

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ekologie a ochrana prostředí

Ochrana životního prostředí



Bc. Olga Granici

Hrubý atmosférický aerosol v městském prostředí

Characterization of coarse atmospheric aerosol in urban environment

Vedoucí práce: RNDr. Naděžda Zíková, Ph.D.

Praha 2015

Prohlášení

Čestně prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem zpracovala zcela samostatně a s využitím citované literatury, na níž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré informace budou řádně citovány.

V Praze, dne 14. 8. 2015

Bc. Olga Granici

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce RNDr. Naděždě Zíkové, Ph.D. za pomoc, trpělivost a poskytnuté rady při sepisování této práce. Děkuji Mgr. Marku Ouředníkovi za pomoc a opravu.

Obsah

Abstrakt (CZE)	4
Abstrakt (EN)	5
Úvod	6
1. Atmosférický aerosol	8
2. Legislativa ochrany ovzduší. Emisní limity	11
3. Metodika práce	13
3.1. Charakteristika měřicích stanic a popis dat	13
3.2. Analýza dat	16
3.2.1. Test normality	18
3.3. Statistická analýza	18
4. Výsledky	20
4.1. Analýza podle stanic	20
4.2. Roční analýza	24
4.3. Sezonní analýza	29
4.4. Roční chod	35
4.5. Týdenní chod	38
4.6. Denní chod	46
5. Závěr	52
Seznam použité literatury	54
Přílohy:	58

Abstrakt (CZE)

Diplomová práce se zabývá statistickou analýzou hrubého aerosolu na území Hlavního města Prahy, s ohledem na jeho časovou a prostorovou proměnlivost. Data zahrnují pětileté časové období od roku 2005 do roku 2010 včetně. Koncentrace hrubého aerosolu byly vypočítané z původně naměřených koncentrací PM_{10} a $PM_{2,5}$. Pro vyhodnocení jsou v práci použité koncentrace hrubého aerosolu, které byly získány na čtyřech imisních stanicích lokalizovaných na území hlavního města Prahy. Tři ze čtyř stanic jsou charakterizované jako stanice dopravního typu, kde se předpokládá vliv dopravních prostředků na koncentrace hrubého aerosolu. Poslední stanice se vyznačuje jako stanice typu pozadového, která udává hodnoty méně zatíženého regionu. Analýza se provádí podle jednotlivých parametrů za předpokladu, že hlavním zdrojem hrubého aerosolu v urbánním prostředí je městská doprava. Pro zkoumání časové proměnlivosti se prováděla analýza ročního, sezonního, týdenního a denního chodu. Prostorová proměnlivost se zkoumala na základě umístění imisních stanic. Pro stanovení míry závislosti mezi jednotlivými parametry se použila korelační analýza podle Spearmana s vypočítáním korelačních koeficientů. Kromě analýzy se v práci provádí porovnání naměřených hodnot aerosolu mezi stanicemi různých typů a také se sleduje výskyt trendů pro různé parametry, provedeno je též krátké srovnání s trendy popsány v literatuře. V průběhu práce bylo stanoveno, že data, která byla využita pro statistickou analýzu, nemají normální rozdělení, proto se testování hypotéz provádí za pomoci neparametrických statistických testů.

Klíčová slova: Hrubý aerosol, koncentrace, městské prostředí, doprava.

Abstrakt (EN)

This Diploma Thesis is concerned with statistical analysis of coarse aerosol at the area of the capital city Prague with focus on its time and space variability. The data covers time period from year 2005 up to year 2010 included. The concentrations of coarse aerosol were originally calculated from recorded values of PM_{10} a $PM_{2.5}$. The assessment used in this thesis is based on concentrations of coarse aerosol recorded on four pollutant stations which are localized in the capital city. Three out of four those air pollution monitoring stations are characterized as traffic stations kind of purse, where we can assume the traffic's impact over the coarse aerosol concentration. The last station is distinguished to be background to report the data of region less loaded by pollution. The analysis is executed within particular parameters supposing that main source of coarse aerosol is traffic in urban environment. For time period examination variability the year, season, week and day running was carried out. The spatial variability was researched by the air pollution monitoring stations localization. To determine a rate of dependency among particular parameters the correlation analysis according to Spearman was used within the calculation of correlation coefficients. Beside the analysis this thesis contains the comparison of aerosol's recorded data among stations of different kinds and of course trends for different parameters are observed with a short comparison to the literature description. During the thesis's development it was set that data used for statistical analysis do not have the normal distribution, that is why the hypothesis testing is executed upon using nonparametric statistic tests.

Key words: coarse aerosol, concentration, urban environment, traffic.

Úvod

Znečištění ovzduší představuje celý komplex provázaných jevů a procesů. V České republice patří problematika znečištění ovzduší a jeho negativní vlivy na životní prostředí k nejzávažnějším problémům již od poloviny 20. století, kdy byl zaznamenán prudký nárůst průmyslu a těžby uhlí. Socialistický systém, který se v té době vyskytoval na území Československa, nepřikládal otázce znečištění ovzduší či zlepšení kvality ovzduší velké pozornosti, jak tomu bylo v jiných průmyslových zemích západní Evropy (Braniš & Hůnová, 2009).

Prvním důležitým krokem, který lze považovat za začátek „éry“ zlepšení kvality ovzduší, se stalo využití technologií k odsíření uhlí, což mělo za následek snížení koncentrace oxidu siřičitého (Braniš & Hůnová, 2009). Modernizace zastaralých zařízení, použití nových technologií v průmyslu, přijímání a implementace nových právních předpisů, to vše mělo za následek výrazné zlepšení kvality ovzduší na území České republiky (Braniš, 2009).

Na území České republiky, stejně jako i v jiných státech Evropské unie (EU) je stále více věnována pozornost koncentraci aerosolových částic, troposférického ozónu a oxidu dusičitého, jelikož tyto znečišťující látky stále překračují stanovené limity (ČHMÚ).

Atmosférický aerosol je všudypřítomnou složkou atmosféry. Jeho studiem a zkoumáním se zabývá současně několik vědních disciplín. Částice aerosolu se přenášejí na velké vzdálenosti a negativně působí na lidské zdraví nejen v bezprostřední blízkosti zdroje, ale také tisíce kilometrů od něj (Who, 2006). Proto se problém znečištění ovzduší aerosolovými částicemi se musí řešit nejen na lokální či regionální úrovni, ale i v globálním měřítku.

Problém znečištění ovzduší je těsně spojen s ekonomickým stavem daného místa, tj. s rozvojovou úrovní lokality. Města lze charakterizovat jako lokality vysokým počtem obyvatel a vyšší ekonomickou aktivitou, která vede k rozšíření průmyslových zón, hustší dopravní sítí, nárůstu staveb apod., a proto mají městské aglomerace zpravidla vyšší koncentrace emisí antropogenního původu než oblasti venkovské (Langner, Draheim, & Endlicher, 2011). V městském prostředí je zároveň vysoká hustota obyvatel, a proto negativní dopad aerosolu působí na velké množství lidí zároveň. Avšak zdroje aerosolových částic jsou ve městě rozmístěné nerovnoměrně, proto větší nežádoucí vliv na zdraví pravděpodobně bude u lidí, kteří většinu času tráví v městských centrech, nežli u lidí, kteří žijí či pracují v okolí (Fenger, 1999).

Hlavní parametry chování hrubého aerosolu se mohou lišit v závislosti na lokalitě, kde mohou být ovlivněny místním mikroklimatem, blízkostí jednotlivých zdrojů, reliéfem místa a intenzitě působení vnějších klimatických podmínek (Hussein et al., 2006). Důležitou roli v chování znečišťujících látek hraje rozmanitost zdrojů znečištění v kombinaci s klimatickými podmínkami.

Tato diplomová práce se zabývá studiem a zkoumáním koncentrací hrubého aerosolu. Hlavním cílem diplomové práce je charakterizovat městský hrubý aerosol v Praze s ohledem na jeho časovou a prostorovou proměnlivost a pokusit určit hlavní zdroje hrubého aerosolu.

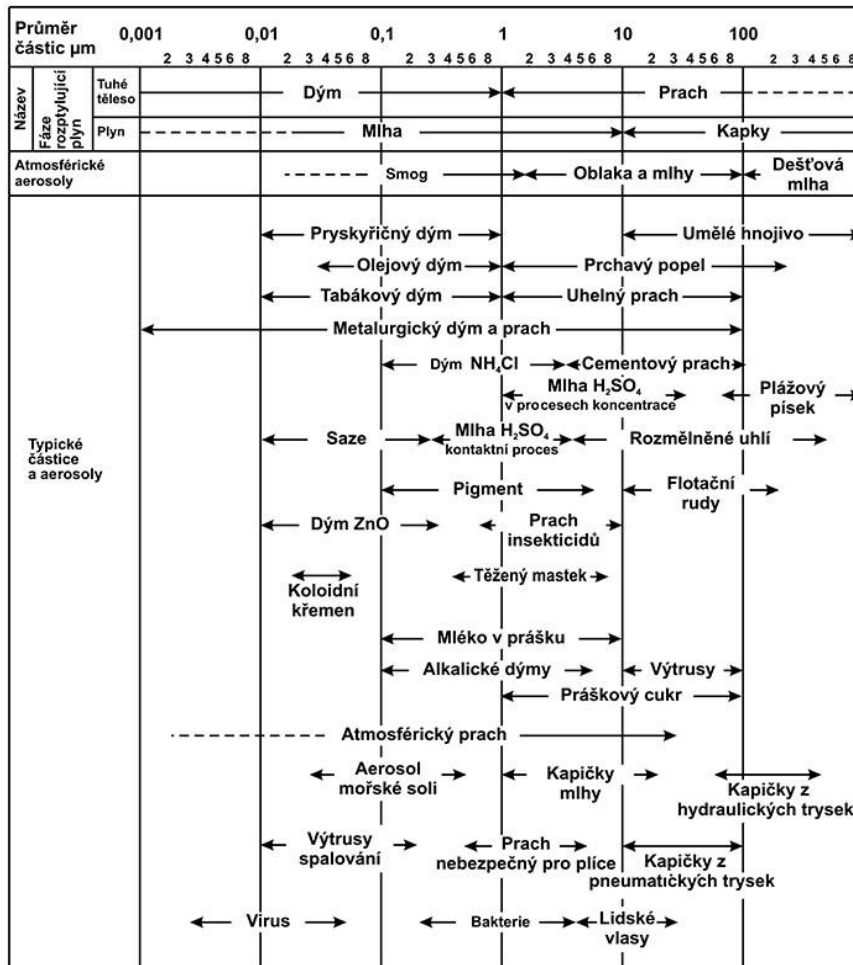
1. Atmosférický aerosol

Atmosférický aerosol je směs tuhých a kapalných částic suspendovaných ve vzduchu. Jednotlivé částice se mezi sebou liší velikostí, tvarem, původem a chemickým složením (WHO Regional Office for Europe, 2006).

Aerosoly zahrnují širokou paletu jevů, jako jsou prach, dým, kouř, opar, mlha a smog (Hinds, 1999). Zdroje aerosolu jsou přírodního či antropogenního původu. Mezi hlavní přírodní zdroje aerosolu patří sopečná činnost, větrem přenesený pouštní prach, mořská sůl emitovaná z mořské hladiny, neřízené požáry obhospodařovaných lesů a jiné vegetace (Viana et al., 2014). Zvláštní kategorií aerosolu přirozeného původu jsou tzv. bioaerosoly, jejichž hlavním zdrojem emisí je oceán. Do této kategorie lze také zařadit viry, bakterie a části živočišného a rostlinného původu (Braniš & Hůnová, 2009). Koncentrace znečišťujících látek v ovzduší jsou spojené nejen s přírodními, biologickými či chemickými procesy ale také s antropogenní činností. Aerosolové částice jsou emitované do ovzduší zejména z průmyslových a spalovacích procesů, ovšem mezi důležitými zdroji také patří doprava, výroba energie a vytápění domácností (I.Hůnová & S.Janoušková, 2004). Částice, které jsou emitované do ovzduší přirozenými zdroji, jsou částice hrubé, jejichž složení se mění s lokalitou. V důsledku antropogenní činnosti jsou do ovzduší převážně emitované částice jemné (Langner et al., 2011). V závislosti na lokalitě a velikosti částic lze určit, bude-li primárním zdrojem aerosolu lidská činnost, uliční nebo silniční prach, suspendované částice půdy, je-li v blízkosti moře nebo rozsáhlé plochy bez vegetačního pokrytí (Lee & Hieu, 2013).

Kromě prokázaného negativního vlivu atmosférického aerosolu na lidské zdraví (Stanek, Sacks, Dutton, & Dubois, 2011), částice hrají významnou roli v přírodních procesech, působí jako kondenzační a krystalizační jádra, které jsou zodpovědná za tvorbu oblaků a množství srážek, podílí se na změně klimatu a teplotní bilanci Země (V. Ramanathan^{1,*}, P. J. Crutzen^{1, 2}, J. T. Kiehl³, 2001).

Velikost částic je jedním z nejdůležitějších parametrů a podle velikosti lze rozdělit aerosolové částice jemné a hrubé frakce. V literatuře jsou částice atmosférického aerosolu velikostně definované v rozmezí od několika nanometrů až na více než 100 μm (Braniš & Hůnová, 2009). Velikostní rozsahy atmosférického aerosolu jsou představené na obrázku č. 1. Právě velikost určuje pohyb částic v atmosféře jejich setrvání a míru působení na lidské zdraví. Zhodnocení, jak se vlastnosti aerosolů liší vzhledem k velikosti částic, je zásadní pro pochopení jejich vlastností (Hinds, 1999).



Obr. 1: Velikostní rozsah atmosférického aerosolu (Bendl, 2014).

Částice mohou být popsány také na základě hmotnostní koncentrace, která se určuje pomocí definované referenční metody pro jejich vzorkování a měření. Protože většina částic má nepravidelný tvar, je určení jejich průměr založeno na konceptu tzv. aerodynamického průměru. Různé frakce atmosférického aerosolu se označují zkratkou PM_x (z ang. Particular Matter (PM)) s odkazem k příslušnému aerodynamickému průměru (Langner et al., 2011). Jednoduše řečeno, za částice PM_{10} mohou být považovány za částice s aerodynamickým průměrem menším nebo rovnajícím se $10 \mu\text{m}$. Částice s aerodynamickým průměrem menší než $2,5 \mu\text{m}$ jsou definované jako $\text{PM}_{2,5}$. Frakce PM_{10} v literatuře PM_{10} je téměř totožná s inhalabilní frakcí, $\text{PM}_{2,5}$ – za pak s dýchatelnou frakcí, ovšem jsou ještě definované částice frakce PM_1 s aerodynamickým průměrem menší než $1 \mu\text{m}$ a také ultra jemné částice s průměrem menší než $0,1 \mu\text{m}$ (Bert Brunekreef & Maynard, 2008). Hrubý aerosol lze definovat jako částice s aerodynamickým průměrem mezi $2,5 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$ (WHO Regional Office for Europe, 2006).

Aerosolové částice v atmosféře mohou cestovat na velké vzdálenosti a způsobují celou řadu onemocnění a významné snížení průměrné délky života ve většině zemí Evropy (WHO Regional Office for Europe, 2006). Velikost částic, jejich počet a chemické složení jsou zdrojem vzniku dýchacích a kardiovaskulárních potíží (Pope III & Dockery, 2006). Hrubý aerosol je spojen sváženými kardiopulmonálními onemocněními, akutními infekcemi dýchacích cest a průdušek, rakovinou plic či astmatem, akutní a chronickou bronchitidy (B Brunekreef & Forsberg, 2005). Řada epidemiologických studií dokázala, že dlouhodobá expozice aerosolových částic má negativní vliv na lidské zdraví, způsobuje zvýšení nemocnosti a úmrtnosti (Agus et al., 2007). Pro snížení koncentrace a tím i expozice je nezbytné, aby byly stanovené koncentrace aerosolu, jeho velikostní distribuce, časová a prostorová variabilita a další faktory, které přispívají ke zvýšení koncentrace aerosolu v prostředí.

2. Legislativa ochrany ovzduší. Emisní limity.

Kvalita ovzduší a jeho ochrana je v České republice upravena v rámci právního řádu. Na nejvyšší úrovni je o ovzduší, v rámci životního prostředí zmíněno v Listině základních práv a svobod, která je součástí ústavního pořádku země.

Hodnocení kvality ovzduší vychází především ze zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší (MŽP, 2015). Tato legislativa společně s řadou směrnic Evropského parlamentu a především směrnicí z roku 2008/50/ES a rozhodnutími Rady představují nejen základ pro sdílení informací o stavu ovzduší v Evropské unii, ale současně nastavuje imisní limity u látek, které jsou sledovány pro jejich prokazatelný negativní vliv na lidské zdraví (MŽP, 2015). Soubor znečišťujících látek, které jsou sledovány v sítích imisního monitoringu především, vychází z doporučení Světové zdravotnické organizace (WHO).

Imisní limity pro ochranu lidského zdraví jsou stanoveny pro znečišťující látky: oxid siřičitý, oxid dusičitý, oxid uhelnatý, benzen, částice frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$, olovo, arsen, kadmium a troposférický ozon. V tabulce č. 1 jsou uvedeny imisní limity pro PM_{10} a $PM_{2,5}$.

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]		Hodnota imisního limitu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
PM_{10}	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
$PM_{2,5}$	kalendářní rok	12	17	25

Tabulka č. 1: Imisní limity PM_{10} a $PM_{2,5}$ v ČR, kde LAT – dolní mez pro posuzování, UAT – horní mez pro posuzování a LV – limitní hodnota. Zdroj (ČHMÚ).

Na území aglomerace Praha neustále dochází k překračování imisních limitů, obzvláště v chladném období roku. Například v roce 2006 z celkového počtu 16 lokalit s platným ročním průměrem jich 15 zaznamenalo překročení 24hodinového limitu PM_{10} , v roce 2008 byly limitní hodnoty překročeny pouze na 3 lokalit z 19, ovšem v roce 2010 imisní limit byl překročen na 10 lokalitách ze 17 (ČHMÚ, 2010).

Právní úprava a stanovení nových imisních limitů posiluje jejich význam. Limity jsou závazné a za jejich překračování jsou ukládána konkrétní opatření. I přes to, že limitní hodnoty jsou stále překračované, nová právní úprava imisních limitů přinesla celou řadu nových prvků,

které v minulosti nebyly prakticky využité orgány veřejné správy, např. závazné imisní limity, cílové imisní limity, meze tolerance apod. Stanové hodnoty jsou závazné na území státu a po jejich dosažení nesmí být překračovaná (Braníš & Hůnová, 2009).

3. Metodika práce

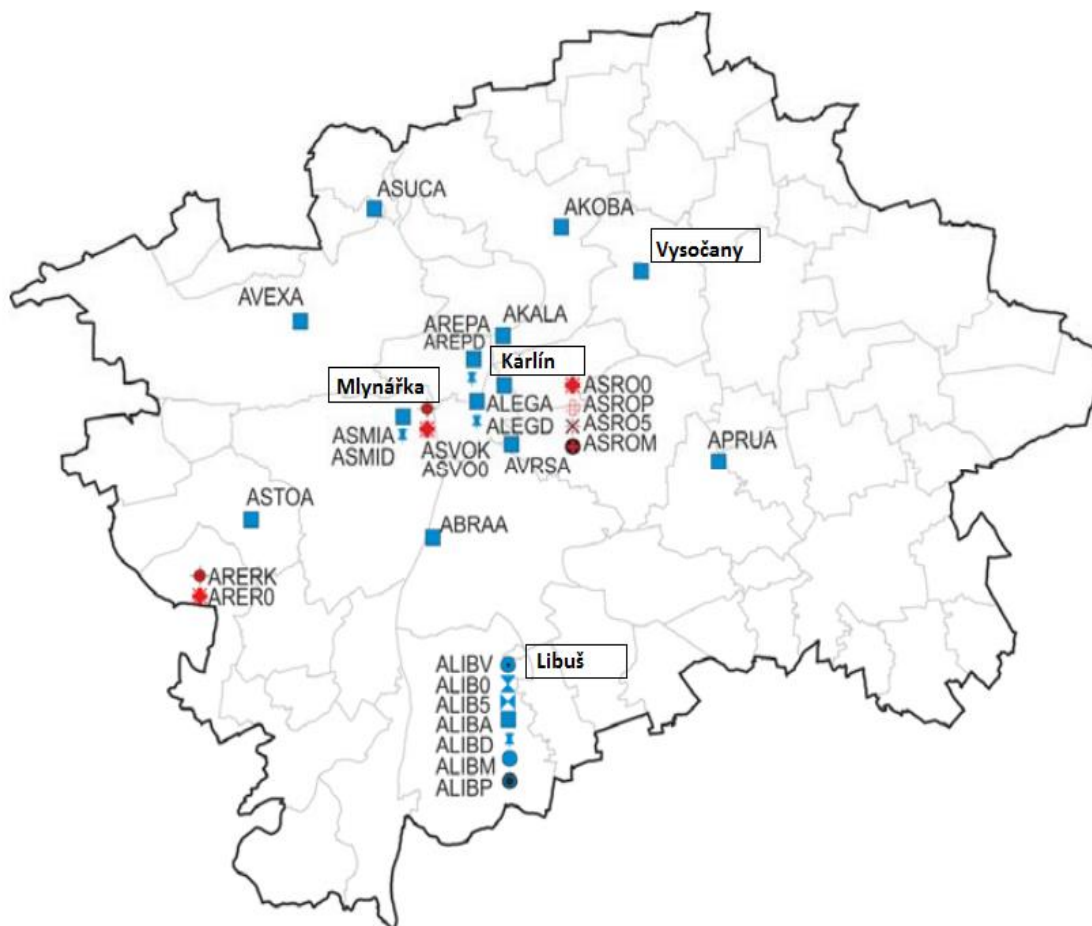
3.1. Charakteristika měřicích stanic a popis dat

Otázkám znečištění ovzduší na území České republiky se věnuje pozornost již od začátku 20. století. Úroveň znečištění a koncentrace škodlivých látek v ovzduší se stanovuje pomocí celé řady měřicích stanic v přízemní vrstvě atmosféry. První informace o naměřených koncentracích ve vnějším ovzduší znečišťujících látek jako oxid siřičitý (SO_2) a suspendovaných částicích se objevili již v roce 1950. Pravidelné sledování kvality venkovního ovzduší je zaregistrováno od roku 1960. V současné době Česká republika patří k zemím s nejhustší monitorovací sítí kvality ovzduší (Hunova, 2001).

Státní síť imisního monitoringu na území ČR je jednotně provozovaná Českým Hydrometeorologickým Ústavem (ČHMÚ), který je pověřenou organizací, a je základním článkem sledování kvality ovzduší v ČR (MŽP, 2015). ČHMÚ má povinnost sledovat průběh vývoje imisní situace. Zajišťuje také tvorbu imisních map a je základním poskytovatelem dat. Síť pro monitorování kvality ovzduší pokrývá rovnoměrně celé území České republiky.

Hlavní město Praha představuje největší město v České Republice. V současnosti se rozkládá na ploše o rozloze 496 km^2 s počtem obyvatel ve výši 1, 24 milionu a hustota osídlení činí 2534 obyvatel na km^2 (ČSÚ, 2015). V Praze, stejně jako v ostatních středoevropských zemích byla fosilní paliva používaná pro místní a ústřední topení nahrazena čistším zemním plynem a většina průmyslu byla přesunuta z města do okolních lokalit. Ve stejné době se počet vozidel registrovaných v Praze podstatně zvýšil (Braniš, 2009). Vzhledem k tomu, že kvalita ovzduší ve městech, je výsledkem složité interakce mezi přírodními a antropogenními faktory prostředí (Mayer, 1999), můžeme říci, že městská aglomerace se jeví jako nejvhodnější prostředí pro zkoumání variability hrubého aerosolu.

V diplomové práci jsou zpracována data z imisních stanic umístěných na území hlavního města Praha. Data byla poskytnuta ČHMÚ, a to ve dvou frakcích: frakce PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Data zahrnují šestileté časové období, od roku 2005 až do roku 2010. Jedná se o měřené hodnoty hodinových koncentrací ze čtyř měřicích stanic: Mlynářka, Karlín, Vysočany a Libuš. Rozmístění každé z výše uvedených stanic je uvedeno na Obr. 2.

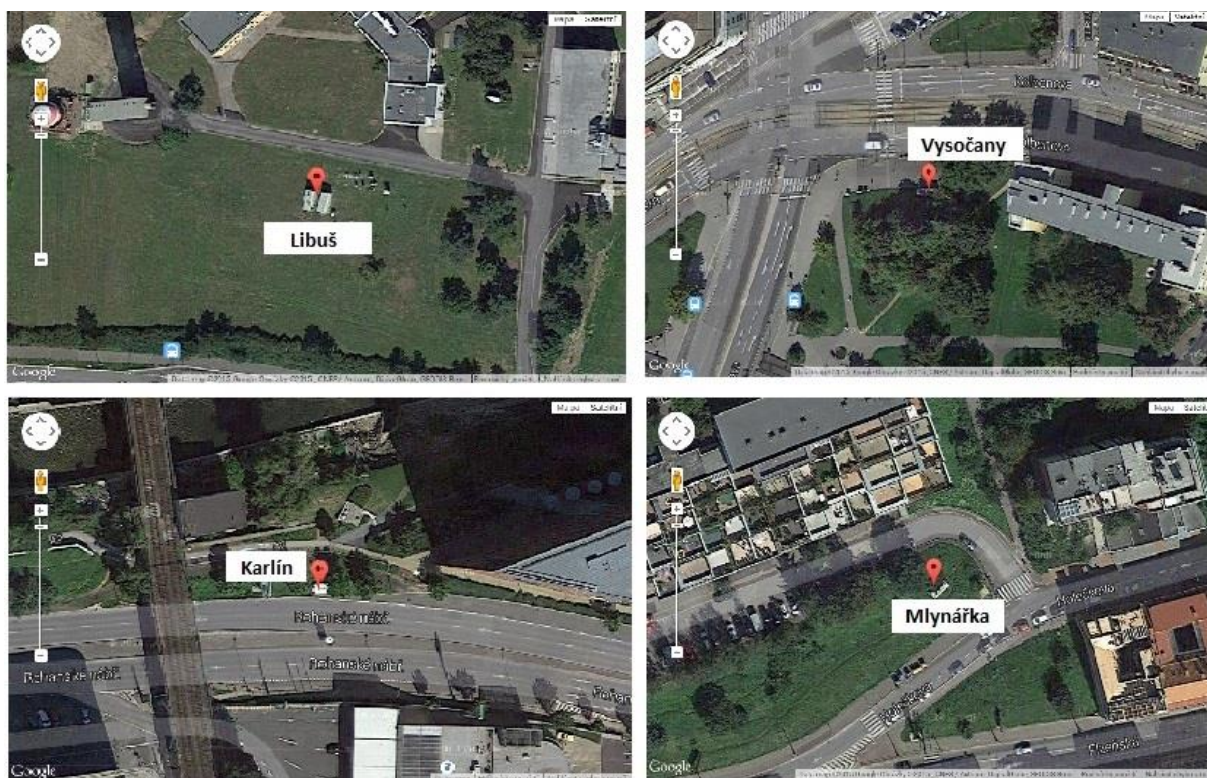


Obr. 2: Praha, rozmístění měřicích stanic. Převzato z (ČHMÚ).

V České Republice se měření imisí provádí pomocí automatizovaných imisních stanic, kdy měření koncentrace znečišťující látky probíhá on-online. Podle typu lze stanice rozdělit na dopravní, pozad'ové a průmyslové. Imisní stanice dopravního typu jsou umístěny do 50 m od pozemní komunikace s velkou intenzitou dopravy, naopak stanice pozad'ového typu udává imisní hodnoty nezátížených regionů, měří např. pozadí měst a průmyslových oblastí. Průmyslové stanice jsou umístěny v blízkosti továren a jsou značně ovlivněny průmyslem (Ekologické centrum Most).

Podle typu lze definovat stanice Karlín, Vysočany a Mlynářka jako dopravní. Stanice Libuš je definována jako stanice pozad'ová. Z hlediska rozmístění stanic lze říci, že nejbližší k centru města se nachází stanice Karlín (Praha 2), kde se nachází mnoho pozemních komunikací a silnic s frekventovanou automobilovou dopravou. Samotná stanice se je umístěna u hlavní komunikace se středně hustým provozem (ČHMÚ). Stanice Mlynářka se nachází v lokalitě Prahy 5, které se také vyznačuje frekventovanou dopravou a vysokou hustotou obyvatel. Stanice Vysočany se nachází na severovýchodě města (Praha 9) a je umístěna 15m od

frekventované křižovatky. Stanice Libuš je umístěna na jižním okraji hlavního města (Praha 4) v areálu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Podle např. (Langner et al., 2011) jsou na stanicích dopravního typu naměřené koncentrace aerosolových částic řadově vyšší než na stanicích pozad'ového typu, ovšem stanice dopravního typu se vyznačují menší variabilitou naměřených hodnot, než stanice pozad'ové. Tento trend lze očekávat i na stanicích v Praze. Detailní umístění stanic je znázorněno na Obr. č. 3.



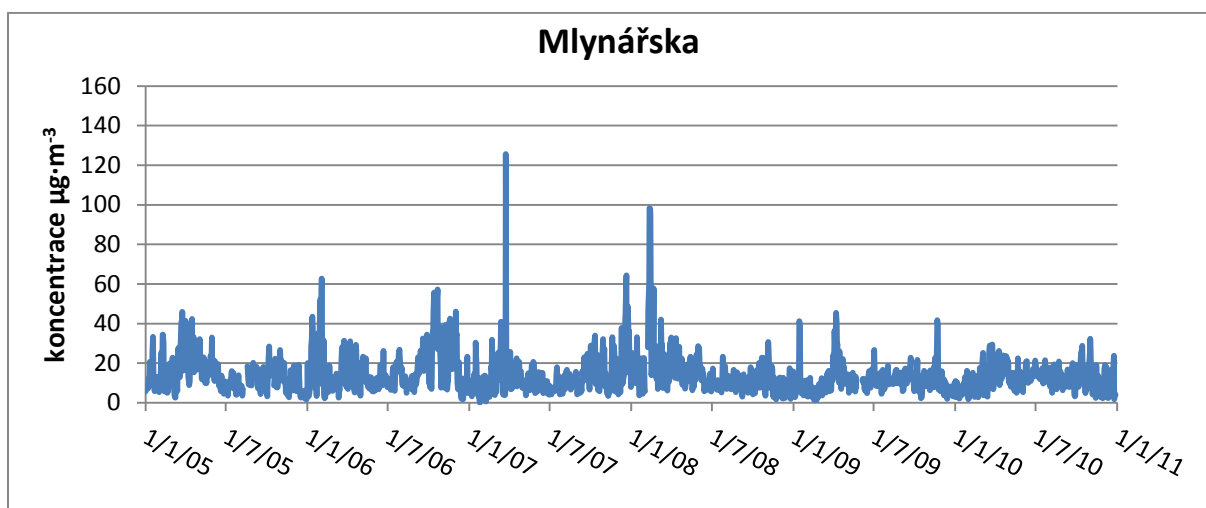
Obr. 3: Detailní lokace imisních stanic (CHMÚ).

Původně naměřená data obsahovala systémové výpadky. Den, kdy byl zaznamenán výpadek delší než 12 hodin, byl z dat odstraněn. Po úpravách a odstranění nevhodných údajů bylo zjištěno, že nejvíce výpadků bylo zaregistrováno na stanici Karlín, kde chybí 293 denních hodnot koncentrace hrubého aerosolu. Výpadek činí 13,3 % z celkového šestiletého měřicího období. Na stanici Libuš počet dnů bez údajů činí 109 dnů (4,9%). Na stanici Vysočany výpadek představuje 129 dnů (5,8%) a pouze 59 dní (2,7%) výpadků bylo zaznamenáno na stanici Mlynářka.

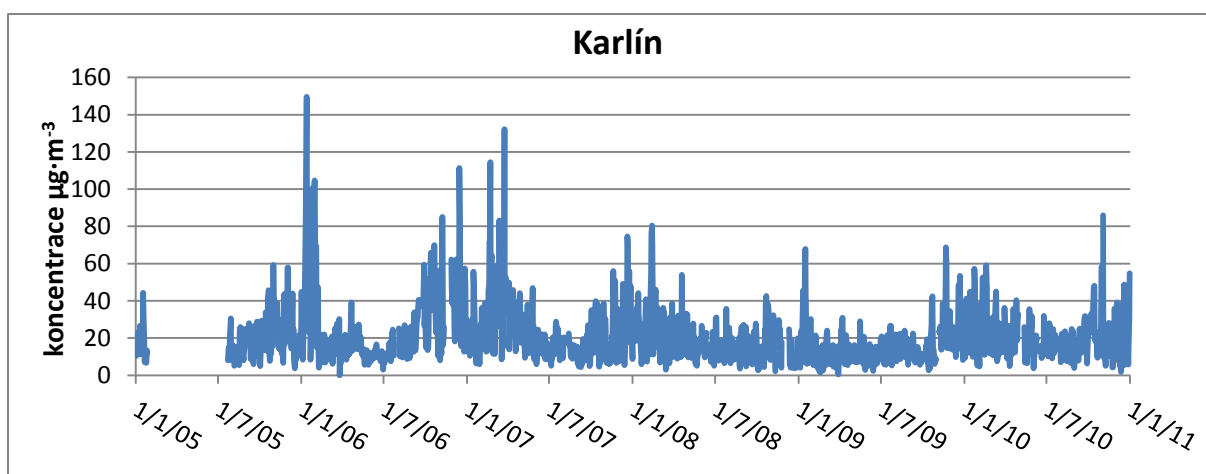
3.2. Analýza dat

Hrubý aerosol je definován jako částice s aerodynamickým průměrem větší než $2,5\mu\text{m}$. Koncentrace hrubého aerosolu jsem vypočítala z naměřených hodnot jako rozdíl mezi koncentracemi PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$.

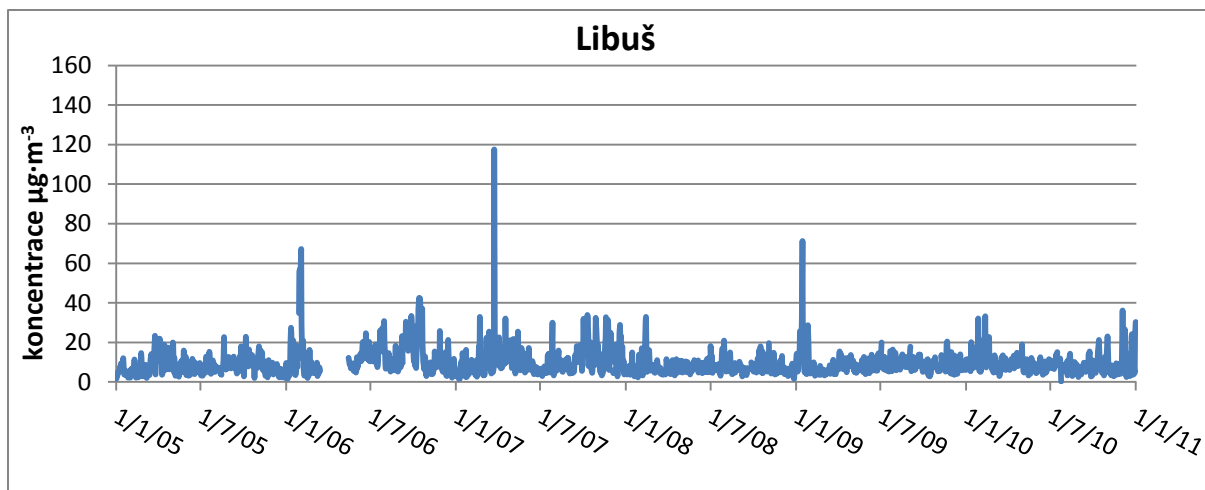
Pro počáteční analýzu a prvotní zkoumání dat jsem nejdříve sestavila jednoduché grafy, podle kterých bylo možno zkoumat, jestli se vyskytují během měření odlehle hodnoty a zda je trend koncentrací hrubého aerosolu rostoucí nebo klesající. Pro snadnější práci jsem z hodinových koncentrací vytvořila denní průměry pro každou stanici a sestavila graf zahrnující pětileté měřicí období (Obr. č. 4 až 7). Grafy byly sestavené s využitím programu MS Excel.



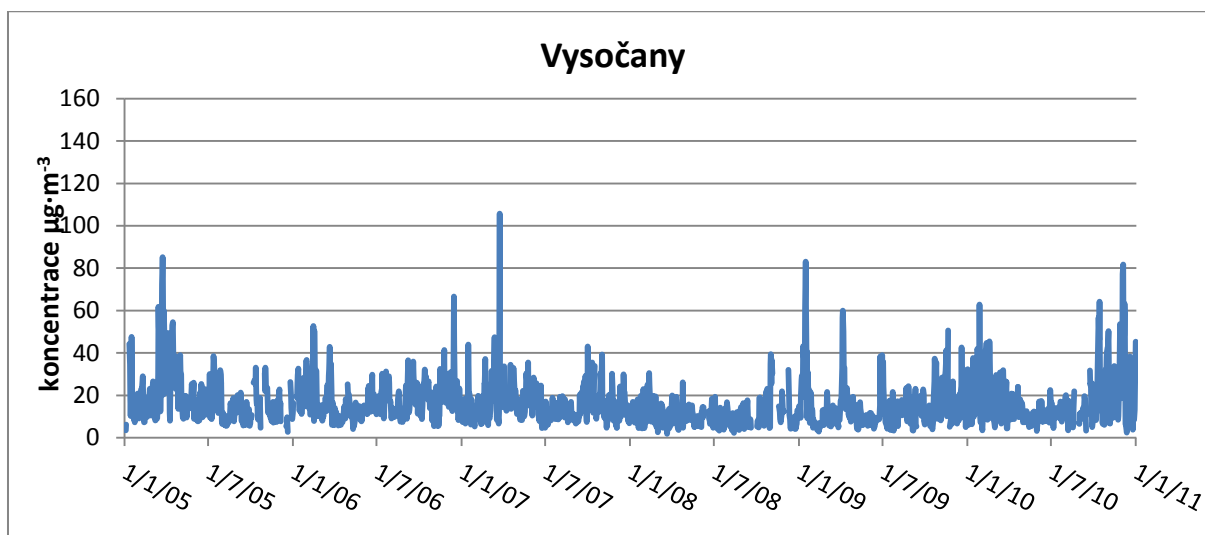
Obr. 4: Chod koncentrace hrubého aerosolu na stanici Mlynářka v letech 2005- 2010.



Obr. 5: Chod koncentrace hrubého aerosolu na stanici Karlín v letech 2005-2010.



Obr. 6: Chod koncentrace hrubého aerosolu na stanici Libuš v letech 2005-2010.



Obr. 7: Chod koncentrace hrubého aerosolu na stanici Vysočany v letech 2005-2010.

Obr. 4 až 7 znázorňují koncentrace hrubého aerosolu v šestiletém období, kde jsou patrné epizody výpadků dat. Během měřicího období se koncentrace hrubého aerosolu pohybovaly mezi 1 až $149,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnižší koncentrace byly zaznamenány na stanici Libuš, rozdíl v koncentracích na stanici Mlynářka a Vysočany na první pohled je zanedbatelný a na grafech téměř nerozeznatelný. Maximální hodnota v tomto období byla naměřena na stanici Karlín. Na grafech jsou dobře viditelné vysoké hodnoty koncentrace, které se vyskytují pouze občas. Společným prvkem na všech čtyřech stanicích je koncentrace hrubého aerosolu, která odpovídá hodnotě cca $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Délka a období výskytu této odlehle hodnoty je stejná na všech stanicích.

Při následujícím statistickém zpracování je nezbytným krokem odstranění odlehlých hodnot. Extrémně vysoké hodnoty, které se vyskytují během měřicího období, mohou ovlivnit výskyt

trendu. Pro odstranění odlehlých hodnot byl vypočten 99. percentil hodnot pro každou stanici. Pro stanici Karlín byl 99. percentil stanoven na $71 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a všechny hodnoty, které přesahovaly tuto hranici, byly odstraněny. U stanice Libuš byla horní hranice stanovena na $32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, na stanici Mlynářka na hodnotě $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a pro stanici Vysočany 99. percentil odpovídá hodnotě $53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Hodnota percentilu pouze potvrzuje tvrzení o tom, že nejvyšší koncentrace se vyskytovaly na stanici Karlín, ty nejnižší na stanici Libuš. Rozdíl v hodnotách 99. percentilu se tyto dvě stanice liší skoro o polovinu.

Po odstranění odlehlých hodnot ze spojnicového grafu vývoje hodnot hrubého aerosolu během časové řady počínaje rokem 2005 až 2010 se zdá, že koncentrace hrubého aerosolu se významně nezvyšovala ani nesnižovala. Pro ověření této domněnky jsem po odstranění odlehlých hodnot daty každé ze čtyř stanic proložila lineární přímkou. Hodnoty regresních křivek všech čtyř stanic jsou uvedené v Tabulce č. 2.

Název stanice	Regresní křivka
Karlín	$Y = 0,001x - 24,28$
Mlynářka	$Y = 0,002x + 47,34$
Libuš	$Y = 0,0001x + 38,31$
Vysočany	$Y = - 0,004x + 183,2$

Tabulka č. 2: Hodnoty regresních křivek pro měřicí stanice.

Z hodnot směrnice regresní křivky blízké nule je zřejmé, že žádná ze stanic nevykazuje nárůst nebo pokles v koncentraci hrubého aerosolu ve sledovaném období.

3.2.1. Test normality

Pro následující statistické zpracování dat bylo testováno, zdali data mají normální rozdělení. Po provedení Shapiro-Wilkovatestu na 95% hladině bylo zjištěno, že data nemají normální rozdělení. Proto byly pro další analýzu dat použity neparametrické metody.

3.3. Statistická analýza

Ve své diplomové práci jsem analyzovala, zda jsou stanice mezi sebou nezávislé, jak se od sebe liší hodnoty koncentrací hrubého aerosolu v jednotlivých ročních obdobích, měsících, týdnech a dnech. V práci byla použita data hodinových koncentrací po odstranění 99. percentilu nejvyšších hodnot.

Pro analýzu data byly použité následující metody:

- Statistické popisné charakteristiky, které zahrnují informace o hodnotě mediánu, průměru, směrodatné odchylky a mezikvartilového rozpětí.
- Korelační analýza podle Spearmana, která se používá v případech, kdy chceme zjistit, zda existuje vztah mezi dvěma proměnnými, které v případě, že jsou spojitě, nemají normální rozdělení. Spearmanův korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do +1, které značí těsný lineární vztah mezi dvěma veličinami. V případě kladné korelace hodnoty obou proměnných zároveň stoupají. V případě záporné korelace hodnota jedné proměnné stoupá a druhé klesá. V případě neexistence lineárního vztahu se korelační koeficient rovná nule (Statistika a výpočetní technika, FVU, Brno).
- Wilcoxonův párový test - používá se pro hodnocení párových pokusů, kdy sledovaná veličina neodpovídá Gaussovu normálnímu rozdělení. Porovnává 2 měření provedená u jednoho výběrového souboru. Cílem je ověřit, zda dva závislé výběry pocházejí ze souborů se shodným mediánem. Testuje hypotézu rovnosti distribučních funkcí na základě ověření symetrického rozložení sledované náhodné veličiny. Výpočet testu vychází z párových hodnot dvou měření na jednom výběrovém souboru: veličiny X a X' (obvykle měření před a po pokusném zásahu, případně měření dvou polovin každého odebraného vzorku ošetřených různým pokusem (Zvára, 2008).
- Kruskalův-Wallisův test - používá se při testování více nezávislých skupin. Předpokladem Kruskalova-Wallisova testu je spojitost náhodné veličiny X , ordinální škála měření a stejný tvar rozdělení v populacích, ze kterých se provádí nezávislé náhodné výběry (Zvára, 2008).

Testování všech hypotéz bylo prováděno ve statistickém programu R.

Následné grafické porovnání bylo provedeno pomocí Krabicových grafů (Box plots). Dolní a horní konec „vousů“ (ang. whiskers) znázorňují minimum a maximum souboru dat. Dolní okraj krabice odděluje 25 % nejnižších hodnot (dolní kvartil). Horní okraj krabice odděluje 25 % nejvyšších hodnot (horní kvartil). Čára uvnitř krabice znázorňuje medián, tedy odděluje polovinu nižších a polovinu vyšších hodnot. Body mimo „vousy“ krabice jsou extrémně vysoké či nízké hodnoty u dat, které vybočují ze souboru. Za extrémně odlehlou hodnotu se

považuje hodnota, která je ve vzdálenosti větší než 1,5 násobek délky boxu (mezikvartilové rozpětí). Výhodou znázornění Box plotem je znázornění celého souboru dat v jednom grafu a tedy možnost posouzení rozptylu dat.

4. Výsledky

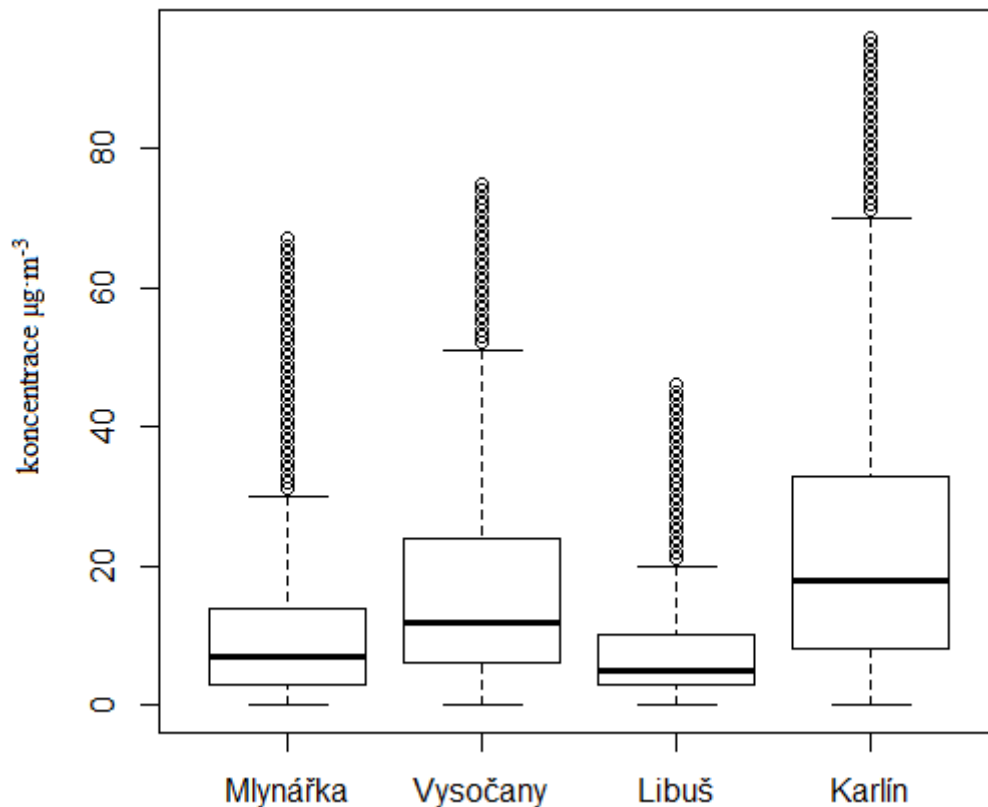
Analýza a vyhodnocení výsledků byly prováděny podle různých parametrů. Jako první a základní analýza bylo provedeno porovnání koncentrací hrubého aerosolu naměřených na každé stanici mezi sebou. Dále se hodnocení provádělo podle roku, ročních období, měsíců, týdnů a dnů. Výsledné statistické hodnoty jsou představené v tabulkách a grafech pro každou z kategorií.

4.1. Analýza podle stanic

Z hodinových koncentrací pro každou ze čtyř stanic byly spočítané popisné statistické charakteristiky z celého datového souboru, které jsou představené v tabulce č. 3. Na obrázku č.8 jsou znázorněné koncetrace hrubého aerosolu za celé období měření.

	Průměr ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Medián ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Mezikvartilové rozpětí ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
Karlín	19,2	15,0	21,0	17,5
Libuš	9,2	7,0	8,7	7,7
Vysočany	15,7	12,0	16,0	13,8
Mlynářka	13,1	10,0	12,0	11,5

Tabulka č. 3: Popisné statistické charakteristiky.



Obr. 8: Koncentrace hrubého aerosolu dle měřicích stanic.

Obr. 8 a popisné statistické charakteristiky ukazují, že naměřené koncentrace hrubého aerosolu na každé stanici se liší. Podle vypočítaných hodnot je zřejmé, že nejvyšší koncentrace aerosolu se vyskytovaly na stanici Karlín, a nejnižší hodnoty byly naměřené na stanici Libuš. Tento vysoký rozdíl může být zapříčiněn tím, že stanice Karlín, definovaná jako dopravní stanice, se nachází v centru města, kde je větší frekvence dopravních prostředků. Ovšem stanice Libuš, definovaná jako pozadřová stanice, se nachází nejdále od centra města a od hlavní dopravní infrastruktury. Tento rozdíl v hodnotách dokazuje, že antropogenní vlivy hrají hlavní roli ve znečišťování ovzduší hrubým aerosolem. Při srovnání koncentrací aerosolu pouze na stanicích městského typu je vidět, že nejvyšší koncentrace se vyskytují na stanici Karlín, která se nachází nejbližší k centru města. Srovnání také ukazuje, že se koncentrace hrubého aerosolu v různých částech města liší. Lze předpokládat, že různé části města mají odlišnou úroveň znečištění, ovšem centrum města se vykazuje jako nejvíce znečištěná zóna. Podle popisných statistických charakteristik můžeme odvodit, že naměřené koncentrace hrubého aerosolu na stanici Mlynářka a Vysočany se tolik neliší. Nicméně tato hypotéza je dále testována.

Dvouvýběrový Wilcoxonův test je neparametrickou obdobou dvouvýběrového t-testu, tzn., že nevyžaduje předpoklad normality. Pomocí testu porovnávám provedená měření na vybraných dvojicích měřicích stanic. Test byl proveden na hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Za nulovou hypotézu H_0 stanovíme, že se mediány u dvou závislých proměnných (výběrů) rovnají. Alternativní hypotéza bude ukazovat na odlišnost mediánů. Po provedení testu byla výsledná p-hodnota pro každou ze šesti dvojic stanovena menší než $2,2 \times 10^{-16}$. Jelikož byla vypočtená p-hodnota u všech testovaných dvojic o mnoho menší než 0,05, na dané hladině zamítáme nulovou hypotézu, čili mediány se liší.

Pro otestování domněnky o závislosti mediánů dvou stanic jsem se rozhodla použít ještě jeden neparametrický test - Kruskalův-Wallisův test. Testování se provádělo u dat pro všechny stanice. Za nulovou hypotézu H_0 potom předpokládáme, že mediány ve všech skupinách (výběrech) se rovnají. Alternativní hypotéza H_1 : mediány alespoň dvou skupin se liší. Výsledkem Kruskalova-Wallisovatestu je p také menší než $2,2 \times 10^{-16}$. Vzhledem k tomu, že p-hodnota je menší než 0,05 můžeme nulovou hypotézu zamítnout, a tím pádem byla potvrzena domněnka, že mediány ve skupinách se liší.

Pro analýzu možných vztahů mezi stanicemi byla použita korelační analýza podle Spearmana, která prokazuje míru závislosti koncentrací naměřených na jednotlivých stanicích. Neparametrické odhady párových korelací jsou založené na pořadí hodnot místo na absolutních hodnotách dat.

Stanice	Karlín	Libuš	Mlynářka	Vysočany
Karlín	1	0,26	0,27	0,21
Libuš		1	0,30	0,25
Mlynářka			1	0,27
Vysočany				1

Tabulka č. 4: Korelační matice pro měřicí stanice

Korelační koeficient může obecně nabývat hodnot od -1 do +1. Hodnoty blízké +1 ukazují na silnou kladnou lineární závislost mezi dvěma proměnnými. Pro otestování domněnky, zda můžeme hodnotu korelačního koeficientu považovat za významnou, jsem provedla Spearmanův test významnosti korelačního koeficientu na hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$

Ze čtyř stanic bylo vytvořeno šest dvojic. Pro každou z uvedených dvojic byla p-hodnota nižší než α , proto je z výsledků testu zřejmé, že hodnoty korelačních koeficientů se významně liší

od nuly. Lze tedy říci, že všechny dvojice stanic představené v tabulce č. 4 vykazují statisticky významnou míru závislosti. Vzhledem k tomu, že korelační koeficient ve všech případech nabývá kladné hodnoty, tato závislost bude vykazovat slabé příznaky kladné závislosti, čili s růstem koncentrace hrubého aerosolu na jedné stanici, lze očekávat mírný nárůst koncentrace i na stanici druhé. Nejvyšší hodnota korelačního koeficientu byla stanovena pro dvojici stanic Mlynářka a Libuš (0,3) a dvojici Vysočany a Mlynářka (0,27). Vzhledem k tomu, že je stanice Mlynářka stejně jako i stanice Vysočany definovaná jako stanice dopravní, koncentrace hrubého aerosolu roste či klesá především v závislosti na intenzitě dopravy v této lokalitě. Libuš je stanice pozadového typu, a podobná korelace ukazuje, že změny v koncentraci hrubého aerosolu na dopravních stanicích bude ovlivňovat naměřené hodnoty i na stanici pozadové. Vztah mezi dvěma stanicemi může být vysvětlen i místním reliéfem, mikroklimatem a nejčastějším směrem větru.

Statistické testy prokázaly, že rozdíl v koncentracích hrubého aerosolu na jednotlivých stanicích je statisticky významný, i když se absolutní hodnoty mediánů mezi sebou příliš neliší. Vyšší koncentrace aerosolu byly zaznamenány u stanic dopravního typu, kde se prokazuje negativní vliv antropogenních zdrojů znečištění. Na základě hodnot korelačních koeficientů lze konstatovat, že znečištění ovzduší v centrální části města negativně ovlivňuje kvalitu ovzduší i na okraji města a způsobuje zde mírný nárůst koncentrace hrubého aerosolu. Nicméně řada studií prokázala, že zvýšení koncentrace aerosolu na okraji města může být ovlivněno také přenosem částic z venkovního prostředí (Putaud et al., 2010). Při porovnání stanic dopravního typu mezi sebou se ukázalo, že vyšší míru závislosti vykazují mezi sebou stanice pozadového a dopravního typu, než mezi stanicemi pouze dopravními, i když rozdíl v hodnotách koeficientů není veliký. Takový vývoj korelace lze vysvětlit meteorologickými parametry, které přímo či nepřímo mohou ovlivňovat distribuci aerosolu a jeho setrvání v atmosféře. Studie, které zkoumaly vztahy mezi koncentrací aerosolu a rychlostí větru (Agus et al., 2007), chování aerosolu při různých teplotách okolí (Olivares, Johansson, Ström, & Hansson, 2007) a nebo odstranění aerosolu během srážek (Mircea, Stefan, & Fuzzi, 2000) prokázala, že lokální meteorologické podmínky mohou do značné míry ovlivňovat změny koncentrace hrubého aerosolu v městském prostředí. Proto byla provedena analýza na různých časových škálách, aby mohly být tyto vlivy lépe diskutovány.

4.2. Roční analýza

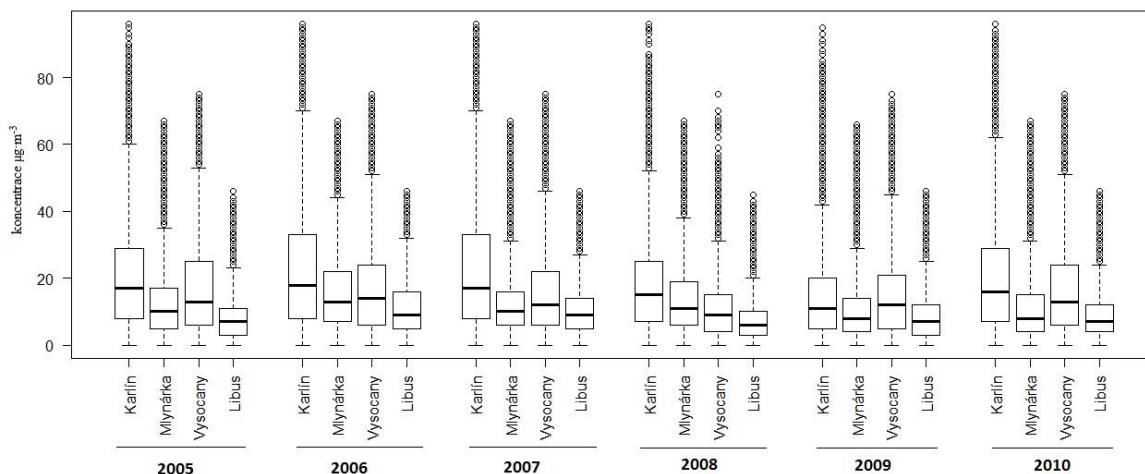
Data zahrnují šestileté období od ledna 2005 do konce prosince 2010. Popisné statistické charakteristiky dle roků a stanic jsou představené v tabulce č. 5.

Rok	Stanice	Průměr ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Medián ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Mezikvartilové rozpětí ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
2005	Karlín	20,7	17,0	21,0	17,2
	Mlynářka	12,9	10,0	12,0	11,2
	Vysočany	17,9	13,0	19,0	15,5
	Libuš	8,1	6,5	7,0	6,7
2006	Karlín	23,8	18,0	25,0	20,5
	Mlynářka	16,2	13,0	15,0	12,5
	Vysočany	17,3	14,0	18,0	14,2
	Libuš	11,6	9,0	12,0	9,3
2007	Karlín	22,7	17,0	25,0	19,3
	Mlynářka	12,5	10,0	10,0	10,1
	Vysočany	15,6	12,0	16,0	13,6
	Libuš	10,6	8,5	10,0	8,2
2008	Karlín	17,9	15,0	18,0	15,1
	Mlynářka	13,6	11,0	13,0	11,1
	Vysočany	11,0	9,0	11,0	9,7
	Libuš	7,4	5,9	7,0	6,4
2009	Karlín	14,8	11,0	15,0	13,7
	Mlynářka	10,9	8,0	10,0	10,9
	Vysočany	15,0	12,0	16,0	13,1
	Libuš	8,5	6,8	9,0	7,1
2010	Karlín	20,3	16,0	22,0	17,2
	Mlynářka	11,7	8,0	11,0	12,1
	Vysočany	17,1	13,0	18,0	14,5
	Libuš	8,7	6,8	9,0	7,4

Tabulka č. 5: Popisné statistické charakteristiky pro roky 2005-2010.

Dle hodnot mediánů a průměrů je zřejmé, že nejvyšší koncentrace na všech stanicích byly zaregistrované v roce 2007. Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenané v roce 2009 pro stanici Karlín a Mlynářka, ovšem na stanicích Libuš a Vysočany se nejnižší hodnoty vyskytovaly v roce 2008. Vyšší koncentrace během jednotlivých let lze vysvětlit nepříznivými rozptylovými podmínkami, které podle informací ČHMÚ v roce 2006 a 2007 panovaly na území České republiky (ČHMÚ).

Pro porovnání jednotlivých roků mezi sebou byl sestaven také krabicový graf (viz. obrázek č. 9), který znázorňuje koncentrace hrubého aerosolu.

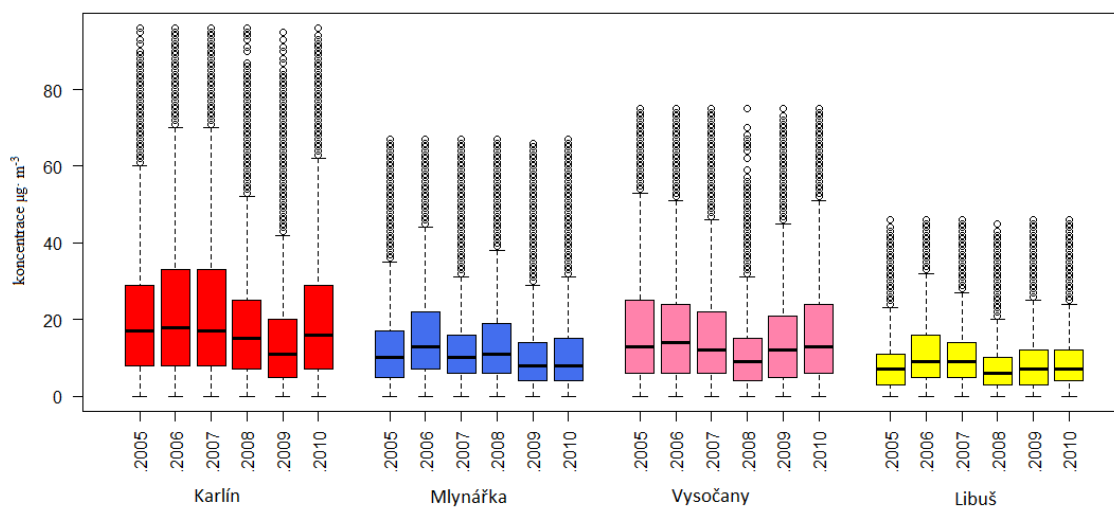


Obr. 9: Koncentrace hrubého aerosolu podle jednotlivých let.

Na Obr. 9 je velmi dobře znázorněná fluktuace koncentrace hrubého aerosolu podle jednotlivých let a stanic. Je patrné, že v každém roce měření na stanici Karlín byly zaznamenané výrazně vyšší koncentrace hrubého aerosolu než na stanici Vysocany či Mlynářka. Stanice Libuš, jakož to stanice pozad'ového typu, se vyznačuje řádově nejnižšími hodnotami koncentrace než stanice typu dopravního.

Pro potvrzení domněnky, že mediány jednotlivých let se mezi sebou liší, byl proveden Wilcoxonův párový test. Výsledky testu ukázaly, že p-hodnota téměř pro všechny dvojice je menší než stanovená hladina α , ovšem pro pár roku 2005 a 2010 se p-hodnota rovná 0,26. Vzhledem k tomu, že p-hodnota je vyšší než 0,05, nelze nulovou hypotézu pro tuto dvojici zamítnout, čili mediány dvou závislých proměnných se rovnají. I přes to, že se hodnoty mediánů liší, není tento rozdíl statisticky významný.

Vzhledem k tomu, že Wilcoxonův párový neprokázal nezávislost u jedné dvojice let, byl pro potvrzení proveden ještě Kruskalův-Wallisův test. Výsledná p-hodnota testu byla nižší než stanovená hladina α , a tím se potvrdila platnost alternativní hypotézy, která říká, že mediány ve skupinách se liší a mezi dvojicemi let nebyla prokázána žádná závislost.



Obr. 10: Koncentrace hrubého aerosolu rozdělení podle stanic

Obr. 10 znázorňuje fluktuace hodnot hrubého aerosolu na každé z čtyř stanic. Teoreticky by bylo možné odhadnout, že stanice Mlýnářka a Vysočany mohou vykazovat velmi podobné trendy v klesání a nárůstu koncentrací, protože obě stanice se nachází v blízkosti pozemních komunikací a jsou definované jako stanice dopravního typu, nicméně Obr. 10 poukazuje na rozdíly. Na stanicích Vysočany, Libuš a Karlín mají koncentrace hrubého aerosolu tvar dvojité vlny s minimem v letech 2005 a 2008 (resp. 2009 pro stanici Karlín), zatímco na stanici Mlýnářka není tento chod koncentrací pozorován.

Vzhledem k tomu, že se koncentrace hrubého aerosolu během jednotlivých let na každé stanici měnily nerovnoměrně, rozhodla jsem se k provedení statistických testů pro porovnání mediánů a závislosti během období měření pro každou stanici zvlášť.

Pro kontrolu rozdílu hodnot mediánů byl použit Wilcoxonův párový test. Při porovnávání dvojic let na stanici Karlín test prokázal, že hodnoty mediánů se mezi sebou liší během měřicího období. Pouze pro dvojici let 2005-2010 byla p-hodnota vyšší než stanovená míra spolehlivosti α . Při testování nulové hypotézy i na ostatních stanicích, byla p-hodnota menší než hladina spolehlivosti pro všechny dvojice let, kromě páru 2005-2010. Proto lze konstatovat, že hodnoty mediánů i na ostatních stanicích během pětiletého období se mezi sebou liší. Vzhledem k tomu, že koncentrace hrubého aerosolu v roce 2005 a v roce 2010 byla velmi podobná, lze předpokládat, že během provádění statistických testů se budou tyto roky projevovat jako závislé, ovšem závislost v takovém časovém rozmezí je nemožná, proto výsledky lze považovat za statisticky nevýznamné (Pöschl, 2005). Pro potvrzení této

domněnky byla pro každou ze čtyř stanic sestavena korelační matice a vypočítané korelační koeficienty, poukazující na míru na závislosti mezi jednotlivými roky (Tab. č. 6).

rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Karlín						
2005	1	0.13	-0.005	0.07	0.03	-0.02
2006		1	0.05	0.22	0.05	0.08
2007			1	0.01	0.04	0.16
2008				1	0.09	0.06
2009					1	-0.08
2010						1
Mlynářka						
2005	1	0,07	0,52	0,12	0,10	0,11
2006		1	0,05	-0,52	0,14	0,07
2007			1	0,01	0,11	0,11
2008				1	0,21	0,17
2009					1	0,24
2010						1
Vysočany						
2005	1	0,02	0,10	0,04	0,12	0,03
2006		1	0,02	0,07	-0,03	0,07
2007			1	0,04	0,01	0,09
2008				1	0,20	0,11
2009					1	0,08
2010						1
Libuš						
2005	1	0,12	0,03	0,17	0,02	-0,006
2006		1	0,11	0,01	0,009	-0,004
2007			1	-0,02	-0,05	-0,03
2008				1	0,04	0,08
2009					1	-0,02
2010						1

Tabulka č. 6: Korelační matice pro jednotlivé roky pro všechny popisované stanice.

Z hodnot v tabulce 6 je vidět, že korelační koeficient pro všechny stanice je velmi nízký, čili závislost mezi jednotlivými lety je velice slabá. U některých stanic se vyskytuje občas i záporný korelační koeficient, který poukazuje na slabou negativní závislost mezi jednotlivými lety, která může být způsobena celkovým poklesem koncentrace během měřicího období. Takový výsledek bylo možné předpokládat, jelikož podle studií se koncentrace naměřené během jednotlivých let nebudou pozitivně či negativně navzájem ovlivňovat (Kubelová et al., 2015).

Vhledem k tomu, že korelační koeficient je velmi blízko nule, provedla jsem Spearmanův test pořadové korelace významnosti korelačního koeficientu na hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$ pro dvojice let, kde jsem testovala, zda se hodnota koeficientu významně liší od nuly.

Výsledky testu prokázaly, že ne pro všechny dvojice let hodnota korelačního koeficientu se významně liší od nuly. U některých dvojic (označené v tabulce č. 6 tučně), p-hodnota je vyšší než α , čili hodnota korelačního koeficientu se od nuly neliší, a tím pádem lze potvrdit, že mezi jednotlivými dvojicemi neexistuje žádná závislost. Nicméně vzhledem k tomu, že hodnota korelačního koeficientu je i u statisticky významných hodnot velmi nízká, lze považovat, že jednotlivé roky nevykazují mezi sebou téměř žádnou závislost. U ostatních dvojic p-hodnota podle výsledků testu byla menší než 0,05, která poukazuje na to, že hodnota korelačního koeficientu se od nuly neliší, tím pádem lze konstatovat, že se mezi těmito dvojicemi let nevyskytuje se žádná lineární závislost.

Popisně statistické charakteristiky a provedené testy prokázaly, že koncentrace hrubého aerosolu se každý rok měnila a nebyl prokázán žádný vztah nárůstu či poklesu koncentrace aerosolu v závislosti na roce předchozím. Uvedené obrázky a statistické charakteristiky potvrzují domněnku o tom, že roční chod koncentrace hrubého aerosolu je přímo závislý nejen na zdrojích znečištění, ale také na meteorologických a rozptylových podmínkách během jednotlivých let (V. Ramanathan^{1,*}, P. J. Crutzen^{1, 2}, J. T. Kiehl, 2001).

4.3. Sezonní analýza

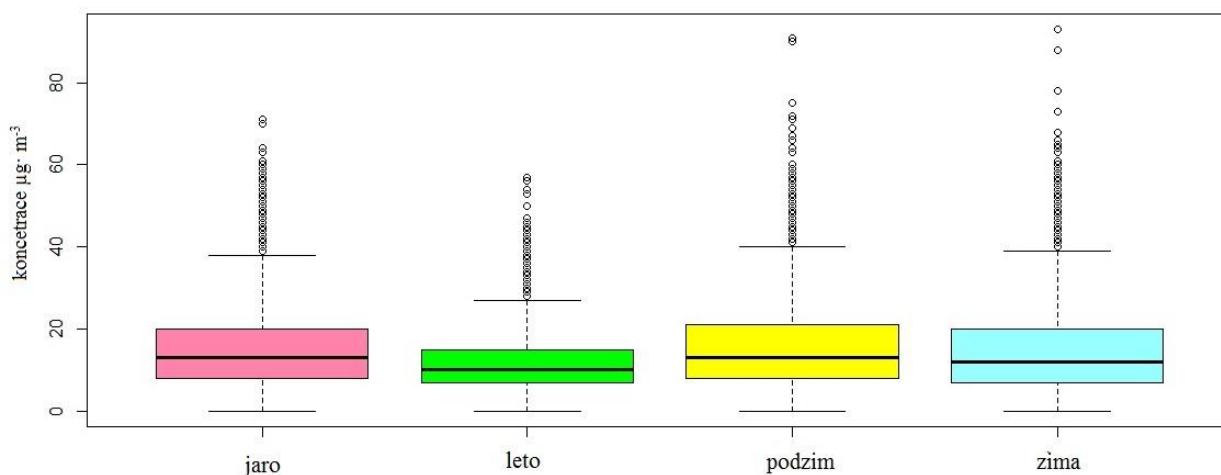
Při analýze ročního vývoje koncentrace hrubého aerosolu musíme vzít v úvahu, že Praha leží na severní polokouli. Podnebí na celém území České republiky je mírné, přechodné mezi oceánským a kontinentálním s typickým střídáním čtyř ročních období (stejně jako v celé střední Evropě). V tabulce č. 7 jsou představené popisné statistické charakteristiky pro každé roční období pro všechny stanice vypočítané ze všech dostupných dat.

	Průměr ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Medián ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Mezikvartilové rozpětí ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
Jaro	14,8	13,0	12,0	9,6
Léto	11,7	10,0	8,0	6,8
Podzim	15,3	13,0	8,0	10,3
Zima	14,9	12,0	8,0	11,8

Tabulka č. 7: *Popisné statistické charakteristiky stanic pro roční období.*

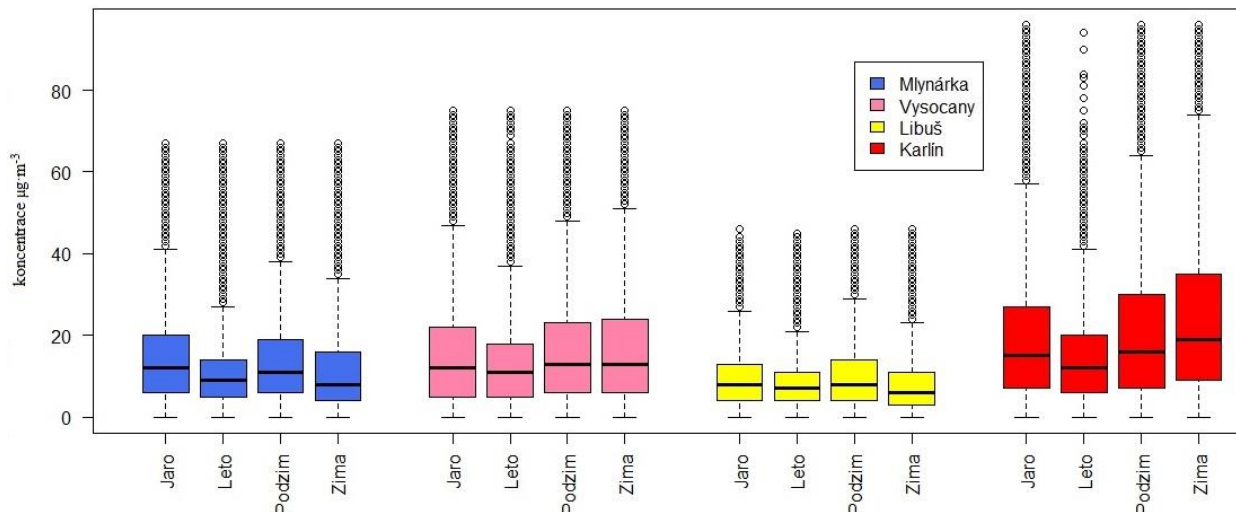
Z hodnot přestavených v tabulce je vidět, že nejvyšší průměrné koncentrace hrubého aerosolu byly naměřené během podzimu, nejnižší koncentrace připadají na letní období. Podíváme-li se na hodnoty mediánů, je vidět, že jsou stejné pro jaro a podzim. Popisné statistické charakteristiky ukazují, že během studenějších ročních období jsou koncentrace hrubého aerosolu vyšší. Podle již provedených studií na území Hlavního města Praha se prokázalo, že hmotnostní koncentrace aerosolu jsou vyšší v zimních měsících (Kubelová et al., 2015). Během zimního období k znečištění ovzduší ve městech přispívá i využití lokálních topenišť. Na území České republiky se často vyskytují inverzní situace se špatnými rozptylovými podmínkami, a proto v zimě koncentrace hrubého aerosolu, způsobené nedokonalým spalováním, jsou vyšší (Pokorná et al., 2013). Do jaké míry studené měsíce podzimu a jara ovlivňují koncentrace hrubého aerosolu, se podíváme v následující kapitole Roční chod.

Na obr. č. 11 jsou znázorněna roční období během měřicího intervalu mezi roky 2005 - 2010.



Obr. 11: Koncentrace hrubého aerosolu podle ročních období.

Obrázek 11 znázorňuje chod koncentrace hrubého aerosolu za měřicí období. Je patrné, že koncentrace hrubého aerosolu klesá během letního období a roste během studenějších měsíců. Ovšem obrázek 11 neznázorňuje, jak se měnila koncentrace hrubého aerosolu na každé stanici konkrétně, proto byl sestaven další graf (viz Obr. 12), kde je představen chod koncentrace hrubého aerosolu na každé měřicí stanici během různých ročních období.

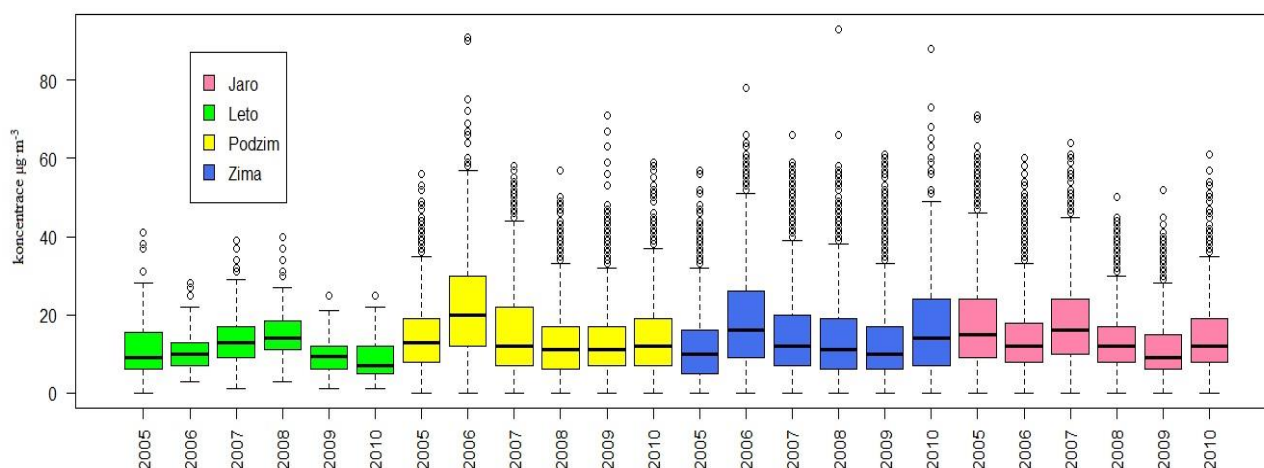


Obr. 12: Koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každou stanici.

Obrázek 12 znázorňuje změny v koncentraci hrubého aerosolu na každé ze čtyř měřicích stanic během každého ročního období. Je vidět, že nejvyšší rozdíl koncentrace hrubého aerosolu připadá na interval mezi letním a zimním obdobím. Tento rozdíl je patrně vyšší u stanic dopravního typu než u stanice pozad'ové. Společným prvkem všech čtyř stanic je pokles koncentrace hrubého aerosolu při přechodu jarního období v letní a následný narůst při

změně léta na podzim. Nicméně roční chod koncentrace aerosolu v závislosti na ročním období se na každé stanici liší. Tak například na stanici Mlynářka při přechodu podzimního období v zimu koncentrace aerosolu klesají, podobné se děje i na stanici Libuš, na stanici Vysočany je mezi podzimními a zimními koncentracemi jen minimální rozdíl, ovšem stanice Karlín se vyznačuje nárůstem koncentrace aerosolu mezi podzimem a zimou. Rozdíl v chování koncentrace hrubého aerosolu během stejného ročního období se může lišit vlivem lokálních zdrojů znečištění a místními rozptylovými podmínkami. Vzhledem k tomu, že stanice Karlín je lokalizována velmi blízko centra města, postupný nárůst koncentrace od letního období k zimnímu může být způsoben vlivem smogu, který je charakteristický během studenějších měsíců pro centrální části města. Další příčinou zvýšení koncentrace aerosolu může posloužit i vyšší hustota osídlení a s tím spojené větší koncentrace lokálních topenišť, které se intenzivně využívají během studených měsíců.

Pro znázornění chodu koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každý rok měření byl sestaven Obrázek 13.



Obr. 13: Koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každý rok měření

Obrázek 13 znázorňuje změny v koncentraci hrubého aerosolu podle jednotlivých ročních období a let. Je patrné, že v průběhu měřicího období 2005 -2010 se koncentrace hrubého aerosolu během jednotlivých ročních sezón měnila. Např. v letním období od roku 2006 do roku 2008 byl zaznamenán jemný nárůst koncentrace aerosolu, ovšem tento trend se neopakuje ani v jednom z dalších ročních období. V zimních a podzimních měsících byly zaregistrované vyšší koncentrace v roce 2006, ovšem v jarních a letních měsících rok 2006 nevyčnívá z průměru. Letní období během měřicího období vykazuje značně nižší koncentrace než měsíce podzimní či zimní. Z obrázku 13 je vidět, že nejvíce se měnila

koncentrace během jarního a letního období, když během podzimu a zimy začínající rokem 2006 byla koncentrace hrubého aerosolu bez větších změn. Drobná zvýšení koncentrace aerosolu byly registrovány v některých letech během letních měsíců, zvýšení se vyskytovalo pravděpodobně kvůli tvorbě fotochemického smogu (Braniš,2009). Tato zvýšení však nedosahují koncentrací v zimních měsících. Další grafy, které znázorňují průběh koncentrace během jednotlivých let a ročních období na každé ze čtyřech měřících stanicích naleznete v příloze. Obr. I znázorňuje koncentrace hrubého aerosolu během jednotlivých ročních období v průběhu měřícího období. Obr. II až V zobrazuje kolísání koncentrace hrubého aerosolu během ročních období na každé stanici od roku 2005 do roku 2006.

Vzhledem k tomu, že hodnoty mediánů pro některé roční období se rovnají, rozhodla jsem provést Wilcoxonův párový test pro ověření rozdílů. I přes to, že se podle popisných statistických charakteristik hodnoty mediánů pro roční období Jaro a Podzim rovnají, test prokázal, že mediány jsou pro tuto dvojici odlišné, ale hodnoty mediánů pro dvojici Jaro – Zima se mezi sebou významně neliší, jelikož stanovená p-hodnota byla vyšší než hladina spolehlivosti α .

Ovšem pro potvrzení výsledků předchozího testu, jsem provedla Kruskalův-Wallisův test, kde předpokladem nulové hypotézy je že, mediány ve všech skupinách (výběrech) se rovnají. Výsledná p-hodnota Kruskalova-Wallisova testu byla nižší než stanovená hladina spolehlivosti, proto je možné nulovou hypotézu zamítnout. Byla tak potvrzena existence ročního chodu v koncentracích hrubého aerosolu.

Pro ověření domněnky, zda koncentrace hrubého aerosolu v jednom ročním období závisí na koncentraci v období předchozím, jsem sestavila korelační matici a vypočítala korelační koeficienty, na základě kterých lze posoudit, zdali je míra závislosti významná či nikoliv. Hodnoty korelačních koeficientů, jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Roční období	Jaro	Léto	Podzim	Zima
Jaro	1	0,11	0,06	-0,009
Léto		1	0,06	0,024
Podzim			1	0,098
Zima				1

Tabulka č. 8: Korelační matice koncentrací hrubého aerosolu v jednotlivých ročních obdobích, vypočtená ze všech dostupných dat.

Z uvedených hodnot korelačních koeficientů je zřejmé, že nejvyšší míru závislosti prokazují letní a jarní období, nicméně hodnoty všech koeficientů jsou velmi blízké nule. Pro otestování zda se koeficienty významně liší od nuly či nikoliv byl použit Spearmanův test pořadové korelace významnosti na hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Po provedení testu se ukázalo, že téměř pro všechny dvojice p-hodnota je mnohem nižší než α , což znamená, že hodnoty korelačních koeficientů se významně liší od nuly. Ovšem při testování korelačního koeficientu pro dvojici Jaro – Zima byla p-hodnota vyšší než hodnota α , a tedy lze konstatovat, že hodnota korelačního koeficientu se od nuly neliší, tedy mezi zimním a letním ročním obdobím neexistuje žádná závislost.

Provedené statistické testy prokázaly absenci závislosti koncentrace hrubého aerosolu mezi jednotlivými ročními obdobími. Analýza stanic podle ročních období prokázala trend mírného nárůstu koncentrace hrubého aerosolu s klesající teplotou. Tento výsledek pouze potvrzuje domněnku, že na území hlavního města Prahy lokální topeniště stále patří mezi významné zdroje znečištění ovzduší (Braniš & Hůnová, 2009). Nejvyšší hodnoty koncentrace hrubého aerosolu byly zaznamenány v podzimním období. Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány během letního období. Řada studií prokázala, že hlavním zdrojem aerosolových částic během studených měsíců je vytápění domácností, které se charakterizuje téměř konstantními hladinami aerosolu ve vzduchu po dobu topné sezóny (Kubelová et al., 2015). Zatímco během letních měsíců hlavním zdrojem aerosolu je spíše automobilová doprava (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001). Významné změny v koncentraci hrubého aerosolu během podzimních a zimních měsíců může být způsobena změnou hlavních zdrojů znečištění také a intenzitou působení zdrojů stálých, např.: dopravní prostředky, lokální topeniště a také vliv meteorologických podmínek (Dongarrà, Manno et al., 2010). Provedené studie prokázaly, že zvýšení koncentrace aerosolových částic během podzimních měsíců může být způsobeno hlavně spalováním biomasy, začátkem sezony sklizně a také zeslabením či změnou směru větru (Sun et al., 2013).

Ovšem nelze vyloučit i významný vliv místních klimatických a meteorologických podmínek na koncentrace hrubého aerosolu v městském prostředí. Meteorologické podmínky během ročních období mohou hrát významnou roli v nárůstu či poklesu koncentrace, je setrvání v atmosféře, dynamice a také depozici (Pöschl, 2005). Pro oblasti vyššího tlaku vzduchu jsou charakteristické minimální schopnosti promíchávání. Vzhledem k tomu, že vzdušné hmoty se nepromíchávají, celková koncentrace aerosolu v ovzduší během anticyklon může být vyšší. Na opačné straně během cyklon, tedy oblastí nižšího tlaku vzduchu, se vzdušné hmoty

intenzivně promíchávají, a proto koncentrace aerosolu mohou být i řádově nižší, nicméně podmínky promíchání atmosféry mohou být také ovlivněné místním mikrorelíéfem (Bednář, 2003). Rychlost a směr větru mohou zapříčinit dálkový atmosférický transport částic (Langner et al., 2011).

4.4. Roční chod

Pro pochopení jak přesně se koncentrace hrubého aerosolu mění v průběhu roku, rozhodla jsem provést statistickou analýzu podle jednotlivých měsíců v roce.

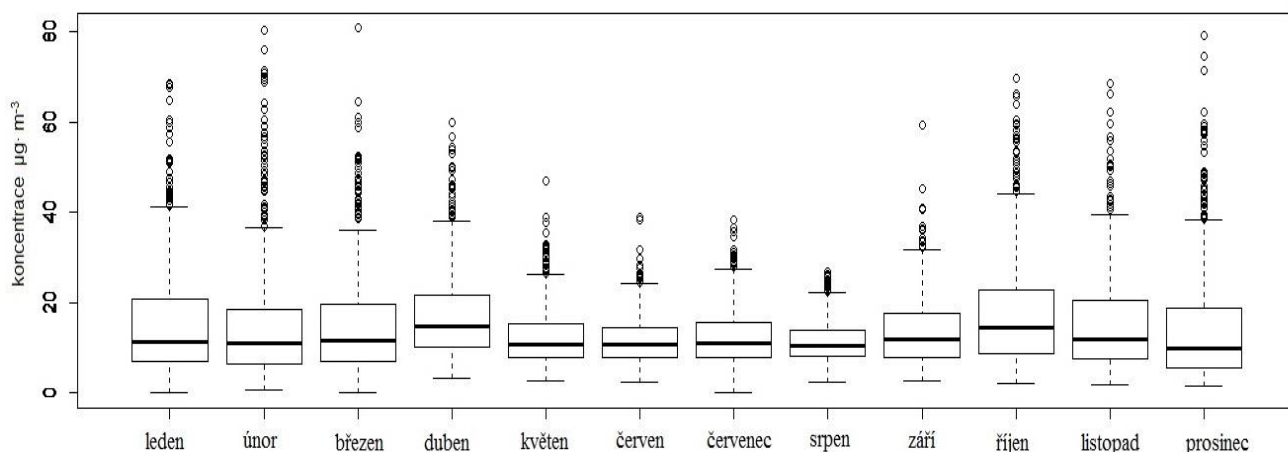
Pro každý měsíc byly spočítány statistické popisné charakteristiky, které jsou přestavené v tabulce č. 9. Roční chod koncentrací hrubého aerosolu je znázorněn také na obr. 14.

Měsíce	Průměr ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Medián ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Mezikvartilové rozpětí ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
Leden	16,0	13,0	8,0	11,4
Únor	14,5	11,4	8,4	11,1
Březen	15,2	12,4	8,3	10,9
Duben	16,7	14,8	7,3	9,7
Květen	12,3	10,6	5,9	7,5
Červen	11,4	10,3	4,6	6,4
Červenec	12,4	10,6	5,5	7,6
Srpen	11,1	10,0	4,3	6,3
Září	13,3	11,3	6,3	8,4
Říjen	17,1	14,6	8,6	11,4
Listopad	15,1	12,5	8,3	10,3
Prosinec	14,0	11,1	8,0	10,7

Tabulka č. 9: Popisné statistické charakteristiky koncentrací hrubého aerosolu pro jednotlivé měsíce.

Podle popisných statistických charakteristik je vidět, že zvýšené koncentrace hrubého aerosolu byly zaznamenány ve studenějších měsících, přibližně od října do dubna. Tyto hodnoty pouze potvrzují již dříve popsanou domněnku o vlivu lokálních topenišť na koncentraci hrubého aerosolu v ovzduší. Na přelomu září a října, v závislosti na teplotě na území České republiky, začíná topná sezóna. Přesná pravidla pro začátek topné sezóny upravuje prováděcí vyhláška. Rozhodující pro začátek topné sezóny je po dva dny venkovní teplota menší nežli $+13^{\circ}\text{C}$ a nelze očekávat oteplení (Zákony pro lidi).

Z tabulky 9 obr. 14 je patrné, že v průběhu roku koncentrace hrubého aerosolu klesá s růstem teploty prostředí a naopak se zvyšuje při snížení venkovních teplot. Během měřicího období se prokázalo, že v letních měsících byly nejnižší koncentrace hrubého aerosolu zaregistrovány v srpnu, v jarním období se nejnižší koncentrace vyskytovaly v květnu, ovšem ty nejvyšší byly naměřené v dubnu. Na podzim koncentrace hrubého aerosolu mírně rostou a vrchol přichází na měsíc říjen. Během zimních měsíců se koncentrace hrubého aerosolu měnila minimálně.



Obr. č. 14 : Roční chod koncentrací hrubého aerosolu, vypočtená ze všech dostupných dat.

Vzhledem k tomu, že hodnota mediánů pro některé měsíce v roce se liší minimálně, rozhodla jsem se provést Wilcoxonův párový test a porovnat hodnoty mediánů mezi sebou pro vybrané dvojice. Test prokázal, že mediány následujících dvojic měsíců se neliší: Březen – Listopad, Červen – Srpen, Únor – Prosinec, Duben – Říjen, Květen – Červenec, Září – Prosinec. Pro všechny ostatní dvojice byla p-hodnota nižší než stanovená hladina spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Podle dvojic, jichž mediány se rovnají, lze vyvodit, že koncentrace hrubého aerosolu v jednotlivých měsících, ovšem v různých ročních obdobích je velice podobná.

Pro otestování domněnky, zda mají koncentrace hrubého aerosolu v jednotlivých měsících stejnou distribuci, jsem použila Kruskalův-Wallisův test. Za nulovou hypotézu bylo stanoveno, že data ve všech měsících mají stejnou distribuci. Výsledná p-hodnota byla menší než stanovená hladina spolehlivosti α , a proto jsem nulovou hypotézu zamítla, a tím jsem potvrdila, že data nemají stejnou distribuci, a tedy že v časové řadě existuje roční chod.

Pro porovnání míry závislosti koncentrace hrubého aerosolu mezi měsíci jsem sestavila korelační matici, jejíž výsledky jsou uvedené v tabulce 10.

měsíce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Leden	1	-0,01	-0,09	-0,09	-0,08	0,04	0,14	0,01	0,07	-0,02	0,16	-0,04
Únor		1	0,08	-0,08	-0,03	0,05	0,03	0,03	-0,06	0,09	0,11	0,05
Březen			1	0,13	0,12	0,11	0,08	0,07	0,05	0,14	-0,01	-0,03
Duben				1	0,17	0,08	0,16	0,04	0,05	0,05	0,01	-0,07
Květen					1	0,06	0,01	0,06	0,11	-0,01	-0,01	0,02
Červen						1	0,16	0,12	0,16	0,16	-0,03	-0,02
Červenec							1	0,05	0,17	0,07	0,08	0,04
Srpen								1	0,09	0,09	0,01	-0,04
Září									1	0,18	0,14	0,12
Říjen										1	-0,09	0,02
Listopad											1	0,13
Prosinec												1

Tabulka č. 10: Korelační matice pro jednotlivé měsíce.

Korelační koeficienty pro měsíce jsou velmi blízké nule, tudíž je zřejmé, že neexistuje žádná závislost, a proto lze říci, že koncentrace aerosolu v jednom měsíci není ovlivněna hodnotami koncentrace měsíce předešlého. Vzhledem k tomu, že hodnota korelačního koeficientu je velice nízká, provedla jsem Spearmanův test pořadové korelace významnosti korelačního koeficientu na hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Výsledky testu prokázaly, že většina korelačních koeficientů se od nuly liší, ovšem pro některé dvojice jako např. Duben – Listopad, Březen – Listopad, Leden – Srpen apod. se hodnota korelačního koeficientu od nuly neliší, tím pádem mezi stanovenými dvojicemi neexistuje žádná statisticky významná lineární závislost. Daný test pouze potvrdil myšlenku o tom, že vysoké hodnoty koncentrace hrubého aerosolu v jednotlivých měsících ročního období nebudou ovlivňovat koncentrace aerosolových částic v jiných ročních obdobích, jelikož časový rozdíl je příliš veliký. Ovšem korelační koeficienty poukazují na velmi slabou závislost mezi za sebou jdoucími měsíci. Tak například negativní korelační koeficient pro měsíce Leden – Únor, Leden – Březen, Leden – Duben a Leden – Květen podtrhuje trend klesání koncentrace hrubého aerosolu s rostoucí venkovní teplotou, ovšem tato závislost je velice slabá.

Analýza ročního chodu potvrdila trend nárůstu a klesání koncentrace hrubého aerosolu v závislosti na venkovní teplotě a klimatických podmínkách. V důsledku změn teploty prostředí se mění také složení zdrojů znečištění, které významně ovlivňují koncentrace aerosolových částic v městském ovzduší. Během studeného období se kromě automobilové dopravy intenzivněji využívají lokální topeniště. I přes to, že lokální topeniště patří spíše mezi zdroje znečištění menších obcí, ovšem v zimním období mohou přispět ke znečištění i ve velkých městech, především ve vilových zástavbách a oblastech s rodinnými a staršími bytovými domy (Pokorná et al., 2013).

4.5. Týdenní chod

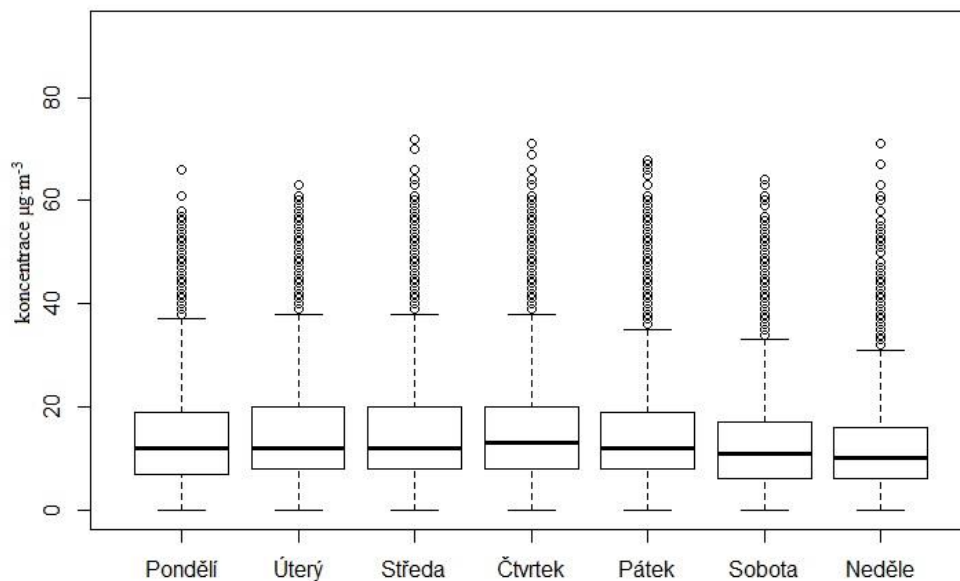
Aerosolové částice v městském prostředí vznikají hlavně v důsledku lidské činnosti, zejména z výfuků vozidel, spalovacími procesy jako např. vytápění prostoru, výroba energie, spalování odpadu a biomasy (Moreno, Jones, & Richards, 2004). Vzhledem k tomu, že v Praze mezi hlavní zdroje aerosolu patří doprava (Braniš, 2009), lze očekávat, že se koncentrace hrubého aerosolu bude měnit v závislosti na intenzitě dopravy. Řada studií, která se zabývala zkoumáním denního kolísání koncentrace aerosolu v městském prostředí, prokázala, že koncentrace částic v ovzduší jsou vyšší během pracovních dní než o víkendu (Khoder & Hassan, 2008). Pro zkoumání předpokladu, zda se v Praze vyskytuje podobný trend, jsem provedla řadu statistických testů.

Den v týdnu	Průměr ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Medián ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Mezikvartilové rozpětí ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
Pondělí	14,3	11,8	7,2	9,7
Úterý	14,7	12,2	7,4	9,9
Středa	14,8	12,3	7,3	10,0
Čtvrtek	15,2	12,7	7,3	10,3
Pátek	14,7	12,3	7,1	14,7
Sobota	12,8	10,6	6,2	8,8
Neděle	12,2	10,0	6,0	8,5

Tabulka č. 11: Popisné statistické charakteristiky pro měsíce.

Z hodnot představených v tabulce 11 je vidět, že se potvrzuje trend nárůstu koncentrace hrubého aerosolu během pracovních dnů a klesání o víkendu, kdy intenzita dopravy klesá. Maximální průměrné koncentrace aerosolu byly zaznamenány ve čtvrtek, nejnižší hodnoty připadají na neděli. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší koncentrací představuje $3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Týdenní chod koncentrace hrubého aerosolu je představen také na Obr. 15.



Obr. 15 : Týdenní chod koncentrace hrubého aerosolu

Z obrázku 15 je vidět vývoj koncentrace hrubého aerosolu během týdne, kdy od pondělí do čtvrtka koncentrace aerosolu rostou a od pátku je zaznamenán mírný pokles až do neděle. Statistické popisné charakteristiky a grafické znázornění týdenního chodu potvrzují, že se v Praze naměřených koncentracích hrubého aerosolu opakuje trend, který byl zaznamenán v řadě ostatních evropských měst (Putaud et al., 2010).

Pro porovnání hodnot mediánů pro každý den v týdnu jsem použila Wilcoxonův párový test, který prokázal, že hodnoty mediánů se mezi sebou významně liší.

Pomocí Kruskalova – Wallisova testu, jsem ověřila, jestli se distribuce koncentrace aerosolu pro jednotlivé dny v týdnu liší. Vzhledem k tomu, že p-hodnota je nižší než 0,05, lze potvrdit, že data jsou distribuované odlišně pro každý den.

Následně jsem pro otestování míry závislosti mezi jednotlivými dny sestavila korelační matici, která je představena v tabulce č. 12.

Dní v týdnu	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Pondělí	1	0,42	0,31	0,30	0,26	0,29	0,39
Úterý		1	0,45	0,33	0,25	0,24	0,28
Středa			1	0,44	0,32	0,21	0,23
Čtvrtek				1	0,41	0,17	0,24
Pátek					1	0,16	0,20
Sobota						1	0,42
Neděle							1

Tabulka č. 12: Korelační matice pro dni v týdnu.

Hodnota korelačních koeficientů, představených v tabulce č. 12 ukazuje, že koncentrace hrubého aerosolu v jednotlivých dnech v týdnu je mezi sebou závislá. Pro otestování domněnky, zda můžeme hodnotu korelačního koeficientu považovat za významnou, jsem provedla Spearmanův test pořadové korelace na hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$. Výsledky testu prokázaly, že spočítané korelační koeficienty se od nuly významně liší. Je vidět, že míra nejvyšší závislosti se vyskytuje téměř vždy u dvou za sebou jdoucích dnů, např.: Pondělí – Úterý, Středa – Čtvrtek apod. Se stoupajícím rozmezím mezi jednotlivými dny v týdnu klesá i míra korelace. Nejnižší míra závislosti byla stanovena pro dni Pátek a Sobota. Považujeme-li za hlavní zdroj hrubého aerosolu dopravu, lze předpokládat, že intenzita dopravy v sobotu je mnohem nižší než v pátek.

Vhledem k tomu, že každá ze čtyř imisních stanic je umístěna v různých částech města, rozhodla jsem zkontrolovat distribuci hrubého aerosolu pro každou z nich a také prozkoumat, jak se mění týdenní kolísání aerosolu během ročních období. Nejdřív jsem provedla stručnou analýzu naměřených hodnot hrubého aerosolu pro každou stanicí během týdne. Pro každou stanicí jsem spočítala popisné statistické charakteristiky na každý den v týdnu během měřicího období. Výsledky jsou představené na v tabulce č. 13.

Podle hodnot průměrů, které byly spočítané pro každou stanicí zvlášť, je zřejmé, že nejvíce bude antropogenními zdroji znečištění ovlivněna stanice Karlín, dále Vysočany, Mlynářka a nejméně bude ovlivněna stanice pozad'ového typu Libuš. U všech stanic dosahuje hodnota průměru svého maxima ve čtvrtek a minima v neděli. Týdenní koncentrace na stanici Libuš jsou téměř dvakrát nižší než na stanici Karlín ve stejném období. Největší rozdíl v koncentraci aerosolu během týdne byl zaznamenán na stanici Vysočany, kde maximální čtvrteční koncentrace odpovídají hodnotě $16,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a minimální nedělní koncentrace odpovídají hodnotě $13,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Pro každou stanici jsem provedla kontrolu distribuci koncentrace aerosolu za pomoci Kruskalova – Wallisova testu. Pro všechny stanice p-hodnota byla nižší než stanovená hodnota α , tudíž se podědila domněnka o tom, že distribuce hrubého aerosolu na každé stanici se liší.

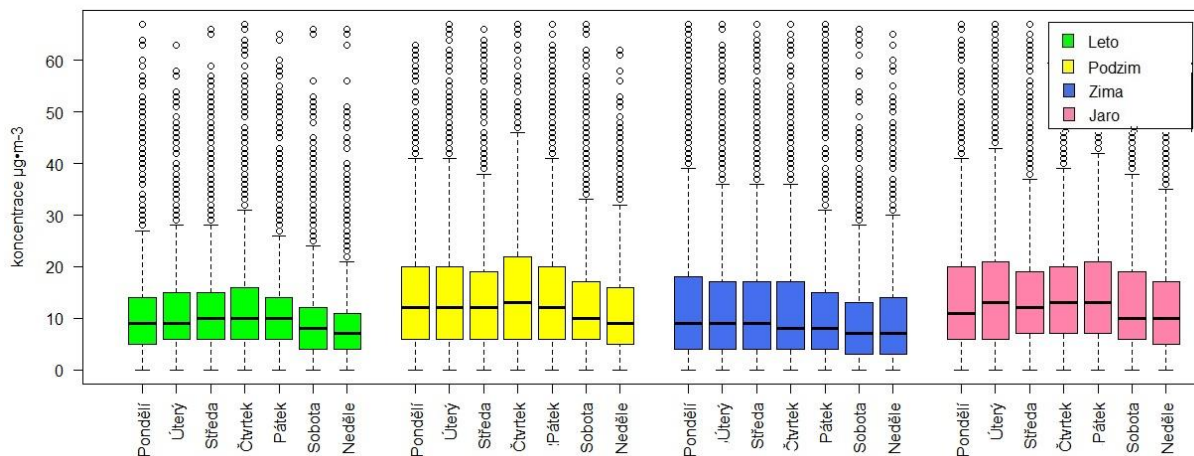
Stanice	Dni v týdnu	Průměr ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Medián ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Mezikvartilové rozpětí ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Směrodatná odchylka ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
Mlynářka	Pondělí	13,5	10,0	8,0	11,9
	Úterý	13,6	10,0	8,0	11,5
	Středa	13,6	11,0	7,0	11,7
	Čtvrtek	14,2	11,0	7,0	11,9
	Pátek	13,5	10,0	8,0	11,6
	Sobota	11,7	9,0	10,0	10,9
	Neděle	11,2	8,0	11,0	10,4
Karlín	Pondělí	19,8	15,0	12,0	17,6
	Úterý	20,9	16,0	13,0	18,4
	Středa	21,1	16,0	14,0	18,0
	Čtvrtek	21,3	16,0	13,0	18,2
	Pátek	20,6	16,0	12,0	17,8
	Sobota	18,4	14,0	11,0	16,4
	Neděle	17,4	13,0	11,0	15,8
Vysočany	Pondělí	16,1	12,0	10,0	14,1
	Úterý	16,6	13,0	10,0	14,3
	Středa	16,4	13,0	10,0	14,3
	Čtvrtek	16,6	13,0	10,0	14,3
	Pátek	16,4	13,0	9,0	14,2
	Sobota	14,0	11,0	14,0	12,5
	Neděle	13,7	11,0	14,0	12,4
Libuš	Pondělí	9,6	7,0	4,0	8,03
	Úterý	9,5	7,0	4,0	7,9
	Středa	9,4	7,0	5,0	7,9
	Čtvrtek	10	8,0	5,0	8,1
	Pátek	9,6	8,0	5,0	7,8
	Sobota	8,6	7,0	5,0	7,1
	Neděle	7,8	6,0	4,0	6,7

Tabulka č. 13: popisné statistické charakteristiky podle stanic na každý den v týdnu.

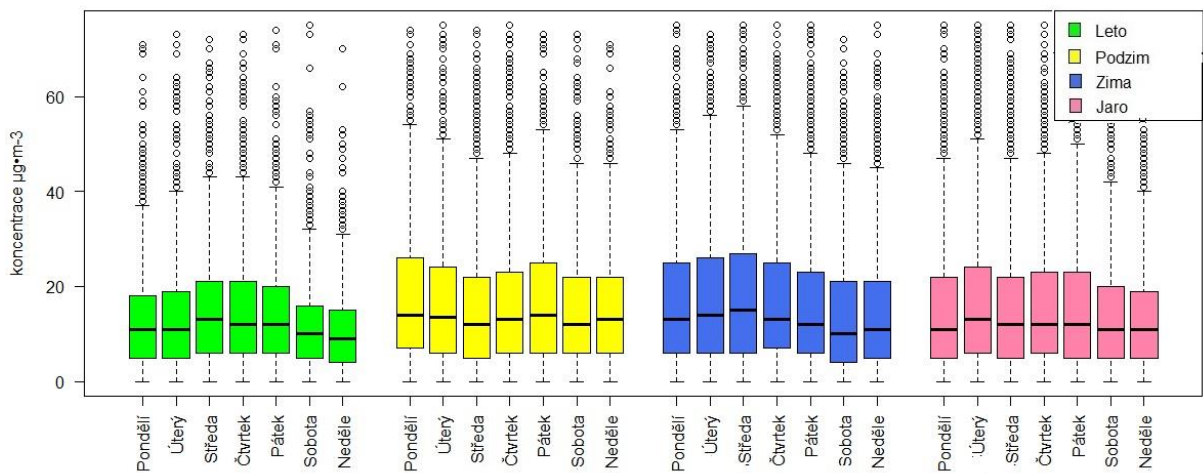
Pro otestování míry závislosti denních koncentrací pro každou stanici byly spočítané korelační koeficienty, jejichž významnost se ověřila Spearmanovým testem. Hodnoty korelačních koeficientů jsou představené v tabulce č. I.

Pro všechny stanice korelační koeficienty nabývají kladných hodnot, tím se potvrzuje kladná korelace mezi jednotlivými dny v týdnu a domněnka, že vyšší koncentrace hrubého aerosolu naměřené během jednoho dne nepříznivě ovlivňují koncentrace v den následující. Nejvyšší hodnoty korelačních koeficientů byly stanovené pro stanici stánici Mlynářka, což může vypovídat o vlivu místních rozptylových podmínek. V městském prostředí mohou budovy, ulice i zeleň posloužit jako překážka při rozptylu aerosolu a tím způsobit zvýšení koncentrace aerosolu (Dos Santos-Juusela, Petäjä, Kousa, & Hämeri, 2013). Vezmeme-li v úvahu tento předpoklad, lze tímto vysvětlit vyšší korelaci na stanici Mlynářka i přes to, že vyšší průměrné hodnoty byly zaznamenány na stanici Karlín. Existuje celá řada procesů, které mají vliv na vývoj atmosférického aerosolu v městském prostředí, jako je například ředění, kondenzace, depozice či koagulace. Studia prokázala, že proces ředění aerosolu v pozadových lokalitách je efektivnější v důsledku lepšího promíchávání vzduchových hmot o různých teplotách (Olivares et al., 2007). Proto je možné předpokládat, že na stanicích, kde míra korelace je nižší, panují lepší rozptylové podmínky.

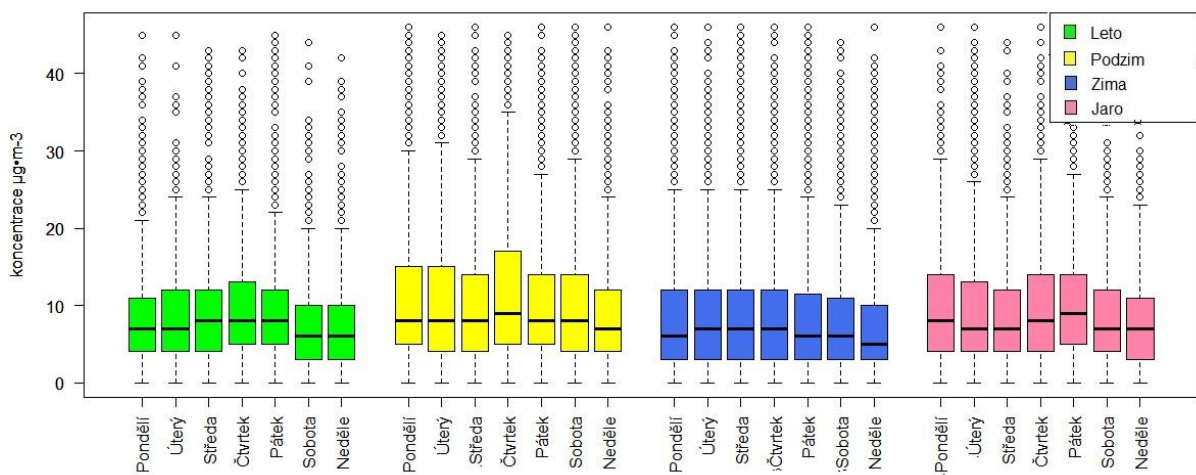
Pro znázornění týdenního chodu koncentrace hrubého aerosolu během ročních období na každé ze čtyř imisních stanic jsem sestavila obrázky č. 16 až 19, které jsou představené níže.



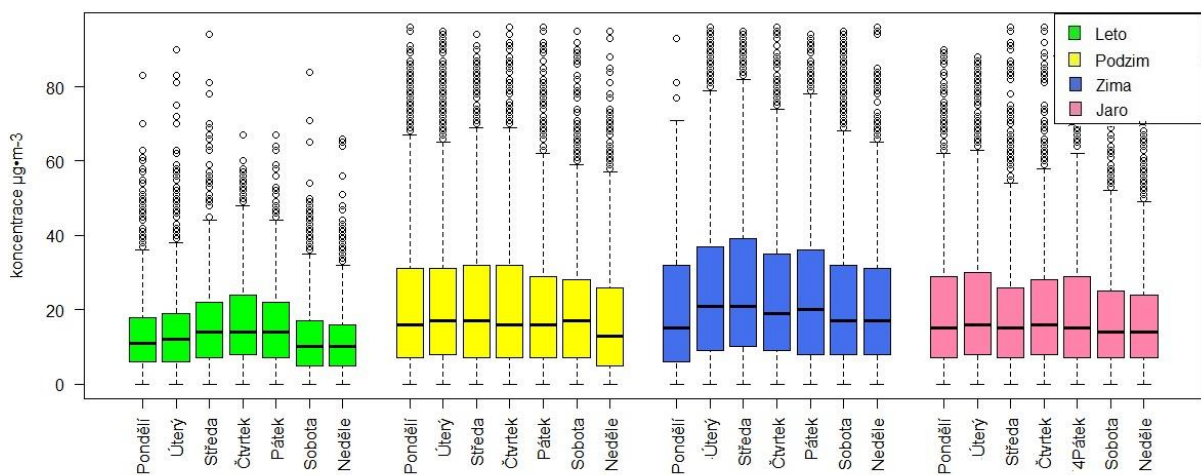
Obr. 16 : Týdenní chod koncentrace hrubého aerosolu podle ročních období, Mlynářka.



Obr. 17 : Týdenní chod koncentrace hrubého aerosolu podle ročních období, Vysočany.



Obr. 18 : Týdenní chod koncentrace hrubého aerosolu podle ročních období, Libuš.



Obr. 19 : Týdenní chod koncentrace hrubého aerosolu podle ročních období, Karlín.

Z obrázků 16 až 19 je vidět, že týdenní kolísání hrubého aerosolu během ročních období se liší. V teplejších měsících se projevuje vyšší variabilita ve změnách koncentrací jak během

pracovních dnů, tak i během víkendu. Studené měsíce se vyznačují menší variabilitou během pracovní části týdne, nicméně trend poklesu koncentrace během víkendu byl zaznamenán stejně jako i v teplejším období roku. I v další literatuře se uvádí, že hrubý aerosol vykazuje vysokou prostorovou variabilitu koncentrací v každém ročním období (Kumar et al., 2012).

Při porovnání vývoje koncentrace hrubého aerosolu mezi stanicemi během letní sezóny je zřejmé, že nezávisle na lokalitě vykazuje průběh koncentrace trend mírného nárůstu od pondělí do čtvrtka s následným poklesem od čtvrtka do neděle. Nicméně pro ostatní roční období kolísání hrubého aerosolu během pracovních dnů nelze spojit společným znakem. V závislosti na ročním období se mění i týdenní variabilita hrubého aerosolu, tento fakt pouze potvrzuje již dříve vyjádřený předpoklad o vlivu meteorologických podmínek na koncentrace hrubého aerosolu. Ovšem během víkendu je na každé stanici nezávisle na ročním období zaznamenán pokles hrubého aerosolu. Tento fakt dokazuje, že dopravní prostředky v městském prostředí hrají zásadní roli v dynamice hrubého aerosolu.

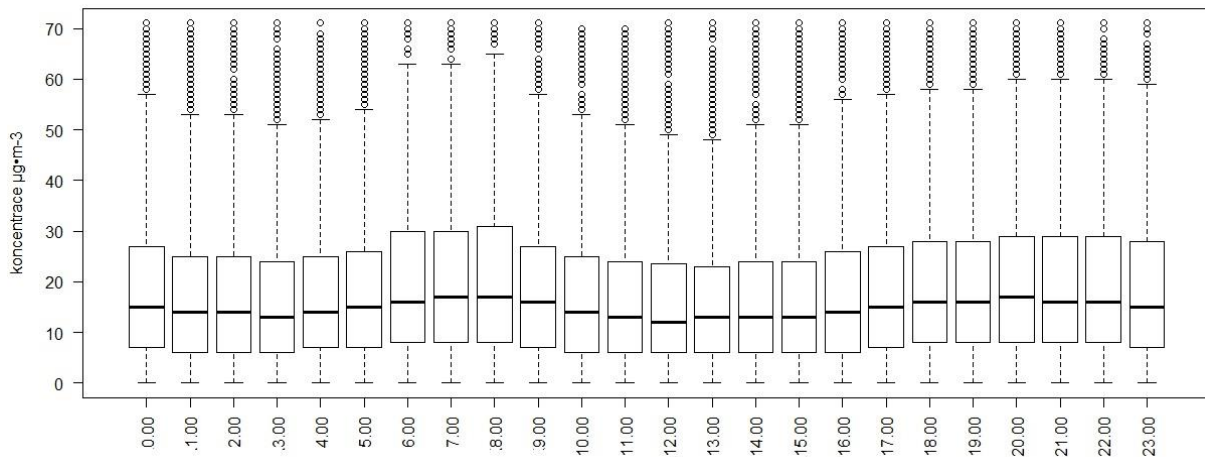
Rozhodla jsem otestovat, jestli se koncentrace hrubého aerosolu naměřené na každé z imisních stanic liší během jednotlivých dní v týdnu. Pro porovnání rozdílů jsem použila Wilcoxonův párový test. Výsledky testu prokázaly absence shody v hodnotách koncentrace během týdne na každé stanici. Tento jev může být vysvětlen faktem, že hrubý aerosol setrvává v atmosféře pouze po dobu několika minut a sedimentuje v těsné blízkosti zdroje znečištění. Koncentrace částic v daném okamžiku může být závislá na povětrnostních podmínkách, zejména na teplotě a množství dešťových srážek, a také síle a směru větru (Moreno et al., 2004).

Provedená statistická analýza týdenního chodu prokázala, že koncentrace hrubého aerosolu v Praze prokazují trend mírného nárůstu částic s dosaženým maximem ve čtvrtek a následně klesají s minimálními hodnotami zaznamenanými v neděli. Podobný trend kolísání koncentrace aerosolu byl prokázán i v řadě jiných měst evropského kontinentu (Putaud et al., 2010). Považujeme-li za hlavní zdroj znečištění ovzduší ve městech automobilovou dopravu, je zcela jasné, že zvýšení dopravní intenzity ponese s sebou jako následek zvýšení koncentrace aerosolových částic v ovzduší. Vzhledem k tomu, že v České republice pracovní týden začíná v pondělí a končí v pátek, nárůst koncentrace hrubého aerosolu odpovídá těmto dnům v týdnu. Během víkendu intenzita automobilové dopravy v městském prostředí klesá, tudíž klesání koncentrace hrubého aerosolu (Colvile et al., 2001).

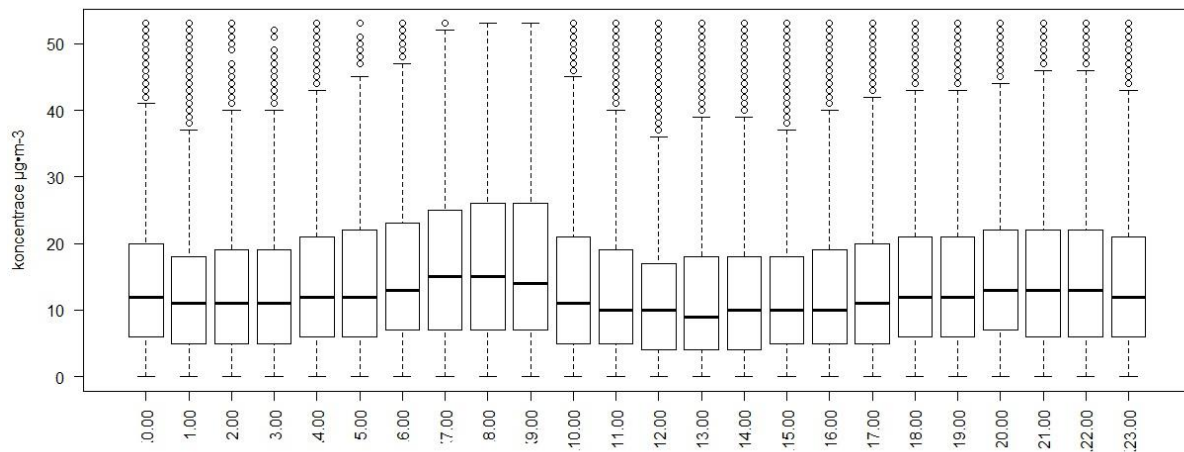
Při zkoumání míry závislosti podle jednotlivých dnů v týdnu se ukázalo, že vyšší koncentrace hrubého aerosolu jeden den mohou nepříznivě ovlivnit koncentrace částic v den následující, nicméně míra závislosti se může měnit podle meteorologických podmínek.

4.6. Denní chod

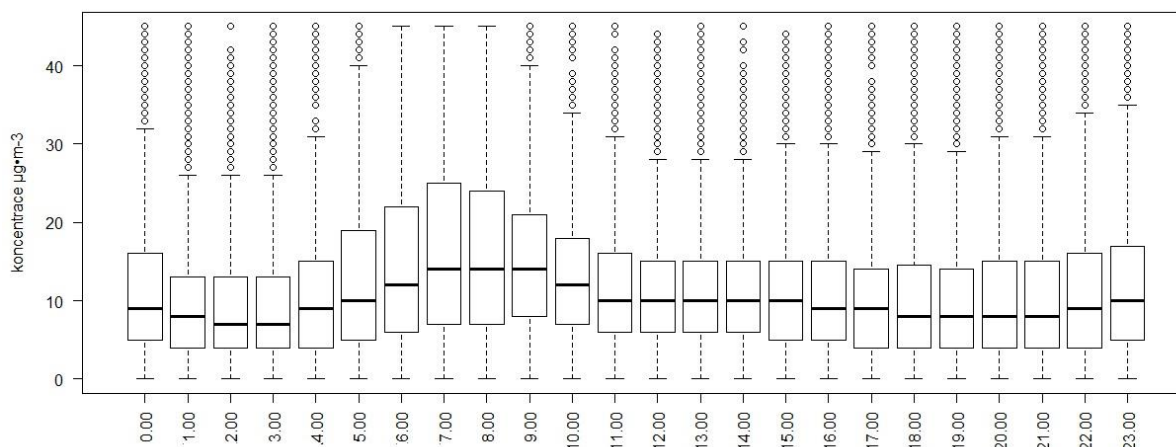
Vhledem k tomu, že hrubší částice aerosolu setrvává v atmosféře velmi krátkou dobu a mají tendenci rychle sedimentovat (Kumar et al., 2012), denní chod bude reprezentovat kolísání koncentrace částic v krátkém časovém rozmezí. Pro znázornění kolísání aerosolu během dne na každé stanici byly sestavené obrázky č. 20 až 23.



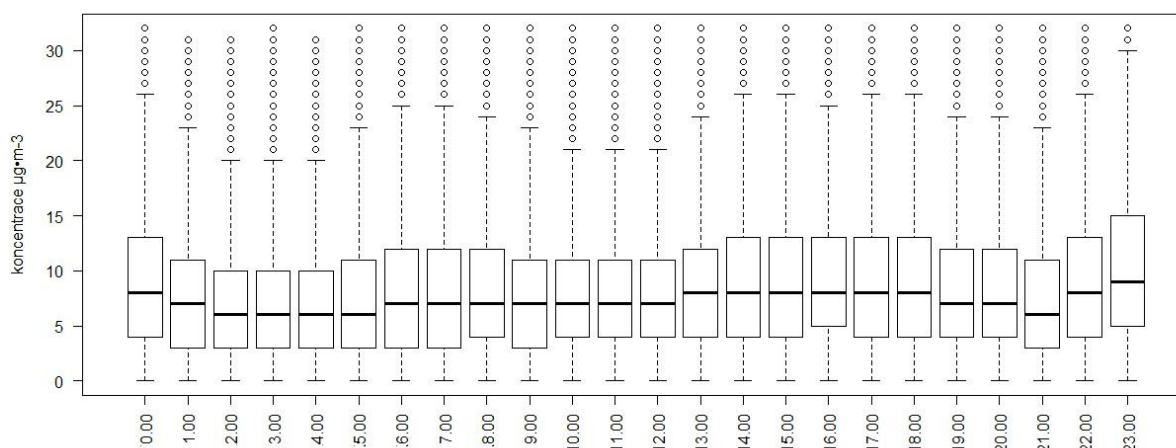
Obr. 20 : Denní chod koncentrace hrubého aerosolu, Karlín.



Obr. 21 : Denní chod koncentrace hrubého aerosolu, Vysočany.



Obr. 22 : Denní chod koncentrace hrubého aerosolu, Mlynářka.



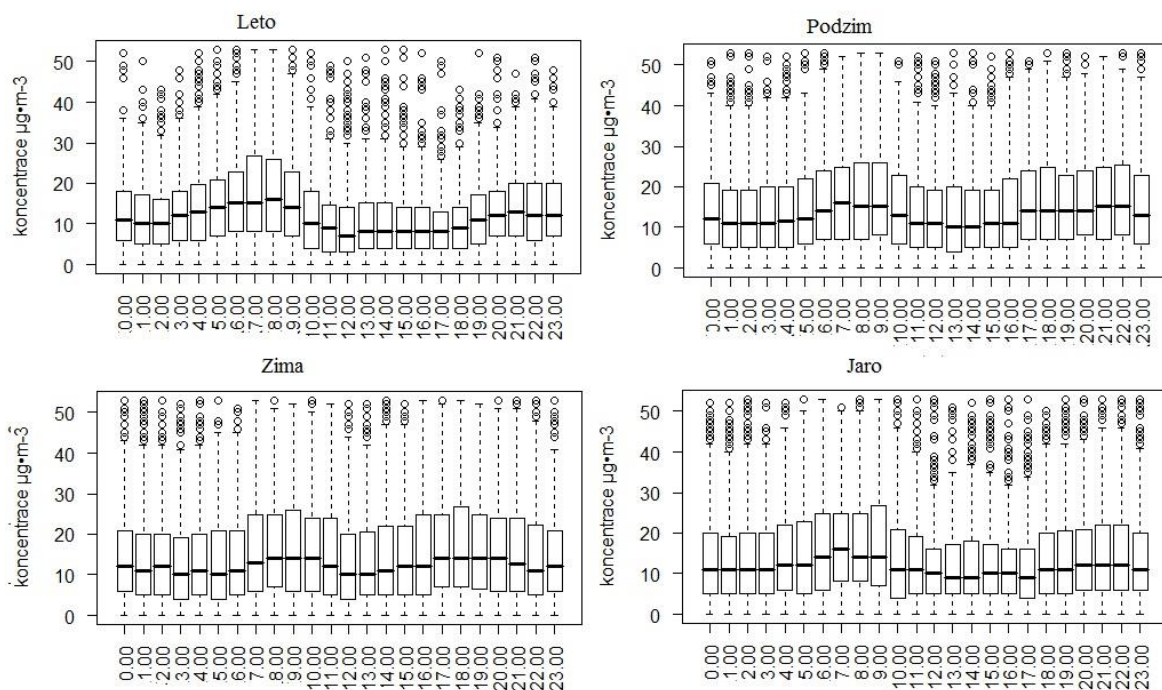
Obr. 23 : Denní chod koncentrace hrubého aerosolu, Libuš

Z uvedených obrázků je zřejmé, že kolísání koncentrace hrubého aerosolu během dne na dopravních stanicích se liší. Na stanicích dopravního typu je nárůst koncentrace částic v ovzduší zaznamenán v ranních dopravních špičkách cca od 4:00 do 11:00 hodiny, ovšem průběh změn koncentrace na každé stanici během špičky se liší. Na stanici Karlín a Vysočany je kromě ranní špičky mírný nárůst koncentrace i v odpoledních hodinách, cca od 16:00 do 22:00, ovšem zvýšení koncentrace není tak razantní jako v hodinách ranních. I přes to, že nejvyšší hodnoty aerosolových částic byly stanovené na stanici Karlín, denní chod se zde vyznačuje nejmenší variabilitou. Budeme-li uvažovat o dopravních prostředcích jako o hlavním zdroji znečištění, je možné předpokládat, že v blízkosti stanice Karlín se intenzita dopravy během dne se liší minimálně, avšak na stanici Mlynářka musí být rozdíl v intenzitě dopravy v ranních a odpoledních hodinách podstatný. Nejvyšší rozdíl v hodnotách

koncentrací během dne byl naměřený na stanici Mlynářka, podle spočítaných popisných charakteristik rozdíl mezi maximální a minimální průměrnou hodnotou činí $7,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejnižší rozdíl v koncentracích hrubého aerosolu během dne ($4,8 \mu\text{g m}^{-3}$) byl nalezen u stanice Karlín. Míra variability hrubého aerosolu u imisních stanic dopravního typu se může lišit v důsledku různorodosti druhu pozemní komunikace, která se nachází v blízkosti imisní stanice. Míra emisí aerosolových částic do ovzduší může být podstatně vyšší, pokud se na pozemní komunikaci vykytují křižovatky, které mění plynulost dopravy. Auta, která křižovatku opouštějí, mají vyšší akceleraci motoru, které způsobují vyšší emise, nežli auta která rovnoměrně projíždějí či stojí (Informační web o síti hlavních komunikací v Praze).

Na stanici Libuš, jakožto stanici pozadového typu, se nevyskytuje ranní špička, ale je zaznamenán mírný nárůst koncentrace v hodinách odpoledních. Nejvyšší průměrné koncentrace byly stanovené v 23:00 s průměrem $10,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, nejnižší hodnoty byly naměřené období mezi druhou a čtvrtou hodnou ranní. Tento trend může být vysvětlen na základě lokalizace samotné stanice a činnosti lidí v blízkosti. Libuš je umístěna daleko od centra, kde se nachází mnoho obytných komplexů. V ranních hodinách větší část obyvatel opouští svá obydlí a míří do práce, školy apod., s tím může být spojen mírný nárůst aerosolu v ranních hodinách, ovšem činnost obyvatel v dané lokalitě je vyšší v odpoledních hodinách, po návratu v místo bydlení. Činnost lidí v této lokalitě může proto mít vliv na denní chod koncentrace hrubého aerosolu.

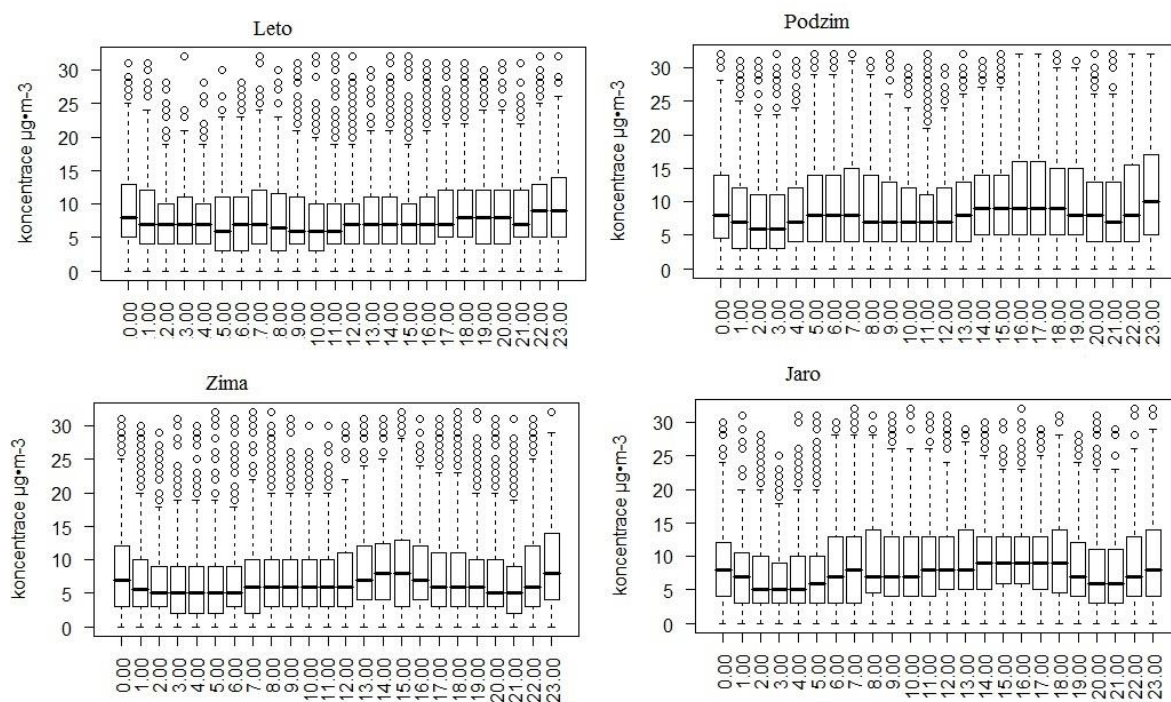
Pro zjištění denního chodu hrubého aerosolu během různých ročních období pro stanici dopravního a pozadového typu jsem sestavila graf denního chodu (viz Obrázky 24 - 25), kde je znázorněn denní chod na stanici Vysočany a Libuš. Vysočany jsou stanice dopravního typu, čili za primární zdroj znečištění lze předpokládat městskou dopravu. Libuš je stanice pozadového typu, která udává koncentrace částic v závislosti na činnosti lidí, které danou lokalitu obývají.



Obr. 24: Denní chod podle ročních období, Vysočany.

Na obr. 24 je vidět, že se na stanici Vysočany denní chod koncentrace hrubého aerosolu v jednotlivých ročních obdobích liší. V letních měsících se nejvíc projevuje ranní nárůst koncentrací, který odpovídá hodinám ranní dopravní špičky, a následně i nárůst ve večerních hodinách. Vzhledem k tomu, že den je během letního období delší, nastává večerní dopravní špička později než během ostatních ročních období. Při porovnání míry variability mezi letním a zimním obdobím je vidět, že v průběhu dne se vyšší variabilita vyskytuje během letních měsíců. Tento výsledek je možné vysvětlit vlivem klimatických podmínek. V letních měsících je četnost srážek na území České republiky obecně vyšší, než ve srovnání se zbytkem roku. Srážky působí příznivě na odstranění nečistot z ovzduší, a proto mohou způsobit výrazný pokles koncentrace částic v ovzduší. Letní období se rovněž vyznačuje lepším prouděním, které způsobuje větší ředění koncentrací aerosolu (Zíková & Ždímal, 2013). Naopak špatné rozptylové podmínky mají nepříznivý vliv na setrvání aerosolu v ovzduší (ČHMÚ). Ovšem na druhou stranu je v teplejších měsících hlavním zdrojem znečištění v městském prostředí primárně automobilová doprava, a v zimním období se ovzduší kromě automobilové dopavy znečišťuje také využitím lokálních topenišť. Na rozdíl od automobilové dopavy, jejíž intenzita má tendenci narůstat v ranních hodinách a následně klesat, lokální topeniště se využívají po dobu celého dne, s tím že intenzivněji se vytápí spíše ve večerních hodinách než v hodinách ranních (Guerreiro, Foltescu, & de Leeuw, 2014). To

by tedy mohlo částečně vysvětlovat večerní nárůst koncentrací v zimě, ale i na jaře a na podzim.



Obr. 25: Denní chod podle ročních období, Libuš.

Na obrázku 25 je představen denní chod koncentrace hrubého aerosolu na stanici Libuš podle jednotlivých ročních období. Pravidlem je, že koncentrace částic v ovzduší ve venkovním prostředí je řádově nižší než v prostředí městském (Zhou et al., 2014). Koncentrace aerosolu ve venkovním prostředí závisí na různých lidských činnostech jako je doprava a využití lokálních topenišť, kromě toho k vyšší koncentraci aerosolu mohou přispět i přírodní zdroje, např. přenos prachu z okolí bez vegetačního pokrytí, blízkost lesních luk, jezer, či písčinych dun, přičemž síla emise závisí na rychlosti a směru větru a vlastnostech půdy v okolí (Progiou A., Ziomas, I., 2015). Studiemi bylo prokázáno, že koncentrace aerosolu klesá v městském prostředí směrem od centra k okraji (Putaud et al., 2010). Provedená analýza v předchozích kapitolách prokázala výskyt tohoto trendu i na území hlavního města Prahy, jelikož koncentrace hrubého aerosolu na pozad'ové stanici Libuš jsou řádově nižší než na stanicích dopravního typu. Podíváme-li se na denní chod během jednotlivých ročních období, zjistíme, že koncentrace hrubého aerosolu nevykazují kolísání jako stanice dopravního typu. Například během letního období se nárůst koncentrací hrubého aerosolu během ranní dopravní špičky neprojevuje tak razantně jako na stanici Vysočany. Zimní období na stanici Libuš se naopak vyznačuje vyšší koncentrací aerosolu v odpoledních hodinách. Tento výsledek podtrhuje již

dříve zmíněnou domněnku o tom, že v regionech s menší zátěží automobilovou dopravou jsou lokální topeniště jedním z hlavních zdrojů znečištění.

Denní chod koncentrace hrubého aerosolu v Hlavním městě Praze se vyznačuje značnou variabilitou. Na stanicích dopravního typu koncentrace hrubého aerosolu vykazují trend nárůstu během ranní dopravní špičky, ovšem na pozad'ové stanici se tento trend neprojevuje zcela jasně. Při porovnání denních chodů mezi jednotlivými ročními obdobími bylo zjištěno, že koncentrace hrubého aerosolu na stanici dopravního typu během letních měsíců a zimních měsíců zachovává trend nárůstu částic hrubého aerosolu jak v ranních tak i ve večerních hodinách, ovšem na pozad'ové stanici se tento trend se prokázal pouze v letním období a v zimním zcela zaniká.

5. Závěr

Kvalita ovzduší v městském prostředí závisí na celé řadě faktorů jak antropogenního, tak i přirozeného původu. Aerosolové částice jsou neopomíjenou součástí znečišťujících látek v městském prostředí, které vykazují jak prostorovou, tak i časovou variabilitu, ovšem míra variability se liší dle velikosti částic.

Tato práce zkoumá prostorovou a časovou proměnlivost koncentrací hrubého aerosolu na území Hlavního města Prahy. V městském prostředí patří mezi hlavní zdroje hrubého aerosolu automobilová doprava, ovšem v Praze nelze zcela vyloučit i další faktory znečištění ovzduší jako např. lokální topeniště, která se intenzivně využívají v chladnější části roku. Provedená analýza naměřených hodnot hrubého aerosolu prokázala, že koncentrace aerosolových částic v městském prostředí je silně závislá na intenzitě dopravních prostředků a na využití lokálních topenišť.

Prostorová variabilita koncentrací hrubého aerosolu je silně závislá na lokálních zdrojích znečištění ovzduší. Byly definovány podstatné rozdíly v hodnotách koncentrací nejen mezi stanicemi různých typů, ale také mezi jednotlivými stanicemi v rámci jedné kategorie. Nicméně při zkoumání korelací koncentrací aerosolu v rámci stanic stejné kategorie se ukázalo, že mezi stanicemi jednoho typu se vyskytuje pouze slabá závislost. Prostorová variabilita hrubého aerosolu může být značně ovlivněna nejen společnými zdroji, ale také klimatickými či meteorologickými podmínkami, ovšem jedná se spíše o epizodické jevy.

Při zkoumání časové proměnlivosti se prokázalo, že koncentrace hrubého aerosolu vykazují vysokou variabilitu, v rostoucím časovém úseku jsou hodnoty koncentrací téměř nezávislé.

Při analýze míry proměnlivosti v jednotlivých letech bylo zjištěno, že změny koncentrace hrubého aerosolu se mohou podobat pouze v případě, že klimatické a meteorologické podmínky mezi jednotlivými lety jsou si velice podobné.

Sezonní analýza poukázala na vysokou míru proměnlivosti mezi studeným a teplejším ročním obdobím, nicméně v Praze je variabilita vyšší mezi letním a podzimním ročním obdobím, než mezi létem a zimou.

Zkoumání ročního chodu ukázalo, že se koncentrace hrubého aerosolu v Praze mezi jednotlivými měsíci v roce statisticky významně liší. Nejvyšší koncentrace aerosolu byly zaznamenány v říjnu a dubnu, ty nejnižší připadají na květen a červen.

Analýza týdenního chodu prokázala, že nejvyšší míra proměnlivosti hrubého aerosolu se vyskytuje mezi dny pracovního týdne a víkendem, ovšem jen mezi pracovními dny či dny víkendu je variabilita nižší. Avšak při hodnocení týdenního chodu se ukázalo, že koncentrace hrubého aerosolu během týdne vykazuje mírnou korelaci mezi za sebou následujícími dny.

Časová proměnlivost hrubého aerosolu se v průběhu dne liší podle typu imisní stanice. Provedená analýza poukázala na vyšší míru variability koncentrace hrubého aerosolu u stanice dopravního typu, než u stanice pozad'ové. Nicméně denní proměnlivost aerosolu je velice závislá na intenzitě zdrojů znečištění.

Při provedení analýzy se braly v úvahu pouze hlavní zdroje znečištění ovzduší v městském prostředí, ovšem existuje celá řada studií, které prokázaly, že dalším významným zdrojem hrubého aerosolu v městském prostředí může být i dálkový přenos. Hlavním cílem do budoucna by mohlo být provedení analýzy hrubého aerosolu způsobeného dálkovým přenosem a ohodnocení do jaké míry může tento zdroj ovlivnit překračování imisních limitů na území hlavního města Prahy.

Diplomová práce prokázala, že se na území Hlavního města Prahy koncentrace hrubého aerosolu jeví jako velice variabilní složka znečištěného ovzduší, která vykazuje časovou i prostorovou variabilitu.

Seznam použité literatury

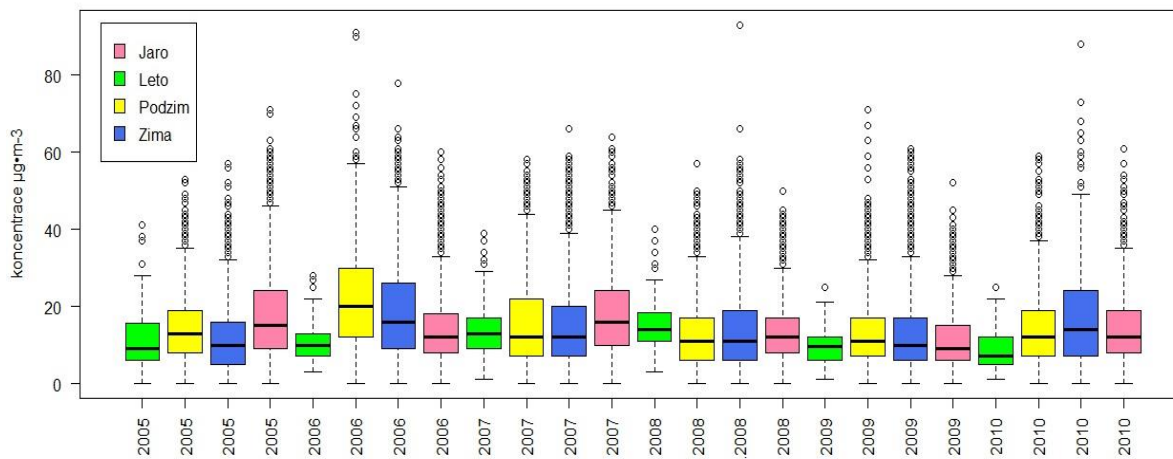
- Agus, E. L., Young, D. T., Lingard, J. J. N., Smalley, R. J., Tate, J. E., Goodman, P. S., & Tomlin, A. S. (2007). Factors influencing particle number concentrations, size distributions and modal parameters at a roof-level and roadside site in Leicester, UK. *Science of the Total Environment*, 386(1-3), 65–82. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.026>
- Bednář, J. (2003). Meteorologie: Úvod do studia dějů v zemské atmosféře.
- Bendl, B. J. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) vázané na velikostně segregovaný aerosol v městském ovzduší (2014).
- Braníš, M. (2009). Air quality of Prague: Traffic as a main pollution source. *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(August 2008), 377–390. <http://doi.org/10.1007/s10661-008-0491-3>
- Braníš, M., & Hůnová, I. (2009). *Atmosferá aklima. Aktuální otázky ochrany ovzduší*. (Karolinum, Ed.). Praha.
- Brunekreef, B., & Forsberg, B. (2005). Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health, 309–318. <http://doi.org/10.1183/09031936.05.00001805>
- Brunekreef, B., & Maynard, R. L. (2008). A note on the 2008 EU standards for particulate matter, 42, 6425–6430. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.036>
- Colvile, R. N., Hutchinson, E. J., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*, 35(9), 1537–1565. [http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00551-3](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00551-3)
- ČHMÚ, portál ISKO, dostupný on-line: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/grafroc_CZ.html
- ČSÚ, Český Statistický Ústav, dostupný on-line: <https://www.czso.cz/csu/xa/kraj>
- Dongarrà, G., Manno, E., Varrica, D., Lombardo, M., & Vultaggio, M. (2010). Study on ambient concentrations of PM10, PM10-2.5, PM2.5 and gaseous pollutants. Trace elements and chemical speciation of atmospheric particulates. *Atmospheric Environment*, 44(39), 5244–5257. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.041>
- Dos Santos-Juusela, V., Petäjä, T., Kousa, A., & Hämeri, K. (2013). Spatial-temporal variations of particle number concentrations between a busy street and the urban background. *Atmospheric Environment*, 79, 324–333. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.077>
- Ekologické centrum Most, dostupný on-line http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=imisni_monitoring

- Fenger, J. (1999). Urban air quality. *Atmospheric Environment*, 33(29), 4877–4900.
[http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00290-3](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00290-3)
- Guerreiro, C. B. B., Foltescu, V., & de Leeuw, F. (2014). Air quality status and trends in Europe. *Atmospheric Environment*, 98, 376–384.
<http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.017>
- Hinds, W. C. (1999). *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. Wiley.
- Hunova, I. (2001). Spatial interpretation of ambient air quality for the territory of the Czech Republic, 112.
- Hussein, T., Karppinen, A., Kukkonen, J., Härkönen, J., Aalto, P. P., Hämeri, K., ... Kulmala, M. (2006). Meteorological dependence of size-fractionated number concentrations of urban aerosol particles. *Atmospheric Environment*, 40(8), 1427–1440.
<http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.10.061>
- I. Hůnová, & S. Janoušková. (2004). Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. Praha: Karolinum.
- Informační web o síti hlavních komunikací v Praze, dostupný on-line:
<http://mestskyokruh.info/system-nadrazene-site-komunikaci/predpoklady-a-reseni-nadrazeneho-komunikacniho-systemu-v-upn/zivotni-prostredi/>
- Khoder, M. I., & Hassan, S. K. (2008). Weekday/weekend differences in ambient aerosol level and chemical characteristics of water-soluble components in the city centre. *Atmospheric Environment*, 42(32), 7483–7493.
<http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.068>
- Kubelová, L., Vodička, P., Schwarz, J., Cusack, M., Makeš, O., Ondráček, J., & Ždímal, V. (2015). A study of summer and winter highly time-resolved submicron aerosol composition measured at a suburban site in Prague. *Atmospheric Environment*, 118, 45–57. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.07.030>
- Kumar, P., Hopke, P. K., Raja, S., Casuccio, G., Lersch, T. L., & West, R. R. (2012). Characterization and heterogeneity of coarse particles across an urban area. *Atmospheric Environment*, 46, 449–459. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.018>
- Langner, M., Draheim, T., & Endlicher, W. (2011). Particulate Matter in the Urban Atmosphere : Concentration , Distribution , Reduction – Results of Studies in the Berlin Metropolitan Area, 15–42. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-17731-6>
- Lee, B., & Hieu, N. T. (2013). Seasonal ion characteristics of fine and coarse particles from an urban residential area in a typical industrial city. *Atmospheric Research*, 122, 362–377. <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.003>
- Mayer, H. (1999). Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*, 33(24-25), 4029–4037.
[http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00144-2](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00144-2)

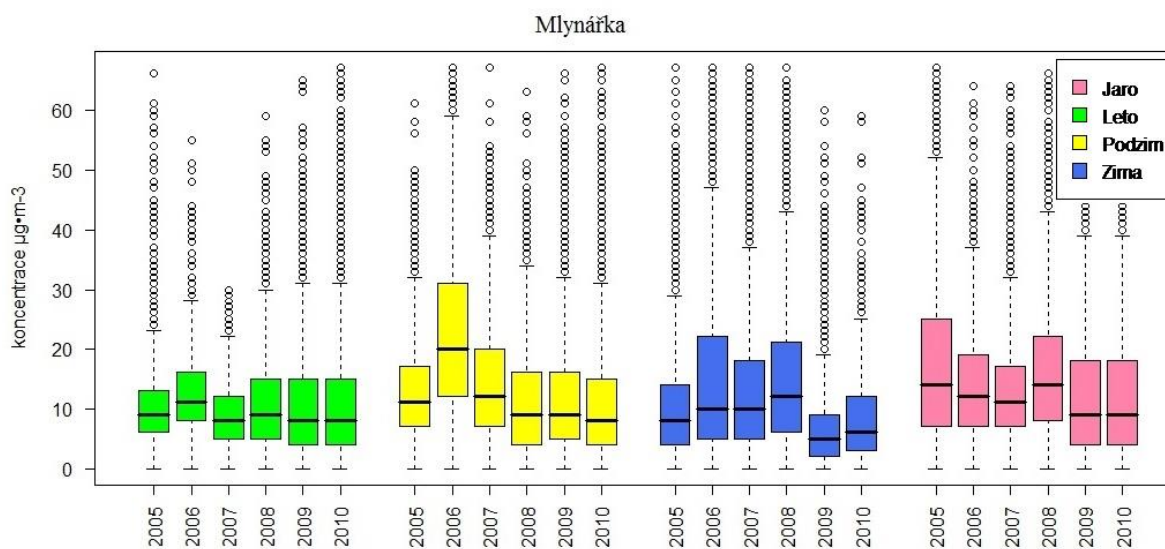
- Mircea, M., Stefan, S., & Fuzzi, S. (2000). Precipitation scavenging coefficient: Influence of measured aerosol and raindrop size distributions. *Atmospheric Environment*, 34(29-30), 5161–5167. [http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00349-6](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00349-6)
- Moreno, T., Jones, T. P., & Richards, R. J. (2004). Characterisation of aerosol particulate matter from urban and industrial environments: Examples from Cardiff and Port Talbot, South Wales, UK. *Science of the Total Environment*, 334-335, 337–346. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.074>
- Ministerstvo životního prostředí, Kvalita ovzduší, dostupné on-line: http://www.mzp.cz/cz/imisni_monitoring
- Olivares, G., Johansson, C., Ström, J., & Hansson, H. C. (2007). The role of ambient temperature for particle number concentrations in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 41(10), 2145–2155. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.068>
- Pokorná, P., Hovorka, J., Bendl, J., Baranová, A., Braniš, M., & Hopke, P. K. (2013). Identifikace zdrojů jemné (PM_{0,15-1,15}) a hrubé (PM_{1,15-10}) frakce atmosférického aerosolu v městském obvodu Ostrava-Radvanice a Bartovice v zimě 2012.
- Pope III, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution : Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56, 709–742. <http://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Pöschl, U. (2005). Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie - International Edition*, 44(46), 7520–7540. <http://doi.org/10.1002/anie.200501122>
- Putaud, J. P., Van Dingenen, R., Alastuey, a., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J., ... Raes, F. (2010). A European aerosol phenomenology - 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmospheric Environment*, 44(10), 1308–1320. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.12.011>
- Stanek, L. W., Sacks, J. D., Dutton, S. J., & Dubois, J. J. B. (2011). Attributing health effects to apportioned components and sources of particulate matter: An evaluation of collective results. *Atmospheric Environment*, 45(32), 5655–5663. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.023>
- Statistika a výpočetní technika, FVU, Brno, dostupné on-line: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn5/nelinear.htm>.
- Sun, X., Yin, Y., Sun, Y., Sun, Y., Liu, W., & Han, Y. (2013). Seasonal and vertical variations in aerosol distribution over Shijiazhuang, China. *Atmospheric Environment*, 81, 245–252. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.08.009>
- V. Ramanathan^{1,*}, P. J. Crutzen^{1, 2}, J. T. Kiehl³, D. R. (2001). Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. *Science Magazine*.

- Viana, M., Pey, J., Querol, X., Alastuey, a., de Leeuw, F., & Lükewille, A. (2014). Natural sources of atmospheric aerosols influencing air quality across Europe. *Science of the Total Environment*, 472, 825–833. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.140>
- WHO Regional Office for Europe. (2006). Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution.
- Who, W. H. O. (2006). Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. *World Health*, (# E88189), 1–113. Retrieved from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf
- Zákony pro lidi, Sbíрка zákonů ČR, dostupné on-line:
<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194>
- Zíková, N., & Ždímal, V. (2013). Long-term measurement of aerosol number size distributions at rural background station Košetice. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(5), 1464–1474. <http://doi.org/10.4209/aaqr.2013.02.0056>
- Zvára, K. (2008). Biostatistika, (Univerzita Karlova v Praze).

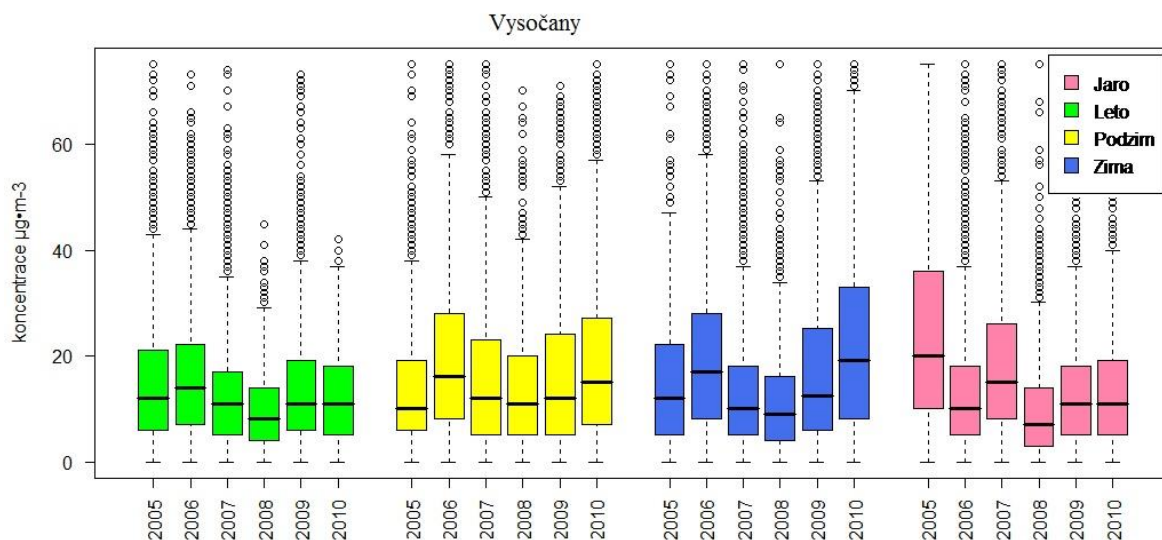
Přílohy:



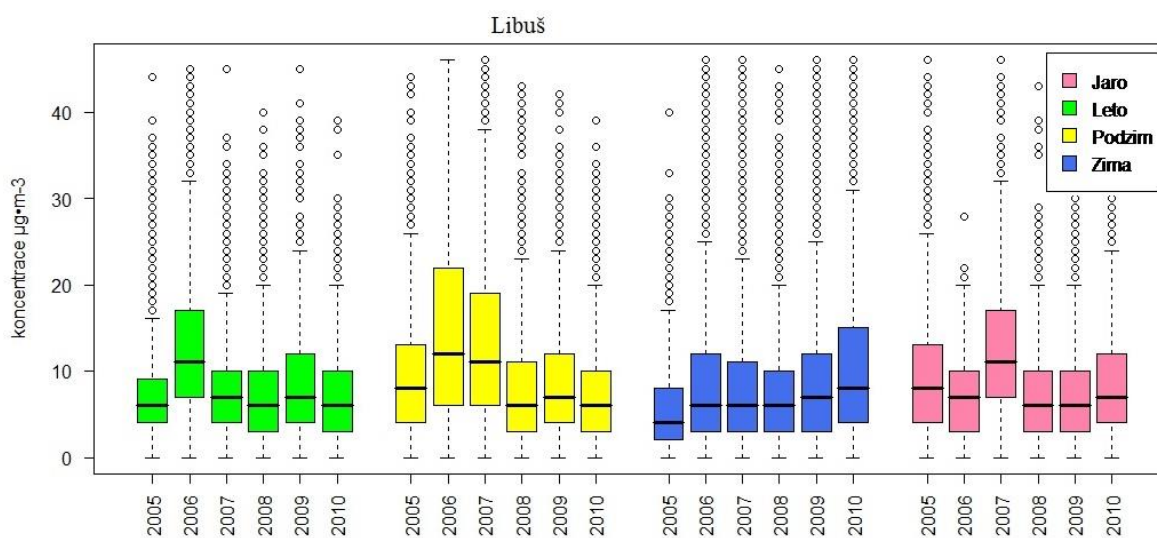
Obr. I. Koncentrace hrubého aerosolu během měřicího období podle ročních období.



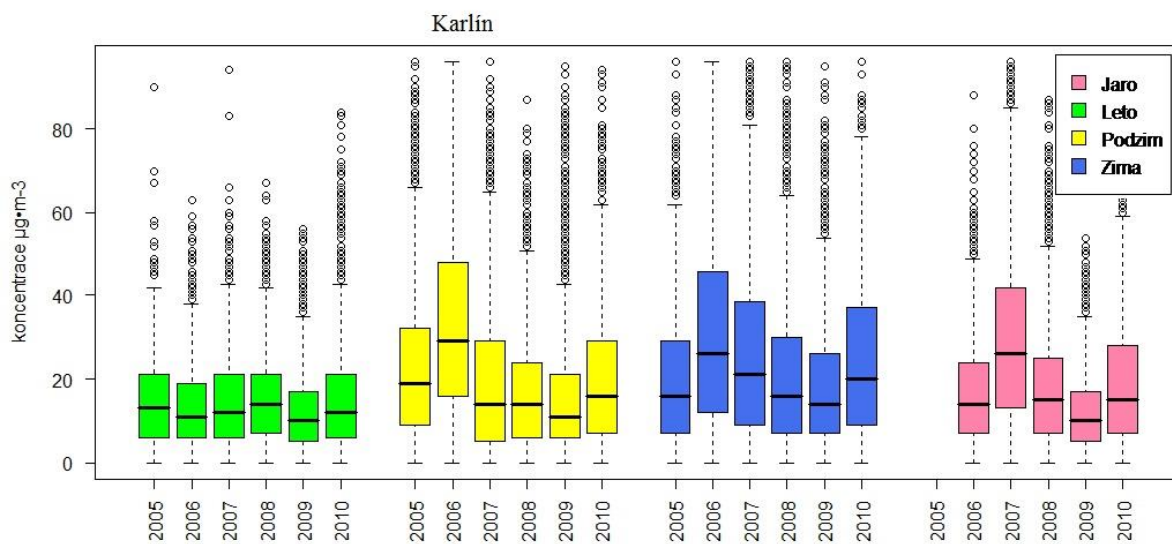
Obr. II. Koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každý rok měření, Mlynářka



Obr. III. Koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každý rok měření, Vysočany.



Obr. IV. Koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každý rok měření, Libuš.



Obr. V. Koncentrace hrubého aerosolu během ročních období pro každý rok měření, Karlín.

Stanice	Dni v týdnu	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Mlynářka	Pondělí	1	0,5	0,33	0,37	0,31	0,38	0,45
	Úterý		1	0,44	0,41	0,35	0,33	0,35
	Středa			1	0,46	0,35	0,3	0,25
	Čtvrtek				1	0,47	0,3	0,3
	Pátek					1	0,27	0,28
	Sobota						1	0,48
	Neděle							1
Karlín	Pondělí	1	0,33	0,25	0,29	0,22	0,20	0,33
	Úterý		1	0,39	0,28	0,22	0,16	0,19
	Středa			1	0,38	0,28	0,13	0,16
	Čtvrtek				1	0,34	0,14	0,2
	Pátek					1	0,13	0,19
	Sobota						1	0,34
	Neděle							1
Vysočany	Pondělí	1	0,3	0,24	0,19	0,20	0,21	0,26
	Úterý		1	0,32	0,27	0,20	0,18	0,21
	Středa			1	0,31	0,23	0,17	0,14
	Čtvrtek				1	0,30	0,11	0,16
	Pátek					1	0,13	0,11
	Sobota						1	0,33
	Neděle							1
Libuš	Pondělí	1	0,34	0,26	0,27	0,26	0,25	0,32
	Úterý		1	0,38	0,29	0,25	0,20	0,23
	Středa			1	0,35	0,3	0,2	0,19
	Čtvrtek				1	0,38	0,2	0,19
	Pátek					1	0,16	0,21
	Sobota						1	0,33
	Neděle							1

Tabulka č. I: Korelační matice pro dni v týdnu podle stanic.