

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Závislost koncentrací suspendovaných částic a oxidu
siřičitého na meteorologických podmínkách na střední
Moravě**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Klára Eiglová

Vedoucí práce: RNDr. Petr Pišoft, Ph.D.

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Závislost koncentrací suspendovaných částic a oxidu siřičitého na meteorologických podmínkách na střední Moravě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. RNDr. Petru Pišoftovi, Ph.D. za jeho cenné rady, ochotu při vedení mé diplomové práce a pomoc při získání potřebných informací a podkladů.

Závislost koncentrací suspendovaných částic a oxidu siřičitého na meteorologických podmínkách na střední Moravě

Souhrn

Suspendované částice PM představují drobné částice směsi menší než 10 μm volně se pohybující v atmosféře. Dle velikosti je rozdělujeme do dvou základních kategorií: polétavé částice, jenž mají rozměr do 10 μm a jemné částice s průměrem do 2,5 μm . V oblasti Ostravy a střední Moravy se koncentruje průmyslová výroba, velká hustota zástavby s lokálním vytápěním tuhými palivy a nachází se zde i dopravní zátěž. Všechny tyto prvky vedou ke vzniku emisní zátěže.

Cílem práce bylo posouzení, zda meteorologické podmínky ovlivňují koncentrace škodlivin na střední Moravě obdobným způsobem jako v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy. Hypotéza, že meteorologické podmínky významně ovlivňují koncentrace studovaných látek a přenos znečištění z přeshraniční oblasti Slezska a Moravy, má významný vliv ve vybraných sezónách a za specifických meteorologických podmínek, byla potvrzena.

Analyzovány byly hodinové hodnoty imisních koncentrací a meteorologických podmínek dodaných od Českého hydrometeorologického ústavu. Data byla měřena v termínu od 1.1.2005 do 31.12.2014 v oblasti střední Moravy a Ostravy. Byly pozorovány a zaznamenávány následující hodnoty: teplota vzduchu, směr a rychlost větru, koncentrace $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 . Byly zpracovány grafy průměrné teploty, průměrné hodnoty koncentrací znečištění, větrné růžice a koncentrační růžice, ze kterých je patrný zejména vliv rychlosti a směru větru na koncentrace znečištění a také vliv teploty na množství škodlivin. Je patrný roční cyklus koncentrace škodlivin, který ukazuje, že v zimních měsících (prosinec – únor) jsou koncentrace znečištění vyšší nežli v měsících letních. Podíl suspendovaných částic není vždy a na všech místech stejný. Liší se v závislosti na původu a velikosti částic, ale také na roční a denní době. Významný vliv na koncentraci znečištění má i umístění a poloha stanice.

Klíčová slova: PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, SO_2 , střední Morava, Ostrava

Concentration dependence of the suspended particles and sulfur dioxide on the meteorological conditions across Central Moravia

Summary

Suspended particles PM are the tiny particles of the mixture less than 10 μm moving freely in the atmosphere. According to the size we divide them into two main categories: airborne particles which have a size up to 10 μm and fine particles with a diameter of 2.5 μm . In the area of Ostrava and Central Moravia, the industrial production, high density of development with local heating with solid fuels and the traffic load are concentrated. All these elements give rise to emission load.

The aim of this thesis was to assess whether the weather conditions affect the concentration of pollutants in Central Moravia in the same way as in the border areas of Moravia and Silesia. The hypothesis that the weather conditions significantly affect the concentrations of the studied compounds and transfer of contaminants from border areas and Moravian Silesia has a significant effect in the selected specific seasons and weather conditions, was confirmed.

Analysis was based on hourly values supplied by the ČHMÚ. The data were measured in the period from 1.1.2005 to 31.12.2014 in Central Moravia and Ostrava. We have studied variables of temperature, wind speed and direction, the concentration of $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 . Following graphs were prepared: average temperature, mean concentration of $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , average concentration of pollution in January and July, wind rose and rose concentration from which the influence of temperature, wind speed and direction is particularly apparent on the pollution concentration. The annual cycle of the concentration of pollutants is apparent, which illustrates that in winter (December to February), the concentration of pollution is higher than in summer months. The proportion of suspended particles is not always and in all places the same. They vary depending on the nature and size of the particles, but also on the time of day and year. Significant effect on the concentration of pollution has a location and position of the station.

Keywords: PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 , Central Moravia, Ostrava

Obsah

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Cíl práce | 2 |
| 2.1 | Hypotéza | 2 |
| 3 | Literární rešerše | 3 |
| 3.1 | Suspendované částice (Aerosol) | 3 |
| 3.1.1 | Vznik suspendovaných částic..... | 4 |
| 3.1.2 | Dopad na lidský organismus | 5 |
| 3.1.3 | Depozice aerosolů..... | 6 |
| 3.1.4 | Těžké kovy..... | 6 |
| 3.1.5 | Emise látek znečišťujících ovzduší a vývoj REZZO..... | 9 |
| 3.1.6 | Základní znečišťující látky a jejich výskyt v ovzduší | 10 |
| 3.1.7 | Historický vývoj znečištění ovzduší v ČR..... | 14 |
| 3.2 | Dopady znečištění ovzduší | 14 |
| 3.2.1 | Dopad na lidské zdraví | 15 |
| 3.2.2 | Vliv znečištění na ekosystémy | 15 |
| 3.3 | Meteorologické prvky ovlivňující úroveň znečištění ovzduší | 16 |
| 3.3.1 | Stabilita atmosféry..... | 16 |
| 3.3.2 | Vítr..... | 17 |
| 3.4 | Vymezení sledované oblasti | 17 |
| 3.4.1 | Znečištění ovzduší oblasti Moravy a Slezska | 18 |
| 4 | Materiál a metodika | 20 |
| 4.1 | Použitá data | 20 |
| 4.1.1 | Sledované meteorologické stanice..... | 21 |
| 4.2 | Vícenásobná regresní analýza | 23 |
| 5 | Výsledky | 24 |
| 5.1 | Vývoj průměrných hodnot | 24 |
| 5.2 | Větrné a koncentrační růžice | 37 |
| 5.3 | Regresní analýza | 45 |
| 6 | Diskuze | 48 |
| 7 | Závěr | 51 |
| 8 | Seznam použité literatury | 52 |
| 9 | Přílohy | 56 |

1 Úvod

V posledních desetiletích představují suspendované částice pro Českou republiku velký problém, proto jsou pečlivě sledovány, měřeny a vyhodnocovány. Pozornost se zaměřuje zejména na jejich velikost, jelikož ta ovlivňuje průnik do dýchacích cest, což souvisí s dopady na lidské zdraví. Důležité je věnovat dostatečnou pozornost i dalším znečišťujícím látkám jako jsou oxidy dusíku, oxidy síry a také oxid uhličitý. Do ovzduší je emitováno velké množství znečišťujících látek, které se uvolňují z antropogenních i přírodních zdrojů. Mezi nejvýznamnější přírodní zdroje řadíme požáry, erozi anebo vulkanickou činnost. Do antropogenního původu znečištění spadá především průmysl, energetika, doprava, zemědělství a také teplárenství (ČHMÚ, 2012).

Kromě emisních zdrojů je koncentrace suspendovaných částic v atmosféře určena transportem a rozptylem látek v daném prostředí. Rozptylové podmínky souvisí zejména s rychlostí větru a teplotním zvrstvením atmosféry neboli změnou teploty s nadmořskou výškou. Proměnlivost stupně znečištění ovzduší PM₁₀ souvisí rovněž s geografickou polohou a pozicí vůči emisním zdrojům. Podíl PM částic se liší v závislosti na původu částic a také na roční a denní době (Blažek a kol., 2013).

Dopad na lidské zdraví a stav ekosystému je určen dobou expozice, koncentrací, specifickými vlastnostmi znečišťujících látek, způsobem působení látky a stavem jedince. Aby nedocházelo k poškození ekosystémů a zdraví populace, jsou stanoveny imisní limity (Andrejovský a kol., 2013).

Přeshraniční oblasti Slezska a Moravy se dlouhodobě potýkají se znečištěním ovzduší částicemi antropogenního původu (Blažek a kol., 2013). Tato oblast je známá vysokou koncentrací průmyslové výroby, velkou hustotou zástavby s lokálním vytápěním tuhými palivy a nachází se zde i dopravní zátěž. Všechny tyto aspekty vedou ke zvýšené imisní zátěži. Vliv na tuto oblast je spojen s historickým vývojem průmyslu v ČR. Další významný vliv na místní kvalitu ovzduší má pak i přenos znečištění mezi hranicemi Česka a Polska. Koncentrace suspendovaných částic v ovzduší v moravskoslezském kraji je nejvyšší v celé ČR. V tomto regionu často dochází k překročení hodnoty denního imisního limitu, a to převážně v zimních měsících (ČHMÚ, 2012).

2 Cíl práce

Cílem práce bylo posouzení, zda meteorologické podmínky ovlivňují koncentrace škodlivin na střední Moravě obdobným způsobem jako v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy.

2.1 Hypotéza

Meteorologické podmínky významně ovlivňují koncentrace studovaných látek. Přenos znečištění z přeshraniční oblasti Slezska a Moravy má významný vliv ve vybraných sezónách a za specifických meteorologických podmínek.

3 Literární rešerše

3.1 Suspendované částice (Aerosol)

Aerosoly jsou suspenze tuhých a kapalných částic rozptýlené v ovzduší. Suspendované částice PM (particulate matter) představují drobné částice směsí menších než 10 μm volně se pohybujících v atmosféře (Englert, 2004). Mezi PM částice podle velikosti:

- Tuhé znečišťující látky (TZL) nebo prašný aerosol (PA) z anglického Suspended particulate matter – částice bez rozlišení velikosti.
- Poléťavé částice (PČ) z anglického Respirable suspended particle, jsou hrubé částice o průměru 10 μm nebo méně, také známé jako PM_{10} . Tyto částice bývají zásaditého charakteru a jsou většinou ve vodě nerozpustné, na rozdíl od jemných částic. Jejich vznik se připisuje neúplnému spalování, při demolicích budov a při znovuzvícení. To nastává za pomoci přírodního činitele např. větrem nebo vlivem člověka – zejména dopravou. Hrubé částice se usazují v průběhu pár hodin, maximálně několik dnů. Z tohoto faktu vyplývá, že nejsou odnášeny na velké vzdálenosti jako jemné částice. Proto je také mnohem snazší určit původ částic, bývají více heterogenní nežli jemné a velmi jemné částice.
- Jemné částice s průměrem 2,5 μm nebo méně, z anglického fine particles, známé jako $\text{PM}_{2,5}$. Doba setrvání těchto částic v ovzduší se pohybuje mezi 7 – 30 dny. Mohou být transportovány na stovky až tisíce kilometrů daleko, což je důsledek dlouhého setrvání v atmosféře. Právě díky tomuto, je obtížné určit místo původu částic.
- Velmi jemné částice – částice o velikosti 0,1 μm a méně z anglického ultrafine particles, PM_1 (Volná, 2011).

Suspendované částice v ovzduší můžeme rozdělit na primární a sekundární. Primární částice jsou uvolňovány přímo do atmosféry z antropogenních zdrojů (spalování fosilních paliv aj.) tak i z přírodních zdrojů (pyl, mořský aerosol, sopečná činnost aj.). Sekundární částice vznikají v návaznosti na primární v různých procesech, jako je kondenzace nebo z dopravy. Dále pochází z antropogenních zdrojů a vznikají v atmosféře z plynných sloučenin SO_2 , NO_x a NH_3 činností nazývaných se konverze plyn – částice (Blažek a kol., 2013).

Vallero (2008) uvádí, že přirozeně se částice uvolňují při vulkanické činnosti, požárech či erozi. Hlavní antropogenní zdroje jsou především spalování fosilních paliv v dopravě, elektrárny, spalovny, nejrůznější průmysl. Velikost a tvar suspendovaných částic se v čase

mění. Suspendované částice mají odlišné chemické složení a velikost, příčinou jsou různé zdroje emisí (Blažek a kol., 2008). Suspendované částice PM₁₀ mají negativní dopad na lidské zdraví. Poměrně značně poškozují sliznice a mají za příčinu vznik hlenu. Při opakujícím se onemocnění mohou vést ke kardiovaskulárním potížím a vzniku astma. Čím jsou částice menší, tím hlouběji se do organismu dostávají, a tím je větší jejich negativní riziko. Smogová situace se vyhlazuje, když hodnota koncentrace polévatého prachu za 12 hodin překročí aspoň na polovině meteorologických stanic 100 µg.m⁻³ (ČHMÚ, 2012).

Nejmenší aerosolové částice se tvoří shlukováním molekul – převážně neutrálních molekul plynů s ionty. Částice nabývají velikosti tím, že ze vzduchu sorbují vodu. Schopnost růstu a přijímání vody způsobuje to, že tyto částice se stávají viditelnými. Příkladem aerosolů, které jdou díky vysoké koncentraci rozeznat zrakem, je například mlha (vodní kapičky) anebo kouř a zvířený prach (Spurný a kol., 1961). Do ovzduší se dostávají různými cestami jak přirozenou, tak i lidskou činností. Mezi největší zdroje můžeme zařadit spalování fosilních paliv – převážně těch nekvalitních jako například hnědé uhlí. Větší část aerosolů obsahují sulfáty, saze či organický uhlík. Složení a koncentrace aerosolů vykazuje velký rozdíl mezi jednotlivými oblastmi na Zemi. Zatímco v oblasti nad oceány jich nalezneme řádově stovky v kubickém centimetru, v průmyslových zónách je jejich výskyt v milionových hodnotách. Také rostliny a živočichové však produkují velké množství těchto částic Vallero (2008).

3.1.1 Vznik suspendovaných částic

Částice dělíme podle původu na primární, sekundární a resuspendované. Primární jsou aerosoly emitované zdroji, sekundární vznikají chemickými a fyzikálními reakcemi v atmosféře. Resuspendované aerosoly jsou ty částice, které jsou znovu zvířené po jejich usazení. Speciální kategorií je pak bioaerosol, kam patří viry, bakterie, houby a případně i jejich jednotlivé části. Bez rozlišení velikosti nazýváme jako prašný aerosol nebo tuhé znečišťující látky PM (Volná, 2011).

Zdroje primárních emisí pocházejících z přírody jsou sopky (sopečný prach), písečné bouře, požáry travních a lesních porostů a mořský aerosol. Zdrojem sekundárních emisí pocházejících z přírody jsou oxidy síry a dusíku z přírodních požárů, částice uvolňované z půdy. Nejvýznamnější zdroje antropogenního znečištění jsou spalovací procesy (výroba tepla a elektřiny), tak i z dopravy. Dále mezi zdroje řadíme průmyslové procesy, stavební činnost a zemědělství. V celosvětovém měřítku je množství antropogenních emisí na celkovém podílu znečištění tuhými částicemi odhadováno na 10 % (Maznová a kol., 2009).

Starší klasifikace rozdělovala aerosolové částice podle jejich vzniku na aerosolové částice vzniklé buď kondenzačním anebo disperzním způsobem. Disperzní aerosoly vznikají např. rozprášením kapalin nebo prášků, při obrábění a broušení materiálů, přesévání práškových materiálů, rozvířením pylů z květů atd. Tyto částice jsou typické většími částicemi, větším množstvím velikostí částic a nepravidelným tvarem na rozdíl od kondenzačních, které se téměř vždy skládají z agregátů a mají pravidelný tvar. Kondenzační aerosoly vznikají objemovou kondenzací přesycených par a při chemických reakcích v plynném stavu. Tímto způsobem vznikají např.: aerosoly vodních srážek a solí. Dále mohou vznikat tuhnutím kapalných kondenzačních produktů např.: kroupy, kondenzací par kovů a reakcemi v plynném skupenství (Spurný a kol., 1961).

3.1.2 Dopad na lidský organismus

Expozice látek na lidský organismus je ovlivněna chemickým složením látek, délkou expozice látkou a také individuálním vnímáním člověka. Aerosoly mohou negativně působit na jakýkoliv živý organismus. U lidí a zvířat je tento problém zvlášť veliký, protože se do těla dostávají dýchacími cestami, kde jsou dosti účinně akumulovány. Další zdravotní riziko představuje i poškození a podráždění pokožky, zrakového ústrojí či chrupu. Zaměstnanci pracující v prašném prostředí jsou vystaveni velkému množství prašných částic, které negativně působí na pokožku. V pokročilejších fázích vedou až ke vzniku dermatózy a hnisavých onemocnění (Vallero, 2008).

Aerosoly se zachycují na stěnách dýchacích cest v místech, kde proud vhněného vzduchu najednou změni směr – převážně v nosohltanu. Nebezpečí pak představují převážně částice o menším průměru. Větší částice jsou pak zachytávány již v dutině nosní a při dýchání jich pouze malé procento pronikne dále (Samet et al., 2000).

Účinky vyvolané vdechnutím látek, které jsou roznášeny krevním oběhem, se ukáží na různých tělních orgánech. Vdechnutím nebezpečných látek se projevuje už v horních částech dýchacích cest zejména podrážděním stěn. Mezi další důsledky patří například edém plic, který může vyvolat vdechnutí chloru nebo kadmia. Vdechnutí malých částí aerosolu způsobují tzv. slévačské horečky spojené s kašlem, popřípadě i rakovinu plic (Spurný a kol., 1961).

3.1.3 Depozice aerosolů

Atmosférický aerosol se podílí na důležitých dějích v atmosféře jako např. vznik srážek. Aerosoly tvoří například:

- Mlha – kapalný aerosol vznikající kondenzací přesycených vodních par, velikost do 100 μm .
- Opar – podobný aerosol jako mlha, má vliv na viditelnost v prostředí.
- Dým – aerosol tvořen pevnými částicemi menších než 0,05 μm . Vzniká kondenzací par při vysokoteplotním procesu.
- Kouř – obdobně jako dým, obsahující navíc kapalně částice, výsledkem nedokonalého spalování.
- Smog - viditelné znečištění atmosféry zejména ve městech (Kořínková a kol., 2014).

Z troposféry mohou látky vystupovat buď směrem vzhůru do stratosféry, nebo naopak směrem dolů, depozicí na zemský povrch. Částečné difúzi do stratosféry podléhají prakticky všechny složky, jedná se však o velmi pomalý a dlouhý proces. Významnější proces je depozice aerosolů na zemský povrch, kterou můžeme rozdělit na depozici mokrou a suchou. Mokrú depozice je spojena se srážkami. Přináší na zemský povrch látky obsažené jak v dešťové vodě, sněhových srážkách, tak i v námraze a mlze. Srážková voda odstraňuje z ovzduší aerosolové částice a rozpouští je, jde o významný samočisticí proces. Suchou depozici tvoří převážně prašný spad, tzn. gravitační usazování větších částic, který je patrný v suchých oblastech, kde se značně práší. Složení částic se liší, mají určitý poměr hlavních složek (Moldan, 2009).

3.1.4 Těžké kovy

Těžké kovy jsou ty kovy o hustotě vyšší než 5g/cm^3 , řadíme sem např. železo, měď, zinek, chrom, nikl, kadmium, olovo a rtuť. Mezi hlavní zdroje těžkých kovů v životním prostředí patří především výroba a zpracování kovů. Při výrobě nastává značné riziko kontaminace vod v podobě odpadních vod, které vznikají při jednotlivých procesech (Blažek a kol., 2013).

Aerosolové částice na sebe mohou vázat řadu toxických a karcinogenních sloučenin jako jsou polychlorované bifenyly (PCB) anebo právě těžké kovy. Těžké kovy mohou také poškozovat lesní ekosystémy a další rostlinná společenstva (Englert, 2004).

Arsen

Arsen (As) se v půdě vyskytuje přirozeně zejména zvětráváním hornin anebo se může ukládat v důsledku průmyslových a zemědělských činností. Antropogenní činnost produkuje asi tři čtvrtiny celkových emisí arsenu do ovzduší. Mezi největší patří především spalovací procesy hnědého i černého uhlí, výrobní procesy (výroba železa, železa a oceli) a tavení kovů. Z přírodních zdrojů sem patří požáry lesa, zvětrávání hornin a minerálů. Výskyt arsenu bývá převážně jako částice jemné frakce, která bývá přenášena na delší vzdálenosti a proniká hlouběji do lidského organismu (Žužul et al., 2011).

Kadmium

Antropogenní zdroje kadmia (Cd) tvoří z celosvětového pohledu cca 90 % emisí do ovzduší. Jedná se o výrobu železa, oceli, spalování odpadů a fosilních paliv. Zbylých 10 % se do prostředí dostávají přirozenou cestou (převážně vulkanickou činností). Váže se převážně na částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm , které mají negativní vliv na lidské zdraví (Blažek a kol., 2013).

Olovo

V přírodě se olovo (Pb) vyskytuje vázané na minerálech, jako je galenit či cerusit. V rudách bývá vázáno na stříbro (Navrátil a kol., 2006). Olovo se vyskytuje i v antropogenních zdrojích - olovnatých benzinech. Spalovací proces v motoru neprobíhá ideálně neboli 100 %, proto olovo pak nacházíme i ve výfukových plynech. Po výstupu z motoru vstupuje bromid olovnatý do ovzduší ve formě aerosolu. Velikost částic aerosolů vzniklých při spalování benzínu se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 2 μm (Blažek a kol., 2013).

Částice olova se dostávají do kontaktu s dešťovou a povrchovou vodou, a tak se olovo uvolňuje do životního prostředí. Aerosoly obsahující olovo se přesouvají vzdušnými proudy na velké vzdálenosti. Olovo pocházející ze spalování pohonných hmot, se nachází především kolem silnic a putuje dále ovzduším. Prostřednictvím depozice aerosolů se část olova akumuluje do půdy. Část je přenášena půdní vodou do potoků a řek. Zvýšené množství olova se nachází v sedimentech na dně, kde se usadí. Při vysokém průtoku řeky jsou tyto sedimenty postupně transportovány do moře a oceánů. Sloučeniny olova nacházející se v ekosystému a prostředí pronikají i do rostlin. Rostliny je přijímají kořeny ve formě roztoků olovnatých solí, dále také respiračními orgány ze srážek či z ovzduší obsahující vyšší koncentrace tohoto kovu (Ust'ak a kol., 2010).

Většina olova, téměř 90 %, se v aerosolech zachycených v plicích, proniká do krevního oběhu. Krevním řečištěm se olovo dostane do kostí, kde se následně akumuluje, částečně se také vylučuje močí (Navrátil a kol., 2006).

Síra

Síra se do skupiny těžkých kovů neřadí. Avšak stojí za zmínku, neboť má významný vliv na kvalitu ovzduší a stav vegetace. V zemské kůře i v sedimentech je zastoupena ve značné míře. V atmosféře se síra vyskytuje jako sulfan, oxid siřičitý, jako sírový ion a další. Obsah všech forem síry v atmosféře je proměnlivý díky přirozených i antropogenních zdrojů. Celkově se síra řadí mezi deset nejhojnějších prvků v biomase (Ust'ak a kol., 2010).

Lidstvo značným množstvím přispívá k oběhu síry v celosvětovém rozsahu. Mezi nejvýznamnější proces patří spalování fosilních paliv, převážně uhlí, obsahující kolem 2 % síry. Do ovzduší se uvolňuje jako oxid siřičitý. Z atmosféry jsou pak tyto sloučeniny odstraňovány především srážkami jak dešťovými, tak sněhovými. Emise síry ovlivňují chemismus ovzduší a celé krajiny. Dále mají emise negativní vliv na půdu, vodní plochy a lidské zdraví. V minulosti patřila acidifikace k největším problémům životního prostředí v Evropě (Vallero, 2008).

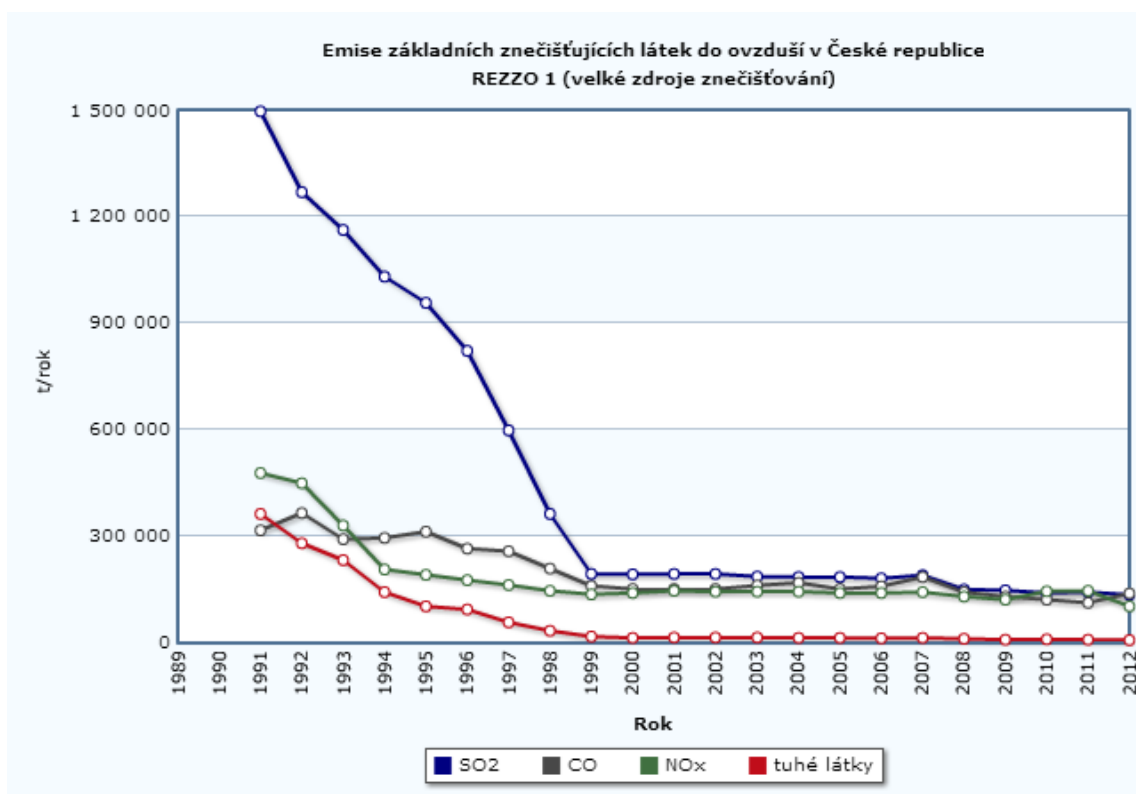
V České republice, která byla řazena mezi nejvíce zatížené státy Evropy sírou, se podařilo dosáhnout snížení emisí SO₂ o téměř 90 % koncem 90. let minulého století. Avšak nové studie nadále ukazují špatný stav lesů na našem území. Silně byla v České republice postižena vegetace v oblasti Krušných hor, Jizerských hor a Beskydy (Moldan, 2009).

Tabulka č.1: Horní a dolní meze pro posuzování úrovně znečištění na lidské zdraví

| Znečišťující látka/doba průměrování ¹⁾ | Horní mez pro posuzování | Dolní mez pro posuzování |
|---|---|---|
| Oxid siřičitý/24 hodin | 75 µg.m ⁻³ / 3 ²⁾ | 50 µg.m ⁻³ / 3 ²⁾ |
| Oxid siřičitý/kalendářní rok a zimní období | 12 µg.m ⁻³ | 8 µg.m ⁻³ |
| Oxid dusičitý/1 hodina | 140 µg.m ⁻³ / 18 ²⁾ | 100 µg.m ⁻³ / 18 ²⁾ |
| Oxid dusičitý | 32 µg.m ⁻³ | 26 µg.m ⁻³ |
| Oxidy dusíku | 24 µg.m ⁻³ | 19,5 µg.m ⁻³ |
| Částice PM10 /24 hodin | 35 µg.m ⁻³ / 35 ²⁾ | 25 µg.m ⁻³ / 35 ²⁾ |
| Částice PM10 | 28 µg.m ⁻³ | 20 µg.m ⁻³ |
| Částice PM2,5 | 17 µg.m ⁻³ | 12 µg.m ⁻³ |
| Oxid uhelnatý | 7 mg.m ⁻³ | 5 mg.m ⁻³ |

(Zdroj: Andrejovský a kol., 2013)

Graf č. 1: Emise základních znečišťujících látek v ČR



(Zdroj: <https://www.czso.cz>)

3.1.5 Emise látek znečišťujících ovzduší a vývoj REZZO

Aby nedocházelo k překročení únosné hranice znečištění ovzduší, je nezbytná aplikace emisních stropů. Emisním stropem se rozumí nejvýše přípustné množství znečišťující látky vnesené do ovzduší za kalendářní rok. Hranice znečištění mohou být stanoveny buď pro jeden stacionární zdroj, více stacionárních zdrojů nebo mobilní zdroj, provozovnu nebo vymezenou lokalitu (Tuháček a kol., 2015).

Zdroje uvolňující do ovzduší znečišťující látky jsou řazeny do Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší – REZZO 1 - 4. Tyto databáze poskytují a archivují údaje zdrojů znečišťujících ovzduší jak stacionární tak pohyblivé, provozem je pověřen ČHMÚ. Celorepublikově byl tento program zaveden v roce 1979 (Andrejovský a kol., 2013).

V roce 2012 byl novelizován zákon o ochraně ovzduší, který zavádí přísnější emisní limity pro spalovací zdroje podle směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích. Od zavedení nového zákona se očekává snižující trend emisí ze stacionárních zdrojů.

Do REZZO 1 a 2 řadíme stacionární zdroj spalování paliv o celkovém tepelném příkonu vyšším než 300 kW jako jsou spalovny odpadů, průmyslové výroby apod. Tyto zdroje jsou jednotlivě sledované.

V REZZO 3 jsou stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu do 300 kW. Do této kategorie spadá užívání rozpouštědel v domácnostech, stavební práce a zemědělská činnost. Tyto zdroje jsou hromadně sledovány.

U REZZO 4 se jedná o mobilní zdroje dopravy: silniční, železniční, lodní a letecká doprava osob apod.

Koncentrace naměřených hodnot je zaznamenávána do Informačního systému kvality ovzduší neboli ISKO, jenž vznikl v roce 1971 pod správou Českého hydrometeorologického ústavu. Tento systém monitoruje a vyhodnocuje stav znečištění na území České republiky (<http://portal.chmi.cz>).

Česká republika se zavázala k postupnému snižování emisí v rámci revidovaného Göteborgského protokolu, jenž předepisuje snižování emisí do roku 2020 u $PM_{2,5}$ o 17 %, oxid siřičitý o 45 %, oxidy dusíku o 35 % a těkavých organických látek o 18 % oproti roku 2005 (ČHMÚ, 2012).

Tabulka č. 2: Index kvality ovzduší v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ podle ČHMÚ

| Index | Kvalita ovzduší | Hodinový průměr koncentrace PM_{10} | Hodinový průměr koncentrace SO_2 |
|-------|-----------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | velmi dobrá | 0 - 20 | 0 - 25 |
| 2 | dobrá | 21 - 40 | 25 - 50 |
| 3 | uspokojivá | 41 - 70 | 50 - 120 |
| 4 | vyhovující | 71 - 90 | 120 - 350 |
| 5 | špatná | 91 - 180 | 350 - 500 |
| 6 | velmi špatná | > 180 | > 500 |

(Zdroj: <http://portal.chmi.cz/>)

3.1.6 Základní znečišťující látky a jejich výskyt v ovzduší

Jedná se o látky znečišťující ovzduší neboli polutanty. Primární látky znečišťující ovzduší jsou ty, které jsou vypouštěny do atmosféry od zdroje například z továrny. Sekundární polutanty vznikají v prostředí. Jsou výsledkem chemických reakcí primárních znečišťujících látek. Tyto znečišťující látky mají v přírodě formu plynu nebo pevných částic (WHO, 2006).

Seinfeld et al. (2006) uvádí, že znečištění ovzduší polutanty může být lokálního, regionálního či globálního charakteru, záleží na době setrvání látek v ovzduší. Do primární kategorie řadíme oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý a těkavé organické látky. Zdroje znečišťujících látek mohou mít bodový charakter například továrna nebo liniový charakter jako je silniční doprava. Primární polutanty z továren je poměrně snadné měřit, naproti tomu polutanty z dopravy jsou obtížně měřitelné, jelikož mohou být emitovány větrem (WHO, 2006).

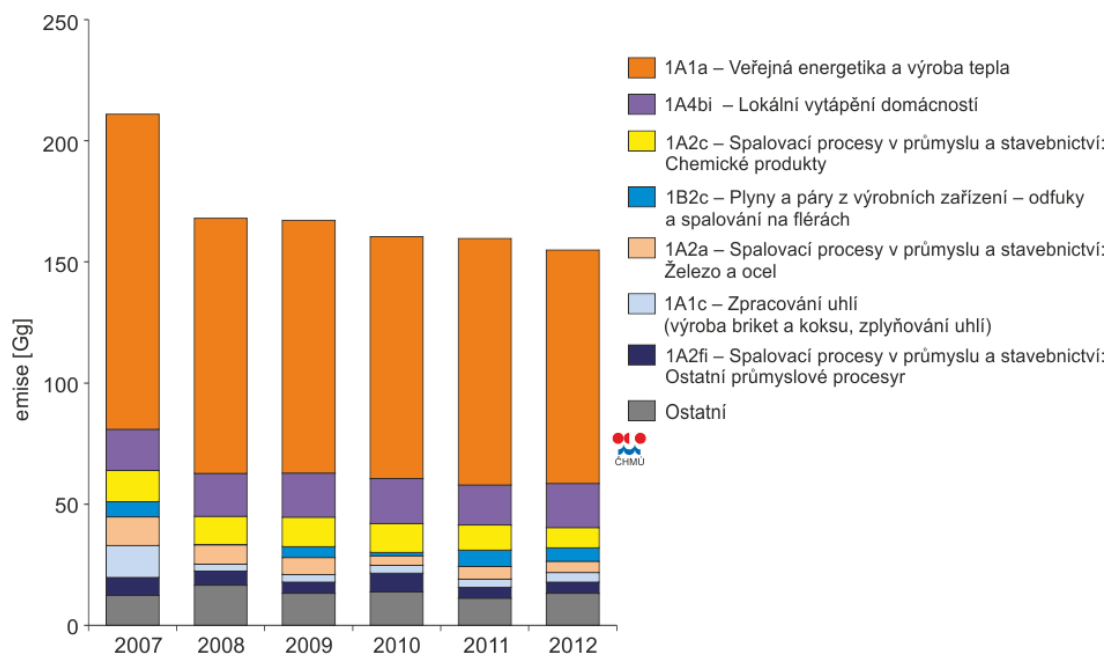
Oxid siřičitý – SO₂

Hlavním antropogenním zdrojem oxidu siřičitého je spalování fosilních paliv, ale i zpracování rud s obsahem síry. Mezi přirozené zdroje síry řadíme sopečnou činnost. Dříve byl nejvýznamnější výskyt zaznamenán ve velkých městech, kde se topilo hnědým uhlím. V současné době klesá vytápění uhlím. Tímto trendem dochází k poklesu množství oxidu síry v ovzduší způsoben topením (Andrejovský a kol., 2013). Naopak znečištění sírou z motorových vozidel stále přetrvává, což se projevuje ve velkých aglomeracích, jako je například Londýn. Ten patřil i dříve mezi nejvíce znečištěná města, avšak použití vysokých komínů u elektráren vedlo k nařazení a rozptýlení oxidů síry. I nadále některá světová města, zejména v nerozvinutých státech se potýkají s vysokou koncentrací oxidů síry. Denní průměrné koncentrace síry v evropských městech poklesly a jsou nyní obecně nižší než 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Přirozené koncentrace oxidů síry ve venkovských oblastech Evropy jsou méně než 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (WHO, 2006).

Velké množství oxidu siřičitého je emitováno spolu se zplodinami ze spalování do ovzduší, kde za pomoci vlhkosti a slunečního svitu, dochází ke vzniku kyseliny sírové, která má negativní dopad na rostliny v podobě kyselých dešťů. Oxid siřičitý má také špatný vliv na lidské zdraví. Jeho dráždivé účinky, negativně působí na funkci plic a astma (ČHMÚ, 2012).

Průměrná koncentrace SO₂ se Slezském vojvodství pohybuje kolem 17 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v Moravskoslezském kraji se průměrná roční koncentrace pohybuje kolem 9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Blažek a kol., 2013).

Graf č. 2: Vývoj emisí SO₂ v ČR

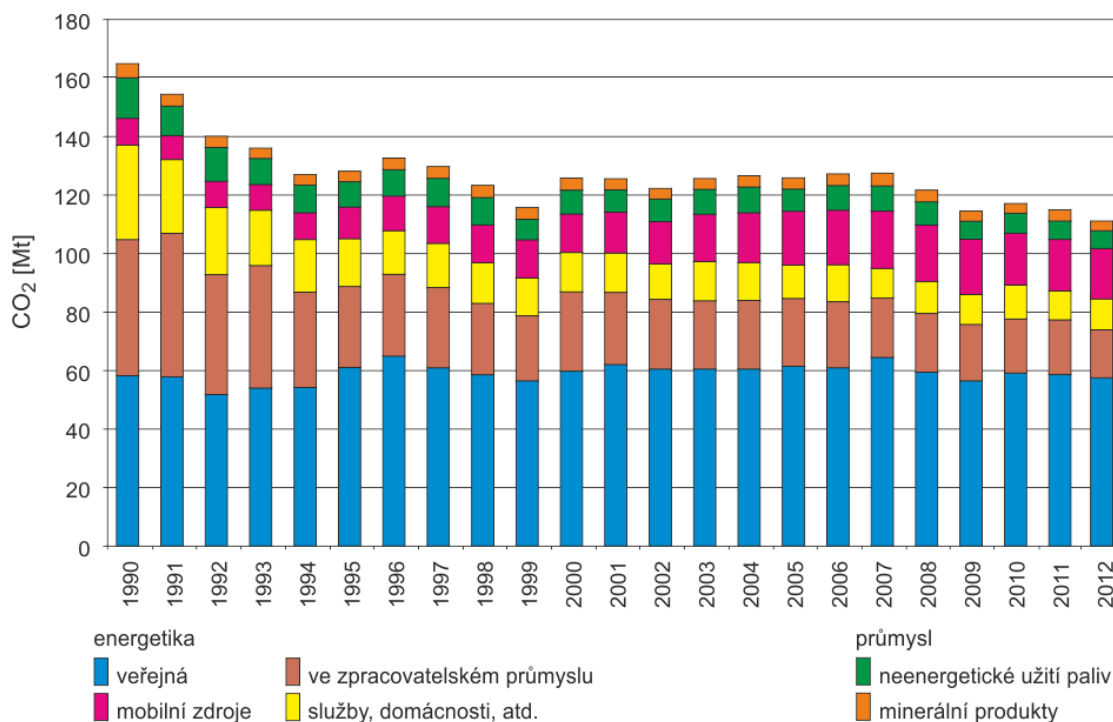


(Zdroj: <http://portal.chmi.cz/>)

Oxid uhličitý – CO₂

CO₂ je emitován převážně při spalování fosilních paliv, při výrobě cementu, skla, vápna atd. V ČR přispívá k uvolňování tohoto plynu nejvíce spalování paliv konkrétně tuhých paliv, méně pak plynná paliva (Andrejovský a kol., 2013). V posledních 20 letech došlo k jeho poklesu zejména v sektoru energetiky (zpracovatelský průmysl, domácnosti, služby atd.). K poklesu emisí ve zpracovatelském odvětví vedl útlum a restrukturalizace průmyslových odvětví a také zaváděním nových technologií. V ostatních sektorech vedlo ke snížení tohoto plynu zejména efektivní využívání energií jako je zateplování budov a šetrněji hospodařit s energií. Naopak v dopravě byl zaznamenán dvojnásobný nárůst od roku 1990. Za tuto skutečnost mohl rozvoj dopravy – konkrétně individuální automobilové dopravy (ČHMÚ, 2012).

Graf č. 3: Emise oxidu uhličitého v ČR



(Zdroj: <http://portal.chmi.cz/>)

Oxidy Dusíku NO_x

Do této skupiny patří oxid dusný, oxid dusnatý, oxid dusičitý a oxid dusičný. Tyto oxidy jsou do prostředí uvolňovány spalováním a dopravou. Oxidy dusíku jsou vymývány z atmosféry nebo se usazují na zemském povrchu. V malém množství takto vyplavované ionty působí pozitivně na rostliny, ale ve velkých koncentracích dochází k nepříznivému účinku na živočichy a rostliny. Dochází k umírání ryb a přemnožení vodních rostlin, které vedou ke vzniku eutrofizace. Oxid dusičitý společně s dalšími látkami a ultrafialovým zářením zapříčiňuje vznik přízemního ozonu. Ten při vysokých koncentracích poškozuje rostliny, což je velmi nežádoucí v zemědělství. V evropském měřítku jsou emise dusíku produkovány jen z 10 % přírodními zdroji. Koncentrace emisí těchto oxidů vzniklé lidskou činností se zvyšují (WHO, 2006).

Průměrná koncentrace v Moravskoslezském kraji se pohybuje v chladné polovině roku kolem 23 - 26 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v teplé polovině roku v intervalu 19 – 21 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Blažek a kol., 2013).

3.1.7 Historický vývoj znečištění ovzduší v ČR

Znečištění ovzduší se začalo sledovat až od 50. let 20. století, kdy se se začaly projevovat následky těžkého průmyslu. Ke znečištění také přispělo spuštění hnědouhelných elektráren v Podkrušnohoří. Hlavní zásluhu v zavedení sledování imisní situace měla hygienická služba a Český hydrometeorologický ústav, kterému v roce 1967 po schválení zákona přibylo odvětví ochrany čistoty ovzduší. V roce 1978 bylo Československo na 3. evropské příčce ve znečištění emisemi SO₂. Jednalo se o důsledek stále rostoucího tepelného průmyslu. Dalšími zdroji znečištění byly i lokální topeniště a nekvalitní spalování. To zapříčinilo devastaci lesů a odtěžení velkých ploch. Avšak také rostlo povědomí o škodlivosti znečišťujících látek na lidské zdraví. V 90. letech minulého století postupně dochází k pozvolnému útlumu uvolňování znečišťujících látek do atmosféry, jelikož došlo k provedení opatření na ochranu životního prostředí (odsíření, využívání lepších paliv). Mezi lety 1990 - 2000 došlo ke snížení SO₂ o více než 70 %. Následně pak během začátku 21. století dochází ke stagnaci trendu emisí znečišťujících látek. V následujících letech už není tak významný rozdíl mezi koncentracemi znečišťujících látek, jsou zaznamenávány spíše menší odchylky. Tyto rozdíly bývají zapříčiněny příznivými nebo naopak nepříznivými meteorologickými a rozptylovými podmínkami (Andrejovský a kol., 2013).

3.2 Dopady znečištění ovzduší

Jelikož mají znečišťující látky negativní dopad na lidské zdraví, byly zavedeny opatření ochrany ovzduší. Dopad na lidské zdraví je určen dobou expozice, koncentrací, specifickými vlastnostmi znečišťujících látek, způsobem působení látky (expozice na kůži, průnik ústy do těla) a stavem jedince (Desonie, 2007).

Limitem nazýváme hranici přijatelnosti rizika. Ty určují specialisté na základě dlouholetých studií. Látky v ovzduší dělíme na látky s prahovým a bezprahovým účinkem. Bezprahové účinky ovlivňují lidské zdraví vždy. Do této skupiny patří: těžké kovy, dioxiny, PM_x, PAU. Naopak prahové ovlivňují až od určité koncentrace. Důsledky působení znečišťujících látek dělíme na akutní a dlouhodobé. Akutní dopady u vegetace způsobují převážně SO₂ a O₃, jedná se o oxidativní stres, jenž může mít negativní vliv na zemědělské výnosy. Naproti tomu u dlouhodobých účinků na ekosystémy se jedná o eutrofizaci a acidifikaci půd a vod (Andrejovský a kol., 2013).

3.2.1 Dopad na lidské zdraví

U suspendovaných částic dochází ke vstupu do organismu dýchacími cestami. Může dojít k jejich vykašlání, a pokud ne, větší prachové částice v těle po čase sedimentují. Mezi nejčastějšími následky patří poškození sliznic dýchacích cest, poškození očních spojivek nebo pokožky. V delším časovém měřítku dochází ke vzniku alergií či astmatu. Prachové částice mohou také obsahovat stopy bakterií a virů, které mohou vést k rozvoji infekcí. Toxické a karcinogenní látky mohou být vdechovány a následně vést ke vzniku nádorů. Podobný vliv může mít i dlouhodobá expozice těchto látek na kůži (Desonie, 2007).

Bylo dokázáno, že při nárůstu roční průměrné koncentrace částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ o $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ přispívá ke zvýšení celkové úmrtnosti o 3 až 6 %. Bezpečný práh rizika je stanoven na průměrnou roční koncentraci $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ u $PM_{2,5}$ a u PM_{10} se jedná o $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (WHO, 2006). Přípustný denní limit v České republice je $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, roční limit $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. U SO_2 je limitní hodnota stanovena na $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ u lidí a $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro vegetaci. Podkladem pro zpracování hodnocení zdravotního stavu lidí jsou průměrné roční koncentrace. Podkladem pro vyhlášení regulace a omezení pohybu ve venkovním prostředí je koncentrace PM_{10} nad $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Andrejovský a kol., 2013).

3.2.2 Vliv znečištění na ekosystémy

Prvně se o zamezení negativního vlivu znečišťujících látek jako takového začalo uvažovat v Anglii, kde jako první přijali zákon v roce 1863, který limitoval koncentrace vypouštěných látek z továren (konkrétně HCl). Negativní vliv znečišťujících látek lze dělit do dvou skupin, a to na vliv s přímými účinky a účinky nepřímé, kde působení látkou vede k negativnímu dopadu na prostředí kolem vegetace (Andrejovský a kol., 2013).

Po vstupu emisí do atmosféry znečišťující látky podléhají různým reakcím, jako je například okyselení, jehož důsledkem je kyselý déšť. Emise jsou látky, které jsou přímo vypouštěné ze zdroje do atmosféry. Příkladem zdroje může být komín z továrny či výfuk od automobilu (Desonie, 2007).

Přírůstek cizorodých prvků doprovázený okyselením půd a zvýšením emitace rizikových látek v půdě, vede ke zvyšování nebezpečí kontaminace potravních řetězců. Okyselení půd dále vede ke ztrátám základních živin jako je hořčík a vápník (Ust'ak a kol., 2010).

3.3 Meteorologické prvky ovlivňující úroveň znečištění ovzduší

Stupeň znečištění na daném území významně ovlivňují meteorologické podmínky. Ty určují míru rozptylu, ovlivňující pohyb znečišťujících látek ze zdrojů a následné zastoupení těchto látek v atmosféře, nazývané jako rozptylové podmínky. Mezi nejvýznamnější prvky ovlivňující rozptyl znečišťujících látek řadíme směr a rychlost větru a vertikální profil teploty vzduchu (Ošródka a kol., 2011). Vysoká rychlost větru navíc přináší riziko znovuzvíření již usedlých částic. Obecně lze říci, že čím vyšší rychlost větru, tím větší rozředování částic a tím nižší koncentrace znečištění. Čím jsou podmínky v atmosféře stabilnější, tím hůře se znečišťující látky rozptylují. Stabilitu atmosféry zásadně ovlivňuje i vývoj teploty s výškou. Hraniční situací pak může být teplotní inverze, při které je ve vyšších vrstvách atmosféry vyšší teplota nežli v nižších vrstvách. V chladné a teplé polovině roku se značně liší meteorologické podmínky. V chladné polovině roku konkrétně od prosince do února se znečišťující látky nejhůře rozptylují. Vysoké koncentrace znečištění v tomto období přispívá i fakt, že se jedná o topnou sezónu, což vede ke zvyšování emisí (Blažek a kol., 2013).

3.3.1 Stabilita atmosféry

Určuje charakter rozptylových podmínek. Stabilitu atmosféry udává vertikální profil teploty, množství turbulentního promíchávání a výška směšovací vrstvy. Vertikální teplotní gradient nám udává závislost, jak rychle se mění teplota se změnou nadmořské výšky. Pokud se rovná nule, teplota je s měnící se výškou stejná. Obecně platí, že na 100 metrů nadmořské výšky se teplota změní o téměř jeden stupeň celsia. Tento gradient nazýváme suchoadiabatický. Naproti tomu pro gradient nasyceně adiabatický se teplota vzduchu mění o přibližně 0,6 stupně celsia na 100 metrů (Blažek a kol., 2013).

V případě, že teplota vzduchu s výškou roste, hovoříme o teplotní inverzi. V inverzní vrstvě je potlačeno promíchávání vzduchu vertikálně. Dochází k blokování škodlivých a jiných látek v dané vrstvě a nemůže dojít k jejich naředění. Taková situace se může stát kritickou v lokalitách, kde je koncentrováno velké množství zdrojů znečištění, jako jsou průmyslové oblasti nebo oblasti s vysokou hustotou dopravy. Při hromadění škodlivin v inverzní vrstvě, kde koncentrace těchto látek překročí prahové hodnoty, vznikají smogové situace. Smogové situace mohou vznikat buď letní nebo zimní. Vysoké množství troposférického ozonu vznikajícího ve velmi teplých a suchých dnech nazýváme jako letní smog. Ten se vyskytuje zpravidla mezi měsíci duben až září v letní sezóně, avšak v této části roku se regulace nevyhlašuje. Naopak zimní smog je spojen s vysokým množstvím oxidů

dušiku, síry a pevných částic v atmosféře v období mezi říjnem a březnem, kdy při překročení stanovených hodnot dochází k regulaci (Andrejovský a kol., 2013).

3.3.2 Vítr

Vliv na šíření a rozptyl znečišťujících látek mají směr a rychlost větru. Při měření a určování znečištění ovzduší se často používá graf větrné růžice. Ta nám ukazuje, jaké směry větru se v dané oblasti vyskytovaly. Platí pravidlo, že čím je rychlost větru vyšší, tím je rozptyl intenzivnější a tím pádem se snižuje koncentrace znečišťujících látek. Avšak při vysokých rychlostech větru často dochází ke znovuzvření částic po jejich usazení. Reprezentativní pro měření rozptylu v atmosféře je rychlost větru ve výšce 10 metrů (Blažek a kol., 2013).

V přeshraniční oblasti Moravy a Slezska má průměrná rychlost větru zřetelný roční trend. Menší rychlost větru je zaznamenávána od května do září, naopak vyšší rychlost větru je zřejmá od listopadu do března (Blažek a kol., 2013).

3.4 Vymezení sledované oblasti

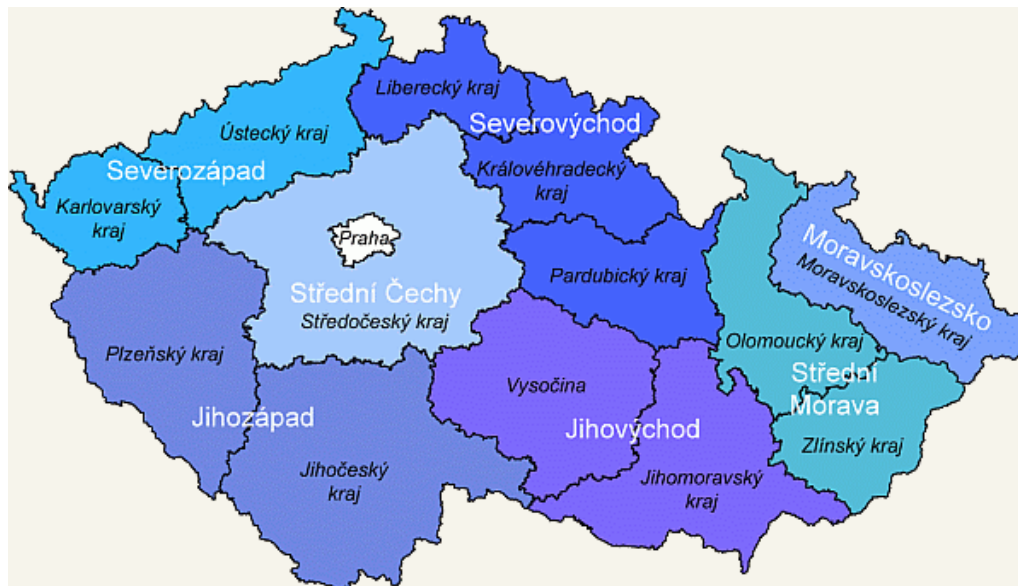
Práce se zabývá podmínkami v oblasti severní a střední Moravy. Do střední oblasti Moravy spadají obce Přerov, Prostějov, Olomouc a Kroměříž. Oblast severní Moravy tvoří regiony Beskydy, Jeseníky, Opavsko, Ostravsko, Poodří. Nejvyšší horou Jeseníků je Praděd 1491 m n. m. Moravskoslezské Beskydy tvoří oblouk Karpat. Zde převládají pískovce, břidlice a slíny, nejvyšší bod Beskyd je Lysá hora, jenž se tyčí do výšky 1323,4 m. Největší část Beskyd tvoří okres Frýdek – Místek a Vsetín, menší část tvoří Nový Jičín a okrajově Karviná (Volná, 2011).

Moravské brány jsou obklopeny z obou stran horskými masivy. Východním směrem jsou obklopeny Beskydami, směrem na západ leží Jeseníky a Oderské vrchy. V severovýchodní Moravě v chladné polovině roku převládá jihozápadní proudění, související s orografickým vlivem Moravské brány. Naopak Jablunkovská brázda ovlivňuje nejvýchodnější část Moravskoslezského kraje, kde převažuje jihovýchodní proudění (Kuta a kol., 2015).

V přeshraniční oblasti Slezska a Moravy je na obou území velký počet emisních zdrojů. V Moravskoslezském regionu je časté využívání uhlí pro vytápění v domácnostech i

v průmyslu, to má značný dopad na znečištění krajiny i ovzduší. Toto znečištění přispívá na daném území k dlouhodobě nadlimitní úrovni znečištění ovzduší (Blažek a kol., 2013).

Obr. č. 1: Mapa krajů České republiky



(Zdroj: <https://www.euroskop.cz/>)

3.4.1 Znečištění ovzduší oblasti Moravy a Slezska

Velké množství znečištění ovzduší částicemi antropogenního původu je značným problémem přeshraniční oblasti Slezska a Moravy. Negativní dopad na zdraví může být tvořeno vysokou koncentrací jemných i hrubých částic, dále i jejich chemickým složením. V této oblasti se koncentruje průmyslová výroba, velká hustota zástavby s lokálním vytápěním tuhými palivy a nachází se zde i dopravní zátěž. Všechny tyto prvky vedou ke vzniku emisní zátěže (ČHMÚ, 2012).

Proměnlivost stupně znečištění ovzduší PM_{10} , způsobuje odlišná geografická poloha a poloha vůči zdrojům emisí. Dále je znečištění v oblasti vyšší při dlouhodobějším trvání inverzní oblačnosti. Podíl suspendovaných částic není vždy a na všech místech stejný. Liší se v závislosti na původu částic a také na roční a denní době. V oblasti Moravy a Slezska tvoří částice $PM_{2,5}$ většinu částic PM_{10} (Blažek a kol., 2013).

Situace v daném regionu je spojena s historickým vývojem průmyslové části této oblasti. Mezi velké zdroje znečištění se zde řadí vytápění, to je spojeno s hustotou osídlení. Další významný vliv na místní kvalitu ovzduší má pak i přenos znečištění mezi hranicemi Česka

a Polska. Zastoupení suspendovaných částic v ovzduší v Moravskoslezském kraji je nejvyšší v celé ČR (ČHMÚ, 2012).

Ostrava je přezdívána jako ocelové srdce republiky, jelikož je zde situováno velké množství těžkého průmyslu. V poválečném období docházelo na území Moravy a Slezska k rozvoji Vítkovických železáren a vybudování nového hutního areálu Nová huť v Ostravě. Docházelo k rozvoji i chemické a potravinářské výroby. V roce 1946 bylo vytěženo 11 225 300 tun černého uhlí. Vytěžené množství se stále zvyšovalo a začátkem sedmdesátých let bylo vytěženo až 24 468 350 tun černého uhlí. Po osmdesátých letech začalo docházet k postupnému útlumu, takže v 90. letech se vytěžilo 19 734 814 tun. V těchto letech byl restrukturalizován výrobní proces, který nejvíce pocítil hutní a těžební průmysl. Následkem toho došlo v polovině devadesátých let k velkému útlumu v těžebním odvětví a na území Ostravy, byla těžba černého uhlí zastavena úplně (Kuta a kol., 2015).

I v současné době se v oblasti nachází několik průmyslových provozoven, jenž vede ke zvyšování emisí v ovzduší. Mezi jednou z nich je BorsodChem MCHZ, s.r.o., kde se vyrábí farmaceutické, pryžové a zemědělské výrobky. Další výrobnou je OKK Koksovny, a.s., mající dva závody - Koksovna Jan Šverma, Koksovna Svoboda, kde se koncentruje výroba koksu, to ovšem obnáší i produkci dehtu, benzolu a síry. ArcelorMittal, a.s. se zaměřuje na výrobu a další zpracování železa, oceli a dalších kovů. Dalkia Česká republika, a.s. je jedním z hlavních výrobců a poskytovatelů elektrické a tepelné energie, kterou poskytuje napříč Českem, ale i do terciálních sektorů. Významným výrobcem, poskytovatelem a dovozcem typových požárních i nepožárních výplních stavebních mezer z různých materiálů je Hasil, a.s. DUKOL Ostrava, s.r.o., jenž se zaměřuje na výrobu lepidel, organické a anorganické chemie. Dalšími významnými zdroji emisí v oblasti jsou Spalovna průmyslových odpadů a rafinerie minerálních olejů Laguny OSTRAMO. Skládka nebezpečných odpadů po výrobě minerálních olejů, je jedním z největších ekologických problémů České republiky. V průběhu odstraňování starých ekologických zátěží se vyskytují vysoké hodinové koncentrace škodlivin. Převážně v jarních a letních měsících jsou zaznamenávány maxima koncentrací SO₂ a benzenu v nočních hodinách (Černíkovský a kol., 2013).

4 Materiál a metodika

V této práci je studováno znečištění ovzduší v oblasti střední Moravy. Data, která jsou použita, byla poskytnuta z měření Českého hydrometeorologického ústavu.

Byla získána souvislá datová řada pro celé či většinu hodnoceného období od 1.1.2005 do 31.12.2014. Byla dodána ve formátu XLS, celkem se jednalo o 87 650 datových řad. Data byla měřena každou hodinu ve sledovaném období. Imisní data byla poskytnuta ve formě hodinových průměrných koncentrací. Meteorologická data jsou hodnoty naměřené na začátku dané hodiny.

V této práci byly pozorovány a zaznamenávány následující hodnoty: teplota vzduchu, směr a rychlost větru, koncentrace $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 . Tyto rozdíly v koncentraci znečištění byly studovány. Regresní analýza ukazuje závislost koncentrací znečištění na meteorologických podmínkách.

Směry větrů byly dodány ve stupních. Ty byly následně převedeny do 16 směrové stupnice, dle toho, jaký stupeň hodnota představovala: Sever byl brán jako 0 – 11 °; 350 – 360 °, ssv 12 – 34 °, sv 35 – 57 °, vsv 58- 79 °, v 80 – 102 °, vjv 103 – 124 °, jv 125 – 147 °, jjv 148 – 169 °, j 170 – 192 °, jjz 193 – 214 °, jz 215- 237 °, zjz 238 – 259 °, z 260 – 281 °, zsz 282 – 303 °, sz 304 – 326 °, ssz 327 – 349 °.

Dále v této kapitole byly použity grafy, které ilustrují proměnlivost naměřených koncentrací v jednotlivých letech na jednotlivých stanicích. Zachycují také vývoj znečištění v jednotlivých sezónách a během celého období. Dále grafy znázorňují průměrný rok, aby bylo zřejmé, jak se znečištění průměrně mění během roku. Grafy byly vytvořeny z dat dodaných Českým hydrometeorologickým ústavem, které byly převedeny do kontingenční tabulky a následně vytvořené grafy. Průkaznost závislosti znečištění na meteorologických podmínkách pak dokazuje aplikovaná regresní analýza.

4.1 Použitá data

Sledované částice na meteorologických stanicích:

Průměrná hodinová koncentrace v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;

Suspendované částice PM_{10} ;

Suspendované částice $PM_{2.5}$;

Oxid siřičitý

Ostatní sledované údaje:

Směr větru ve výšce 10 m nad zemí ve stupních;

Rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v m.s-1;

Teplota vzduchu ve výšce 2 m nad zemí ve stupních C;

Vertikální pseudogradient teploty ve stupních Celsia na 100 m výšky

4.1.1 Sledované meteorologické stanice

Mošnov - 250,4 m.n.m.: Automatizovaná meteorologická stanice ležící v Ostravě u letiště v travním porostu mezi pojezdovou a přistávací dráhou, tudíž nedochází ke zkreslení rychlost větru a dalších meteorologických prvků.

Ostrava - Poruba 238,6 m.n.m.: Automatizovaná klimatologická stanice se nachází v předměstské obytné zóně. Zde převládá řídká nízkopodlažná zástavba. Na jih se rozkládá mírně skloněný pozemek pobočky ČHMÚ Ostrava, který byl původně dobře otevřená lokalita. V blízkosti stanice leží benzínová pumpa a rodinné domy.

Lučina - 300,0 m.n.m.: Automatizovaná klimatologická stanice nacházející se v Moravskoslezském kraji, okres Frýdek – Místek, v obci Lučina. Geograficky na svazích nejsevernějšího výběžku Frýdecké pahorkatiny.

Lysá hora - 1322,0 m.n.m.: Automatizovaná meteorologická stanice bez obsluhy se nachází v obci Krásná v Okrese Frýdek – Místek. Nachází se na vrcholu ve značně svažitém terénu (nad 10 %). Velmi dobrá otevřená lokalita se zemědělskou půdou a trvalým travním porostem.

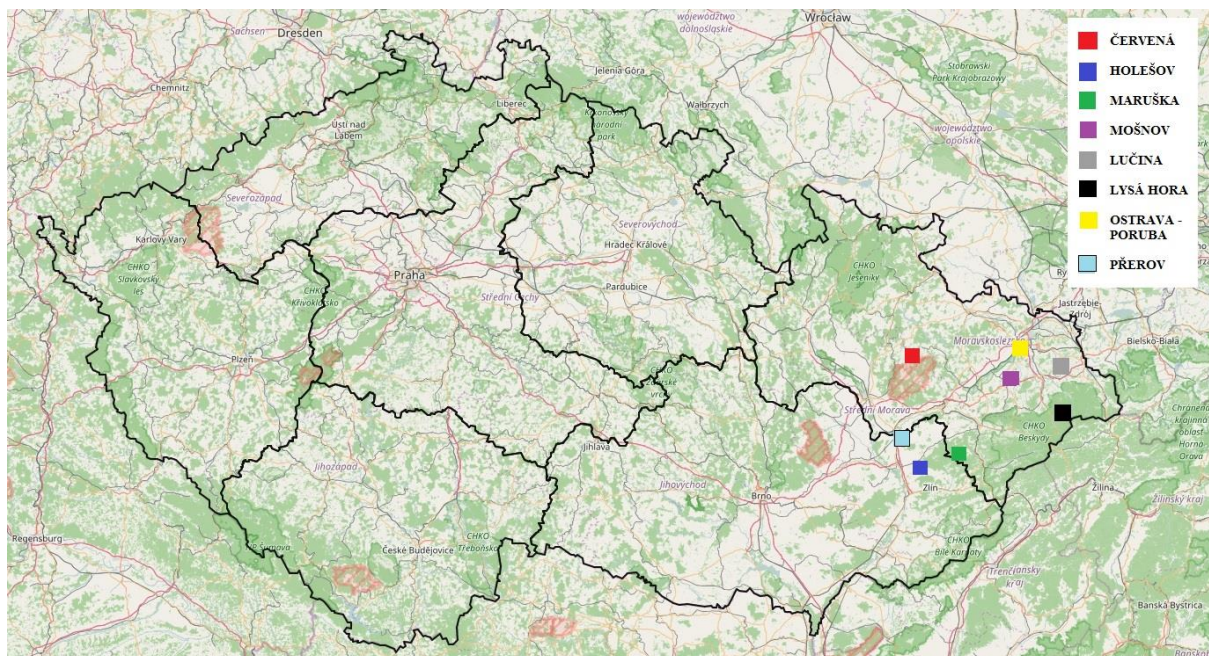
Červená - 748,1 m.n.m.: Automatizovaná meteorologická stanice bez obsluhy, která se nachází v nízkém Jeseníku v Moravskoslezském kraji, okres Opava v obci Budišov nad Budišovkou. Zaujímá vrcholovou polohu na lesní mýtině, v oblasti se nachází zemědělská půda a trvalý travní porost.

Přerov - 202,5 m.n.m.: Automatizovaná klimatologická stanice, která se nachází v městské obchodní i obytné zóně v Olomouckém kraji. Terén je charakterizován jako velmi mírně zvlněný převážně rovinatý. Stanice se nachází v otevřené lokalitě v městském centru (park, lesopark).

Maruška - 664,1 m.n.m.: Automatizovaná klimatologická stanice se nachází na stejnojmenném vrcholu v Hostýnských horách ve Zlínském kraji. V okolí se nachází zvlněný terén, v oblasti se vyskytuje trvalý travní a lesní porost. Řadí se do sítě automatických klimatických stanic.

Holešov - 222,3 m.n.m.: Automatizovaná meteorologická stanice bez obsluhy ležící na okraji vnějších Karpat. Krajina je otevřena z jihu k panonským nížinám. Stanice se nachází v blízkosti průmyslové zóny.

Obr. č. 2: Mapa meteorologických stanic, na kterých probíhalo měření



(Zdroj: Vlastní)

Průměrná hodinová koncentrace PM_{10} v $\mu g \cdot m^{-3}$ pro Ostravsko byla vypočtena ze souboru hodnot naměřených v dané hodině. Byla vyřazena minimální a maximální hodnota a ze zbývajících hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Průměrná hodinová koncentrace SO_2 byla vypočtena jako aritmetický průměr ze všech dostupných měření v dané hodině. Průměry byly vypočteny z měření na stanicích Studénka, Karviná, Havířov, Frýdek - Místek, Bohumín, Ostrava – Zábřeh, Ostrava - Fifejdy. Průměrná hodinová koncentrace $PM_{2,5}$ pro Ostravsko byla opět vypočtena jako aritmetický průměr ze všech dostupných měření v dané hodině ze stanic Studénka, Bohumín, Ostrava – Zábřeh, Ostrava – Fifejdy.

Průměrná hodinová koncentrace PM_{10} a SO_2 v $\mu g \cdot m^{-3}$ pro střední Moravu byla vypočtena z měření na stanicích Olomouc, Přerov, Prostějov, Olomouc - Hejčín jako aritmetický průměr ze všech dostupných měření v dané hodině. Průměrná hodinová koncentrace $PM_{2,5}$ pro střední Moravu byla také vypočtena jako aritmetický průměr ze všech dostupných měření v dané hodině na stanicích Olomouc, Přerov, Olomouc – Hejčín.

4.2 Vícenásobná regresní analýza

Vícenásobná regrese popisuje situaci, kde závisle proměnná závisí na více než jednom regresoru neboli na více nezávisle proměnných. Regresní analýzu využíváme tehdy, pokud je potřeba zjistit závislost určité spojité proměnné na jedné nebo více dalších spojitých proměnných. Nejprve je potřeba určit, jaká proměnná hodnota je nezávislá a která je závislá. Cílem regresní analýzy je popsat tuto závislost pomocí vhodného modelu. Před každou analýzou by měla předcházet podrobná kontrola dat (Hendl, 2015).

Pomocí vícenásobné regresní analýzy lze zjistit odpovědi na statistické otázky. Analýza zjišťuje vztah mezi jednou závisle proměnnou a více nezávisle proměnných. Data zjistíme, když u prvků výběru nalezneme hodnoty všech proměnných, které připadají v úvahu. Existují tři typy úloh, u kterých je vhodné použít vícenásobnou regresní analýzu:

1. Při zjišťování dopadu, jenž působí komplex obměn ovlivňujících pomocných proměnných $X_1, X_2, X_3 \dots X_k$, na výslednou proměnnou Y .
2. Při předpovídání jak budoucí nezávisle proměnné $X_1, X_2, X_3 \dots X_k$ mají vliv na hodnotu závisle proměnné Y .
3. Pomocí statistické analýzy zjistit, vzájemné vztahy mezi nezávisle proměnnými $X_1, X_2, X_3 \dots X_k$ na závisle proměnnou Y (Hindls a kol., 2007).

Rovnice:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Koeficienty = hodnota, která když je p méně než 0,05 jsou proměnné závislé statisticky významné; když je hodnota vyšší než 0,05 nejsou proměnné závislé statisticky významné

Hranice = počáteční hodnota y , tedy stav, který nastane, je-li X_1, X_2 a X_3 rovno nule

Hodnota P = Tato hodnota představuje maximální možnou hladinu významnosti, pro kterou se proměnná (faktor) ještě nezamítá.

V rámci vícenásobné regresní analýzy bylo zjišťováno, zda má zásadní vliv některý ze sledovaných parametrů na znečištění ovzduší ve sledované oblasti. Byly sledovány nezávisle proměnné hodnoty: vliv teploty vzduchu, rychlosti větru, směr větru na závisle proměnnou, v tomto případě koncentrace znečištění PM_{10} , $PM_{2.5}$ a SO_2 .

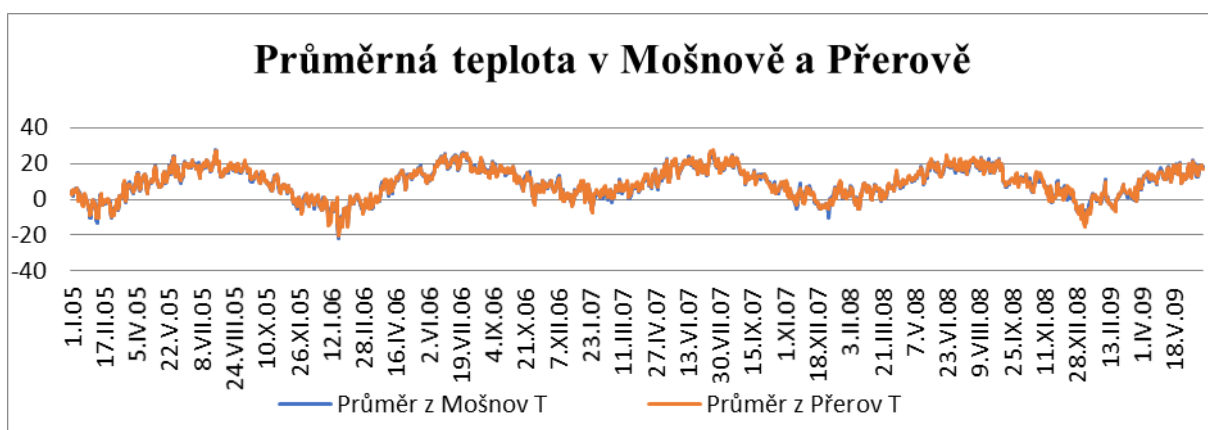
5 Výsledky

5.1 Vývoj průměrných hodnot

Tabulka č. 2: Průměrné koncentrace PM_{2,5}, PM₁₀ a SO₂ za sledované období

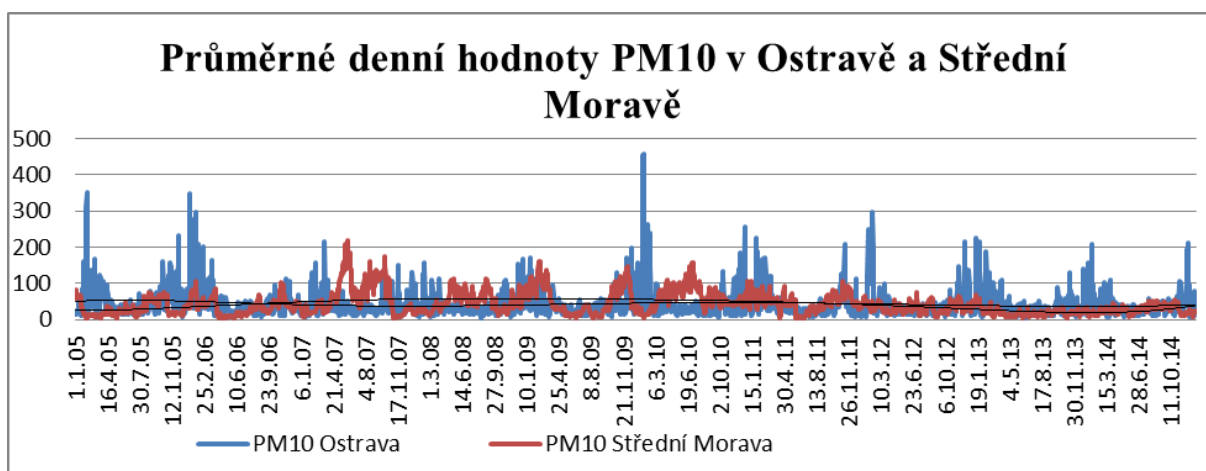
| | | | |
|--|-------------------|-------------------|------|
| Průměrná hodinová koncentrace [μg.m-3] | v Ostravě | PM ₁₀ | 42,9 |
| | | PM _{2,5} | 35,2 |
| | | SO ₂ | 9,4 |
| | ve Střední Moravě | PM ₁₀ | 33,5 |
| | | PM _{2,5} | 26,9 |
| | | SO ₂ | 5,4 |

Graf č. 4: Průměrná teplota měřená v Mošnově a v Přerově



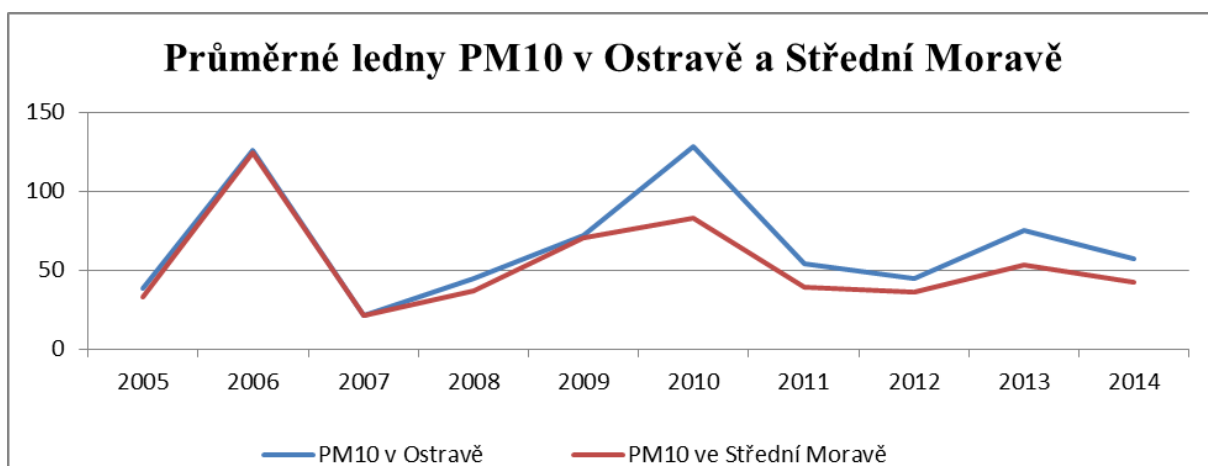
Graf znázorňuje průměrnou teplotu v období 1.1.2005 - 29.6.2009 v Mošnově a v Přerově. Osa y znázorňuje teplotu ve stupních celsia, osa x znázorňuje čas. Z grafu je patrné, že obě sledované oblasti měly velmi obdobné naměřené hodnoty. Teplota nepřesáhla 30 °C ani v letních měsících. Maximální naměřená teplota za sledované období byla 27 °C zaznamenána 17.7.2007 a 29.7.2005. Průměrně letní měsíce dosahovaly kolem 20 °C. Nejnižší teplota byla naměřena 24.1.2006 kdy teplota klesla na -20 °C. Zimní měsíce se pohybovaly v rozmezí 0 až -10 °C. Průměrná teplota v zimních měsících činila -0,3 °C. Dlouhodobý normál teploty vzduchu v Moravskoslezském kraji činí 7 °C za období 1961 - 1990. V roce 2005 byla průměrná roční teplota vyšší o 0,4 °C, v roce 2006 byla průměrná teplota překročena o 1,2 °C, v roce 2007 stoupla o 1,9 °C, v roce 2008 byla vyšší o 1,8 °C a v roce 2009 stoupla o 1,2 °C.

Graf č. 5: Průměrné denní hodnoty částic PM₁₀ v Ostravě a střední Moravě



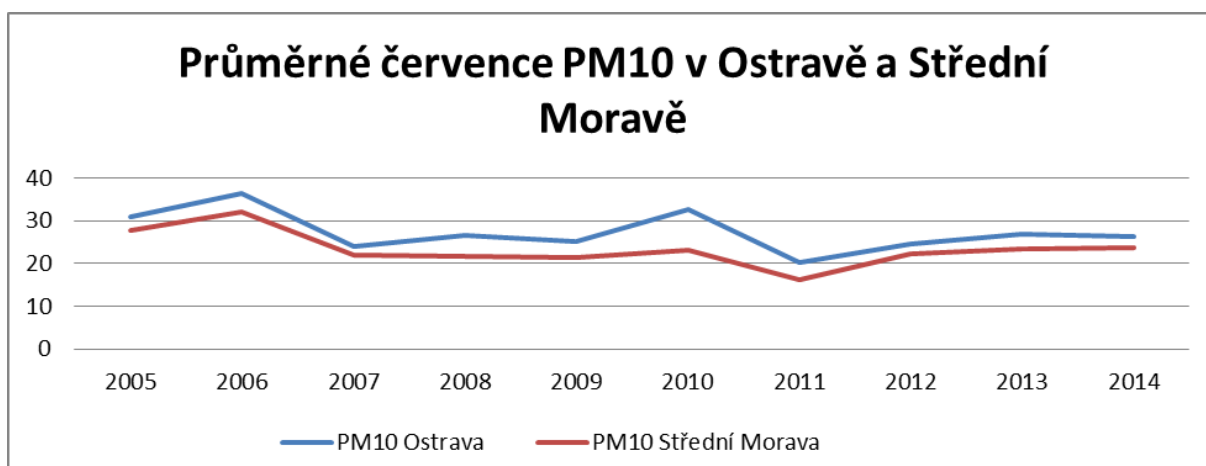
Graf znázorňuje průměrné denní hodnoty suspendovaných částic PM₁₀ v období 1.1.2005 – 31.12.2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. Výrazně vyšší hodnoty znečištění, jak je patrné z grafu, se vyskytují v této oblasti převážně v zimních měsících. V Ostravě jsou koncentrace PM₁₀ výrazně vyšší oproti střední Moravě. Začátkem února roku 2005 a začátkem ledna roku 2006 (9.1.2006) byly v Ostravě naměřeny průměrné denní hodnoty přes 350 µg.m⁻³. Průměrná teplota v tomto termínu činila -15 °C. Koncem ledna (25.1.2010) 2010 byly naměřeny průměrné hodnoty přes více než 450 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM₁₀ v Ostravě je 42,9 µg.m⁻³ za sledované období. Průměrná koncentrace PM₁₀ ve střední Moravě je 33,5 µg.m⁻³ za sledované období. Z naměřených hodnot vyplývá, že byl překročen přípustný roční limit v Ostravě o 2,9 µg.m⁻³. Ve střední Moravě překročen roční limit nebyl. Regulace byla vyhlášena v Ostravě v zimních měsících, tzn. prosinec až březen v letech 2005 – 2007 a 2010 - 2014, jelikož došlo k překročení koncentrace PM₁₀ přes 150 µg.m⁻³. Na střední Moravě byla také vyhlášena regulace naopak v letním období, konkrétně květen až konec září v roce 2007. Horní a dolní prahová hodnota byla překročena několikrát.

Graf č. 6: Průměrné hodnoty částic PM₁₀ měsíce ledna v Ostravě a Střední Moravě



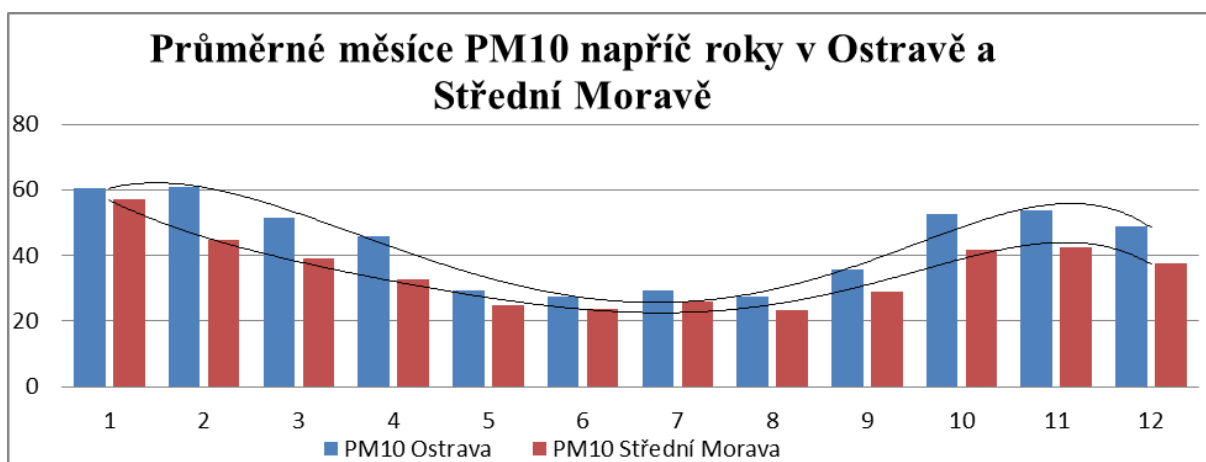
Graf znázorňuje průměrné hodnoty suspendovaných částic PM₁₀ měsíce ledna v období vždy od 1.1. – 31.1. napříč roky 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m-3., osa x znázorňuje čas. V roce 2006 a 2010 dosahovaly denní průměrné hodnoty v Ostravě znečištění až k 128 µg.m-3, což téměř dvojnásob oproti roku 2009 a 2013. Dle grafu č.4 byla v roce 2006 nejchladnější zima za sledované období, průměrná lednová teplota za tento rok byla -12,09 °C. Průměrná rychlost větru v lednu v roce 2006 byla 3,5 m/ s. V roce 2005 dosahovala průměrná koncentrace PM₁₀ v Ostravě 38,5 µg.m-3, v roce 2007 21,1 µg.m-3, v roce 2008 44,4 µg.m-3, v roce 2009 72 µg.m-3, v roce 2011 54,3 µg.m-3, v roce 2012 46,4 µg.m-3, v roce 2013 74,9 µg.m-3, v roce 2014 56,8 µg.m-3. V oblasti střední Moravy kromě roku 2006 nepřekročila průměrná měsíční koncentrace 100 µg.m-3. Nejnižší průměrná koncentrace byla naměřena v lednu 2007, průměrná teplota vzduchu za tento měsíc činila 3,7 °C. V roce 2005, 2008, 2011, 2012 a 2014 dosahovala průměrná koncentrace PM₁₀ na střední Moravě kolem 40 µg.m-3, v roce 2006 koncentrace překročila 124 µg.m-3, v roce 2009, 2010 byla koncentrace více než 60 µg.m-3. Nejnižší koncentrace byla naměřena v roce 2007, kde hodnota dosahovala 20 µg.m-3. Průměrná koncentrace PM₁₀ za sledované období v Ostravě v měsíci lednu činila 66,1 µg.m-3. Průměrná koncentrace PM₁₀ za sledované období na střední Moravě v měsíci lednu činila 54 µg.m-3.

Graf č. 7: Průměrné hodnoty částic PM₁₀ měsíce července v Ostravě a střední Moravě



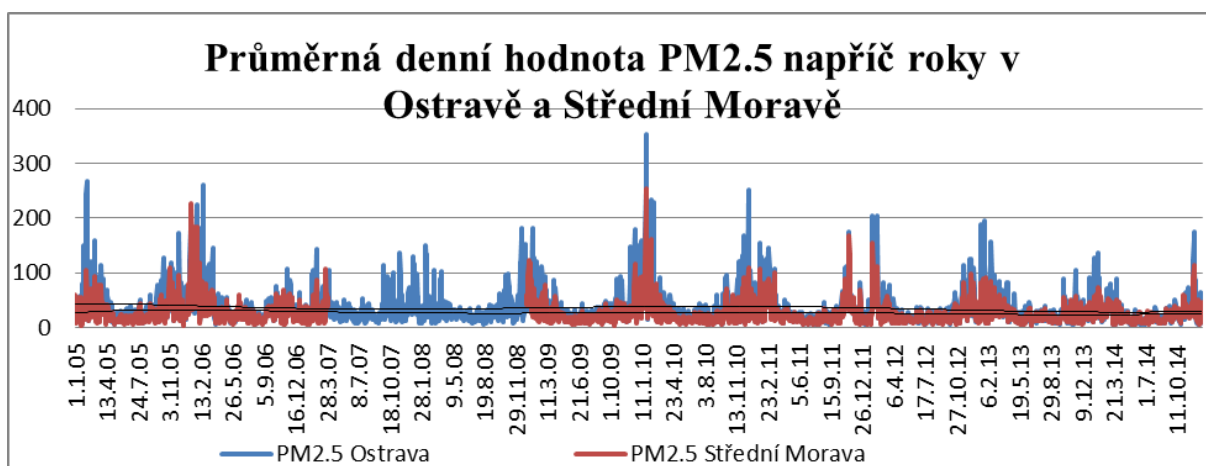
Graf znázorňuje průměrné hodnoty suspendovaných částic PM₁₀ měsíce července v období vždy od 1.7. – 31.7. napříč roky 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. Graf ukazuje znečištění, které v měsíci červenci v Ostravě dosahuje průměrné hodnoty mezi 16 – 37 µg.m⁻³. Z grafu je patrné, že v tomto období dochází na střední Moravě k menšímu znečištění PM₁₀ oproti Ostravě. Vyšší koncentrace byly naměřeny v Ostravě v roce 2005 a 2010 kdy průměrné hodnoty polévatého prachu PM₁₀ překročila 30 µg.m⁻³. V roce 2006 byla naměřena nejvyšší koncentrace v Ostravě, dosahovala více téměř 36 µg.m⁻³. V ostatních sledovaných letech neklesla průměrná koncentrace PM₁₀ v Ostravě pod 20 µg.m⁻³. Nejvyšší hodnota na střední Moravě byla naměřena v roce 2006, kdy koncentrace PM₁₀ dosahovala 32 µg.m⁻³. V ostatních sledovaných letech se pohybovala průměrná koncentrace suspendovaných částic v intervalu 15 – 25 µg.m⁻³. Nejnižší koncentrace suspendovaných částic na střední moravě činila 15 µg.m⁻³ v roce 2011. Průměrná teplota v červenci v roce 2006 byla 22,2 °C. Průměrná teplota v červenci v roce 2010 byla 19,2 °C. Opět znečištění v Ostravě bylo v každém ze sledovaných let vyšší než na střední Moravě. Průměrná koncentrace PM₁₀ za sledované období v Ostravě v měsíci červenci činila 27,4 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM₁₀ za sledované období na střední Moravě v měsíci červenci činila 23,4 µg.m⁻³.

Graf č. 8: Průměrné měsíce PM₁₀ naměřené v Ostravě a střední Moravě napříč roky



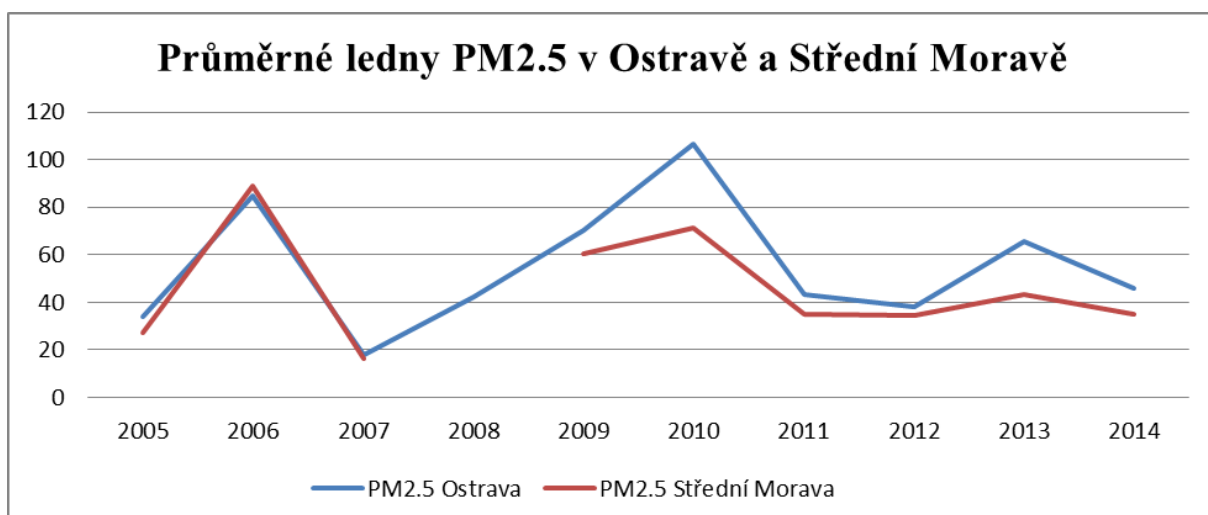
Graf znázorňuje průměrné hodnoty suspendovaných částic PM₁₀ napříč měsíci v období 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. Z grafu je patrné, že ve všech měsících napříč roky docházelo ke většímu znečištění v Ostravě oproti střední Moravě. U letních měsíců je však rozdíl nepatrný. Dále je zřejmé, že v zimních měsících je výraznější koncentrace znečištění oproti ostatním měsícům, v letních měsících je tento rozdíl téměř dvojnásobný. Nejvyšší znečištění docházelo v Ostravě v lednu a únoru, kdy je koncentrace PM₁₀ částic 60 µg.m⁻³, v říjnu a v listopadu je znečištění o 10 µg.m⁻³ nižší. V teplých měsících – květen, červen, červenec a srpen se koncentrace PM₁₀ pod 30 µg.m⁻³. Koncentrace znečištění na střední Moravě je vyšší opět v zimních měsících. V lednu dosahovalo znečištění 60 µg.m⁻³. V únoru, březnu, říjnu a listopadu průměrné koncentrace dosahovaly 40 µg.m⁻³. Nejméně bylo naměřeno v 5., 6., 7., 8. měsíci, kde bylo naměřeno přes 20 µg.m⁻³. Znečištění v Ostravě bylo v každém ze sledovaných let vyšší než na střední Moravě.

Graf č. 9: Průměrné denní hodnoty částic PM_{2.5} v Ostravě a střední Moravě



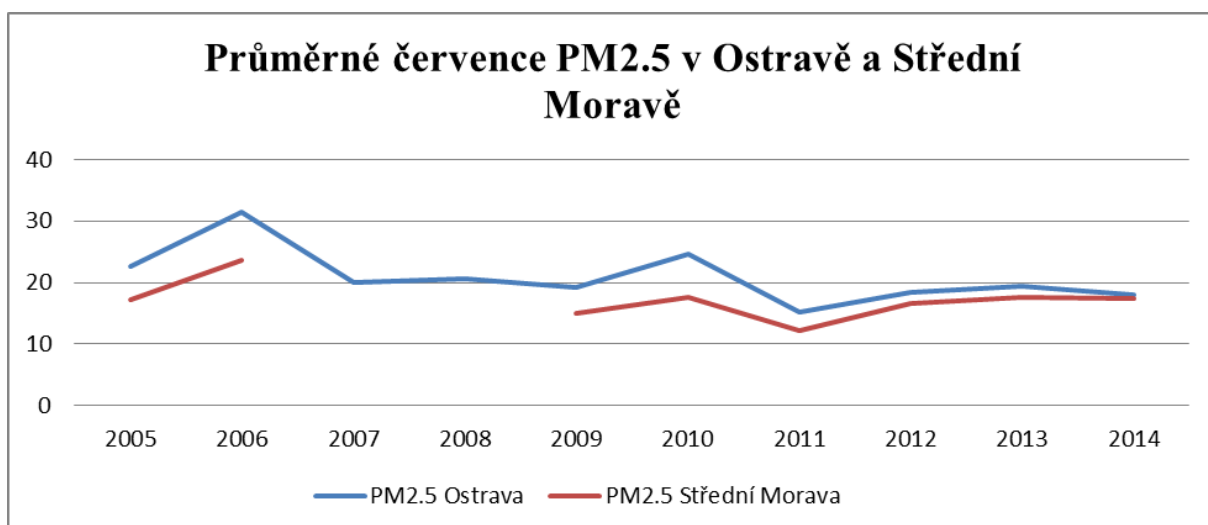
Graf znázorňuje průměrné denní hodnoty suspendovaných částic PM_{2.5} v období 1.1.2005 – 31.12.2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. Výrazně vyšší hodnoty znečištění, jak je patrné z grafu, jsou v této oblasti převážně v zimních měsících. V Ostravě jsou koncentrace PM₁₀ výrazně vyšší oproti střední Moravy. Začátkem února 2005 a koncem ledna 2006 byly v Ostravě naměřeny průměrné denní hodnoty kolem 250 µg.m⁻³. Průměrná teplota v měsíci únoru 2006 činila -2,9 °C. Koncem ledna (26.1.2010) 2010 byly v Ostravě naměřeny hodnoty přes 350 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM_{2.5} v Ostravě je 35,2 µg.m⁻³ ve sledovaném období. Průměrná koncentrace PM_{2.5} na střední Moravě je 26,9 µg.m⁻³ napříč sledovaným obdobím. Z naměřených hodnot v Ostravě a na střední Moravě vyplývá, že byl překročen přípustný roční imisní limit, který je stanoven na 25 µg.m⁻³. Výrazné znečištění bylo zaznamenáno koncem ledna také na střední Moravě, kde hodnoty dosahovaly 250 µg.m⁻³. Na střední Moravě nebyly měřeny hodnoty PM_{2.5} v období 1.4.2007 – 31.12.2008. Horní a dolní prahová hodnota byla překročena několikrát.

Graf č. 10: Průměrné hodnoty částic PM_{2.5} měsíce ledna v Ostravě a střední Moravě



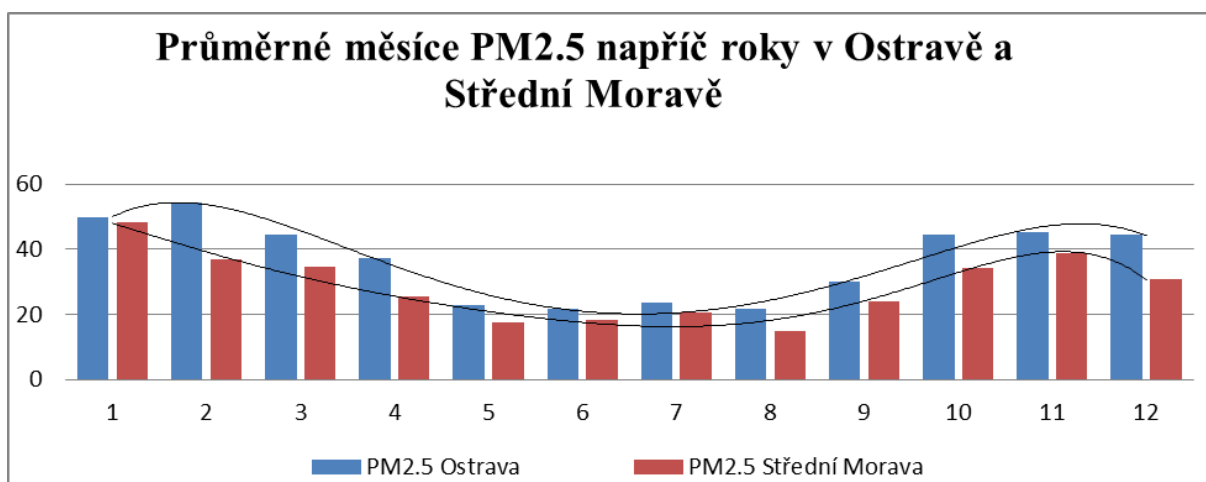
Graf znázorňuje průměrné hodnoty suspendovaných částic PM_{2.5} měsíce ledna v období vždy od 1.1. – 31.1. napříč roky 2005 - 2014 v Ostravě a střední Moravě. Na střední Moravě nebyly měřeny hodnoty PM_{2.5} v období 1.4.2007 – 31.12.2008. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³., osa x znázorňuje čas. V roce 2010 dosahovaly denní průměrné hodnoty znečištění v Ostravě 106 µg.m⁻³, což je více než dvojnásob oproti roku 2005, 2008, 2011, 2012 a 2014, kdy průměrná měsíční koncentrace znečišťujících látek dosahovala v intervalu 35 až 45 µg.m⁻³. Průměrná rychlost větru v lednu v roce 2010 byla 2,8 m/ s. V roce 2005 dosahovala průměrná koncentrace PM_{2.5} v Ostravě i na střední Moravě kolem 30 µg.m⁻³, v roce 2006 85 µg.m⁻³, v roce 2012 35 µg.m⁻³. V oblasti střední Moravy nepřekročila lednová průměrná měsíční koncentrace 100 µg.m⁻³. Nejnižší průměrná koncentrace byla naměřena v lednu 2007, průměrná teplota vzduchu činila 3,8 °C, koncentrace PM_{2.5} se pohybovala okolo 16 µg.m⁻³. Nejvyšší průměrná lednová koncentrace byla naměřena na střední Moravě v roce 2006, kdy se pohybovala okolo 89 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM_{2.5} za sledované období v Ostravě v měsíci lednu činila 54,9 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM_{2.5} za sledované období na střední Moravě v měsíci lednu činila 46,2 µg.m⁻³.

Graf č. 11: Průměrné hodnoty částic PM_{2.5} měsíce července v Ostravě a střední Moravě



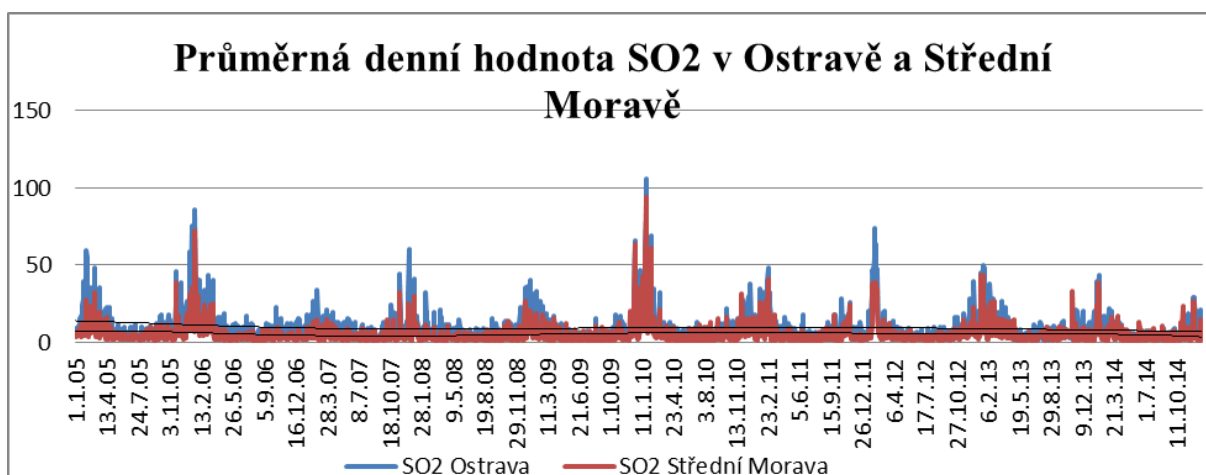
Graf znázorňuje průměrné hodnoty suspendovaných částic PM_{2.5} měsíce července v období vždy od 1.7. – 31.7. napříč roky 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Na střední Moravě nebyly měřeny hodnoty PM_{2.5} v období 1.4.2007 – 31.12.2008. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. Oproti ledna nebyly naměřeny výrazné výkyvy mezi koncentracemi PM_{2.5}. Koncentrace znečištění se pohybovala v intervalu mezi 12 a 32 µg.m⁻³. V roce 2006 dosahovaly denní průměrné hodnoty znečištění v Ostravě 32 µg.m⁻³, což je více než dvojnásob oproti roku 2011. Průměrná rychlost větru v červenci v roce 2006 byla 1,81 m/ s. Průměrná teplota vzduchu v červenci 2006 byla 22,2 °C. V roce 2005, 2009, 2010, 2012, 2013 a 2014 byly na střední Moravě naměřeny červencové průměrné koncentrace PM_{2.5} okolo 16 µg.m⁻³. Nejnižší průměrná koncentrace byla naměřena v červenci 2011, dosahovala 12 µg.m⁻³. Červencové s srpnové koncentrace na střední Moravě nebyly měřeny. V roce 2005, 2007, 2008, 2009, 2012, 2013 a 2014 byly v Ostravě naměřeny červencové průměrné koncentrace PM_{2.5} přes 20 µg.m⁻³. Žádný z červencových dnů v průběhu sledovaného období nepřekročil denní limit koncentrace PM_{2.5} 50 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM_{2.5} za sledované období v Ostravě v měsíci červenci činila 20,9 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace PM_{2.5} za sledované období na střední Moravě v měsíci červenci činila 17,1 µg.m⁻³.

Graf č. 12: Průměrné měsíce PM_{2.5} naměřené v Ostravě a střední Moravě napříč roky



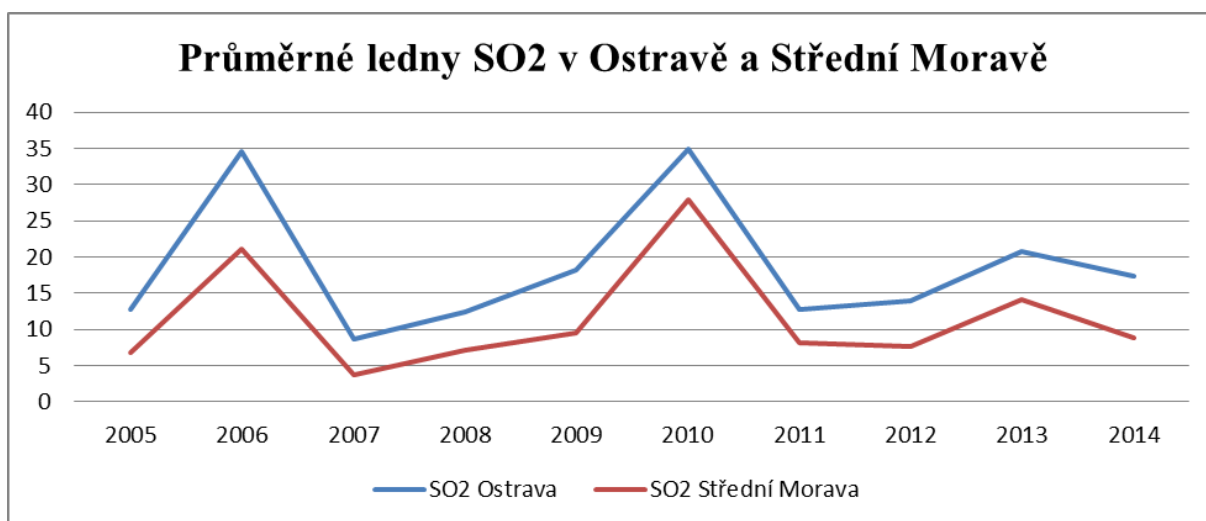
Graf znázorňuje průměrné hodnoty suspendovaných částic PM_{2.5} napříč měsíci v období 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Na střední Moravě nebyly měřeny hodnoty PM_{2.5} v období 1.4.2007 – 31.12.2008, což mohlo ovlivnit výsledky měření a vytvořený graf. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. Z grafu je patrné, že ve všech měsících napříč roky docházelo k většímu znečištění v Ostravě oproti střední Moravy. Opět je u letních měsíců rozdíl nepatrný. Dále je zřejmé, že v zimních měsících je výraznější koncentrace znečištění částicemi PM_{2.5} oproti ostatním měsícům, v letních měsících je tento rozdíl téměř dvojnásobný. K nejvyššímu znečištění docházelo v Ostravě v lednu a únoru, kdy je koncentrace PM_{2.5} částic 50 µg.m⁻³, v říjnu a v listopadu je znečištění o 5 µg.m⁻³ nižší. V teplých měsících – květen, červen, červenec a srpen se koncentrace PM_{2.5} pohybovala okolo 20 µg.m⁻³. Koncentrace znečištění na střední Moravě je opět vyšší v zimních měsících. V lednu dosahovalo znečištění 50 µg.m⁻³. V únoru, březnu, říjnu a listopadu průměrné koncentrace dosahovaly 35 - 40 µg.m⁻³. Nejméně bylo naměřeno v 5., 6., 7., 8. měsíci, kde bylo naměřeno pod 20 µg.m⁻³.

Graf č. 13: Průměrné denní hodnoty částic SO₂ v Ostravě a střední Moravě



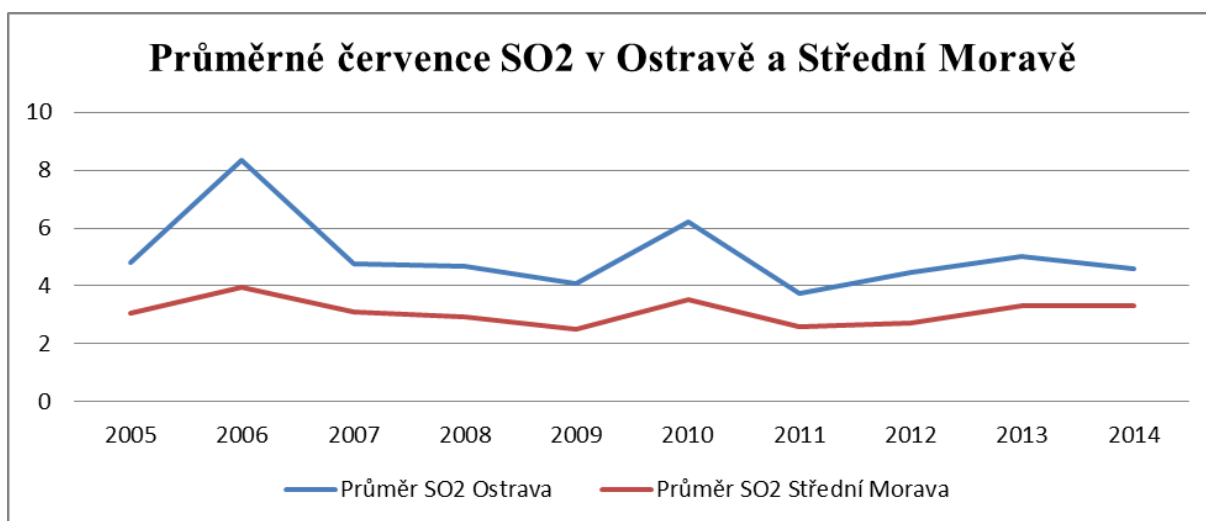
Graf znázorňuje průměrné denní hodnoty oxidu siřičitého v období 1.1.2005 – 31.12.2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, osa x znázorňuje čas. Výrazně vyšší hodnoty znečištění, jak je patrné z grafu, se vyskytují v této oblasti převážně v zimních měsících. V Ostravě jsou koncentrace SO₂ vyšší oproti střední Moravě, již ovšem není takový rozdíl jako u PM₁₀ a PM_{2.5}. Začátkem ledna 2006 a začátkem února 2012 byly v Ostravě naměřeny průměrné denní hodnoty SO₂ přes 75 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Koncem ledna 2010 byla naměřena průměrná koncentrace SO₂ přes 105 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnížší koncentrace v Ostravě byly zaznamenávány během letních měsíců v intervalu 2 – 8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Na střední Moravě byly naměřeny nejvyšší koncentrace SO₂ koncem ledna 2006, kdy dosahovaly 68 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší naměřená hodnota na střední Moravě byla 93 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ začátkem února 2010. Vyšší koncentrace, které překročily 30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byly naměřeny koncem února 2005, v lednu 2008, únor 2011 a 2012, leden 2013 a 2014. Průměrná koncentrace SO₂ v Ostravě je 9,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ za celé sledované období. Průměrná koncentrace SO₂ na střední Moravě je 5,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ v celém sledovaném období. Z naměřených hodnot v Ostravě a na střední Moravě vyplývá, že nebyl překročen přípustný roční imisní limit, který je stanoven na 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ani v jedné z oblastí nebyla překročena 24 hodinová střední hodnota. Horní a dolní prahová hodnota byla překročena několikrát.

Graf č. 14: Průměrné hodnoty částic SO₂ měsíce ledna v Ostravě a střední Moravě



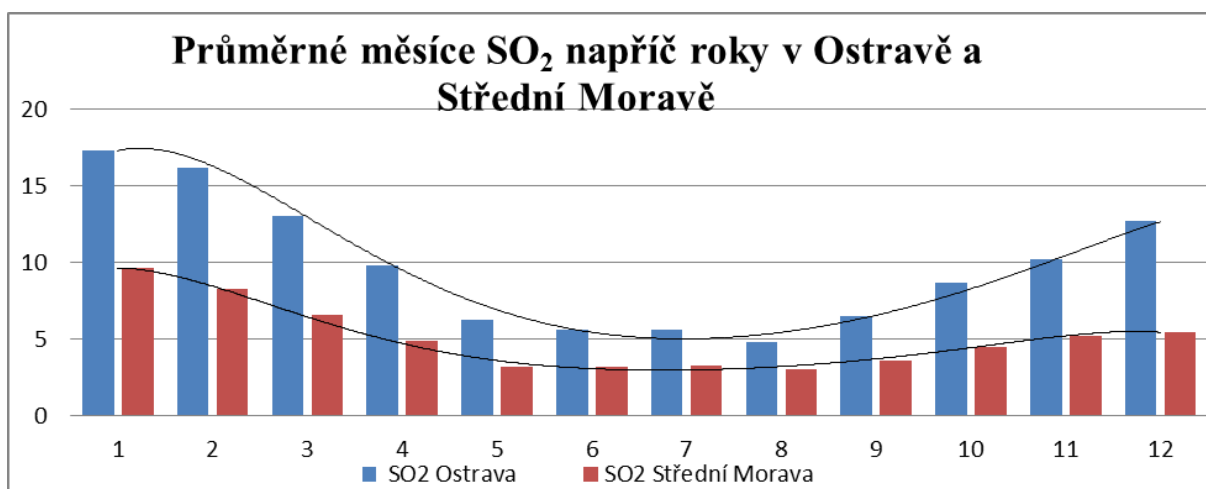
Graf znázorňuje průměrné hodnoty SO₂ měsíce ledna v období vždy od 1.1. – 31.1. napříč roky 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m⁻³, osa x znázorňuje čas. V roce 2006 a 2010 dosahovaly denní průměrné hodnoty v Ostravě znečištění 35 µg.m⁻³, což je více než dvojnásob oproti roku 2005, 2008, 2011, 2012, 2013 a 2014, kdy průměrná měsíční koncentrace SO₂ dosahovala v intervalu 13 až 20 µg.m⁻³. Průměrná rychlost větru v lednu v roce 2010 byla 2,8 m/ s. V roce 2007 dosahovala průměrná koncentrace SO₂ v Ostravě 8 µg.m⁻³, což je nejnižší naměřená hodnota v Ostravě za sledované období. Na střední Moravě byla průměrná hodnota SO₂ 5 - 10 µg.m⁻³ v letech 2005, 2008, 2009, 2011, 2012, 2014. V roce 2007 hodnota činila 3,7 µg.m⁻³, průměrná teplota vzduchu za leden tohoto roku činila 3,8 °C. Nejvyšší hodnota byla na střední Moravě naměřena v roce 2010, kdy průměrná koncentrace dosahovala 28 µg.m⁻³. O něco nižší hodnota byla naměřena v roce 2006, činila 21 µg.m⁻³. V oblasti střední Moravy a Ostravy nepřekročila lednová průměrná měsíční koncentrace 40 µg.m⁻³. Ani v jednom roce podobu měření nebyla vyšší koncentrace SO₂ na střední Moravě než v Ostravě. V zimním období jsou koncentrace SO₂ vyšší než v měsících letních. Průměrná koncentrace SO₂ za sledované období v Ostravě v měsíci lednu činila 18,6 µg.m⁻³. Průměrná koncentrace SO₂ za sledované období na střední Moravě v měsíci lednu činila 11,5 µg.m⁻³.

Graf č. 15: Průměrné hodnoty částic SO₂ měsíce července v Ostravě a střední Moravě



Graf znázorňuje průměrné hodnoty SO₂ měsíce července v období vždy od 1.7. – 31.7. napříč roky 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v µg.m-3., osa x znázorňuje čas. Oproti průměrných koncentrací měsíce ledna (viz graf č. 14) nebyly naměřeny výrazné výkyvy mezi koncentracemi SO₂. Koncentrace znečištění ve střední Moravě se pohybovala mezi 2 a 4 µg.m-3. Koncentrace znečištění v Ostravě se pohybovala mezi 3 a 9 µg.m-3. V roce 2006 dosahovaly denní průměrné hodnoty v Ostravě znečištění přes 8 µg.m-3, což je více než dvojnásob oproti ostatních let. Průměrná teplota v červenci 2006 byla 22,2 °C. V roce 2005 až 2014 byly na střední Moravě naměřeny průměrné koncentrace SO₂ v intervalu 2 - 4 µg.m-3. Nejnižší průměrná koncentrace byla naměřena v roce 2009 a 2011 na střední Moravě, kdy dosahovala 2 µg.m-3. Průměrná koncentrace SO₂ naměřená na střední Moravě ani v jednom roce nepřekročila množství SO₂ naměřené v Ostravě. Průměrná koncentrace SO₂ za sledované období v Ostravě v měsíci červenci činila 5,1 µg.m-3. Průměrná koncentrace SO₂ za sledované období na střední Moravě v měsíci červenci činila 3,1 µg.m-3.

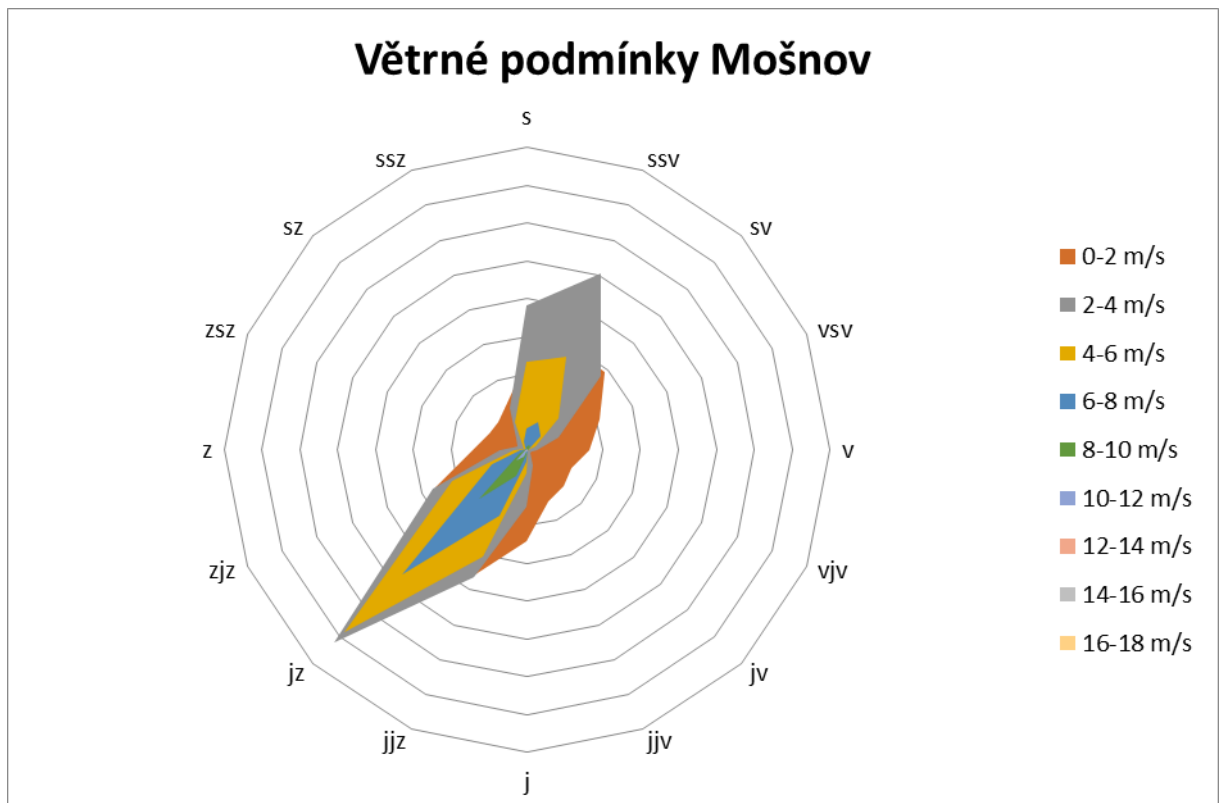
Graf č. 16: Průměrné měsíce SO₂ naměřené v Ostravě a na střední Moravě napříč roky



Graf znázorňuje průměrné hodnoty oxidu siřičitého napříč měsíci v období 2005 - 2014 v Ostravě a na střední Moravě. Osa y ukazuje množství znečištění v $\mu\text{g.m}^{-3}$, osa x znázorňuje čas. Z grafu je patrné, že ve všech měsících napříč roky docázelo k většímu znečištění v Ostravě oproti střední Moravy. Opět je u letních měsíců rozdíl nepatrný. Dále je zřejmé, že v zimních měsících je výraznější koncentrace znečištění částicemi SO₂ oproti ostatním měsícům, v letních měsících je tento rozdíl téměř dvojnásobný. Nejvyšší znečištění docházelo v Ostravě v lednu a únoru, kdy je průměrná koncentrace SO₂ kolem 16 $\mu\text{g.m}^{-3}$, v březnu, listopadu a v prosinci je znečištění o 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ nižší. V teplých měsících – květen, červen, červenec a srpen se průměrná koncentrace SO₂ pohybuje okolo 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Koncentrace znečištění na střední Moravě je opět vyšší v zimních měsících. V lednu a únoru dosahovalo znečištění téměř 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$. V březnu, listopadu a v prosinci průměrné koncentrace SO₂ dosahovaly 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Nejméně bylo naměřeno v 5., 6., 7., 8., 9. měsíci, kde bylo naměřeno kolem 3 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

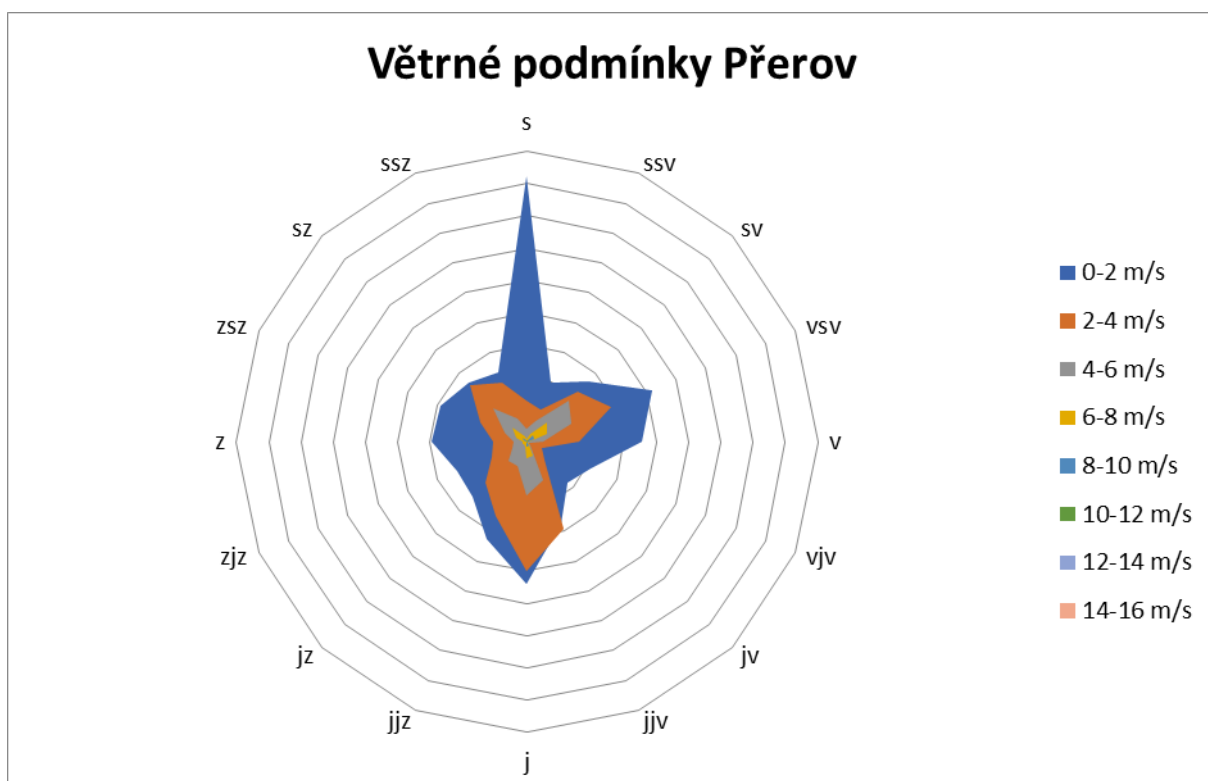
5.2 Větrné a koncentrační růžice

Graf č. 17: Větrná růžice směrů větru v Mošnově



Období 1.1.2005 – 31.12.2014 v Mošnově. Z grafu vyplývá, že převažoval jihozápadní směr větru, ten byl naměřen ve 24,97 %. Ve 13,06 % převládala jihovýchodní směr větru. Významný byl i severoseverovýchodní směr větru zachycen v 11,68 %. Severní směr větru byl zaznamenán v 9,2 %. Západojihozápadní směr větru převládala v 8,74 %. Severovýchodní byl naměřen v 7,48 %. V 5,02 % převládala jižní směr větru. Z toho nejčastěji dosažená rychlost větru činila 0 - 2 m/s v 33,63 %. Rychlost 2 – 4 m/s byla dosažena ve 31,14 %, 4 – 6 m/s bylo naměřeno ve 20,59 %, 6 – 8 m/s bylo naměřeno v 10,32 % a 8 – 10 m/s bylo naměřeno ve 3,41 %.

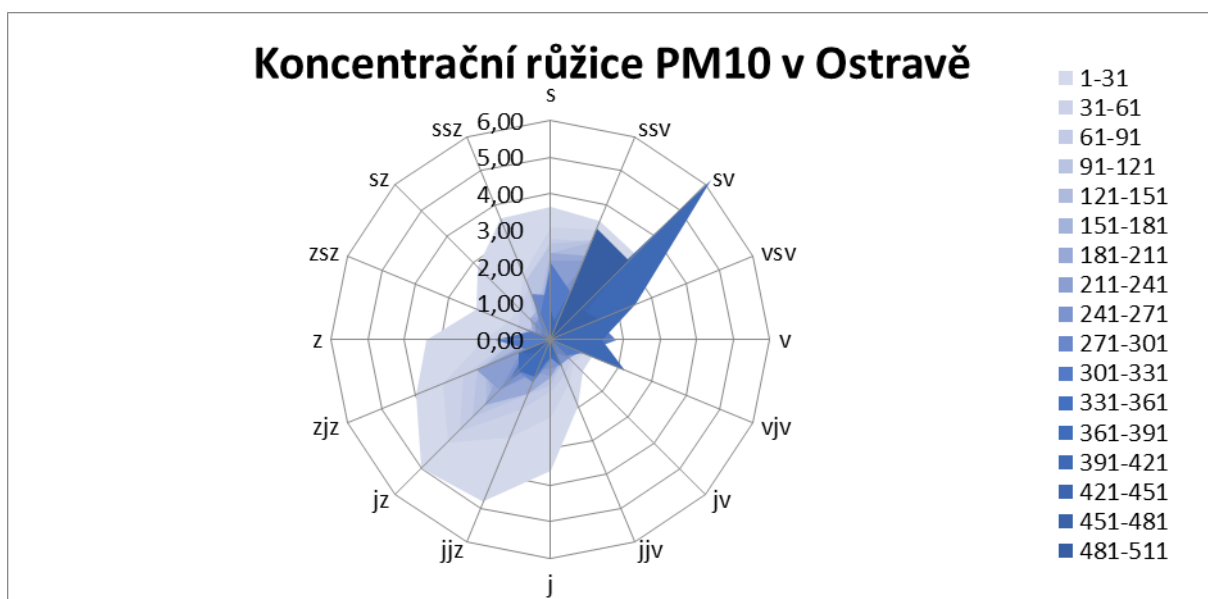
Graf č. 18: Větrná růžice směrů větru v Přerově



Období 1.1.2005 – 31.12.2014 v Přerově. Z grafu vyplývá, že žádný ze směrů větru výrazně nepřevažuje. Významný byl jižní směr větru zachycen v 10,75 %. Dále významné byly severní 9,98 % a východoseverovýchodní zachycen v 9,53 % směr větru. Severovýchodní směr větru byl zaznamenán v 7,88 %. Severozápadní směr větru byl zaznamenán v 7,37 %. Z toho nejčastěji dosažená rychlost větru činila 0 - 2 m/s ve 50,44 %. Rychlost 2 – 4 m/s byla dosažena ve 29,74 %, 4 – 6 m/s bylo naměřeno v 13,57 % a 6 – 8 m/s bylo naměřeno v 4,71 %.

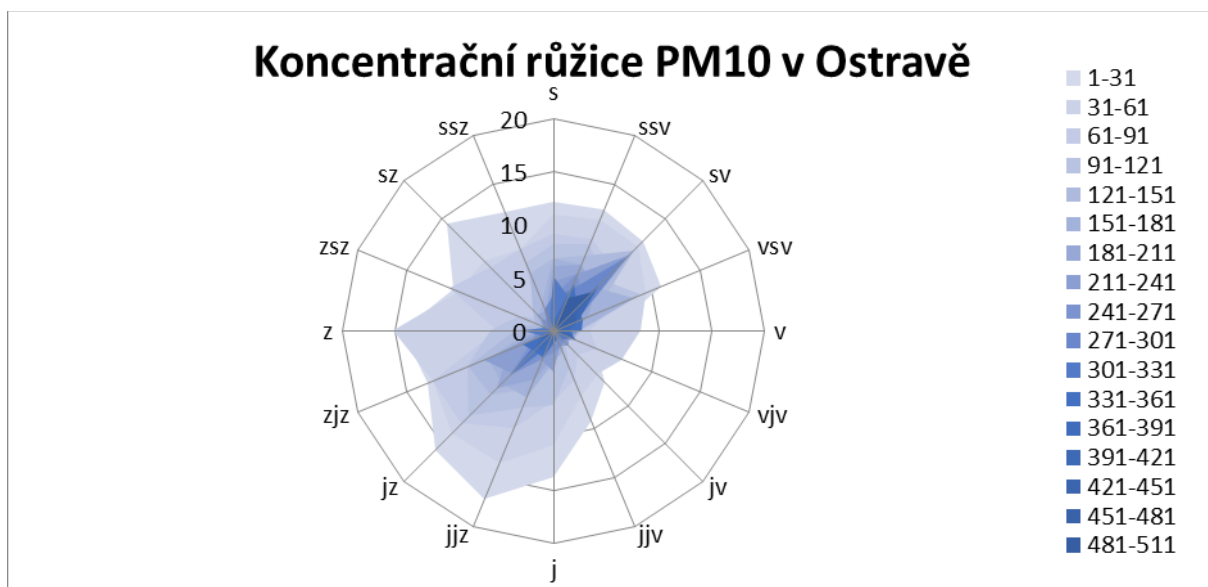
Koncentrační růžice zobrazují, z jakých směrů větrů byly hodnoty koncentrací znečištění v dané oblasti nejvyšší či nejnižší, bez ohledu na jejich četnost. Koncentrační růžice dále ukazuje průměrné koncentrace znečištění dané oblasti v závislosti na směru proudění. Jsou vypočteny jako aritmetický průměr ze všech denních koncentrací dané škodliviny naměřených v hodnoceném období při proudění z příslušného směru a růžice koncentrací z maximálních rychlostí větru jako maximální rychlost větru z daného směru.

Graf č. 19: Koncentrační růžice PM₁₀ v Ostravě z průměrné rychlosti větru



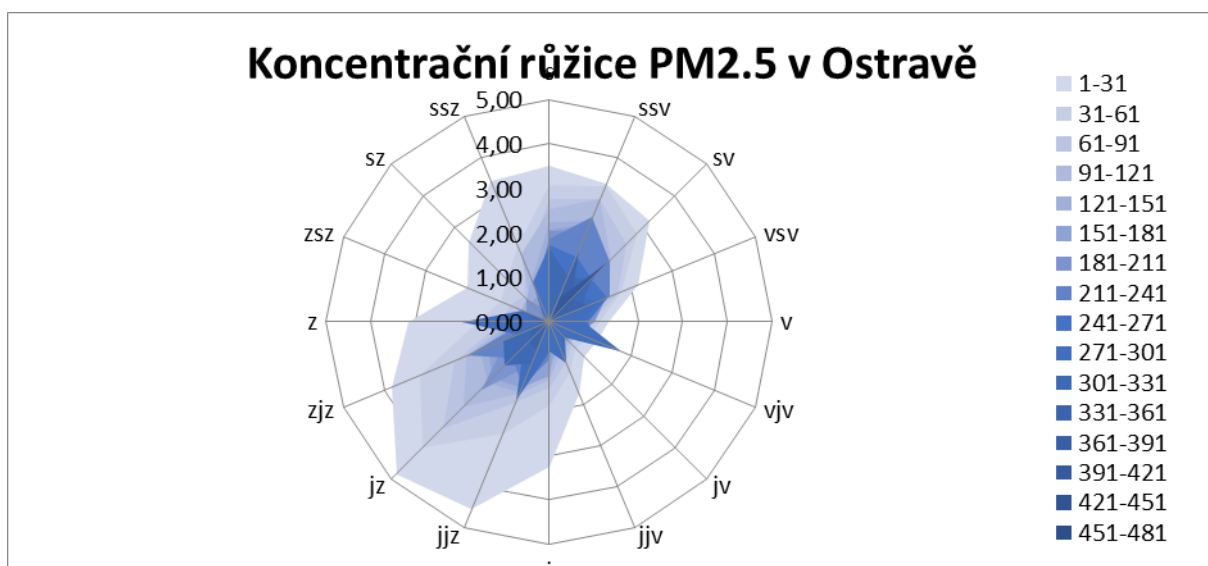
Při severovýchodním a severoseverovýchodním proudění a rychlostech 3.5 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 481 – 511 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severovýchodní proudění a rychlosti 6 m/s v intervalu znečištění 391 – 421 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Graf č. 20: Koncentrační růžice PM₁₀ v Ostravě z maximální rychlosti větru



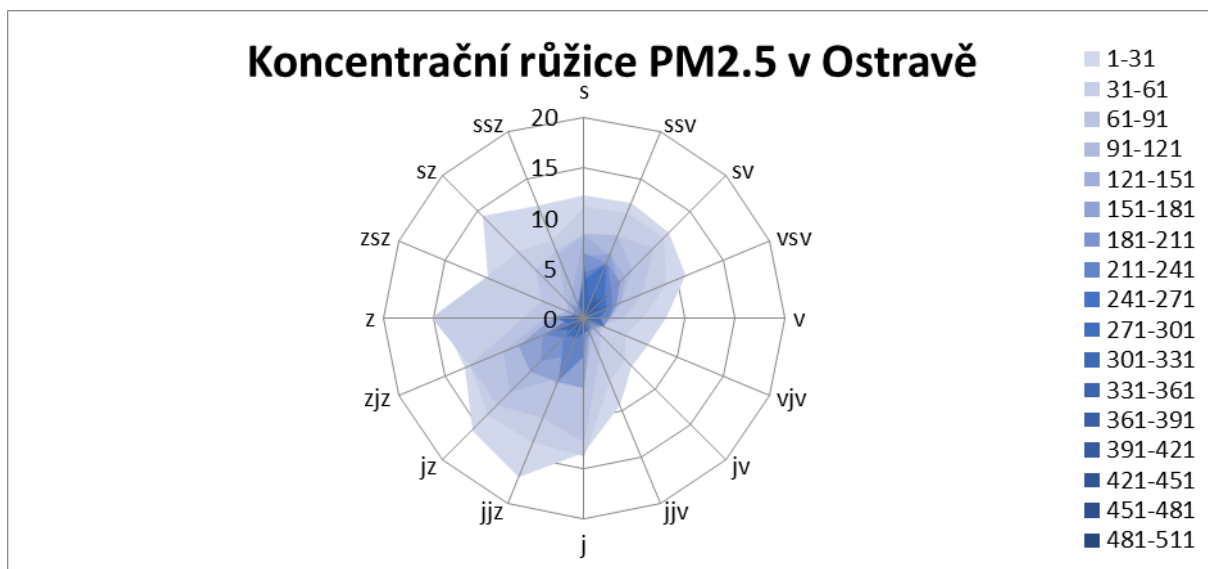
Při severovýchodním a severoseverovýchodním proudění a rychlostech 6 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 481 – 511 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro východoseverovýchodní proudění a rychlosti 2 m/s v intervalu znečištění 451 – 481 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Graf č. 21: Koncentrační růžice PM_{2.5} v Ostravě z průměrné rychlosti větru



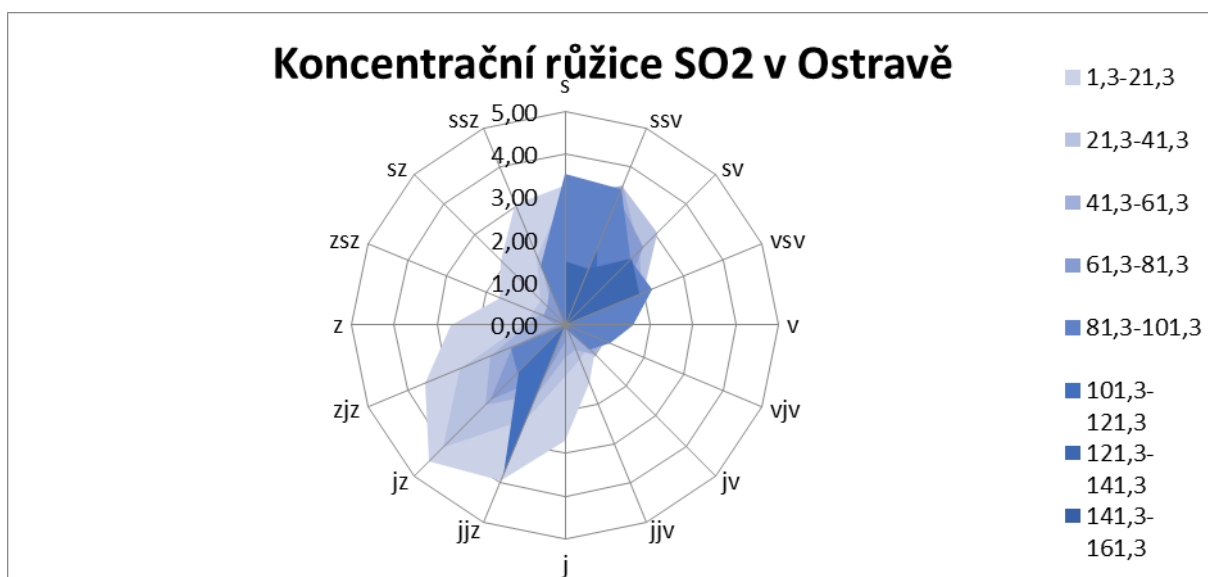
Při severovýchodním proudění a rychlosti 2 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 391 – 421 µg.m-3. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severoseverovýchodní, východoseverovýchodní proudění a rychlosti větru 1,5 m/s v intervalu znečištění 331 – 361 µg.m-3.

Graf č. 22: Koncentrační růžice PM_{2.5} v Ostravě z maximální rychlosti větru



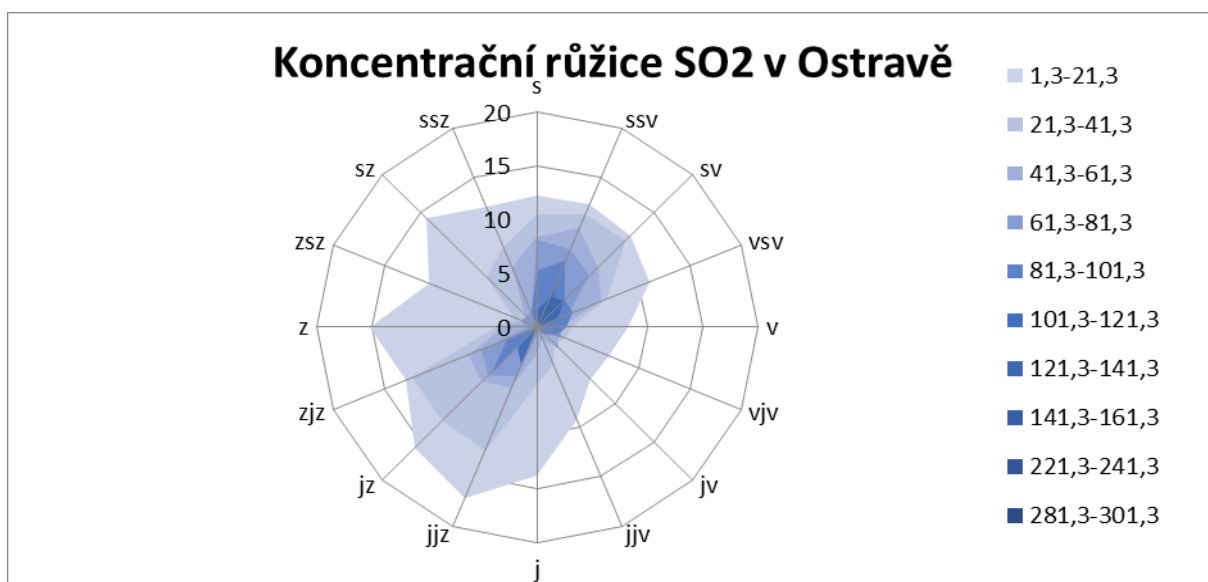
Při severovýchodním proudění a rychlostech 3 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 361 – 391 µg.m-3. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severoseverovýchodní, východoseverovýchodní proudění a rychlosti 3 m/s v intervalu znečištění 331 – 361 µg.m-3.

Graf č. 23: Koncentrační růžice SO₂ v Ostravě z průměrné rychlosti větru



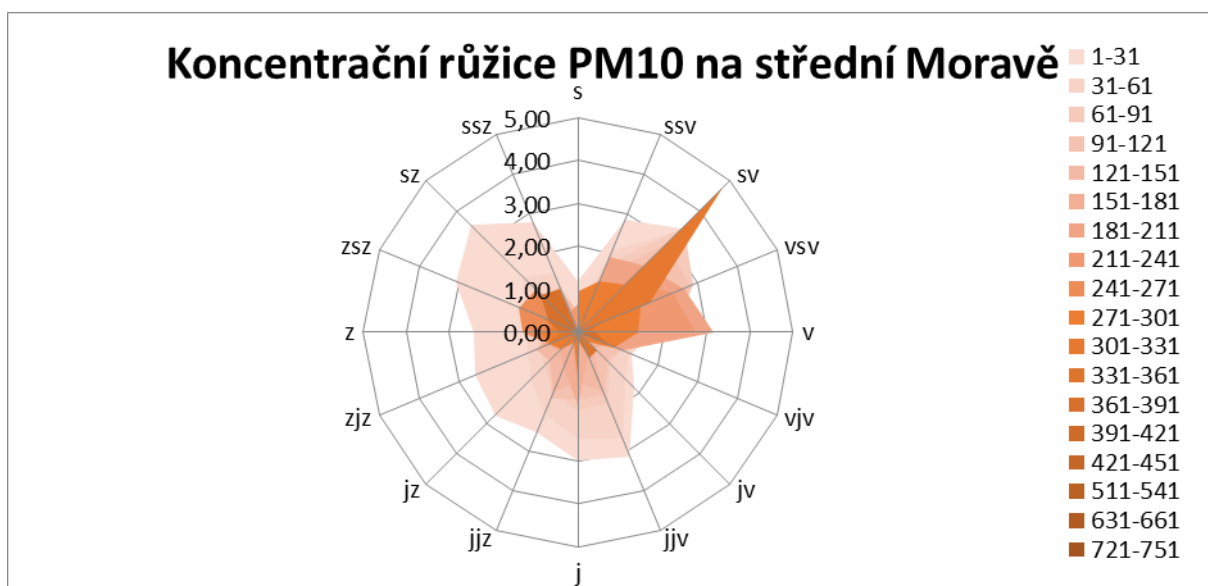
Při severovýchodním, východoseverovýchodním, severoseverovýchodním a severním proudění a rychlostech 1,5 - 2 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 121 – 141 µg.m-3. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro jihojihozápadní a jihozápadní proudění a rychlosti 4 m/s v intervalu znečištění 101 – 121 µg.m-3.

Graf č. 24: Koncentrační růžice SO₂ v Ostravě z maximální rychlosti větru



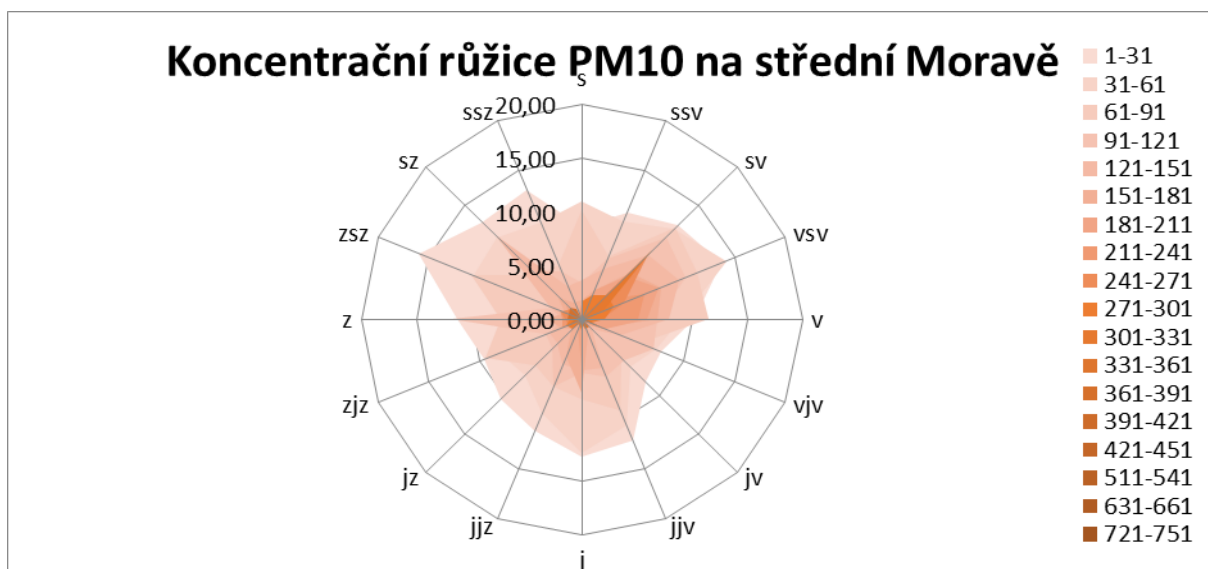
Při severovýchodním, východoseverovýchodním a severoseverovýchodním proudění a rychlostech 3 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 121 – 141 µg.m-3. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro jihojihozápadní a jihozápadní proudění a rychlosti 2 m/s v intervalu znečištění 101 – 121 µg.m-3.

Graf č. 25: Koncentrační růžice PM₁₀ na střední Moravě z průměrné rychlosti větru



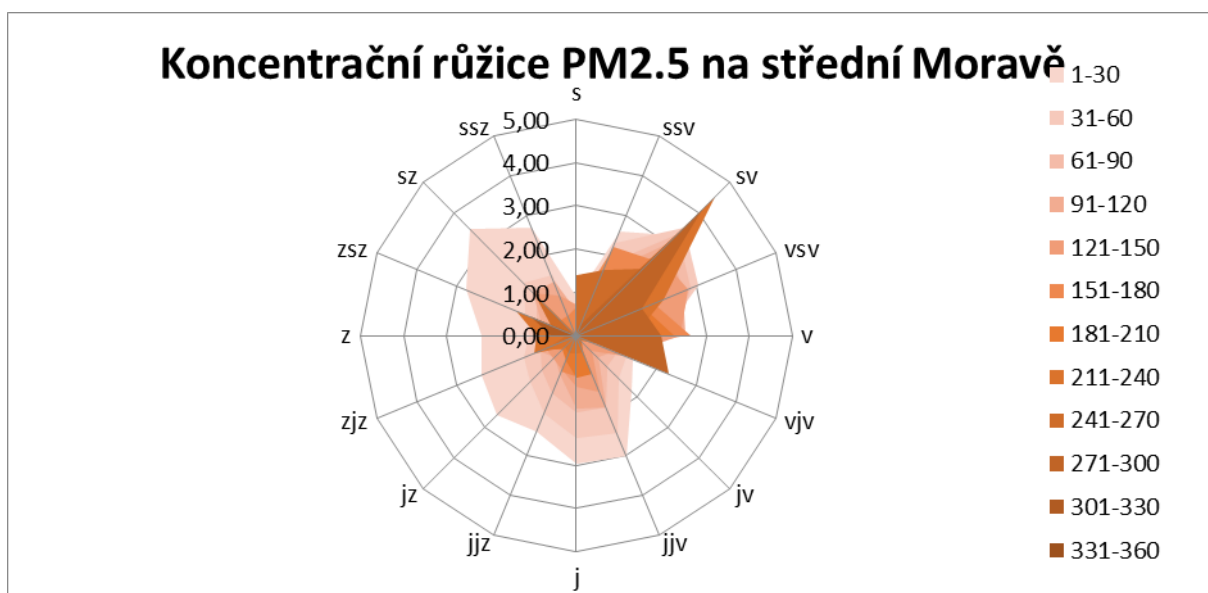
Při severozápadním proudění a rychlostech 1 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 361 – 391 µg.m⁻³. Druhé maximum bylo jihovýchodní a jihojihovýchodní proudění a rychlosti 0,5 m/s v intervalu znečištění 331 – 361 µg.m⁻³. Významné bylo i severovýchodní proudění o rychlosti 4,5 m/s, znečištění 301 – 331 µg.m⁻³.

Graf č. 26: Koncentrační růžice PM₁₀ na střední Moravě z maximální rychlosti větru



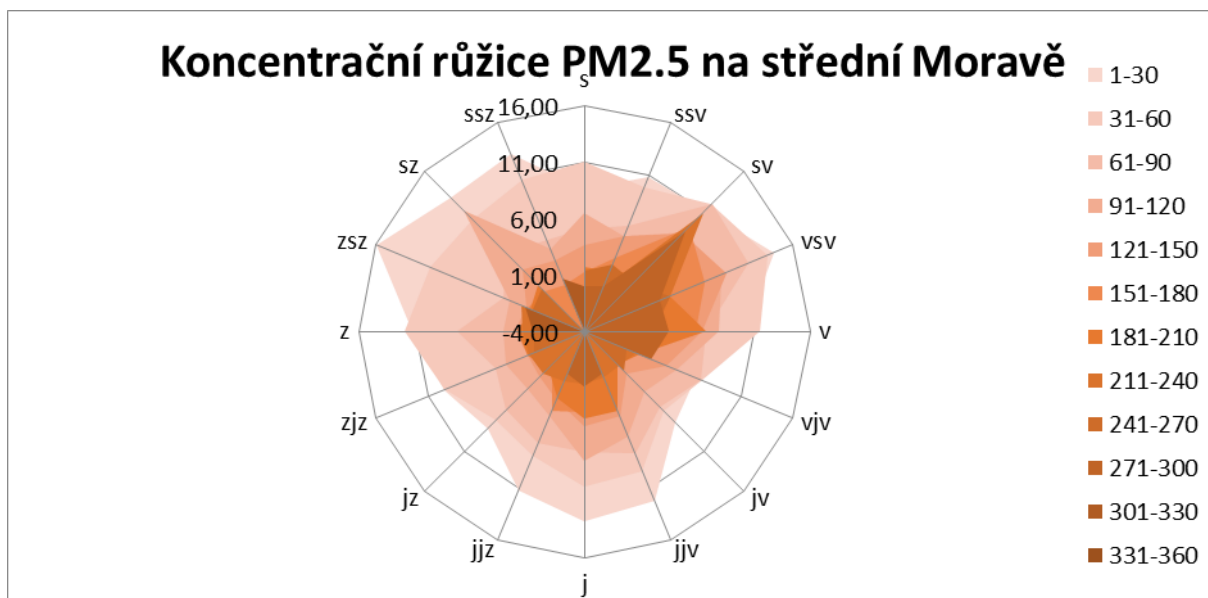
Při západoseverozápadním proudění a rychlostech 1,5 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 361 – 391 µg.m⁻³. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severovýchodním proudění a rychlosti 7 m/s při znečištění 301 – 331 µg.m⁻³.

Graf č. 27: Koncentrační růžice PM_{2.5} na střední Moravě z průměrné rychlosti větru



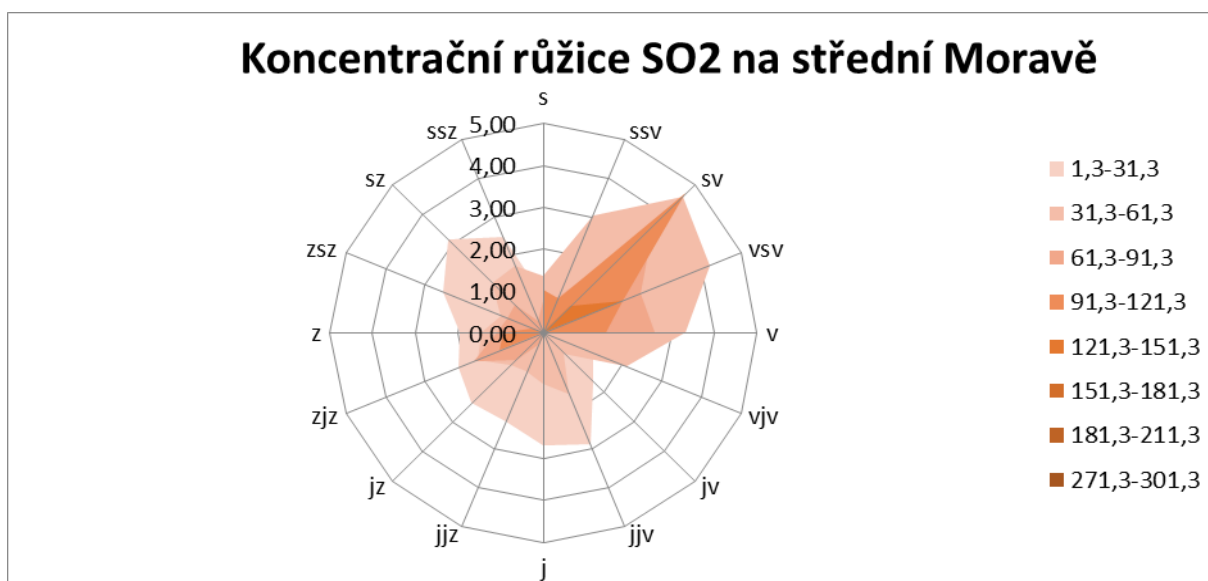
Při severovýchodním, východním a východojihovýchodním proudění a rychlostech 2 - 4 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 271 – 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severovýchodním a severním proudění a rychlosti 2 m/s v intervalu znečištění 241 – 270 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Graf č. 28: Koncentrační růžice PM_{2.5} na střední Moravě z maximální rychlosti větru



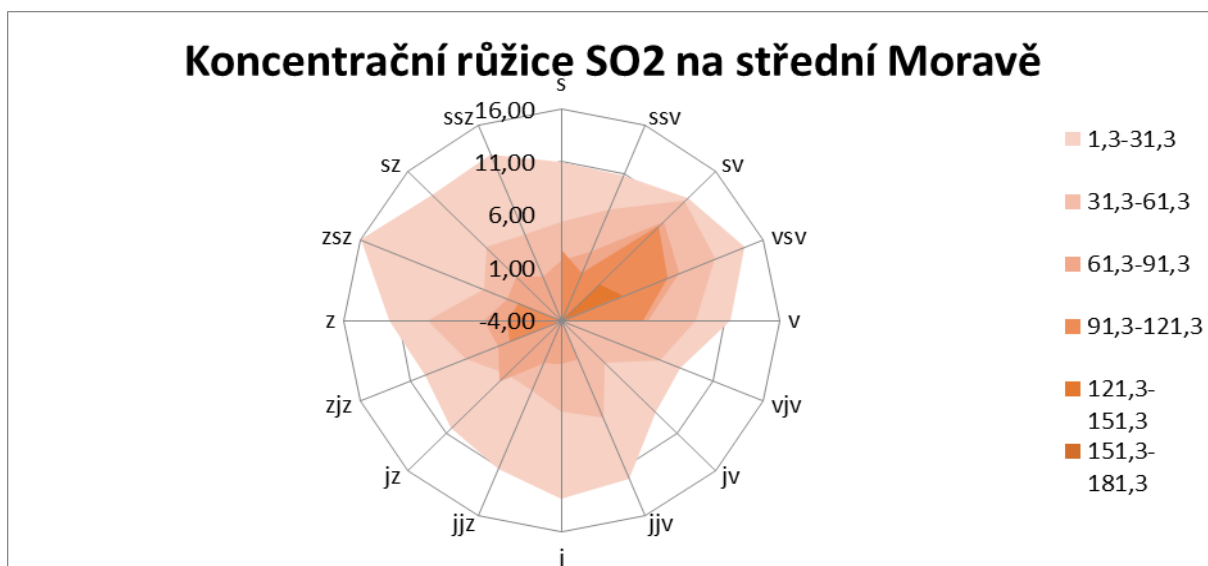
Při severním, východoseverovýchodním a východním proudění a rychlostech 2 - 7 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 271 – 300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severoseverovýchodní proudění a rychlosti 2 m/s v intervalu znečištění 241 – 270 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Graf č. 29: Koncentrační růžice SO₂ na střední Moravě z průměrné rychlosti větru



Při východoseverovýchodním proudění a rychlosti 1,5 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 121 – 151 µg.m⁻³. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severoseverovýchodní proudění a rychlosti 4,5 m/s při znečištění 91 – 121 µg.m⁻³.

Graf č. 30: Koncentrační růžice SO₂ na střední Moravě z maximální rychlosti větru



Při východoseverovýchodním proudění a rychlostech 1,5 m/s se vyskytovaly nejvyšší koncentrace znečištění v intervalu 121 – 151 µg.m⁻³. Druhé maximum koncentrací se vyskytlo pro severovýchodní a východoseverovýchodní proudění a rychlosti 7 m/s v intervalu znečištění 91 – 121 µg.m⁻³.

5.3 Regresní analýza

Regresní analýza

Aplikovaná rovnice:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

Deterministická složka – vliv vysvětlujících proměnných

Náhodná složka – všechny ostatní (nepopsané) vlivy

Ostrava:

PM₁₀

Odhad koeficientů regresní roviny

| | <i>Koeficienty</i> | <i>Hodnota P</i> |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Hranice | 108,7088365 | 8,0202E-233 |
| Mošnov směr větru | -0,07691817 | 2,62284E-10 |
| Mošnov rychlost větru | -8,822498808 | 1,10538E-78 |
| Mošnov T | -2,306046847 | 4,1536E-115 |

Regresní rovnice má tvar:

$$\hat{y} = 108,71 - 0,077 \cdot x_1 - 8,82 \cdot x_2 - 2,31 \cdot x_3$$

Neboli:

$$PM_{10} = 108,71 - 0,077 \cdot \text{směr větru} - 8,82 \cdot \text{rychlost větru} - 2,31 \cdot \text{teplota}$$

Na hladině významnosti 5 % přijímáme nezávislé proměnné směr větru, rychlost větru a teplotu jako statisticky významné, ovlivňují tedy koncentraci PM₁₀ v Ostravě. Koncentrace PM₁₀ v Ostravě roste s klesající rychlostí větru a s klesající teplotou vzduchu.

PM_{2.5}

Odhad koeficientů regresní roviny

| | <i>Koeficienty</i> | <i>Hodnota P</i> |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Hranice | 91,36512976 | 6,8232E-254 |
| Mošnov směr větru | -0,074378081 | 1,10002E-14 |
| Mošnov rychlost větru | -7,091617297 | 1,99613E-81 |
| Mošnov T | -1,930022393 | 7,1127E-127 |

Regresní rovnice má tvar:

$$\hat{y} = 91,37 - 0,074 \cdot x_1 - 7,09 \cdot x_2 - 1,93 \cdot x_3$$

Neboli:

$$PM_{2.5} = 91,37 - 0,074 \cdot \text{směr větru} - 7,09 \cdot \text{rychlost větru} - 1,93 \cdot \text{teplota}$$

Na hladině významnosti 5 % přijímáme nezávislé proměnné směr větru, rychlost větru a teplotu jako statisticky významné, ovlivňují tedy koncentraci PM_{2,5} v Ostravě. Koncentrace PM_{2,5} v Ostravě roste s klesající rychlostí větru a s klesající teplotou vzduchu.

SO₂

Odhad koeficientů regresní roviny

| | <i>Koeficienty</i> | <i>Hodnota P</i> |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Hranice | 27,10922555 | 2,7338E-264 |
| Mošnov směr větru | -0,039884627 | 1,10347E-44 |
| Mošnov rychlost větru | -1,029531897 | 3,35595E-24 |
| Mošnov T | -0,694441325 | 6,8269E-179 |

Regresní rovnice má tvar:

$$\hat{y} = 27,11 - 0,04 \cdot x_1 - 1,03 \cdot x_2 - 0,69 \cdot x_3$$

Neboli:

$$SO_2 = 27,11 - 0,04 \cdot \text{směr větru} - 1,03 \cdot \text{rychlost větru} - 0,69 \cdot \text{teplota}$$

Na hladině významnosti 5 % přijímáme nezávislé proměnné směr větru, rychlost větru a teplotu jako statisticky významné, ovlivňují tedy koncentraci SO₂ v Ostravě. Koncentrace SO₂ v Ostravě roste s klesající rychlostí větru a s klesající teplotou vzduchu.

Střední Morava:

PM₁₀

Odhad koeficientů regresní roviny

| | <i>Koeficienty</i> | <i>Hodnota P</i> |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Hranice | 89,57452761 | 6,8977E-263 |
| Mošnov směr větru | -0,120938873 | 7,31331E-39 |
| Mošnov rychlost větru | -7,366008538 | 8,10901E-67 |
| Mošnov T | -1,591410711 | 5,3252E-119 |

Regresní rovnice má tvar:

$$\hat{y} = 89,57 - 0,12 \cdot x_1 - 7,37 \cdot x_2 - 1,59 \cdot x_3$$

Neboli:

$$PM_{10} = 89,57 - 0,12 \cdot \text{směr větru} - 7,37 \cdot \text{rychlost větru} - 1,59 \cdot \text{teplota}$$

Na hladině významnosti 5 % přijímáme nezávislé proměnné směr větru, rychlost větru a teplotu jako statisticky významné, ovlivňují tedy koncentraci PM₁₀ na střední Moravě. Koncentrace PM₁₀ na střední Moravě roste s klesající rychlostí větru a s klesající teplotou vzduchu.

PM_{2.5}

Odhad koeficientů regresní roviny

| | <i>Koeficienty</i> | <i>Hodnota P</i> |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Hranice | 73,85077465 | 9,1126E-113 |
| Mošnov směr větru | -0,088469497 | 7,44284E-14 |
| Mošnov rychlost větru | -6,250060332 | 7,91936E-33 |
| Mošnov T | -1,4528559 | 2,48873E-65 |

Regresní rovnice má tvar:

$$\hat{y} = 73,85 - 0,09 \cdot x_1 - 6,25 \cdot x_2 - 1,45 \cdot x_3$$

Neboli:

$$PM_{2.5} = 73,85 - 0,09 \cdot \text{směr větru} - 6,25 \cdot \text{rychlost větru} - 1,45 \cdot \text{teplota}$$

Na hladině významnosti 5 % přijímáme nezávislé proměnné směr větru, rychlost větru a teplotu jako statisticky významné, ovlivňují tedy koncentraci PM_{2.5} na střední Moravě. Koncentrace PM_{2.5} na Moravě roste s klesající rychlostí větru a s klesající teplotou vzduchu.

SO₂

Odhad koeficientů regresní roviny

| | <i>Koeficienty</i> | <i>Hodnota P</i> |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Hranice | 16,92040281 | 8,3997E-191 |
| Mošnov směr větru | -0,039637409 | 1,88986E-72 |
| Mošnov rychlost větru | -0,256450771 | 0,007266428 |
| Mošnov T | -0,406449102 | 1,7892E-139 |

Regresní rovnice má tvar:

$$\hat{y} = 16,92 - 0,04 \cdot x_1 - 0,26 \cdot x_2 - 0,41 \cdot x_3$$

Neboli:

$$SO_2 = 16,92 - 0,04 \cdot \text{směr větru} - 0,26 \cdot \text{rychlost větru} - 0,41 \cdot \text{teplota}$$

Na hladině významnosti 5 % přijímáme nezávislé proměnné směr větru, rychlost větru a teplotu jako statisticky významné, ovlivňují tedy koncentraci SO₂ na střední Moravě. Koncentrace SO₂ na střední Moravě roste s klesající rychlostí větru a s klesající teplotou vzduchu.

6 Diskuze

Lokální problémy znečištění ovzduší jsou obvykle spojovány s jedním nebo více velkými producenty nebo s větším počtem poměrně malých producentů emisí (Ust'ak a kol., 2010). Čím níže je položen zdroj znečišťování, tím větší je dopad na danou oblast. Například emitování oxidu uhelnatého z výfuku motorových vozidel, což vede k jeho zvýšeným koncentracím podél pozemních komunikací. Velké lokální zdroje jako například elektrárny emitují znečištění komíny vysoko do ovzduší, což ale také může způsobit lokální problémy. Ty nastávají hlavně v důsledku nepříznivých meteorologických podmínek (Vallero, 2008).

Koncentrace znečištění ovzduší podléhá více druhů cyklických jevů. Jedním z nich je denní cyklus, kde obecně platí, že emise znečištění z téměř všech kategorií a sektorů jsou méně významné v noci. Jedná se o menší koncentrace znečištění z dopravy obecně, spotřeba elektrické energie a vytápění. Dalším významným cyklem je víkend – všední dny, který je vázán na rytmus spojený s pracovními dny. Významná je i odchylka mezi ročními obdobími, nazývaná se sezónní cyklus, jenž souvisí s rozdílným počasím. To je patrné i z výsledků práce, kde je zaznamenán velký rozdíl PM částic mezi zimními a letními měsíci. Sezónní cyklus je spojen i se sezónním výskytem emisí. Například v zimních měsících je více částic z vytápění než ze zemědělství (Blažek a kol., 2013).

Klimatické změny ovlivňují zdroj znečištění a změny počasí ovlivňují transport a rozptyl. Výskyt škodlivin v ovzduší je různý, mění se v závislosti na několika faktorech. Významnou roli hraje vzdálenost imisního zdroje od sledovaného bodu, jenž se ne vždy bere v úvahu. Ve většině modelů a výzkumů se u dlouhodobých expozic předpokládá, že sledovaný subjekt je v kontaktu s naměřenými hodnotami každý den v roce, 24 hodin denně. Ohled se nebere na působení látkami v pracovní době, v pobytu v prostředí uvnitř budov, jízdě automobilem nebo působení cigaret nebo lokální spalování zbytků či odpadů. Může se jednat o velký problém, jelikož pokud by se počítalo i s těmito hodnotami, množství naměřených škodlivin by značně vzrostl oproti emisím ve volném prostředí (Černíkovský a kol., 2013).

Mezi lety 2002 a 2013 docházelo k poklesu hlavních emisí znečištění (zejména SO₂) na území Evropy. Avšak množství emisí PM částic ze spalování vzrostlo o 7 % v tomto období. Tento zdroj znečištění zastává největší podíl škodlivin v Evropské unii. Množství znečištění se však na území České republiky velmi liší. Nachází se zde čisté oblasti jako i v neznečištěné části Evropy např. Španělsko, Norsko, Švédsko a Finsko. Avšak stále Česká republika a Polsko patří do nejvíce zatížených zemí Evropské unie zejména PM₁₀ a PM_{2.5}. Z pohledu

Evropy je poměrná část obyvatel toho kontinentu vystavena nadlimitním koncentracím znečišťujících částic. 22 – 33 % obyvatel evropských velkých měst bylo vystaveno 24 hodinovým nadlimitním koncentracím PM₁₀. 22 – 31 % evropských obyvatel bylo vystaveno znečištění PM_{2.5} částicemi v roce 2011 (ČHMÚ, 2014). Dle doporučení WHO bylo procento ještě vyšší. U PM_{2.5} částic se jednalo o téměř 95 % a 50 % pro SO₂ (WHO, 2006).

V posledních 5 letech se výrazně zvýšilo množství dopravy, a to zejména automobilové a kamionové, což vedlo k nárůstu množství NO_x a přízemního ozonu. V 90. letech minulého století byl zaznamenán pokles emisního zatížení republiky, což bylo zapříčiněno příznivějšími povětrnostními podmínkami, poklesem produkce energeticky náročného průmyslu a v neposlední řadě, také zavedením nových technologií. Pro hodnocení imisní zátěže je používán monitoring horní, dolní prahové hodnoty a limitní hodnoty, jenž je rozdělen do dvou kategorií, a to na ochranu ekosystémů a zdraví lidí. Pro ochranu lidského zdraví se kontroluje hodinový a denní průměr. Udržení dobrého stavu vegetace je podmíněn měřením vegetačního nebo ročního období. Nejvíce bezpečné jsou hodnoty, které jsou nižší nežli dolní prahová hodnota, naopak nejméně bezpečné jsou hodnoty vyšší než limitní hodnota. U SO₂ měla limitní hodnotu stanovenou na 50 µg.m⁻³, jenž byla zrušena v roce 2005, avšak hodnota nebyla za rok 2005 překročena. Limitní hodnota pro rostliny je stanovena na 20 µg.m⁻³, ta byla překročena několikrát (Ust'ak a kol., 2010).

Přeshraničí České republiky v oblasti Moravy a Slezska s Polskem je oblastí s velkou hustotou obyvatel a vysokou koncentrací těžkého průmyslu v Evropě. I přes značná úsilí snižovat emise, patří mezi nejvíce znečištěné oblasti ve střední Evropě stále území Moravy a Slezska. Důvodem znečišťujících částic v pohraniční oblasti Moravy a Polska je velký stupeň průmyslové výroby a těžkého průmyslu, výrazná hustota zástavby s vytápěním na tuhá paliva a hustá dopravní infrastruktura. U lokalit nacházejících se ve střední části přeshraniční moravkoslezské a polské oblasti, dochází ke znečištění při obou směrech proudění emisemi ze zdrojů, jenž se nachází na návětrné straně této oblasti. I přesto, že častěji vzduch proudí z České republiky do Polska, je imisní zatížení vyšší při směru proudění z Polska do Česka, na toto poukazují i získané výsledky (Blažek a kol., 2013).

Část města Ostravy, kam spadá území městských obvodů Moravská Ostrava a Přívoz, Slezská Ostrava je typická kombinací průmyslových a obytných zón. Obvyklé množství vyskytujícího se PM_{2.5} na většině území pro západní Evropu, se pohybuje kolem 20 µg.m⁻³. V místech označovaných jako hot spot se tato koncentrace pohybuje okolo 30 µg.m⁻³, kam patří převážně sever Itálie. Tyto hodnoty byly naměřeny i ve střední a východní Evropě, konkrétně v přeshraniční oblasti České republiky s Polskem (EEA, 2012). V roce 2012 byla v České

republiky vyšší zátěž částicemi PM_{10} v Moravskoslezském kraji, kde roční střední hodnota dosahovala $35,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V ostatních částech České republiky se tato hodnota pohybovala kolem $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Z toho vyplývá, že podíl částic PM_{10} a $PM_{2.5}$ není stejný. Vytápění v zimních měsících může mít za následek vyšší podíl $PM_{2.5}$ částic. U dopravy se také více emitují částice $PM_{2.5}$ (SZÚ, 2013).

Významný vliv na koncentraci škodlivin v oblasti mají vertikální teplotní zvrstvení a rychlost větru. Vysoké koncentrace znečištění bývají způsobeny inverzními situacemi v oblasti v zimním období. Množství škodlivin v ovzduší závisí zejména na meteorologických podmínkách v zimních měsících, tj. prosinec až březen. Převládající jihozápadní směr větru v oblasti Moravy je připisován orografickému vlivu Moravské brány (Kuta a kol., 2015). Při dobrých rozptylových podmínkách jsou škodlivé látky transportovány z Moravy. V zimních měsících se průměrné koncentrace znečištění zvyšují při snižování teploty vzduchu, se zvyšující se stabilitou vertikálního teplotního zvrstvení a se snižující se rychlostí větru (<http://www.air-silesia.eu/cz/>).

Dle měření českého hydrometeorologického ústavu byla na přelomu roku 2005 a 2006 zaznamenána studená a dlouhá zima, což vedlo ke zvýšené koncentraci emisí. Na většině území ČR v lednu 2010 byla zaznamenána výrazně chladná teplota vzduchu. Ta se pohybovala do $-2 \text{ }^\circ\text{C}$, což je výrazně méně než klimatické normály. 25.1.2010 se na území ČR nacházela slabá inverze. Dále pak 27.1.2010 se na území jižního Polska, tzn. hraniční část s Českou republikou, vyskytoval nízký tlak. Bylo zaznamenáno rychlé snížení tlaku vzduchu, což mělo za následek zvýšení rychlosti větru, jenž dosahoval až 17 m/s . Na území Moravy a Slezska se pak držela teplotní inverze, která byla umocněna nízkou rychlostí větru (Blažek a kol., 2013).

7 Závěr

Získané výsledky potvrzují stanovené hypotézy a ilustrují charakteristiky studované oblasti a vztahy mezi koncentracemi znečištění a vývojem podmínek v atmosféře. Provedené analýzy poukazují zejména na následující výsledky:

- Vyšší koncentrace znečištění částicemi PM v oblasti Ostravy než na střední Moravě.
- Vysoké koncentrace znečištění byly zaznamenávány převážně v zimních měsících, což je spojeno s nízkou teplotou vzduchu a rizikem vzniku inverzí.
- V letních měsících nebyly naměřeny vysoké koncentrace jako v zimních měsících.
- Studované parametry vývoje podmínek v atmosféře ovlivňují koncentrace znečištění ve sledované oblasti.
- Významný vliv na znečištění ve sledované oblasti má zejména rychlost větru a teplota.
- Při nízké rychlosti větru jsou koncentrace znečištění vyšší, se zvyšující rychlostí vzduchu naopak klesá koncentrace znečištění.
- Analýzy ukázaly na vyšší koncentrace znečištění pro vybrané směry – u střední Moravy to naznačuje přenos od Ostravy, v Ostravě zase z Polska.
- Regresní analýza pak ukázala, že vliv teploty, rychlostí a směru je statisticky významný.

8 Seznam použité literatury

Andrejovský, J., Henelová, V. ed. 2013. Příručka ochrany kvality ovzduší. Sdružení společností IREAS centrum. Praha. ISBN: 978-80-86832-77-7

Blažek, Z., Černíkovský, L., Krajny E., Krejčí, B., Ošródka, L., Volná, V., Wojtylak, M. 2013. Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy: Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w obszarze przygranicznym Śląska i Moraw. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 181 s. ISBN: 978-80-87577-15-8.

Blažek, Z., Černíkovský, L., Krejčí, B., Volná, V. 2008. Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi v oblasti Ostravsko-Karvinska. Sborník prací ČHMÚ. č. 53. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 75 s. ISBN 978-80-86690-53-7.

Český hydrometeorologický ústav. 2012. Znečištění ovzduší na území České Republiky v roce 2011: grafická ročenka. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 272 s. ISBN 978-80-87577-02-8.

Desonie, D. 2007. Atmosphere: Air Pollution and its effects. Chelsea House Publications. New York. p. 194. ISBN: 13:978-0-8160-6213-3.

EEA. Air quality in Europe - 2012 report. 2012. EEA. Copenhagen. 104 p. ISBN 978-92-9213-328-3. Dostupné z:

<doi:10.2800/55823. <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2012>>

Englert, N. 2004. Fine particles and human health- a review of epidemiological studies. Toxicology Letters. (149) 235–242.

Hendl. J. 2015. Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. Páté, rozšířené vydání. Portál. Praha. ISBN: 978-80-2620981-2.

Hinds, R., Hronová, S., Seger, J., Fischer, J. 2007. Statistika pro ekonomy. 8. vydání. Professional Publishing. Praha. ISBN: 978-80-86946-43-6.

Kořínková, A., Mikuška, P., Večeřa, Z. 2014. Složení, zdroje a analýza ve vodě rozpustných organických sloučenin v atmosférických aerosolech. *Chemické listy*. (108) 667-672.

Kuta, V., Endel, S. 2015. Ostrava jako regionální metropole. Statutární město Ostrava. Ostrava. 162 s. ISBN: 978-80-906091-1-2.

Maznová, J., Hůnová, I., Vlček, O., Hnilicová, H. 2009. Zlepšení metod hodnocení znečištění ovzduší částicemi PM 10 na území České republiky. *Ochrana ovzduší*. (2) 3-8.

Moldan, B. 2009. Podmaněná planeta. Karolinum. Praha. 336 s. ISBN: 978-80-246-1580-6.

Navrátil, T., Rohovec, J. 2006. Olovo. *Časopis Vesmír*. 85 (9). 518-521.

Ošrůdka, L., Krajny, E., Černíkovský, L., Blažek, Z. 2011. Vliv meteorologických faktorů na vznik epizod vysokých koncentrací prašného aerosolu ve Slezském vojvodství a Moravskoslezském kraji. In: Program a sborník konference *Ovzduší 2011*. s. 215-216. Masarykova univerzita. Brno. ISBN 978-80-210-5450-9.

Samet, J. M., Zeger, S. L., Dominici, F., Curriero, F., Coursac, I., Dockery, D. W., Schwartz, J., Zanobetti, A. 2000. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study, part II: morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Health Effects Institute*. (94) 37-41.

Seinfeld, J. H., Pandis, S. N. 2006. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. 2nd ed. Wiley Interscience. New York. ISBN 0-471-72018-6.

Směrnice evropského parlamentu a rady 2010/75/EU ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (IED). In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2010. 103 s. PDF online. Dostupné z: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:CS:PDF>

Spurný, K., Jech, Č., Sedláček, B., Štorch, O. 1961. *Aerosoly*. Státní nakladatelství technické literatury. Praha. 344 s. ISBN: 301-05-113.

SZÚ. *Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí*. 2013. Souhrnná zpráva za rok 2012. SZÚ. ISBN 978-80-7071-328-0.

Tuháček, M., Dostálová, K., Jelínková, J., Mlčoch, S., Svobodová, Z. 2015. Právo životního prostředí: praktický průvodce. GRADA publishing. Praha. 288 s. ISBN: 978-80-247-5464-2.

Vallero, D. 2008. Fundamentals of Air Pollution. 4th ed. Elsevier Academic Press. Boston. p. 968. ISBN: 978-0-12-373615-4.

Volná, V. 2011. Znečištění ovzduší v oblasti Moravskoslezských Beskyd: 1970-2009. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 70 s. ISBN: 978-80-86690-82-7.

World Health Organization. 2006. Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Druckpartner Moser. Denmark. ISBN: 9289021926.

Žužul, S., Zgorelec, Ž., Bašić, F., Kisić, I., Mesić, M., Vađić, V., Orct, T. 2011. Arsenic in Air and Soil in the Vicinity of the Central Gas Station Molve, Croatia. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 86(5). 501-505.

Internetové zdroje:

Blažek, Z., Černíkovský, L., Krejčí, B., Volná V. Hodnocení transhraničního přenosu znečišťujících látek: Závěrečná zpráva [online]. Ostrava. Český hydrometeorologický ústav. 2013 [cit. 2017-2-18]. Dostupné z: <http://www.air-silesia.eu/files/file/air_silesia/raport/AirSilesia_CHMU_Transhranicni_prenos_zaverecna_zprava_FINAL8_.pdf>

Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2013 [online]. Praha. Český hydrometeorologický ústav. 2014 [cit. 2017-1-21]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/II_ovzd_CZ.html>

Černíkovský, L., Krejčí, B., Keder, J. Odborná zpráva: Ověřování zdrojů benzenu v severovýchodní části města Ostrava [online]. Český hydrometeorologický ústav. Ostrava. Prosinec 2013. [cit. 2017-2-6]. Dostupné z: <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_reseni_nevhone_situace/\\$FILE/000-Ostrava_benzen_2013-20140218.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_reseni_nevhone_situace/$FILE/000-Ostrava_benzen_2013-20140218.pdf)>

Ust'ak, S., Váňa, V., Honzík, R., Slejška, A., Ust'aková, M. Souhrnná zpráva za období 2004-2010: Kauzální monitoring vlivu imisí na zemědělskou výrobu. [online]. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 2010. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:

<<https://sites.google.com/a/eto.vurv.cz/monitoring-imisi/monitoring-imisi/vyzkumna-zprava>>

Graf č. 1: Emise základních znečišťujících látek v ČR. Český statistický úřad. Dostupné z:

<https://www.czso.cz/csu/czso/cr_od_roku_1989_emise_rezzo_1>

Graf č. 2: Emise oxidu uhličitého v ČR. Český hydrometeorologický úřad. Dostupné z:

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/X_sklplyny_CZ.html>

Graf č. 3: Vývoj emisí SO₂ v ČR. Český hydrometeorologický úřad. Dostupné z:

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/png/o04_7_14.png>

Tabulka č. 2: Index kvality ovzduší v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ podle ČHMÚ. Dostupné z:

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html>

9 Přílohy

Větrné podmínky Mošnov, graf č. 17

| Popisky řádků | 0-2 m/s | 2-4 m/s | 4-6 m/s | 6-8 m/s | 8-10 m/s | 10-12 m/s | 12-14 m/s | 14-16 m/s | 16-18 m/s | Celkový so |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| s | 2,37% | 3,83% | 2,32% | 0,55% | 0,11% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 9,20% |
| ssv | 3,01% | 5,06% | 2,68% | 0,79% | 0,13% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 11,68% |
| sv | 2,89% | 2,78% | 1,18% | 0,51% | 0,11% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 7,48% |
| vsv | 2,08% | 0,89% | 0,25% | 0,06% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 3,30% |
| v | 1,64% | 0,27% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,93% |
| vjv | 1,28% | 0,13% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,41% |
| jv | 1,37% | 0,12% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,50% |
| jjv | 1,49% | 0,44% | 0,08% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 2,05% |
| j | 2,41% | 1,50% | 0,63% | 0,30% | 0,11% | 0,04% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 5,02% |
| jjz | 3,55% | 3,63% | 3,04% | 1,89% | 0,73% | 0,18% | 0,03% | 0,00% | 0,00% | 13,06% |
| jz | 4,03% | 7,18% | 6,82% | 4,67% | 1,81% | 0,40% | 0,05% | 0,01% | 0,00% | 24,97% |
| zjz | 2,60% | 2,69% | 2,15% | 1,00% | 0,25% | 0,04% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 8,74% |
| z | 1,43% | 0,73% | 0,35% | 0,20% | 0,07% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 2,78% |
| zsz | 1,09% | 0,28% | 0,08% | 0,03% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,49% |
| sz | 1,06% | 0,39% | 0,17% | 0,06% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,72% |
| ssz | 1,34% | 1,21% | 0,81% | 0,24% | 0,06% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 3,67% |
| Celkový součet | 33,63% | 31,14% | 20,59% | 10,32% | 3,41% | 0,75% | 0,13% | 0,01% | 0,00% | 100,00% |

Větrné podmínky Přerov, graf č. 18

| Popisky řádků | 0-2 m/s | 2-4 m/s | 4-6 m/s | 6-8 m/s | 8-10 m/s | 10-12 m/s | 12-14 m/s | 14-16 m/s | Celkový součet |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| s | 8,22% | 1,28% | 0,40% | 0,07% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 9,98% |
| ssv | 1,97% | 1,07% | 0,68% | 0,26% | 0,05% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 4,03% |
| sv | 2,66% | 2,21% | 1,82% | 0,87% | 0,26% | 0,05% | 0,00% | 0,00% | 7,88% |
| vsv | 4,19% | 2,84% | 1,50% | 0,68% | 0,24% | 0,05% | 0,03% | 0,00% | 9,53% |
| v | 3,55% | 1,60% | 0,49% | 0,07% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 5,72% |
| vjv | 2,12% | 0,50% | 0,06% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 2,68% |
| jv | 1,80% | 0,78% | 0,16% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 2,74% |
| jjv | 2,75% | 2,93% | 1,26% | 0,47% | 0,12% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 7,55% |
| j | 4,41% | 4,00% | 1,66% | 0,51% | 0,14% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 10,75% |
| jjz | 3,27% | 2,49% | 0,82% | 0,16% | 0,03% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 6,77% |
| jz | 2,39% | 1,79% | 0,83% | 0,13% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 5,15% |
| zjz | 2,36% | 1,19% | 0,51% | 0,15% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 4,22% |
| z | 2,97% | 1,06% | 0,42% | 0,15% | 0,03% | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 4,65% |
| zsz | 2,91% | 1,55% | 0,73% | 0,36% | 0,10% | 0,03% | 0,01% | 0,00% | 5,70% |
| sz | 2,57% | 2,47% | 1,48% | 0,62% | 0,19% | 0,03% | 0,01% | 0,00% | 7,37% |
| ssz | 2,32% | 1,99% | 0,76% | 0,17% | 0,03% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 5,28% |
| Celkový součet | 50,44% | 29,74% | 13,57% | 4,71% | 1,25% | 0,22% | 0,05% | 0,00% | 100,00% |