulate matter concentrations to the traffic station MOLV, eventually even exceeding them from time to time. Monitoring at MOLO station ceased in the Spring 2007 and a new location for its function has been searched since then.

Comparison of air pollution by $PM_{2.5}$ and PM_{10} reveals the fine particles to be approximately 50-80% of the PM_{10} values. In the MOLO station an annual pattern was detected in the years 2005-2006, with the fine particle ratio decreasing in the summer to around 60% while exceeding 80% in winter. On the contrary, in the traffic station MOLV in 2009 the fine particle ratio was higher in the summer. In absolute numbers the air pollution levels of $PM_{2.5}$ and PM_{10} both increased in winter, yet more

pronounced was the increase of PM_{10} . Unfortunately, measurements from both stations do not overlap in time and are so far too short to allow for more general statements about the annual regime of $PM_{2.5}$.

Key words: air pollution, Olomouc, particulate matter PM_{10} and $PM_{2.5}$, heavy metals

9 Seznam použitých pramenů

Air quality now (2007): *Srovnání aktuální kvality ovzduší v různých evropských městech*. [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.airqualitynow.eu/cz/index.php>>

ČHMÚ (2001): *Datová základna ročního zpracování a Informační systém kvality ovzduší* [on-line, cit. 2011-04-07]. Popis obsahu tabulek. Dostupné z WWW: <http://old.chmi.cz/uoco/isko/tab_roc/2000_enh/CZE/kap_01/komentar_1_3.html>

ČHMÚ (2005a): *Popis synoptických typů* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://old.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/syntypy.html>>

ČHMÚ (2005b): *Index kvality ovzduší* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.chmi.cz/uoco/isko/groc/gr05cz/kap26.html>>

ČHMÚ (2010): *Tabelární přehled* [on-line, cit. 2011-04-07]. Přehled stanic a metod měření kvality ovzduší registrovaných v IIS-ISKO. Dostupné z WWW: <http://old.chmi.cz/uoco/isko/tab_roc/2009_enh/cze/pdf/PrehledStanic.pdf>

ČHMÚ (2011a): *Typizace povětrnostních situací pro území ČR*. [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://old.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html>>

ČHMÚ (2011b): *Aktualizovaný index kvality ovzduší* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer>>

Geofond (2000): *Ročenka Surovinové zdroje ČR – nerostné suroviny*, kapitola *Mangan* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy99/html/mangan.htm>

Hluk & Emise (2007): *Limity* [on-line, cit. 2011-04-07]. Hluk & Emise. Dostupné z WWW: <<http://hluk.eps.cz/hluk/emise/emis-limit/>>

Institut Galenus (2003): *Mangan* [on-line, 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.galenus.cz/minerally-mangan.php>>

IRZ (2006): *Informace o látkách ohlašovaných do IRZ | irz.cenia.cz* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.irz.cz/irz/new/node/20>>

ISKO (2009): *ISKO – Seznam lokalit měření znečištění* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <http://old.chmi.cz/uoco/isko/isko2/locality/pollution_locality/region_district_2742_CZ.html>

ISKO (2010): *Informace o kvalitě ovzduší v ČR* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html>

Keder, J., et al. (2010): *STOP PRACH* [on-line, cit. 2011-04-07]. Konference „Známe Priority“. Dostupné z WWW: <www.stop-prach.cz/file-STOP_PRACH_K2_Prezentace_ASC_Final_Duchcov.pdf>

KÚ Ústeckého kraje (2005): *Aktualizace krajského programu ke zlepšení kvality ovzduší Ústeckého kraje – Příloha III : Porovnání spalování paliv v malém stacionárním zdroji* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné na WWW: <www.kr-ustecky.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.aspx?id_org=450018&id_dokumenty=1641571_srovnani_pm10_pm2,5>

Kurfürst, J. et al. (2008): *Kompendium ochrany kvality ovzduší*, vyd. 1., Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 407 s. ISBN: 978-80-86832-38-8.

Machálek, P. (2003): *Emise tuhých znečišťujících látek : Toxikologicky závažné látky v emisích PM10, problematika emisí prachu a obsahy těžkých kovů v uhlí* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW:

<http://www.chmi.cz/uoco/prj/vav_740_3_02/dp1dod.pdf>

Machálek, P., Machart, J. (2003) *Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001*. Milevsko: ČHMÚ. [cit. 2011-04-07]

Dostupné také z WWW: <http://old.chmi.cz/uoco/emise/embil/metodika_rezzo3.pdf>

Magistrát města Olomouce (2008): *Olomouc.eu » Monitoring ovzduší » Nový světelný panel informující o kvalitě ovzduší* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW:

<[https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi_\(cesky\)?article_id=2129](https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi_(cesky)?article_id=2129)>

Magistrát města Olomouce (2011a): *Olomouc.eu » Monitoring ovzduší » Archiv naměřených hodnot* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW:

<[https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi/ovzdusi-archiv-namerenych-hodnot_\(cesky\)](https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi/ovzdusi-archiv-namerenych-hodnot_(cesky))>

Magistrát města Olomouce (2011b): *Olomouc.eu » Monitoring ovzduší » O kvalitě ovzduší informuje světelný panel U Zlatého jelena* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW:

<[https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi_\(cesky\)?article_id=9817](https://www.olomouc.eu/mereni/monitoring-ovzdusi_(cesky)?article_id=9817)>

Nářízení 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší.

Nářízení 42/2011 Sb., kterým se mění nařízení 597/2006 Sb.

Ochrana ovzduší (2004): *Časopis Ochrana ovzduší* [on-line, cit. 2011-04-07]. Hlavní stránka. Dostupné z WWW: <<http://www.ochrana-ovzdusi.cz/>>

Pudelová, J. (2009): *Kvalita ovzduší města Olomouce*. Olomouc: Magistrát města Olomouce. 36 s. Dostupné z WWW:

<https://www.olomouc.eu/administrace/repository/gallery/articles/85_/8584/ovzdusi-olomouc-brozura-2009.cs.pdf>

Querol, X. et al. (2004): Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities. *Atmospheric Environment* 38, 38, 6547-6555.

Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě (1996) [z anglického originálu přeložili Jiří Kašpar a Václav Vacek; na dodatku k českému vydání se podílela Irena Skořepová]. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. Odbor pro styk s veřejností, 427 s.

Státní zdravotní ústav (2009): *Expozice obyvatel suspendovaným částicím* [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/expozice-obyvatel-suspendovanym-casticim-ve-venkovnim-1>>

Státní zdravotní ústav (2010): *Souhrnná zpráva za rok 2009* [on-line, cit. 2011-04-16]. ISBN 80-7071-312-9. Dostupné z WWW: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrnna_zprava/Szu_10.pdf>

Tauberová, D. (2010) V Olomouci bude meteostanice měřící znečištění. *Olomoucký deník* 13. 10. 2010 [on-line, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <http://olomoucky.denik.cz/zpravy_region/v-olomouci-bude-opet-stance-merici-znecisten.html>

Úřední věstník Evropské unie (2008): *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2008/50/ES* [online, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:CS:PDF>>

US EPA (2006): *PM Standards / Particulate Matter / Air & Radiation / US EPA* [online, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.epa.gov/oar/particlepollution/standards.html>>

Věstník MŽP, čísla 8/2002; 7/2003; 12/2004; 12/2005; 3/2007; 4/2008; 6/2009; 4/2010 a 4/2011.

Vyhláška č. 194/2007 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům.

WHO (2006): *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide : Global update 2005* [online, cit. 2011-04-07]. Dostupné z WWW: <http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf>