

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vývoj znečištění ovzduší ve vybraném území

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Ondřej Bartůšek

České Budějovice, 2017

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej BARTUŠEK**
Osobní číslo: **Z15312**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Vývoj znečištění ovzduší ve vybraném území**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

Znečištění ovzduší může mít negativní dopad na lidské zdraví ale i na ostatní složky životního prostředí, neboť umožňuje látkám v ovzduší přecházet do jiných složek prostředí jako je hydrosféra, pedosféra, litosféra či biosféra a tím způsobovat i jejich znečištění. Práce se bude zabývat především statistickým vyhodnocením dat dostupných na webových stránkách ČHMÚ.

Rámcový obsah DP:
Rešerše na dané téma.
Výběr vhodných datových souborů ve spolupráci s ČHMÚ.
Explorační analýza dat (EDA).
Trendová analýza časových řad znečištění ovzduší.
Prostorová analýza znečištění ovzduší na vybraném území.
Diskuze a závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50-55 stran textu**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**


Seznam odborné literatury:

Budská, E. Atmosférická depozice látek. VTEI, 37, č. 12, 1995.
Novotny, V., Chesters, G. Handbook of nonpoint pollution - sources and management. Litton educational publishing, 1981, 555 s.
Ostatnická J. a kol. Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2006 (Air pollution and atmospheric deposition in data, Czech Republic 2006). ČHMÚ, Praha, 2007.
Ročenky ČHMÚ
časopisy: Science of the total environment, Physics and chemistry of the earth, Journal of environmental management, Journal of environmental quality, atd.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Bystřický, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání diplomové práce: **14. března 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2017**


prof. Ing. Miroslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA 
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůvká 1598, 370 05 Česká Budějovice


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „Vývoj znečištění ovzduší ve vybraném území“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne.....

.....

Ondřej Bartůšek

Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Václavu Bystřickému Ph.D. za odborné vedení, vstřícný přístup, cenné rady a čas strávený při konzultacích mé diplomové práce.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním vývoje koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v ovzduší v Ústeckém kraji. V práci je obecně popsáno znečištění ovzduší a s tím i související pojmy jako zdroje znečištění, emise, imise a atmosférická depozice. Dále je v práci hodnoceno znečištění ovzduší oxidy dusíku a oxidem siřičitým v Ústeckém kraji. Práce popisuje metody, kterých bylo použito při výpočtech či hodnoceních. Dále se zabývá výběrem vhodných měřících stanic ke zpracování vývoje koncentrací těchto látek v ovzduší. Cílem této práce je nalezení trendů v časových řadách koncentrací NO_x a SO_2 a statistické vyhodnocení vývoje koncentrací ve vybraných městech Ústeckého kraje. V další části je hodnocena prostorová analýza koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v ovzduší v Ústeckém kraji. Toto území bylo vybráno především kvůli tomu, že se vyznačuje významným znečištěním ovzduší.

Klíčová slova: znečištění ovzduší, zdroje znečištění, emise, atmosférická depozice, oxidy dusíku, oxid siřičitý, metoda IDW, metoda Kriging

ABSTRACT

This thesis presents a comparison of the development of the concentrations of nitrogen oxides and sulfur dioxide in the air in the Usti region. The work described generally air pollution and related terms such as the sources of pollution emission, immission and atmospheric deposition. The study also evaluated pollution nitrogen oxides and sulfur dioxide in the Usti region. This work describes the methods that were used in the calculations and evaluations. It also deals with the selecting appropriate measuring stations to handle the development of the concentrations of these substances in the air. The aim of this work is to find trends in time series of concentrations of NO_x and SO_2 and statistical evaluation of development levels in selected cities Ústí Region. The next section is evaluated spatial analysis of the concentration of nitrogen oxides and sulfur dioxide in the air in the Ústí Region. This area was chosen primarily because it is characterized by significant air pollution.

Keywords: air pollution, pollution sources, emissions, atmospheric deposition, nitrogen oxides, sulfur dioxide, IDW method, Kriging method

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	10
2.1 Znečištění ovzduší.....	10
2.2 Základní pojmy spojené se znečišťováním ovzduší.....	13
2.2.1 Zdroje znečištění.....	13
2.2.2 Emise.....	16
2.2.3 Imise.....	18
2.2.4 Imisní monitoring.....	21
2.3 Atmosférická depozice	22
2.3.1 Vznik atmosférické depozice	23
2.3.2 Typy atmosférické depozice	23
2.4 Dusík	25
2.4.1 Oxidy dusíku.....	26
2.5 Síra.....	27
2.5.1 Oxid siřičitý.....	27
2.6 Znečištění ovzduší v Ústeckém kraji.....	28
3. CÍL PRÁCE.....	31
4. MATERIÁL.....	32
4.1 Sběr dat.....	32
5. METODY	39
5.1 Statistické metody	40
5.2 Metoda Thiessenových polygonů.....	42
5.3 Metoda vážené inverzní vzdálenosti – IDW	43
5.4 Metoda Kriging	44
6. VÝSLEDKY A DISKUZE.....	46

6.1	Statistické vyhodnocení koncentrací NO _x a SO ₂ ve vybraných městech Ústeckého kraje	46
6.2	Vyhodnocení trendů časových řad koncentrací NO _x a SO ₂ ve vybraných městech Ústeckého kraje v období let 2005 – 2015	50
6.3	Prostorová analýza koncentrací NO _x a SO ₂ v ovzduší v Ústeckém kraji....	54
6.3.1	Thiessenovy polygony	54
6.3.2	Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)	56
6.3.3	Metoda Kriging	61
6.3.4	Diskuze k výstupům prostorové analýzy v Ústeckém kraji	63
6.3.5	Porovnání použitých metod prostorové analýzy v Ústeckém kraji.....	65
7.	ZÁVĚR	68
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	77
10.	SEZNAM PŘÍLOH	79

1. ÚVOD

Atmosféra Země prošla v posledních několika desítkách milionů let značnými změnami. Ovšem její složení je téměř neměnné. Obsahuje 78 % dusíku, 21 % kyslíku, méně než 1 % argonu, 0,03 % oxidu uhličitého a stopové množství dalších plynů, aerosolu a další neškodné příměsi. Mnoho z těchto příměsí se ale vyskytuje v ovzduší vlivem působení celé škály lidské činnosti a v množství, které mnohonásobně převyšuje přirozené pozadí. Některé tyto látky (plynné, kapalné či pevné) jsou dokonce přírodě zcela cizí. Pokud je množství, koncentrace, složení nebo kombinace těchto látek přítomno ve vzduchu, mluvíme o znečištění ovzduší (PROKEŠ, 2005).

Znečišťování ovzduší patří v současné době mezi nejzávažnější problémy ochrany životního prostředí. Znečištěné ovzduší má prokazatelně nepříznivé účinky na lidské zdraví, znečišťující látky mohou způsobit širokou škálu zdravotních problémů od méně závažných až po vážná onemocnění a předčasnou úmrtnost. Znečišťující látky negativně působí i na vegetaci, mohou ovlivnit její růst a způsobit snížení výnosů zemědělských plodin a lesů. Jsou i příčinou eutrofizace a acidifikace půdních a vodních ekosystémů a následné změny druhové skladby a úbytku rostlinných a živočišných druhů. Řada znečišťujících látek má schopnost se v prostředí akumulovat, negativně ovlivňovat ekosystémy a přecházet do potravního řetězce. Dále mají některé z nich přímý nebo nepřímý vliv na klimatický systém Země. Nutné je zmínit i poškozování materiálů a budov často historického významu působením znečišťujících látek v ovzduší (ČHMÚ, 2016).

Znečištění ovzduší je v Ústeckém kraji již léta aktuálním tématem. Průmysl s sebou za tu dobu přinesl spoustu kladů – nové výrobky, pracovní příležitosti, celkový rozvoj ekonomiky kraje s přínosy i pro celou Českou republiku. Rozsáhlá průmyslová výroba má ale veliký dopad na životní prostředí, jsou znečišťovány vody, půda i ovzduší.

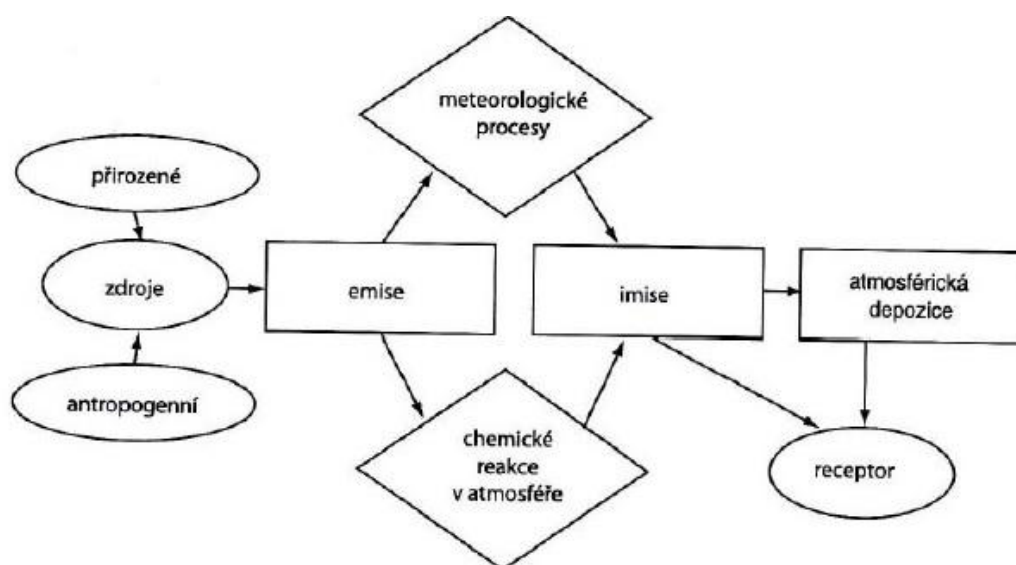
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1 Znečištění ovzduší

Znečištění ovzduší je stav, kdy se v něm vyskytují látky, které v určité koncentraci, nebo po určité době působení mohou u člověka narušovat pocit pohody a mohou ohrožovat nebo poškozovat zdraví lidí a dalších živých organismů, ale i neživou část přírody a lidské výtvořiny (KALÁČ A KOL., 2010). Podle jiné definice lze znečištění ovzduší považovat za stav, kdy se cizorodé, často toxické látky, nacházejí v ovzduší v množství, jež převyšuje nejvýše přípustné koncentrace (SYMON A BENCKO, 1988).

Atmosféra a zejména její mezní vrstva je stále ve větší míře vystavena antropogennímu znečišťování. Mezi nejběžnější znečišťující látky emitované do ovzduší patří oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, těkavé organické sloučeniny a prашný aerosol. Relativní zastoupení většiny znečišťujících příměsí v troposféře je dáno rovnováhou mezi vstupem látky do troposféry, tedy jejím zdrojem, a jejím odstraňováním z troposféry fyzikálními, chemickými a biochemickými transformacemi, tedy propady (BEDNÁŘ, 2009). Znečištění ovzduší je jedním z faktorů, který se spolupodílí na ovlivnění lidského zdraví. Může se projevit výskytem nebo zhoršením subjektivních obtíží nebo objektivních poruch zdraví, na kterých se může určitou měrou podílet expozice látkám z ovzduší cestou dýchacího ústrojí (ČHMÚ, 2016). Znečištění ovzduší je komplex jevů a procesů, které není možno od sebe oddělit, přestože se jednotlivé úrovně tohoto problému běžně studují i řeší jako zcela samostatné odborné okruhy. Schéma těchto procesů a jevů je vysvětleno na obrázku č. 1 (BRANIŠ, 2009).

Znečišťování ovzduší je jedním z nejobvyklejších důsledků mnoha lidských činností a obvykle patří k nejzávažnějšímu ohrožení životního prostředí vůbec. V České republice se znečištění ovzduší právem považuje za problém číslo jedna. Je to věc tak důležitá, že jsme o kvalitě ovzduší pravidelně informováni. Uvádějí se koncentrace nejdůležitějších škodlivin v ovzduší. Pozornost se zaměřuje zejména na velká města, kde žije nejvíce lidí. Pravidelně jsme informováni o koncentracích tří nejdůležitějších škodlivin: oxidu siřičitého, oxidu dusíku a prachu (MOLDAN, 1997).



Obr. č. 1: Schéma procesů, kterým podléhají znečišťující látky v ovzduší.

(Zdroj: HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004)

Ve svých důsledcích má znečištění ovzduší vliv na jevy nejen charakteru lokálního (znečištění v bezprostředním okolí emisních zdrojů) či regionálního (acidifikace ekosystémů, epizody oxidačního smogu patrné v rámci rozsáhlých geografických celků), ale i na procesy povahy globální (jako jsou klimatické změny v důsledku působení skleníkového jevu či ovlivnění biosféry určitými negativně působícími složkami ultrafialového záření pronikajícími od Slunce k zemskému povrchu v důsledku narušování ozonoféry), zasahující celoplanetární atmosféru (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Skleníkové plyny a látky poškozující ozonovou vrstvu, považované za škodliviny (polutanty) v ovzduší, nemají samy o sobě nepříznivé účinky ani na lidské zdraví ani na biologické systémy, avšak ohrožují globální životodárné systémy. Jiné škodliviny mají dopad na lidské zdraví, na přírodu nebo na majetek. Zejména v lokálním měřítku znamenají na mnoha místech na světě vůbec nejvážnější poškození životního prostředí a mají na svědomí přes 2,4 milionu předčasných úmrtí ročně. Účinky znečištěného ovzduší známe velmi dobře z naší vlastní země - tisíce hektarů lesa jsou poškozeny nebo zcela zničeny, lidské zdraví je ohroženo, pomníky i fasády budov trpí – a to vše v nedávné minulosti (MOLDAN, 2009).

Znečištění ovzduší jako sociální problém se poprvé objevilo ve 14. století, tedy od doby, kdy se začalo jako zdroje tepla používat spalování uhlí. Nejvážněji postiženou zemí se stala nejdříve Velká Británie – kolébka první průmyslové revoluce. Významné byly výnosy Richarda III. a později i Jindřicha V. regulující používání a dovoz uhlí. Z Anglie pocházejí i první snahy o likvidaci kouře, například „přístroj, který požívá kouř“ z roku 1866. Již na začátku 17. století se vědělo, že nepříjemný pach a dráždění v krku způsobené uhelným kouřem má na svědomí síra obsažená v uhlí a hledaly se proto metody odsíření. V souvislosti se snahou vyrobit kvalitní ocel, bylo vynalezeno koksování uhlí, jež odstranilo síru a těžké látky z tohoto paliva. V 20. století se vážným zdrojem znečišťování ovzduší stal petrochemický průmysl a automobilová doprava (SYMON A BENCKO, 1988).

I přes významná zlepšení v posledních letech patří Česká republika stále k nejvíce znečištěným regionům v celé Evropě. Výsledný stav ovzduší v České republice je zčásti ovlivněn i velkými zdroji znečišťování, které se nacházejí v Německu a v Polsku (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Znečištění ovzduší patřilo v České republice vždy k velkým environmentálním problémům. První údaje o znečišťujících látkách v ovzduší na našem území jsou už z padesátých let minulého století. Týkalo se to zejména průmyslových oblastí, kde byly hodnoceny dosahované imisní úrovně ve vztahu ke zdravotní závažnosti (SYMON, 1960). Problematika ochrany ovzduší byla zařazena do náplně činnosti ČHMÚ v 60. letech 20. století (VYSOUDIL, 2002). Na konci 60. let byly zřizovány monitorovací sítě a tím se u nás začalo pravidelně měřit znečištění ovzduší (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Počátkem 70. let tvořilo monitorovací síť více než 100 stanic. Používala se diskontinuální manuální metoda měření. Vybrané stanice byly postupně vybavovány automatickými analyzátory (VYSOUDIL, 2002). Zahájení měření v tzv. čistých oblastech obrátilo pozornost na vliv znečišťujících příměsí v ovzduší na přírodní prostředí i v oblastech vzdálených od emisních zdrojů a přispělo k vysvětlení některých ekologických problémů posledních desetiletí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Ochrana ovzduší znamená dle zákona předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťujících látek tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší a poškozujícím ekosystémy spolu s vytvořením

předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí, které byly znečištěním postiženy (ČHMÚ, 2016).

2.2 Základní pojmy spojené se znečišťováním ovzduší

2.2.1 Zdroje znečištění

Lidské činnosti nejrůznějších typů ovlivňují všechny charakteristiky složek životního prostředí. Na snižování kvality ovzduší se podílejí nejen cizorodé látky, které unikají do atmosféry jako antropogenní artefakty, ale také látky, které jsou v přírodě běžné, ovšem v množství a koncentracích, které za přirozené považovány nejsou. Může se jednat i o jejich přirozený výskyt při ojedinělém případě nebo na specifické lokalitě (prašné bouře, sopečné erupce, epizody výronu plynů či aerosolu apod.) (BRANIŠ, 2009). Na lidské zdraví může mít velký vliv znečištění ovzduší a to jak krátkodobě, tak dlouhodobě. Může se jednat o přímé či nepřímé působení. Nepřímé působení spočívá v kontaminaci pitné vody a potravin a pronikání kůží (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

Znečišťující látky se do ovzduší dostávají emisními zdroji nejrůznějších typů (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Tyto zdroje jsou velmi početné a značně různorodé (KURFÜRST, 1982). Emisní zdroje můžeme rozdělit podle několika kritérií. Například podle původu se zdroje dělí na přirozené a antropogenní (BRANIŠ, 2009).

Přirozené zdroje

Přirozené zdroje jsou definovány jako aktivity přírodního charakteru, které nezpůsobil člověk svou činností (KURFÜRST, 1982). Mezi přírodní zdroje patří například vulkanická činnost, bakteriální činnost a prašné bouře (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jako další různé znečišťující příměsi, jako například půdní a prachové částičky, částice sopečného popela, jemné krystalky mořských solí, složky organického původu (produkty rozkladu organických látek, spóry, pylová zrna, výtrusy, malá semínka rostlin, bakterie), produkty vznikající při hoření meteoritů nebo kosmický prach proniklý do atmosféry (BEDNÁŘ, 1989).

Antropogenní zdroje

V souvislosti s ekologickou problematikou se v poslední době věnuje velká pozornost aerosolům antropogenního původu, které vznikají jako přímé či nepřímé produkty lidských činností. Jsou to aktivity spojené s důlní nebo průmyslovou činností, doprava, zemědělství, důsledek vytápění budov (BEDNÁŘ, 2003), likvidace odpadu, výroba elektřiny a tepla (BRANIŠ, 2009). Tyto příměsi, které se dostanou do atmosféry, mohou mít plynné, kapalné i pevné skupenství (BEDNÁŘ, 1989). Ve svém důsledku se antropogenní emise zpravidla projevují daleko více než emise pocházející z přírodních zdrojů, protože mají daleko vyšší specifické emisní toky. To má za následek, že jsou emisní koncentrace mnohem vyšší v oblastech, které se vyznačují intenzivní lidskou činností, než v oblastech od zdrojů vzdálených a odlehlých (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

BRANIŠ (2009) uvádí, že zdroje se dále mohou dělit podle umístění na přízemní, vyvýšené a výškové. Mezi přízemní zdroje patří zemědělská činnost, lomy, skládky, lokální topeniště nebo automobilová doprava. Zdroje vyvýšené škodlivé látky emitují v určité výšce nad zemským povrchem. Sem se řadí vysoké komíny elektráren, průmyslových závodů a tepláren. Vysoké komíny sice zlepšují lokální situaci znečištění, ale značnou měrou přispívají k dálkovému přenosu látek, a tím napomáhají k acidifikaci prostředí i v oblastech relativně čistých, bez významných znečišťujících zdrojů. Mezi výškové zdroje znečištění patří především letecká doprava.

Podle uspořádání se zdroje dělí na bodové, liniové, plošné a objemové (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jako bodové zdroje jsou uváděny ty, které emise uvolňují z jasně definovatelného místa. Sem patří například kouřovod nebo komín. Měření, sledování a následná kontrola těchto emisí je daleko snazší a většinou i méně cenově náročná než u jiných typů zdrojů emisí. Bodové zdroje emisí jsou výsledkem spalování paliva při výrobě energie a průmyslových procesů, jako je výroba celulózy, tavení rud a tak dále, které jsou vypouštěny z jasně viditelných a definovatelných kouřovodů a komínů (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Jako lineární zdroj je uváděna doprava, ať už na dálnici nebo řece. Město jako celek, průmyslová oblast, povrchový důl, lom nebo skládka patří do plošných zdrojů (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jako další příklad můžou být uváděny

průmyslové procesy na rafinériích nafty nebo vytápění domácností pomocí malých topenišť, které jsou rozmístěny po velké ploše. Zjišťování a určování skladby těchto emisí je velmi obtížné, přesné měření téměř nemožné a následná ochrana velmi nákladná (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). O objemovém zdroji mluvíme v souvislosti s katastrofami jako je například jaderný výbuch (BRANIŠ, 2009).

Dále můžeme zdroje rozdělit na stacionární a mobilní a to podle jejich stálosti povahy. Stacionární zdroj nemění svou polohu v čase ani prostoru, mobilní ano. Rozlišení samozřejmě závisí na časovém a prostorovém měřítku, které bereme v úvahu. Jedoucí auto jako samostatný zdroj může být bráno jako bodový mobilní zdroj, ale souvislá kolona aut na dálnici se může pokládat za stacionární lineární zdroj (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Obecně mohou být mobilní zdroje všechna motorová vozidla sloužící k dopravě a jiným účelům, která se pohybují po zemi, vodě i vzduchu. Pozemní vozidla jsou například motorová vozidla silniční a kolejové dopravy, zemědělské, stavební a vojenské stroje. Z hlediska tvorby množství a druhů emisí se rozlišují spalovací motory zážehové (benzinové), které se dále dělí na čtyřdobé a dvoudobé a motory vznětové (naftové, diesellové). Kolejové vozidla, např. lokomotivy využívají parní a diesellové motory (KURFÜRST, 1982). Dalo by se říci, že za mobilní zdroje jsou považovány tedy všechny druhy dopravy. Odhad emisí není zdaleka snadný. Doprava představuje největší kategorii emisí CO₂ a významně se podílí na emisích NO_x, těkavých sloučenin a rozptýlených tuhých částic. Jako největší stacionární zdroj v průmyslovém světě je uváděno spalování paliva při výrobě energie (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

Podle doby trvání lze emisní zdroje rozdělit na kontinuální a diskontinuální. Kontinuální zdroje jsou nepřetržité a diskontinuální se naopak vyznačují svou přetržitostí. Typickými kontinuálními zdroji oxidu uhelnatého, oxidu siřičitého a oxidů dusíku jsou elektrárny (BARTOŇOVÁ, 2009).

Obecně platí, že lokální vytápění domácností pevnými palivy je významným zdrojem suspendovaných částic a polycyklických aromatických uhlovodíků (celkově v zemích EU i v ČR). V oblastech zatížených dopravou se mohou vyskytovat zvýšené koncentrace oxidů dusíku. Doprava je také dalším významným zdrojem suspendovaných částic a polycyklických aromatických uhlovodíků. Významnými zdroji znečišťujících látek zůstává i nadále veřejná a průmyslová energetika,

zemědělství a používání rozpouštědel. Konkrétní podíl jednotlivých zdrojů na znečištění ovzduší je však v různých oblastech odlišný, záleží na skladbě zdrojů v dané lokalitě, ale také na přenosu škodlivin z jiných oblastí (ČHMÚ, 2016).

2.2.2 Emise

Pojem znečišťování ovzduší (emise) zahrnuje celou řadu procesů, při nichž dochází k vnášení znečišťujících látek do ovzduší. Zdroje znečišťování ovzduší mohou být přírodního nebo antropogenního původu, přičemž hranice mezi těmito typy zdrojů není vždy úplně jednoznačná (ČHMÚ, 2016). Mírou znečišťování ovzduší je množství emisí. Jedná se o činnost nebo děj (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Vypouštění nebo únik příměsí do atmosféry se také může nazývat primární znečišťování území (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jedná se o příměsí, které jsou vypouštěny přímo ze zdrojů (VYSOUDIL, 2002). Množství příměsí (její hmotnost), která vstupuje za jednotku času ze zdroje znečišťování do ovzduší, nazýváme emisním tokem (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Díky dopravě nebo spalování uhlí vznikají nebezpečné emise NO_x a SO_2 , které dále podílejí na vzniku kyselých dešťů (NOVOTNY A CHESTERS, 1981).

Dnešní vyspělá průmyslová doba přináší spotřebu velkého množství přírodních zdrojů a energie, které je potřeba k výrobě zboží nebo služeb pro obyvatelstvo naší planety. Veškerá činnost s tím spojená má za následek vypouštění látek do atmosféry. Emisím takto vypouštěným tedy říkáme primární škodliviny, protože látky jako je třeba SO_2 se do ovzduší dostávají přímo z lidské činnosti. Sekundární škodliviny (např. ozón) vznikají v ovzduší v důsledku chemických reakcí mezi primárními škodlivinami a jednou nebo několika primárními škodlivinami nebo přirozenými složkami ovzduší (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Za sekundární znečišťování jsou považovány chemické změny, kterými prochází většina znečišťujících látek během jejich šíření v atmosféře. Proto je někdy pro toto sekundární znečišťování používán pojem chemismus atmosféry. Sem patří základní chemické reakce jako je oxidace, změny skupenství neboli konverze plyných látek na jemně disperzní částičky tuhé látky a změny fotochemické, kde emise některých látek znečišťujících ovzduší v působení spolu s ozónem a dalšími složkami přirozené atmosféry a se slunečním zářením vytváří v atmosféře takzvané smogy, které se rozlišují na několik typů (KURFÜRST, 1982).

Emise ze zdrojů jsou zjišťovány měřením nebo výpočtem. Měření specifických emisí se považuje za všeobecně nejlepší a nejpresnější způsob kvantifikace emisí. Vzhledem k tomu, že je měření dost nákladné a obtížné, není prováděno příliš často. Jako alternativní metoda, která se častěji používá, je výpočet emisí pomocí tzv. emisních faktorů, kde se na základě známého množství a druhu paliva spočítají emise jednotlivých látek (BRANIŠ, 2009). Emisní faktor nám popisuje množství polutantu uvolňovaného ze zdroje znečištění do ovzduší. Jedná se především o spalování, skladování, manipulaci, úniky ze zařízení nebo výrobní procesy. Emisní faktor je vyjádřen v jednotkách hmotnosti emitovaného polutantu na jednotku hmotnosti, objemu, tepelného výstupu, vzdálenosti nebo trvání děje emise polutantu. Dále jsou odvozovány přes různé způsoby od měření zdrojů, přes teoretické výpočty až po kombinaci měření a výpočtů. Emisní faktory se mohou měnit vlivem znalostí, lokality nebo času (KALVOVÁ A MOLDAN, 1996).

V oblasti ochrany ovzduší v současné době funguje Informační systém ochrany čistoty ovzduší (ISOČO), který se zaměřuje na celou republiku. Jeho podsystémy jsou Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) a Imisní informační systém (IIS) a další (BARTOŇOVÁ A KOL., 2004). Provozovatelé mobilních zdrojů emisí (vozidla) jsou povinni si nechat měřit emise ve stanicích technické kontroly (STK) tak, aby z dopravy byla vyřazena vozidla s nadměrnými emisemi (POLÁŠKOVÁ A KOL., 2011). Podrobné údaje o emisích podle území, charakteru znečišťujících látek a druhu zdrojů lze přímo zjistit ze systému REZZO a v souhrnných tabelárních ročenkách vydávaných Českým hydrometeorologickým ústavem (VYSOUDIL, 2002). Od roku 2013 platí v souvislosti se změnami kategorizace zdrojů podle přílohy č. 2 zákona o ochraně ovzduší nové členění REZZO (ČHMÚ, 2016). Ten vstoupil v účinnost dne 1. září 2012. Do kategorizace REZZO 1 patří velké zdroje na výrobu tepla, které mají instalovaný výkon nad 5 MW. Jsou to teplárny, elektrárny, větší blokové kotelny, výtopny a další. Tyto konkrétní podniky jsou vyjmenovány v zákoně. Kategorie REZZO 2 zahrnuje telené zdroje, které mají výkon 0,2 – 5 MW. Z hlediska dopadů na životní prostředí jsou to například domovní a menší blokové kotelny. Správou REZZO 1-2 je pověřen Český hydrometeorologický ústav. Kategorii REZZO 3 tvoří malé zdroje, jakými jsou například lokální topeniště. Taková zařízení prokazují výkon do 200 kW. REZZO 4 tvoří pouze mobilní zdroje, jedná se tedy především o automobilovou dopravu

(ČHMÚ, 2013). Na několika místech České republiky pracují poměrně dokonalé monitorovací systémy čistoty ovzduší. Jedná se především o severní Čechy, Prahu a Ostravsko. Tyto oblasti České republiky patří mezi emisemi nejzatíženější (VYSOUDIL, 2002).

Česká republika patří v Evropě mezi významné znečišťovatele, a to především pokud jde o emise oxidu siřičitého. Od roku 1950 do roku 1980 tyto emise vzrostly zhruba 3krát. Od roku 1989 do roku 1994 byl zaznamenán klesající trend o téměř 30 % a tyto emise znamenaly necelých 1,5 mil. tun/rok (PIVNIČKA A BRANIŠ, 1998). Tento pokles byl docílen tím, že se přestala používat paliva, která obsahovala velké množství síry. Pokud taková paliva nebyla k dispozici, síra se musela odstraňovat z kouřových plynů, čemuž se říká odsiřování (MOLDAN, 1997).

V uplynulém čtvrtstoletí byla jak u významných zdrojů, tak u vytápění domácností a dopravy, realizována řada opatření, díky nimž došlo v ČR k výraznému snížení emisí znečišťujících látek. Přesto však řada hospodářských a společenských aktivit produkuje stále takové množství emisí, které je v kombinaci s meteorologickými a rozptylovými podmínkami příčinou překračování imisních limitů některých škodlivých látek, a to zejména v některých regionech. V současnosti představují největší problém ze sledovaných látek suspendované částice a na ně vázané polycyklické aromatické uhlovodíky. V letním období jsou na řadě lokalit překračovány imisní limity přízemního ozonu (ČHMÚ, 2016).

2.2.3 Imise

Znečišťující příměsi obsažené v atmosféře, které přecházejí na příjemce nebo jsou s ním v kontaktu (příjemcem může být organismus, stavební materiál, půda, apod.), označujeme jako imise (BARTOŇOVÁ A KOL., 2004). Imise se definují jako množství znečišťujících příměsí, které přecházejí z ovzduší na příjemce, čili receptor. Jako míra je jejich koncentrace v ovzduší, která je vyjádřena hmotností sledované látky na objem vzduchu nebo hmotnost příměsi na 1 kg vzduchu. Můžeme se také setkat s jednotkami ppm (pars per million), popřípadě ppb (pars per billion), které nám udávají poměr objemu příměsi k objemu směsi. Receptor může být ovlivňován imisemi přímo nebo pomocí atmosférické depozice (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Imisí se stává emise po jejím přenosu, rozptýlení a po fyzikálně-chemických reakcích, kterými je ovlivňována v atmosféře. Pomineme-li

chemické látky ve všech skupenstvích, jsou za imise v širším slova smyslu považovány také radioaktivita, hluk a změny teploty vyvolané lidskou činností (BRANIŠ, 2009). Za znečišťování ovzduší nepovažujeme jen přítomnost hmotných částic v atmosféře. Na znečišťování ovzduší se podílí elektromagnetické vlnění, hluk a vibrace, vysokofrekvenční výboje a dosti zásadně tepelné a radioaktivní znečišťování (VYSOUDIL, 2002). Látky jsou v důsledku chemických reakcí a rozptylu naředěny, a tím pádem vždy méně koncentrované než emise (POLÁŠKOVÁ A KOL., 2011).

Pokud se přítomnost imisí v atmosféře projevuje v takovém množství a době trvání, že má nepříznivý vliv na životní prostředí, jedná se o znečištění ovzduší. Znečištění nám tedy představuje stav, který je důsledkem původního děje nebo činnosti. Množství imisí jednotlivých látek v určitém místě nebo oblasti je mírou znečištění (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Nepřirozené příměsi v atmosféře mohou ovlivnit klimatické procesy, měnit jejich fyzikální (např. viditelnost, teplota, albedo), chemické (acidita) i biologické (potlačení růstu či vývoje některých organismů), případně podpoření růstu či vývoje jiných) vlastnosti (BRANIŠ, 2009).

Kvalita ovzduší je hodnocena na základě znečištění imisemi oxidu siřičitého, oxidy dusíku, prašným aerosolem, ozonem, oxidem uhelnatým a těžkými kovy v prašném aerosolu (VYSOUDIL, 2002). Imisní úrovně jsou zjišťovány pomocí monitorovacích sítí. Měření stacionárních stanic bývá často doplněno účelovými měřeními mobilními. V některých moderních státech jsou prováděna i měření letová, pomocí kterých lze lépe zjistit např. koncentrace látek ve vlečkách emisních zdrojů nebo přenos znečišťujících látek přes hranice států. Pro některá účelová měření může být použito pro zjištění koncentrací látek i tzv. LIDARu, který funguje na principu detekce světla a měření vzdálenosti a který provádí měření absorpčních spekter plynů laserovým svazkem (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Vliv imisí, který má za následek acidifikaci a eutrofizaci půd, představuje jeden ze základních antropogenních faktorů negativně působících na stav lesů. Poškození lesů v důsledku imisní zátěže je na území České republiky známo již od 50. let, a jednalo se zejména o oblast Krušných hor. Rapidní nárůst velkoplošného poškození byl zpozorován po extrémním teplotním výkyvu v prosinci roku 1978. Poškození se následně velice viditelně projevilo na vrcholových částech všech pohoří v severní části našeho území. Podle některých údajů dosáhl podíl imisně

poškozených lesů v polovině 90. let kolem 60% z celkové rozlohy lesů (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002).

Imise a depozice některých imisních látek, především oxidu uhličitého, oxidů síry a dusíku, mohou při nízkých koncentracích a omezené době působení obecně přispívat k lepší výživě lesních dřevin. Není možné vyloučit, že tyto vlivy pravděpodobně umožnily vyšší přírůstky dřevní hmoty v průběhu padesátých let a v některých oblastech naší republiky i počátkem šedesátých let. Postupně však bohužel zcela převládly negativní vlivy imisí prakticky na celém území České republiky (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

Pokud jde o znečištění ovzduší oxidy dusíku představující jednu z nejběžnějších znečišťujících příměsí ve většině urbanizovaných oblastí, tak je u nás nejzatíženější oblast opět hlavní město Praha, kde dochází prakticky na všech stanicích k překročení denního imisního limitu. Dále byly tyto limity překračovány na některých stanicích v severních Čechách, v Berouně, Plzni, Chebu, Brně, Šumperku, Hodoníně a Zlíně. Rozhodující podíl na daleko vyšších koncentracích oxidů dusíku na městských stanicích má původ v dopravě (VYSOUDIL, 2002).

Problematika znečišťování ovzduší už dávno přestala mít úzce národní charakter a stala se tak problémem mezinárodním. Proto současný výzkum je v národním měřítku zaměřen na rozvoj kontroly emisí a imisí a v mezinárodní sféře se sleduje dálkový přenos škodlivin a regionální a globální úroveň znečištění ovzduší (ČERVENÝ A KOL., 1984). Ochrana čistoty ovzduší je souhrnný název pro praktické a výzkumné činnosti zabývající se studiem znečištění ovzduší a jeho ochranou před znečišťováním (VYSOUDIL, 2002).

Metody měření imisí se dělí především na metody manuální a kontinuální. Kontinuální měřicí metody realizované odpovídající přístrojovou technikou jsou pak ve spojení s příslušnou technikou pro automatizaci sběru dat součástí systémů automatizovaných imisních měření. Manuální metody se používají především pro monitorování složek, pro které neexistuje adekvátní automatizovaná varianta měření. Dále se manuální měření stále používá jako méně nákladný doplněk automatizovaných sítí pro dokreslení imisní situace v méně zatížených oblastech nebo tehdy, když se hodnocení dopadů znečištění ovzduší opírá výhradně o dlouhodobé charakteristiky (FIALA, 2009).

2.2.4 Imisní monitoring

Imisní situace je míra znečištění venkovního ovzduší. Protože se dají hodnoty znečišťujících látek dobře měřit, využíváme tzv. imisní monitoring. Kvalita ovzduší se poté hodnotí tak, že se srovnají naměřené hodnoty koncentrací s hodnotami imisních limitů. Může se zde také řešit četnost překročení imisních limitů, které jsou dány legislativou (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Měření, která se soustřeďují na kvalitu ovzduší a kontroly zdrojů znečištění, musí mít veličinu (např. hmotnostní koncentrace látky) specifikovanou dále čtyřmi parametry: místem měření, dobou trvání odběru, měřenou složkou (tou může být znečišťující látka ale i meteorologický výstup, například rychlost větru) a okamžikem trvání (POLÁŠKOVÁ A KOL., 2011).

Imisní monitorovací sítě jsou souborem měřících zařízení, která mají za úkol mapovat určité území z hlediska znečištění ovzduší. Tato síť se nejvíce rozrostla v průběhu 60. let, kdy byl nárůst znečištění v České republice největší. První sítě byly provozovány ČHMÚ a to v oblastech s největším postižením. Začaly vznikat i sítě hygienické služby, sítě energetiky, zemědělství, lesnictví atd. Do roku 1987 byly všechny tyto sítě provozovány manuálně. Téhož roku byly uvedeny do provozu první sítě, které pracovaly na principu automatizovaného měření pro koncentrace oxidu siřičitého a oxidů dusíku (BARTOŇOVÁ A KOL., 2004). V tomto období existoval tzv. Prognózní a signální systém (PSS), který sloužil k varování obyvatelstva a regulaci emisí za smogové situace. Dnes jsou provozovány jak manuální, tak automatické sítě ČHMÚ, SZÚ a hygienické služby z hlediska ochrany zdraví člověka. Pro účely hospodářství, rostlinné výroby, apod. existují další imisní monitorovací sítě (FIALA, 2009).

Koncentrace naměřené imisními monitorovacími sítěmi jsou ukládány do imisní databáze ISKO. V ISKO jsou archivovány údaje již od počátku měření, koncentrace SO₂ a suspendovaných částic ze staničních sítí ČHMÚ v severních Čechách, v Praze a v aglomeraci O/K/F-M již od roku 1969. ISKO spravuje také podrobné popisné údaje o lokalitách měření, měřících programech a metodách, klasifikaci a kvalitě měření. ISKO je stále rozvíjen díky využívání současných informačních technologií. Zahrnuje sběr dat, archivaci a zpracování dat

z automatizovaných i manuálních měřicích sítí ČR a rovněž ukládání a zpracování dat o emisích a zdrojích znečišťování ovzduší (ČHMÚ, 2013).

Z imisního monitoringu vychází několik cílů formulovaných v dokumentech ČR a EU s podobným charakterem. Například dokument WHO nařizuje: stanovit expozici populace nadměrnými koncentracemi znečišťujících látek a zhodnotit dopad na zdraví populace, poskytovat podklady k operativním informacím o aktuálním stavu znečištění ovzduší pro veřejnost, poskytovat podklady pro krátkodobá opatření v situacích se zvýšeným znečištěním ovzduší, poskytovat podklady pro studium přeshraničních přenosů látek znečišťujících ovzduší, apod. (BRANIŠ, 2009).

Z hlediska doby trvání plnění můžeme dále rozdělit cíle na dlouhodobé a krátkodobé. Krátkodobé cíle v tomto smyslu chápeme jako poskytování operativních informací o stavu znečištění pro bezprostřední ochranu obyvatelstva v období smogových situací v dané oblasti. Dlouhodobé cíle studují vlivy času, území, příčin a dalších souvislostí ve vztahu k objektivnímu hodnocení pro posuzování vlivu znečištění ovzduší na zdraví obyvatel, zvířat či stav vegetace v určité oblasti (FIALA, 2009).

V roce 2015 došlo k zásadní inovaci Státní sítě imisního monitoringu (SSIM), největší od vybudování celorepublikového automatizovaného imisního monitoringu v první polovině 90. let minulého století. ČHMÚ realizoval v rámci Operačního programu Životní prostředí projekt komplexní obnovy techniky pro sledování a hodnocení kvality ovzduší na celém území České republiky. Optimalizace měřicích sítí vedla na jedné straně k omezení či zrušení měření v některých lokalitách a naopak k přesunu či vybudování 10 zcela nových měřicích lokalit v místech, kde doposud souvislé sledování kvality ovzduší chybělo, a je potřebné pro mapování a hodnocení kvality ovzduší na území ČR. Inovace SSIM byla zahájena v polovině února a dokončena k 30. září 2015 (ČHMÚ, 2016).

2.3 Atmosférická depozice

Atmosférická depozice znamená přestup či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu, přičemž na jedné straně jde o důležitý proces samočištění atmosféry a pokud by zde nebyla, docházelo by v ovzduší ke kumulaci řady látek, ovšem na straně druhé představuje významný zdroj znečišťujících látek pro další složky

prostředí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jako důsledek depozice atmosférických škodlivin dochází ke kumulování řady látek (především sloučenin síry, dusíku a těžkých kovů) v půdě i v lesních organismech (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

2.3.1 Vznik atmosférické depozice

Látky podléhají v atmosféře mnoha složitým dějům. Jedná se o počáteční emisi látky ze zdroje přes dálkový přenos a rozptyl, které mají na starost meteorologické jevy a transformace v důsledku chemických reakcí (HŮNOVÁ, 2009). Atmosférická depozice představuje proces přestupu látek z atmosféry do různých částí ekosystému. Studium depozice má velký význam pro pozorování škod, které způsobuje znečištění atmosféry na ekosystémech (VYSOUDIL, 1997) a je bezesporu významným ekologickým činitelem (MOLDAN, 1989).

Proces atmosférické depozice je studován ze dvou hledisek. Především má vliv na chemické složení atmosféry, protože déšť, sníh a další meteorologické procesy zbavují ovzduší plyných a pevných částic včetně antropogenních škodlivin. Za druhé představuje látkový vstup do geosystémů všech měřítek. Značí důležitý biochemický proces, který je podstatně ovlivněn antropogenní činností. Projevují se na něm zejména procesy spojené se spalováním, při kterých jsou do ovzduší emitovány tuhé částice, jako jsou např. plyné složky síry a dusíku a popílek (VYSOUDIL, 2002).

Srážky v atmosféře obsahují v různých koncentracích prakticky veškeré látky, které se v ovzduší vyskytují (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Různé znečišťující příměsi se do srážkové vody dostávají buď již při samotném vzniku srážkových elementů (vodních kapek nebo ledových částic) vně oblaků, nebo v průběhu jejich padání v podoblačné vrstvě vzduchu. První ze dvou uvedených mechanismů se v mezinárodní literatuře obvykle označuje termínem „rain out“ (česky termín znamená vypršení, znečištění oblačné vody), zatímco druhý „wash out“ (česky vymytí, znečištění srážkové vody) (BEDNÁŘ, 2003).

2.3.2 Typy atmosférické depozice

Celková atmosférická depozice je dána součtem mokré a suché depozice. Mokrú depozice souvisí se srážkami, a to jak s vertikálními (déšť, mrholení, sníh

atd.), tak horizontálními (např. jinovatka, námraza, mlha). Déšť je tedy jedním z činitelů atmosférické depozice (MOLDAN, 1985). Srážky odstraňují z ovzduší plynné látky i částice. Můžeme se setkat i s pojmem kyselá depozice, neboli kyselý déšť (HŮNOVÁ, 2009). Srážková činnost je nejúčinnějším a nejuniverzálnějším mechanismem, který odstraňuje látky z atmosféry. Voda pohlcuje všechny látky plynné, které se buď ve vodě rozpouštějí, nebo navíc chemicky reagují, i látky pevné, a to jak složky rozpustné, tak i nerozpustné (MOLDAN, 1995). Suchá depozice představuje spad tuhých látek a plynů. Dochází při ní k přímému přestupu látek z ovzduší na vegetaci, oceány a zemský povrch. Suchá depozice je výrazně pomalejší než depozice mokrá, ale zato probíhá neustále. Oblasti, které jsou pod přímým vlivem emisních zdrojů, jde především o města a průmyslové aglomerace, se nazývají impaktní oblasti. Zde je podíl suché depozice na celkové atmosférické depozici mnohonásobně vyšší (HŮNOVÁ, 2009).

Mokrá depozice je spojena se srážkovou činností (MOLDAN, 1985) a je dějem epizodickým (HŮNOVÁ, 2009). Mokrá depozice přináší na zem látky obsažené ve vodě deště, sněhu (vertikální srážky), ale i mlh a námrazy (horizontální srážky). Srážková voda účinně odstraňuje z ovzduší aerosolové částice i rozpouští a zachycuje atmosférické plyny, jde o důležitý samočisticí proces. Koncentrace rozpuštěných látek i rozptýlených mikročástic bývají nízké, ale pokud se déšť, sněhová krupice či námrazy vytvoří v inverzní vrstvě nízko nad zemí plné různých nečistot, může být jejich obsah ve vodě značný (MOLDAN, 2009). Vývoj srážkových částic, jehož výsledkem je déšť, sněžení nebo například vypadávání krup, je jednou ze základních otázek fyziky oblaků a srážek (ŘEZÁČOVÁ A KOL., 2007). Obecně je odstraňování aerosolů vodními srážkami zejména v nižších vrstvách troposféry velmi účinné, takže doba setrvání částic ve vzduchu není o mnoho delší (o 10-50%) než pro vodní páru samotnou (MOLDAN, 1977).

Suchá depozice je dána souborem procesů absorpce plynů a depozice aerosolových částic. Suchou depozici tvoří především prašný spad, který je velký ve znečištěných a suchých oblastech. Zemský povrch, ať už pokrytý vegetací či holý, absorbuje plyny z atmosféry, zejména reaktivní SO_2 , NO_x nebo NH_3 (MOLDAN, 2009). Suché usazování je v porovnání s vymýváním srážkami výrazně pomalejší proces. Ale na rozdíl od mokré depozice probíhá neustále. V celkových bilancích za delší časové období suchá depozice v průmyslových oblastech převyšuje mokrou, ve

vesnické krajině je efekt obou procesů přibližně stejný, naopak v odlehlejších, čistých, horských polohách, už převyšuje mokrá depozice (ZÁVODSKÝ, 1985). V oblastech se silně zaprášeným ovzduším, jako je například naše hlavní město Praha, může suchý spad částic převýšit spad mokrý až několikanásobně (MOLDAN, 1991).

Její velikost se nemusí měřit přímo, lze ji vypočítat na základě údajů o koncentraci některých plynných složek v ovzduší a na základě analýz celkového prašného spadu, aerosolových částic a srážkové vody, které se odebírají z trvale otevřených nádob. Údaje o suché depozici v tuhé formě jsou na rozdíl od depozicí plynných ucelenější. Dostatek informací je zejména o absorpci SO_2 a NO_x (VYSOUDIL, 2002). Jsou důležité v oblastech z geografického hlediska nesourodých (VYSOUDIL, 1997). Výzkum procesů spojených se suchou depozicí je z ekologického hlediska velmi významný. V bilanci látkových toků mezi ovzduším a ostatními složkami přírodního prostředí představuje suchá depozice jeden z rozhodujících členů (ŠANTROCH, 1985).

2.4 Dusík

Dusík patří k malé skupině chemických prvků, které mají velký význam v živé přírodě naší planety a v životě člověka (ŽAVORONKOV, 1952). Je to prvek, který je poměrně hojně zastoupen ve sluneční soustavě i v kosmu – zhruba pátý nejhojnější prvek. Je hlavní složkou ovzduší, zatímco v litosféře je zastoupen jen nepatrně a to ve vyvěřelých horninách (MOLDAN, 1983).

Objevení dusíku je spojeno s objevením kyslíku a určením přesného složení vzduchu. Roku 1756 zjistil M. V. Lomonosov při zahřívání kovů se vzduchem v zatavených skleněných nádobách, že objem vzduchu se zmenšuje na jednu pětinu a že tento zbytek se neslučuje s kovem a nepodporuje hoření. V roce 1772 nazval Daniel Roeserford část vzduchu, jež se nezúčastnila reakce hoření, „zhoubným vzduchem“. Priestley, Scheele a Lavoisier opakovali téměř současně kolem roku 1774 Lomonosovy pokusy a prozkoumali vlastnosti plynné části vzduchu, jež se nezúčastní reakce při zahřívání kovů. Výsledkem těchto pokusů bylo zjištění, že se vzduch skládá ze směsi dvou plynů: „životního“ a „dusivého“ neboli „neživotního“ a bylo stanoveno, že tyto plyny jsou jednoduchými látkami. Lavoisier razil název

„azote“, který pocházel z řečtiny a znamenal „nemohoucí udržovat život“ (ŽAVORONKOV, 1952).

Činnost živých organismů je nejvýznamnějším činitelem oběhu dusíku. Největší oběh v půdě a ve vodě je dán tokem sloučenin dusíku mezi rostlinami a živočichy. Ve většině přirozených ekosystémů vodních i suchozemských patří sloučeniny dusíku mezi živiny, jejichž úroveň limituje jejich rozvoj. Jestliže je jich dost nebo dokonce nadbytek, hovoříme o eutrofizaci. Jedná se především o vodní prostředí, ale eutrofizované mohou být i půdy (MOLDAN, 2009).

2.4.1 Oxidy dusíku

Z hlediska škodlivého vlivu na životní prostředí je nejdůležitější výskyt oxidu dusnatého a dusičitého v troposféře. Často tyto dva oxidy shrnujeme pod společný název suma oxidů dusíku se vzorcem NO_x (SYMON A BENCKO, 1988). To potvrzuje i POLÁŠKOVÁ A KOL. (2011), která tvrdí, že při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku NO_x rozumí směs oxidu dusnatého NO a oxidu dusičitého NO_2 . Imisní limit pro ochranu zdraví lidí je stanoven pro NO_2 , limit pro ochranu ekosystémů a vegetace je stanoven pro NO_x . K soustavnému překračování limitů dochází v blízkosti frekventovaných komunikací, zejména v dopravní špičce v centrech větších měst.

V Evropě vznikají emise NO_x primárně z antropogenních spalovacích procesů, kde NO vzniká reakcí mezi dusíkem a kyslíkem ve spalovaném vzduchu a částečně i oxidací dusíku z paliva (PŘIBIL, 2009). Hlavní antropogenní zdroje představuje především silniční doprava (významný podíl má ovšem i doprava letecká a vodní) a dále spalovací procesy ve stacionárních zdrojích. Méně než 10 % celkových emisí NO_x vzniká ze spalování přímo ve formě NO_2 . Antropogenní produkce NO_x se blíží 100 milionům tun ročně (KALÁČ A KOL., 2010). Dalším důležitým místním zdrojem NO_x je bakteriologická degradace silážových materiálů v zemědělství (SYMON A BENCKO, 1988). Přírodní emise NO_x vznikají převážně z půdy díky činnosti bakterií, vulkanickou činností a při vzniku blesků. Jsou poměrně významné z globálního pohledu, z pohledu Evropy však představují méně než 10 % celkových emisí (ČHMÚ, 2006).

Dlouhodobé zvýšení koncentrací NO_x může způsobovat respirační potíže. V organismu mají oxidy dusíku kromě bezprostředního dráždění dýchacích cest další mnohostranné a nejednoznačné účinky – mohou ovlivnit procesy, kterých se účastní endogenní NO. NO je přenašeč signálu, který vyvolává relaxaci cévních stěn (POLÁŠKOVÁ A KOL., 2011). Akutní expozice 50 – 100 ppm NO_2 po několik minut až desítky minut vyvolá poškození plic na období několika týdnů, vyšší koncentrace mohou být i smrtelné (KALAČ A KOL., 2010).

2.5 Síra

Síra je desátý nejhojnější prvek v kosmu, osmý ve sluneční atmosféře, pátý v meteoritech a stejně i na naší planetě. V zemské kůře zaujímá přibližně patnácté místo. V čistém vzduchu je nejhojnější formou SO_4^{2-} , ve znečištěném obvykle SO_2 (MOLDAN, 2009).

2.5.1 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý je vedle aerosolových částic nejrozšířenější látkou znečišťující volné ovzduší. Jediným jeho přírodním zdrojem je vulkanická činnost, nebereme-li v úvahu oxidaci přírodně vznikajícího sirovodíku (SYMON A BENCKO, 1988). Oxid siřičitý, který je produkován vulkány, byl pro území EMEP odhadnut na pouhé 2 % (KALAČ A KOL., 2010). Do ovzduší se dostává při spalování fosilních paliv, která obsahují síru. Ta je obsažena především v uhlí, v menší míře také v ropě, a tedy i v ropných produktech (například topné oleje). Všechny sloučeniny síry, které jsou obsaženy v původním palivu, se spálí a dostanou se do ovzduší v plynné formě jako oxid siřičitý (MOLDAN, 1997). Oxid siřičitý je tedy do atmosféry emitován především v souvislosti s lidskou činností, zejména výrobou energie založenou na spalování fosilních paliv a metalurgickým průmyslem (PŘIBIL, 2009). Takto se do atmosféry dostává asi 150 milionů tun ročně (KALAČ A KOL., 2010). V atmosféře je oxid siřičitý oxidován na sírany a kyselinu sírovou vytvářející aerosol jak ve formě kapiček, tak i pevných částic širokého rozsahu velikostí. SO_2 a produkty z něj vznikající jsou z atmosféry odstraňovány mokrou a suchou depozicí na vegetaci, zemský povrch a vodní plochy (SYMON A BENCKO, 1988). Vzhledem k tomu, že se oxid siřičitý ochotně rozpouští ve vodě, probíhá jeho oxidace i v kapičkách precipitované vody, kterou usnadňuje ve znečištěném prostředí katalýza různými

kovovými kationty (Fe, Mn). Obecně lze říci, že vymývání oxidu siřičitého z atmosféry deštěm a mlhou je jeho neúčinnějším propadem (PŘIBIL, 2009).

Emise oxidu siřičitého podstatně ovlivňují chemismus ovzduší, srážkových vod a celé geochemické prostředí krajiny. Negativní vliv na složky životního prostředí je zásadní: nejvíce je postižena vegetace (u nás Krušné a Jizerské hory, Beskydy a další oblasti), biota jezer, půda, stavby a především lidské zdraví. Znečištění ovzduší sloučeninami síry a následná acidifikace celého prostředí patřily v nedávné minulosti zejména v Evropě k nejvážnějším problémům životního prostředí (MOLDAN, 2009). Emise SO₂ byly spojovány s řadou ekologických katastrof, z nichž nejznámější je „velký londýnský smog“ v zimě roku 1952, kterému je připisováno více než 3000 úmrtí (HŮNOVÁ, 2009). HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ (2004) uvádějí, že se jednalo o úmrtí až 4000 lidí.

Zvýšení koncentrací oxidu siřičitého v ovzduší se projeví podrážděním očních spojivek, pálením a škrábáním v nose a krku, často dýchacími obtížemi. Při dlouhodobém působení – téměř vždy v kombinaci s dalšími polutanty – jsou důsledkem snížení imunity a celá řada dalších zdravotních poruch. Člověk se na znečištěné ovzduší nemůže adaptovat (KALÁČ A KOL., 2010). Jeho zvýšená koncentrace (10 – 25 mg na m³) může vést k reflexní zástavě dýchání a k smrti. Velmi nebezpečné jsou však i dlouhodobé pobyty v prostředí s nižší koncentrací SO₂. K tomu stačí koncentrace 2,5 mg na m³, které se již reálně vyskytují v severních Čechách (PIVNÍČKA A BRANIŠ, 1998). Oxid siřičitý je škodlivý i pro rostliny, a to zejména při vyšší vlhkosti a během dne, kdy jsou otevřeny listové průduchy. Závažné je rovněž poškození staveb a uměleckých děl z vápence, dolomitu a mramoru (KALÁČ A KOL., 2010).

2.6 Znečištění ovzduší v Ústeckém kraji

HANIBAL A RAAB (1979) uvádějí, že životní prostředí severních Čech bylo dlouhou řadu let předmětem mnoha analýz, úvah a koncepcí. Toto území bylo obdařeno velkým nerostným bohatstvím, které bylo ukryto jen pár metrů pod zemí. Na západní části se rozkládá Severočeská hnědouhelná pánev o rozloze asi 1200 km² a průměrné nadmořské výšce 250 metrů. Od severu je téměř celá pánev kryta masívem Krušných hor dosahujících výšky kolem 1200 metrů. Podkrušnohoří má mimořádně nepříznivé podmínky pro atmosférický rozptyl exhalací. Značný útlum

proudění vzduchu a jeho narušení vertikální členitostí terénu je spolu s nepříznivými klimatickými podmínkami příčinou výskytu vysokých hodnot koncentrací znečišťujících látek (HRDÁ, 1982).

V Ústeckém kraji lze vymežit čtyři oblasti, které se od sebe významně odlišují. Je to oblast s vysoce rozvinutou průmyslovou výrobou, která je soustředěna především v Podkrušnohoří (okresy Chomutov, Most, Teplice a částečně Ústí nad Labem). Z odvětví má významné postavení energetika, těžba uhlí, strojírenství, chemický a sklářský průmysl. Další oblastí je Litoměřicko a Lounsko, které jsou významné svou produkcí chmele a zeleniny. Zvláště Polabí a Poohří jsou proslulé ovocnářské oblasti, nazývané Zahrada Čech. Skvělou pověst mají i vína pěstovaná na Litoměřicku. V posledních letech se i oblast Mostecka stává známou vinařskou oblastí, kde se vinná réva pěstuje především na pozemcích zrehabilitovaných po těžbě hnědého uhlí. Oblast Krušných hor je velmi řídko osídleným horským pásem s omezenými hospodářskými aktivitami. Poslední oblastí je Děčínsko, které není územím s koncentrací těžkého průmyslu ani oblastí zemědělskou. Jeho severní část Šluknovsko je svou odlehlostí a obtížnou dostupností z centrální části kraje typicky periferním územím (PODHORSKÝ, 2004).

Podle Ministerstva životního prostředí se kvalita ovzduší v Severozápadních Čechách na začátku devadesátých let blížila k hranicím ekologické katastrofy a v řadě dalších průmyslových a sídelních aglomerací, jako je Praha, Ostrava, ale i v menších sídlech nebyla kritická situace znečištění ovzduší o mnoho lepší (MŽP, 1991). V 80. letech 20. století v severočeské hnědouhelné pánvi ročním výkonem až 100 mil. tun vrcholila těžba hnědého uhlí. Jeho velká část se ve stejném regionu spalovala v tepelných elektrárnách bez účinného čištění spalin. Primitivní průmyslové technologie, které zde byly maximálně koncentrovány, způsobily ekologickou katastrofu na rozsáhlém, hustě obydleném území. Zhroutila se životaschopnost lesů na hřebenech i svazích hor. Stovky čtverečních kilometrů země byly dolováním převráceny hlušinou navrch. Z mapy republiky bylo zcela vymazáno 84 obcí. Vzduch v oblasti po řadu dní v roce dosahoval více než desetinásobek koncentrací škodlivin povolených hygienickými normami. Zdejší obyvatelé byly častěji nemocní a dříve umírali (JELÍNEK A KOL., 1996).

Oblast Krušných hor patří k těm, u kterých se silně projevuje kyselá atmosférická depozice, která je úzce spojena se znečištěním ovzduší, což vede ke značnému poškození a odumírání lesních porostů. První poškození lesů bylo patrné již v roce 1920, avšak až v roce 1978 se začalo spekulovat o ekologické katastrofě (HRKAL A KOL., 2009). To potvrzuje KREJČÍ A KOL. (2001) konstatující situaci z roku 1978 jako kritickou. V tomto roce koncem prosince a začátkem následujícího roku způsobil pokles teploty spolu s vysokými koncentracemi SO₂ na oslabených smrkových porostech katastrofu. V nadmořské výšce nad 600 metrů odumřelo 60 % porostů v pásmu mezi Klínovcem a Sněžníkem (les na ploše 12 100 ha). Tím to ale neskončilo. V roce 1990 dosáhla plocha umírajícího či vykáceného lesa 25 000 ha. Celkově bylo od roku 1958 odtěženo 74 000 ha odumřelých lesních porostů, což je přibližně rozloha jedné a půl Prahy nebo víc než 15 přehradních nádrží Lipno. MOLDAN (1992) uvádí, že mokrá depozice dusíku v letech 1984 – 1986 ze stanic Vysoká Pec a Přísečnice, které se nacházejí v Krušnohoří, dosahovala daleko vyšších hodnot než na ostatních stanicích po celé republice.

Jizerské hory byly v minulých letech silně zasaženy imisemi z Polska, NDR a také z vnitrozemí Čech. Znečištěním ovzduší se řadily na třetí místo nejvíce zatížených oblastí. Na konci devadesátých let byl trend znečištění klesající, i když se občasně vyskytovaly zvýšené hodnoty některých znečišťujících prvků (KULASOVÁ A KOL., 2004).

Ústecký kraj je území s velkou hustotou obyvatelstva a vysokou koncentrací průmyslu v severní části kraje. Navzdory zlepšení kvality ovzduší v porovnání se stavem v minulosti, patří tento kraj stále mezi oblasti, kde pravidelně dochází k překračování imisních limitů pro některé látky znečišťující ovzduší (ČHMÚ, 2013).

3. CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je porovnání vybraných měst Ústeckého kraje a jejich koncentrací NO_x a SO_2 po dobu deseti let. Dále pak nalezení průkazných trendů v charakteristikách koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého u těchto měst od roku 2005 do roku 2015. A v neposlední řadě provedení prostorové analýzy koncentrací NO_x a SO_2 v Ústeckém kraji metodami IDW, Kriging a Thiessenovými polygony za roky 2005, 2010 a 2015, z nich poté vypočítat průměrné koncentrace v jednotlivých letech a ty mezi sebou následně porovnat.

4. MATERIÁL

4.1 Sběr dat

K řešení této diplomové práce byl vybrán Ústecký kraj. V Ústeckém kraji je mnohonásobně větší počet měřících stanic než v jiném kraji z důvodu velmi velkého znečištění ovzduší a s tím souvisejícího spadu atmosférické depozice. Byl vybrán jak k řešení trendů v časových řadách koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého, tak pro prostorovou analýzu koncentrací těchto sloučenin v ovzduší. Byly vybrány tyto sloučeniny, poněvadž představují velké riziko a opět jsou zde data nejkompaktnější a nejucelenější.

Pro trendovou analýzu byly vybrány čtyři reprezentativní měřící stanice – Děčín, Ústí nad Labem, Kostomlaty pod Milešovkou a Chomutov. Byly vybrány z důvodu rovnoměrného rozložení po celém kraji a především z důvodu ucelených a kompletních dat za celé sledované období z let 2005 – 2015. U ostatních stanic chyběla dostatečně dlouhá časová řada nebo v určitých letech data chyběla úplně.

Pro prostorovou analýzu koncentrací byly použity tři metody, a to z důvodu jejich následného porovnání a vyhodnocení, které je obsaženo v následující kapitole. Jde o metodu vážené inverzní vzdálenosti (IDW), metodu Kriging a metodu Thiessenových polygonů. Aby došlo k lepším výsledným výstupům a rozprostření po celém Ústeckém kraji, byly vybrány také nejbližší stanice sousedních krajů – Libereckého, Středočeského a Karlovarského.

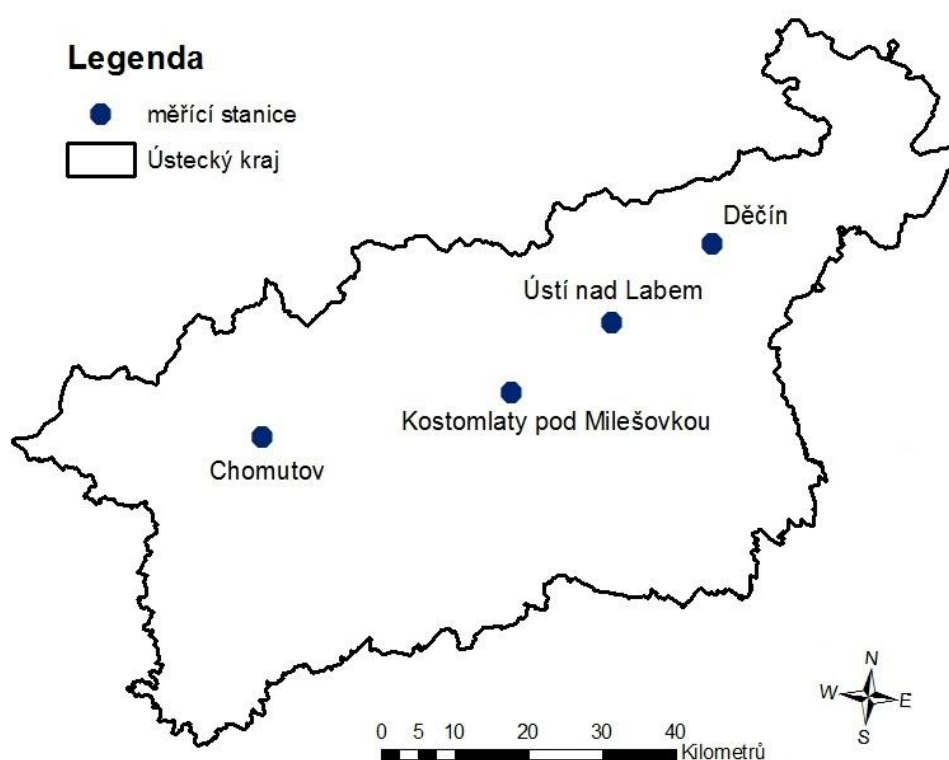
U většiny měřících stanic je vlastníkem Český hydrometeorologický ústav a údaje o těchto stanicích popisuje v tabelárních ročenkách, které jsou volně dostupné na jejich internetových stránkách (www.chmi.cz). K této diplomové práci jsou použity ročenky z let 2005 – 2015. Měřící stanice jsou jednotlivě očíslovány a přehledně vyobrazeny v mapkách.

Tato práce hodnotí vývoj koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v ovzduší za určité časové období. Vyhodnocení trendu vývoje koncentrací bylo provedeno za časové období let 2005 až 2015. Jde o průměrné měsíční hodnoty. Prostorová analýza koncentrací byla vyhodnocena pro jednotlivé roky 2005, 2010 a 2015. Zde byly použity průměrné roční koncentrace. Výsledky použitých metod byly mezi

sebou následně porovnány. Veškerá data byla získána z tabelárních ročenek na dostupném portálu ČHMÚ.

Stanice k řešení trendů jsou v této kapitole postupně vyjmenovány a na obrázku č. 2 zobrazeny.

- Stanice Děčín
- Stanice Ústí nad Labem – město
- Stanice Kostomlaty pod Milešovkou
- Stanice Chomutov

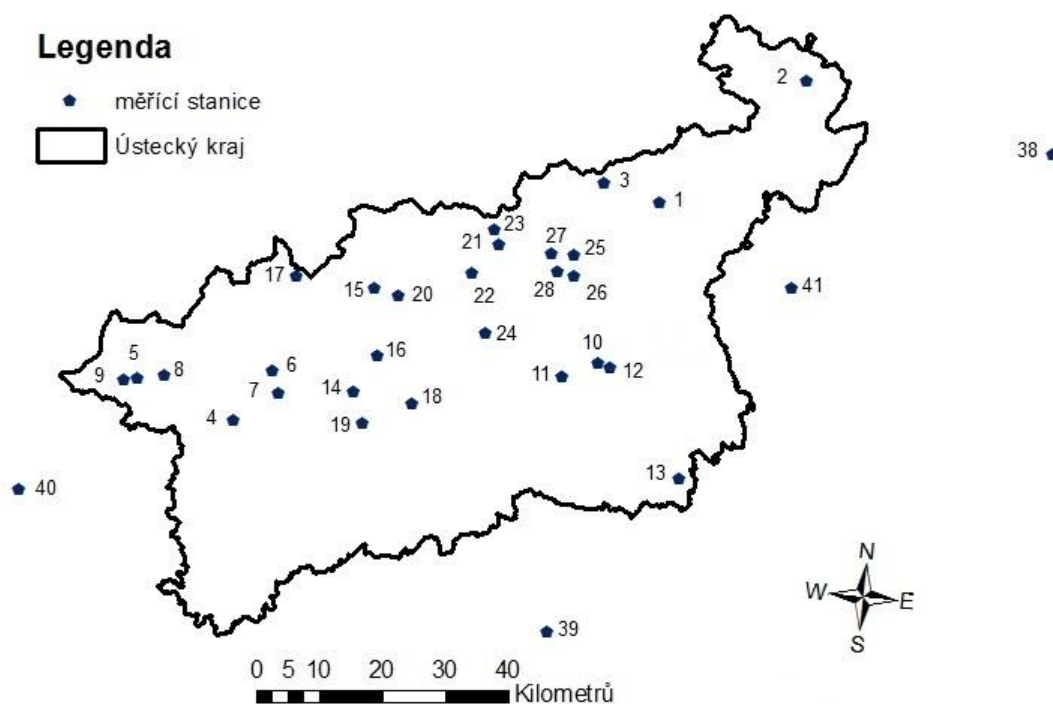


Obr. č. 2: Mapa umístění měřících stanic v Ústeckém kraji

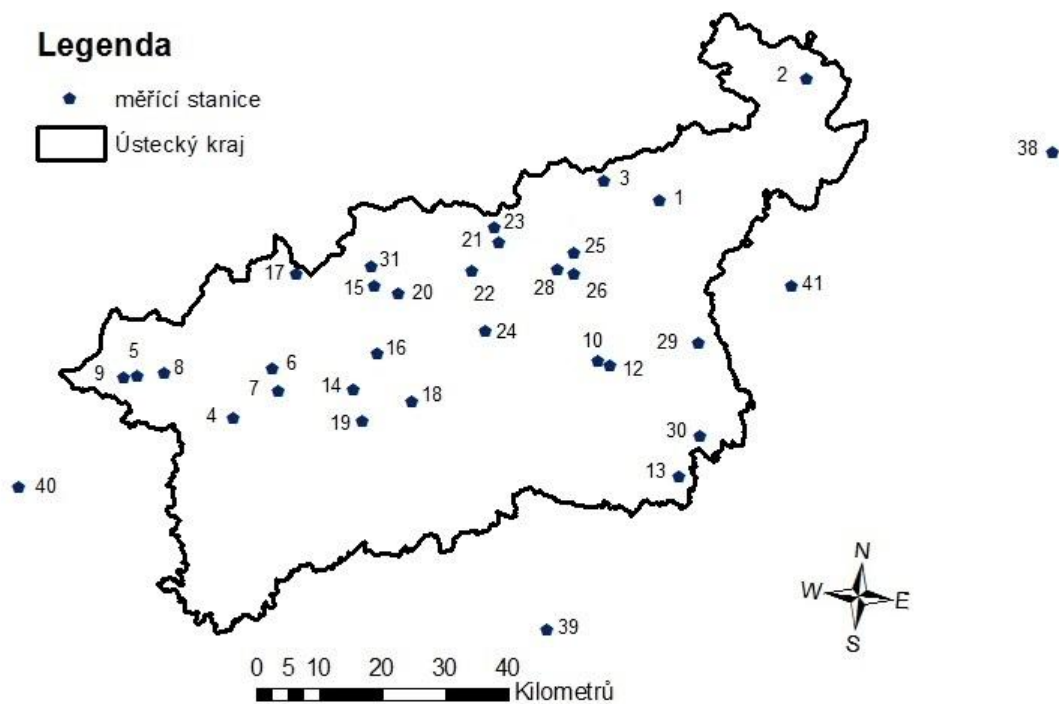
Stanice pro prostorovou analýzu v roce 2005 jsou zde taktéž vyjmenovány (tab. č. 1) a na obrázku č. 3 a č. 4 zobrazeny. Jedná se o stanice pro měření koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého.

1) Děčín	17) Rudolice v Horách
2) Valdek	18) Milá
3) Sněžník	19) Blažim
4) Tušimice	20) Lom
5) Měděnec	21) Krupka
6) Chomutov	22) Teplice
7) Droužkovice	23) Komáří Vížka
8) Nová Víska u Domašína	24) Kostomlaty pod Milešovkou
9) Horní Halže	25) Kočkov
10) Litoměřice – ZÚ	26) Ústí nad Labem - ZÚ, Pasteurova
11) Lovosice – MÚ	27) Ústí nad Labem - Všebořická (hot spot)
12) Litoměřice	28) Ústí nad Labem - město
13) Libkovice pod Řípem	29) Úštěk
14) Havraň	30) Štětí - městská knihovna
15) Litvínov	31) Meziboří
16) Most	

Tab. č. 1: Seznam měřících stanic v roce 2005



Obr. č. 3: Mapa umístění měřících stanic pro NO_x v roce 2005

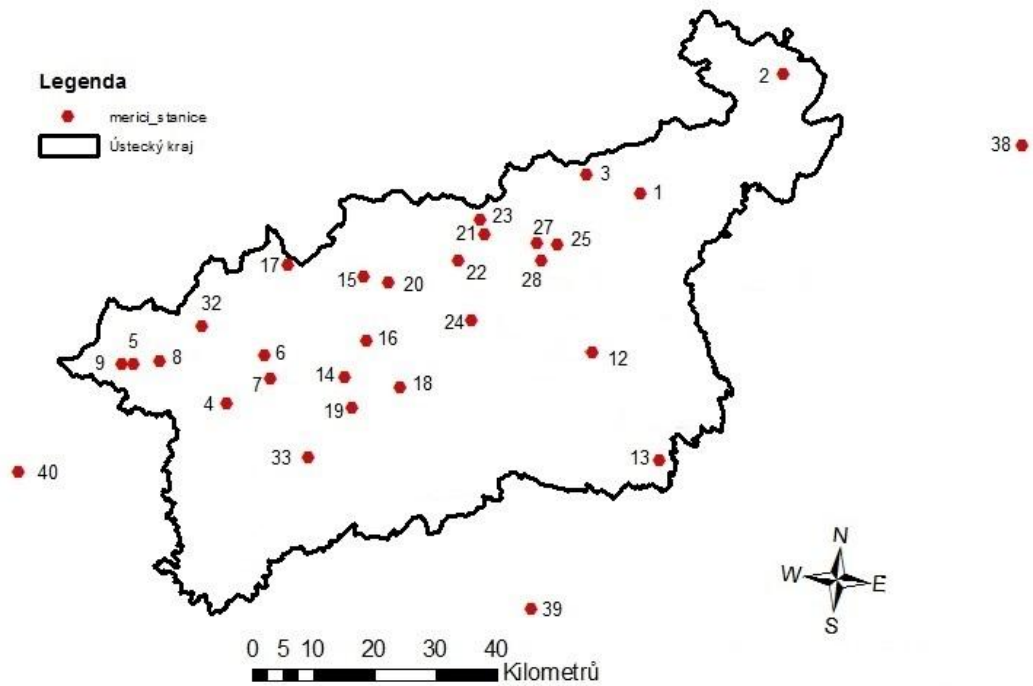


Obr. č. 4: Mapa umístění měřících stanic pro SO₂ v roce 2005

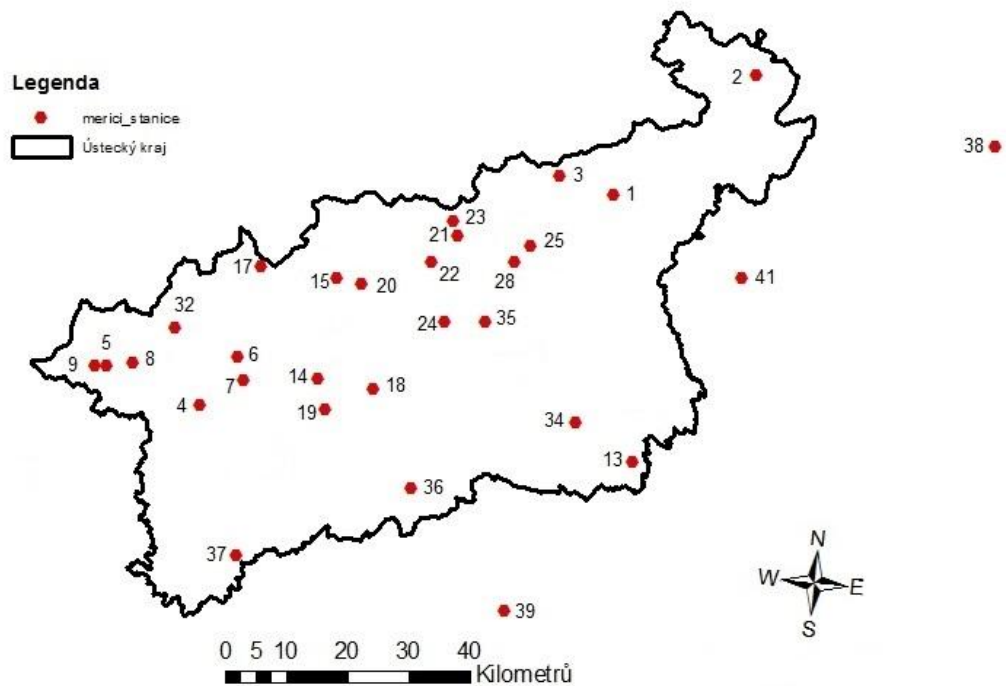
V roce 2010 došlo k obměně a modernizaci stanic jak v Ústeckém kraji, tak v celé České republice. Na některých stanicích se tyto sloučeniny přestaly měřit a naopak některé další stanice přibyly. Výsledný počet měřících stanic je vcelku podobný. Nové stanice jsou vzestupně číslovány dále a na obrázcích č. 5 a 6 jsou zobrazeny.

32) Výsluní
33) Žatec
34) Doksany
35) Milešovka
36) Smolnice
37) Strojetic

Tab. č. 2: Seznam nových stanic pro rok 2010



Obr. č. 5: Mapa umístění měřících stanic pro NO_x v roce 2010



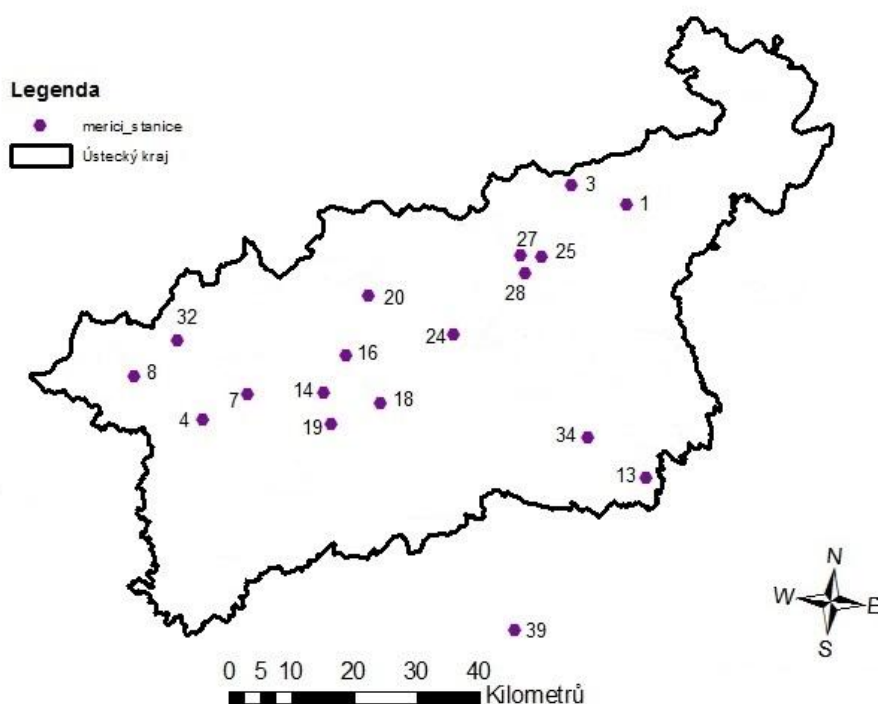
Obr. č. 6: Mapa umístění měřících stanic pro SO₂ v roce 2010

V roce 2015 už žádné nové měřicí stanice na území Ústeckého kraje nepříbyly. Počet stanic měřících koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého se tak výrazně zredukoval. Jejich rozmístění je znázorněno na obrázcích č. 7 a č. 8 pod textem.

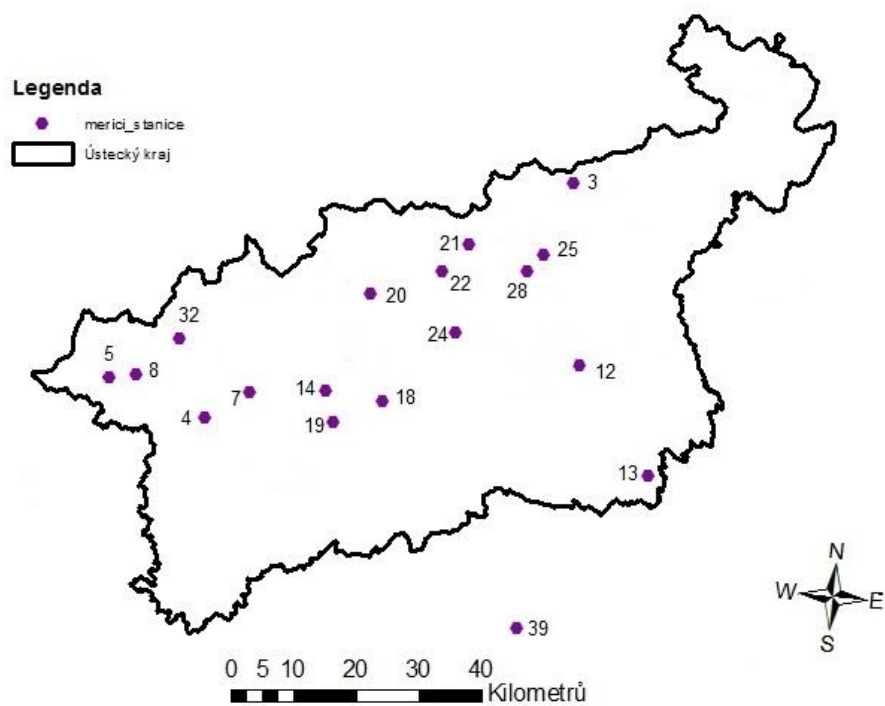
Na těchto mapkách jsou také zobrazeny pomocné stanice mimo Ústecký kraj, které sloužily pro lepší vykreslení mapových výstupů při prostorové analýze. Jmenovitě jsou vypsány v tabulce č. 3.

38) Liberec - Frýdlant - Údolí
39) Kladno - Švermov
40) Karlovy Vary
41) Česká Lípa

Tab. č. 3: Seznam pomocných měřících stanic



Obr. č. 7: Mapa umístění měřících stanic pro NO_x v roce 2015



Obr. č. 8: Mapa umístění měřících stanic pro SO₂ v roce 2015

5. METODY

V praktické části je nejprve hodnocena koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého ve vybraných městech Ústeckého kraje v období let 2005 – 2015. Popisné statistiky, které zachycují různé aspekty dat, byly zpracovány pro obě sloučeniny za rok 2005 a rok 2015. Byly vybrány charakteristiky centrální tendence (aritmetický průměr a medián) a charakteristiky rozptýlenosti (směrodatná odchylka a variační koeficient). Pro trendovou analýzu časových řad koncentrací NO_x a SO₂ byla použita metoda jednoduché lineární regrese.

Další část se zabývá prostorovou analýzou koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v Ústeckém kraji v roce 2005, 2010 a 2015. V této práci je analyzován soubor ročních průměrných koncentrací NO_x a SO₂ na různém počtu měřicích stanic v období jednoho roku. Pro porovnání vývoje koncentrací byly vybrány ty nejvhodnější metody. Jedná se o metodu vážené inverzní vzdálenosti (IDW), metodu Kriging a metodu Thiessenových polygonů. Hodnoty průměrných koncentrací získaných pomocí jednotlivých metod byly mezi sebou následně porovnány a vyhodnoceny.

Všechna použitá data byla vyhodnocena pomocí softwaru Microsoft Office Excel 2007 od společnosti Microsoft, dále v programu ArcMap 10 od firmy ESRI a v programu Statistica 12 od společnosti StatSoft.

Program Microsoft Excel 2007 byl využit pro sběr veškerých dat za sledované časové období získaných z tabelárních ročenek přístupných na webových stránkách ČHMÚ. Poté byl použit pro prezentaci a vyhodnocení výsledných dat.

Program Statistica 12 sloužil pro zpracování popisných statistik a trendové analýzy časových řad koncentrací pomocí metody jednoduché lineární regrese.

Pomocí softwaru ArcMap 10 byly vytvořeny mapy rozmístění měřicích stanic na území Ústeckého kraje za jednotlivé roky. Jako další krok bylo vytvoření mapových výstupů prostorové analýzy koncentrací pomocí metod IDW, Kriging a Thiessenových polygonů. Program ArcMap je ve vlastnictví společnosti ESRI, která byla založena v roce 1969. Je součástí softwaru ArcGis, který je komplexním systémem sloužícím k editaci a správě geografických dat. Geografický informační

system (GIS) je databázově založený informační systém sloužící především k zachycení, manipulaci, uložení, analýze a prezentaci všech druhů prostorových dat.

5.1 Statistické metody

V této práci byla využita metoda jednoduché lineární regrese, a to při vyhodnocení trendové analýzy časových řad koncentrací sloučenin v ovzduší. Kromě této metody byly použity základní popisné statistiky. Jde o charakteristiky centrální tendence, které se snaží charakterizovat typickou hodnotu řad a říká se jim míry polohy, protože určují, kde na číselné ose je vzorek rozložen. Mezi ně patří aritmetický průměr, medián a konfidenční interval spolehlivosti. Další jsou míry rozptýlenosti a ty zachycují velikost proměnlivosti dat v případech, kdy mají data se stejnou střední hodnotou různou rozptýlenost (HENDL, 2006).

Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je definován jako součet všech naměřených hodnot vydělený jejich počtem (HANOUSEK A CHARAMZA, 1992). Jeho stanovení je velmi jednoduché, založené na všech pozorovaných hodnotách. Součet odchylek jednotlivých hodnot od aritmetického průměru je vždy roven nule. Značnou nevýhodou je to, že je ovlivňován krajními, někdy značně extrémními hodnotami (KEMEL, 1996).

Medián

Medián je padesátiprocentním kvantilem, stojící uprostřed řady uspořádané podle velikosti, např. vzestupně. U souboru s lichým počtem prvků je dán hodnotou prostředního prvku a při sudém počtu je roven aritmetickému průměru dvou prostředních prvků (KEMEL, 1996). Medián jako charakteristika polohy má výhodu v tom, že není ovlivněn extrémně velkými či malými hodnotami ve výběru (HAVRÁNEK, 1993).

Interval spolehlivosti

Délka intervalu spolehlivosti závisí na hladině významnosti, se kterou ho určujeme. Hladina spolehlivosti je pravděpodobnost, s jakou se odhadovaný parametr ocitne v tomto intervalu při opakovaném provádění výběru. Nejvíce používané hladiny jsou 95 % a 99 %, ale použít lze i jinou hladinu. Když pracujeme s 95 %

hladinou spolehlivosti, znamená to, že ze 100 vytvořených intervalů jich přibližně 95 pokryje hledanou hodnotu parametru. Interval spolehlivosti není tedy absolutně spolehlivý (HENDL, 2006).

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je charakteristika variability, která informuje o proměnlivosti jednotlivých hodnot znaku kolem aritmetického průměru. Je definována jako odmocnina z rozptylů (HANOUSEK A CHARAMZA, 1992).

Variační koeficient

Variační koeficient je definován jako podíl směrodatné odchylky a aritmetického průměru. Obvykle se vyjadřuje v procentech (tj. násobí se 100) a udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru. Je využívána při porovnávání variability znaků (ČERMÁKOVÁ A STŘELEČEK, 1995).

Jednoduchá lineární regrese

Chceme-li vyjádřit závislost jedné proměnné na jiné, metodický postup se nazývá regrese. Předpokládáme při ní, že nezávislá proměnná je změřena přesně, zatímco závisle proměnná je zatížena náhodnou variabilitou. Jako nejjednodušší příklad regrese je jednoduchá lineární regrese. Jednoduchá znamená, že máme jen jednu nezávislou proměnnou. Lineární nám udává, že závislost můžeme vyjádřit přímkou. Nejčastěji značíme nezávisle proměnnou X a vynášíme ji na vodorovnou osu. Zatímco závisle proměnná bývá značena Y a vynášíme ji na svislou osu (LEPŠ, 1996).

Studentův párový t-test

Párový t-test porovnává data, která tvoří „spárované variační řady“. To znamená, že pocházejí ze subjektů, které byly podrobeny dvěma měřeními. Provádíme tedy 2 měření u jednoho výběrového souboru – jedno měření před aplikací pokusného zásahu a druhé po aplikaci pokusného zásahu. Takto získané hodnoty tvoří páry a reprezentují při testování jak kontrolní, tak i pokusnou skupinu porovnávaných dat (HAVRÁNEK, 1993). V testu vycházíme z rozdílů naměřených párových hodnot u srovnávaných variačních řad. Testujeme hypotézu, že střední

hodnota měření před pokusem a po pokuse se rovnají, jinými slovy - rozdíl středních hodnot párových měření je nulový (LEPŠ, 1996). Párový t-test se od jednovýběrového liší pouze v tom, že náhodný výběr poskytuje dvojice hodnot, přičemž uvnitř každé dvojice nemusí jít o nezávislé veličiny (ČERMÁKOVÁ A STŘELEČEK, 1995).

5.2 Metoda Thiessenových polygonů

Thiessenovy polygony, též nazývané Voronoiovy polygony, jsou definovány jednoduchým geometrickým pravidlem. Každý polygon obsahuje právě jeden měřený bod. Ostatní body uvnitř polygonu jsou blíže tomuto měřenému bodu než kterémukoliv jinému bodu (HORÁK, 2002).

Postup tvorby Thiessenových polygonů je relativně jednoduchý. V prvním kroku jsou určeny spojnice sousedních měřených bodů. Celá zájmová plocha je následně rozdělena liniemi kolmými na tyto spojnice, tím jsou definované hranice polygonů. Kolmé linie jsou umístěny tak, aby v každém polygonu ležela část území bližší k měřenému bodu než ke kterémukoliv jinému. To znamená v polovině spojnice sousedních bodů. Odhad hodnoty každého bodu polygonu je rovný hodnotě zdrojového bodu, který v něm leží (HLÁSNY, 2007).

Nedostatek této metody je evidentní, každý odhad je založený jen na jedné hodnotě. Navzdory tomu, že zkoumaný jev je spojitý, výsledná struktura bude vždy diskrétní. Dalším problémem je, že polygony okrajových bodů mají teoreticky nekonečnou plochu, z tohoto důvodu musí být ořezány hranicemi zkoumaného území (HORÁK, 2002).

Pro tuto metodu byl použit program ArcMap 10. Thiessenovy polygony byly vytvořeny pomocí nástroje Create Thiessen Polygons v panelu nástrojů ArcToolbox. Vstupní hodnotou je vrstva měřících stanic a jako rozsah zpracování volíme Ústecký kraj. Tato funkce nám rozdělí území kraje na jednotlivé polygony vzhledem k vzájemné poloze měřících stanic. Plocha každého polygonu má stejnou hodnotu koncentrace NO_x a SO_2 jako měřící stanice příslušná danému polygonu. Vzhledem k tomu, že byly použity pomocné měřící stanice ze sousedních krajů, bylo nutné omezit Thiessenovy polygony na plochu kraje pomocí oříznutí.

V posledním kroku zbývalo zjistit plochy jednotlivých polygonů přes výpočet v atributové tabulce a vypočítat průměrné koncentrace NO_x a SO_2 pomocí váženého průměru v programu Microsoft Excel 2007. Jako váha byla použita plocha jednotlivých polygonů.

5.3 Metoda vážené inverzní vzdálenosti – IDW

Metoda IDW uplatňuje základní geostatistický princip: jevy, které jsou v prostoru blíže k sobě, se více podobají než jevy, které jsou prostorově vzdálenější. Určení vah vstupních bodů je založeno na tomto principu. Základní koncept je použití inverzní vzdálenosti od určovaného bodu. Tato vzdálenost je dále upravovaná exponentem p (parametr, který se volí $p = 1, 2$ nebo 3). Čím nižší je hodnota tohoto parametru, tím podobnější váhy jsou přiřazené měřeným bodům a výsledný odhad se blíží aritmetickému průměru. V případě, že p by se rovnalo nule, všechny váhy budou stejné bez ohledu na rozmístění měřených bodů a odhad bude rovný aritmetickému průměru. Čím vyšší je hodnota parametru, tím rozdílnější jsou váhy – vzdálenější body mají nižší váhu, bližší body naopak vyšší. Nejčastěji používaný exponent je 2 (MCCOY, 2001).

Nedostatkem této metody je tvorba koncentrických izolinií (bull eyes) okolo vstupních bodů. Důvodem je silný vliv těchto bodů ve svém okolí, především při volbě vyšší hodnoty exponentu. Metoda IDW nedokáže vypočítat hodnoty vyšší nebo nižší než jsou hodnoty vstupních dat. Pokud tedy nemáme k dispozici body měřené v místech s extrémními hodnotami, dochází v těchto místech ke zkreslení (SÁRKOZY, 1998).

Metoda IDW byla vytvořena v programu ArcMap 10. Pro zjištění celkové plošné koncentrace byla důležitá průměrná koncentrace NO_x a SO_2 v jednotlivých měřících stanicích pro porovnávané roky. Tyto hodnoty pak byly vloženy do atributové tabulky k příslušným stanicím. Pomocí funkce IDW v panelu nástrojů vznikla rastrová vrstva, v níž byla každému pixelu pomocí váženého průměru vypočtena koncentrace těchto sloučenin pro jednotlivé roky. Váhou jednotlivých pixelů byla inverzní vzdálenost od měřící stanice.

Výsledkem metody byl mapový rastr rozdělující koncentrace NO_x a SO_2 v Ústeckém kraji pomocí barev ve zvolené barevné škále v příslušném roce. Tato

metoda byla vypracována zvláště pro jednotlivé roky i pro jednotlivé sloučeniny. Koncentrace jsou uváděny v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

5.4 Metoda Kriging

Kriging patří do skupiny stochastických interpolačních metod, které zahrnují prvek náhodnosti. Stochastické metody jsou založeny na statistickém modelu, který zahrnuje autokorelaci – statistický vztah mezi měřenými body. Tyto metody vedou nejen k vytvoření prostorové predikce, ale umožňují rovněž určit i přesnost této předpovědi (HLÁSNY, 2007).

Metoda Kriging je velmi podobná deterministické metodě IDW. V případě IDW váhy závisí výlučně na vzdálenosti od předpovědního místa. U metody Kriging váhy ale nezávisí pouze na vzdálenosti mezi měřenými body a předpovědním místem, ale také na prostorovém uspořádání měřených bodů okolo místa předpovídané hodnoty. Abychom mohli použít prostorové uspořádání měřených bodů pro výpočet vah, musí být určena prostorová autokorelace, čili prostorová závislost. Prostorovou autokorelaci jevu vzhledem ke vzdálenosti a směru působení vyjadřuje semivariogram (JOHNSTON, 2001). Prostorová autokorelace splňuje základní geostatistický princip: jevy, které jsou v prostoru blíže k sobě, se více podobají než jevy, které jsou prostorově vzdálenější (MCCOY, 2001).

S rostoucím počtem měřených bodů prudce stoupá počet vzdáleností a výpočet se stává nezvladatelným. Řešením tohoto problému je seskupování hodnot (binning). Vzdálenosti mezi měřenými body jsou transformovány do skupin (bins) na základě jejich vzdálenosti a směru. Seskupování hodnot se provádí v souřadnicovém systému, ze kterého data pochází. Tím vzniká síť, jejíž buňky tvoří základ pro výpočet reprezentantů vzdáleností jednotlivých skupin. Následující výpočty jsou pak prováděny s těmito vzdálenostmi. V dalším kroku dochází k vytvoření modelu pomocí empirického semivariogramu. Tento proces je spojnicí mezi prostorovým popisem určitého jevu a jeho prostorovou predikcí. Cílem modelu je předpověď hodnot v neměřených místech (JOHNSTON, 2001).

Empirický semivariogram poskytuje informace o hodnotách v místech měření, potřeba je ale určit hodnoty ve všech směrech a vzdálenostech. Existuje celá řada

funkcí, které je možné použít pro modelování empirického semivariogramu, například:

- kruhové
- sférické
- exponenciální
- Gaussovy
- Besselovy

Zvolený typ funkce ovlivňuje predikci neznámých hodnot. Volba modelu závisí na prostorové autokorelaci a na znalosti vlastností zkoumaného jevu. Nejčastěji se používá model sférický nebo exponenciální (HORÁK, 2002).

Celkové řešení prostorového modelu se skládá ze dvou kroků:

- prostorová autokorelace (výpočet empirického semivariogramu a následné vytvoření modelu semivariogramu)
- prostorová predikce (metodou Kriging jsou určeny váhy, výpočet prostorového modelu je založen na těchto vahách)

Kvůli těmto dvěma rozdílným krokům jsou měřené hodnoty použity dvakrát, nejprve k odhadu autokorelace, poté k určení predikce. Tato metoda je výpočtově jedna z nejsložitějších (HLÁSNY, 2007).

Metoda byla vytvořena opět v programu ArcMap 10 a postupovalo se obdobně jako při tvorbě modelu metodou IDW. Obě tyto metody jsou následně mezi sebou porovnány a vyhodnoceny.

6. VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Statistické vyhodnocení koncentrací NO_x a SO₂ ve vybraných městech Ústeckého kraje

Vstupní hodnoty pro vypracování popisných statistik byly získány z měřících stanic v jednotlivých městech, které jsou znázorněny na obrázku č. 2 v kapitole 3.1. Popisné statistiky byly zpracovány v programu Statistica 12. Koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého byly porovnány z průměrných ročních hodnot za rok 2005 a rok 2015. Z těchto let byl vypočítán aritmetický průměr v intervalu spolehlivosti 95%, medián, směrodatná odchylka a variační koeficient. Výsledné hodnoty koncentrace NO_x jsou patrné z tabulky č. 4 (rok 2005) a tabulky č. 5 (rok 2015). Hodnoty koncentrace SO₂ jsou zaznamenány v tabulce č. 6 a č. 7. Všechny hodnoty jsou udávány v jednotkách μg.m⁻³, pouze variační koeficient je vyjádřen v %.

Oxidy dusíku

Města za rok 2005	aritm. průměr	interval spolehlivosti -95%	interval spolehlivosti 95%	medián	směrodatná odchylka	variační koeficient
Děčín	42,3	32,0	52,6	44,3	16,2	38,3
Ústí nad Labem	49,9	38,1	61,8	50,5	18,7	37,4
Kostomlaty pod Milešovkou	13,2	11,5	14,8	12,8	2,6	19,8
Chomutov	34,7	27,5	41,9	34,4	11,4	32,8

Tab. č. 4: Statistické vyhodnocení NO_x v roce 2005

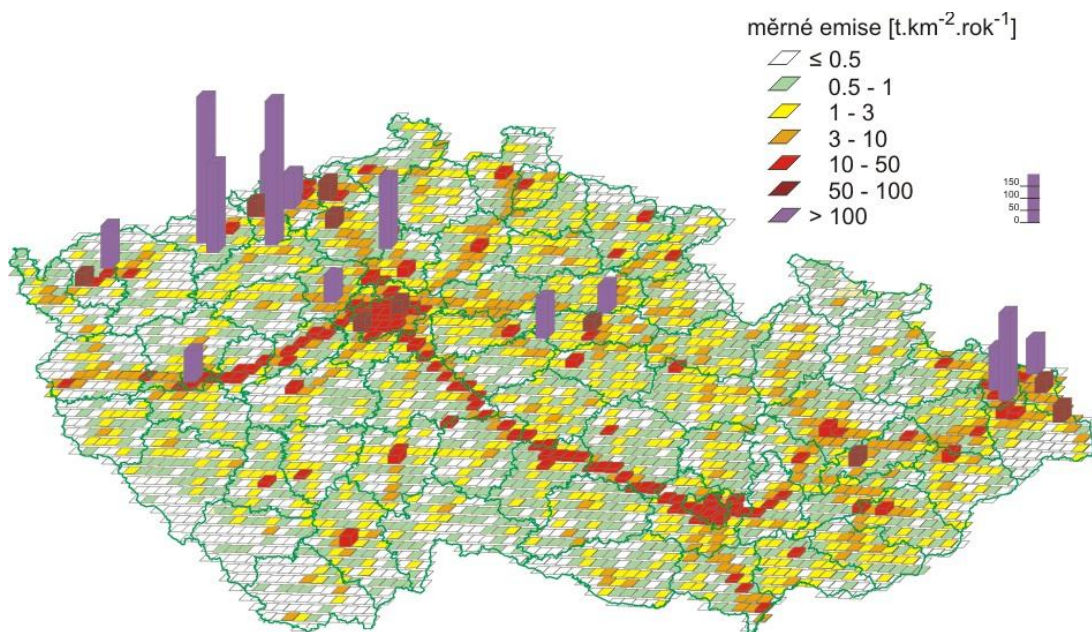
V roce 2005 byly průměrné koncentrace NO_x nejvyšší v Ústí nad Labem. Následoval Děčín a Chomutov. Výrazně nejnižší koncentrace oxidů dusíku byla dosažena v Kostomlatech pod Milešovkou a to z důvodu polohy obce. Tato měřící stanice se nachází přibližně 10 kilometrů od Teplic jižním směrem, kdežto ostatní měřící stanice jsou situovány přímo vně těchto významných průmyslových měst nejen pro Ústecký kraj, ale i pro celou republiku.

Základní právní normou upravující hodnocení kvality ovzduší je zákon o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb., v platném znění. Nařízení vlády č. 350/2002 Sb. dále specifikovalo podrobnosti jako je stanovení imisních limitů, podmínky a

způsoby sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší. Nařízením vlády jsou také určeny závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí. Roční imisní limit pro NO_x je $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro aglomeraci a $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro ochranu ekosystémů a vegetaci na venkovských stanicích (POLÁŠKOVÁ A KOL., 2011).

Z tab. č. 4 je vidět, že imisní limit pro NO_x v roce 2005 byl překročen v Děčíně a v Ústí nad Labem. Podle ČHMÚ (2006) dochází k překročení imisního limitu pouze na omezených, dopravně exponovaných lokalitách aglomerací a velkých měst. To je příklad měřicí stanice Děčín, která je dopravou ovlivněná výrazně. Zde byl těsně překročen i roční imisní limit zvýšený o mez tolerance.

Ústecký kraj je definován jako velmi znečištěná zóna. Jedná se o území s velkou hustotou obyvatelstva a velmi vysokou koncentrací průmyslu, kde jsou koncentrace řady imisních polutantů nadlimitní (ČHMÚ, 2008). To nám dokazuje i obrázek č. 9 zpracovaný Českým hydrometeorologickým úřadem z údajů naměřených v roce 2005, kde jsou vidět vysoké koncentrace NO_x právě v Podkrušnohorské pánvi a podél významných dopravních tahů.



Obr: č. 9: Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km v roce 2005

(Zdroj: ČHMÚ, 2006)

Tabulka č. 5 ukazuje statistické vyhodnocení po deseti letech a to v roce 2015. Město Chomutov vykazuje až dvojnásobný pokles oproti roku 2005. Byl proveden studentův párový t-test, který nám tento jev potvrdil při velice nízké hodnotě p ($p = 0,00001$). U stanic Ústí nad Labem a Děčín nám test pokles statisticky neprokázal, poněvadž hodnota p se pohybovala nad hranicí 0,05 ($p = 0,069$ a $p = 0,090$). Jediná stanice, kde je aritmetický průměr koncentrací větší než v roce 2005, je měřicí stanice v Kostomlatech pod Milešovkou. Tento rozdíl ovšem není opět statisticky průkazný, neboť hodnota p překračovala hranici 0,05. Stanice s nejvyššími koncentracemi NO_x zůstává stejná jako v roce 2005 a jedná se o Ústí nad Labem.

Města za rok 2015	aritm. průměr	interval spolehlivosti -95%	interval spolehlivosti 95%	medián	směrodatná odchylka	variační koeficient
Děčín	37,3	25,4	49,3	32,0	18,8	50,3
Ústí nad Labem	44,4	30,5	58,3	36,9	21,9	49,4
Kostomlaty pod Milešovkou	14,9	11,7	18,3	14,2	5,2	34,7
Chomutov	16,9	14,4	19,6	16,0	4,1	24,1

Tab. č. 5: Statistické vyhodnocení NO_x v roce 2015

Nicméně podle ČHMÚ (2016) dochází k překročení ročního imisního limitu pouze na omezeném počtu stanic, a to na dopravně exponovaných lokalitách aglomerací a velkých měst. V roce 2015 byl tento limit ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) překročen pouze na dvou měřicích stanicích a obě se nacházejí v hlavním městě Praha. V Ústeckém kraji tedy podle Českého hydrometeorologického úřadu k překračování ročních imisních limitů pro NO_x nedochází.

Oxid siřičitý

U koncentrací oxidu siřičitého nejsou tak výrazné rozdíly v naměřených koncentracích. To je patrné z tabulky č. 6, která nám ukazuje statistické vyhodnocení průměrných koncentrací SO_2 v roce 2005. Zde je na rozdíl od NO_x nejvyšší koncentrace v Kostomlatech pod Milešovkou. Od ostatních stanic se ale liší jen nepatrně.

Města za rok 2005	aritm. průměr	interval spolehlivosti -95%	interval spolehlivosti 95%	medián	směrodatná odchylka	variační koeficient
Děčín	8,8	5,5	12,1	8,2	5,2	59,5
Ústí nad Labem	10,6	7,4	13,7	9,1	4,9	47,3
Kostomlaty pod Milešovkou	13,8	10,9	16,6	14,4	4,4	32,0
Chomutov	9,7	7,9	11,5	8,7	2,9	29,7

Tab. č. 6: Statistické vyhodnocení SO₂ v roce 2005

Podle zákona o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb. a nařízení vlády č. 350/2002 Sb. nejsou pro SO₂ stanoveny roční imisní limity, nýbrž hodinové a 24hodinové. Hodnota imisního limitu pro 1 hodinu je 350 µg.m⁻³ s možností překročení max. 24x za rok a pro 24 hodin 125 µg.m⁻³ max. 3x za rok. Tyto imisní limity pro SO₂ překročeny nebyly, ojediněle bylo zaznamenáno překročení hodnoty hodinové koncentrace, popř. 24hodinové průměrné koncentrace, vždy však v tolerovaném počtu překročení (ČHMÚ, 2006).

Města za rok 2015	aritm. průměr	interval spolehlivosti -95%	interval spolehlivosti 95%	medián	směrodatná odchylka	variační koeficient
Děčín	7,0	4,6	9,5	6,4	3,8	53,9
Ústí nad Labem	5,8	4,3	7,4	4,6	2,5	42,3
Kostomlaty pod Milešovkou	9,3	7,6	11,0	9,6	2,7	29,1
Chomutov	9,2	8,4	9,9	9,2	1,2	12,9

Tab. č. 7: Statistické vyhodnocení SO₂ v roce 2015

V tabulce č. 7 máme statistické vyhodnocení opět po deseti letech, tedy v roce 2015. V Kostomlatech pod Milešovkou a v Chomutově byl zaznamenán mírný pokles koncentrací, který je statisticky průkazný po provedení studentova párového t-testu ($p = 0,001$, resp. $p = 0,0001$). Tento test byl proveden i u stanic Děčín a Ústí nad Labem, avšak zde pokles statisticky průkazný není. Nejvyšší koncentrace SO₂ je v Chomutově a opět v Kostomlatech pod Milešovkou.

V roce 2015 nebyl v České republice překročen 24hodinový imisní limit oxidu siřičitého na žádné stanici. Na třech lokalitách v Ústeckém kraji byla pouze

naměřena hodinová koncentrace přesahující limitní hodnotu $350 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Jedná se o stanice Měděnec, Nová Víska u Domašína a Lom. Tyto imisní epizody byly pravděpodobně způsobeny impaktem kouřové vlečky z elektrárny Pruněřov. Lze tedy předpokládat ovlivnění významnými energetickými a průmyslovými zdroji umístěnými v Podkrušnohorské pánvi (ČHMÚ, 2016).

6.2 Vyhodnocení trendů časových řad koncentrací NO_x a SO_2 ve vybraných městech Ústeckého kraje v období let 2005 – 2015

Cílem této kapitoly bylo určit, zda lze u vybraných měst Ústeckého kraje prokázat trend v poklesu či nárůstu koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v období let 2005 – 2015. Pro tuto metodu byly použity hodnoty koncentrací naměřených na stanicích uvedených v kapitole 3.1 na obrázku č. 2. Zjištěné koncentrace vykazovaly značné rozdíly jak během jednoho roku, tak během celé sledované řady. Nejvyšší koncentrace oxidů dusíku byly zaznamenány v zimním období.

Metoda byla vypracována pomocí programu Statistica 12 a funkce testu jednoduché lineární regrese. Naměřené hodnoty u vybraných měst byly testovány při hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Výsledkem této metody je bodový graf pro jednotlivá města, ve kterém jsou na osu X vynesena jednotlivá data měření koncentrací a na osu Y koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V grafech je patrná přímka, která znázorňuje trendy koncentrací v jednotlivých městech. Města jsou seřazena v tabulce č. 8 pro NO_x a v tabulce č. 9 pro SO_2 , kde je uvedena dosažená hladina významnosti p , trend a jeho průkaznost.

Oxidy dusíku

Jak je patrné z tabulky č. 8, tak statisticky průkazný trend byl vypořádan u dvou měst. Jde o Chomutov, kde je značný trend v poklesu koncentrací NO_x na dosažené hladině významnosti $p < 10^{-5}$. Naproti tomu Kostomlaty pod Milešovkou vykazují průkaznost rostoucího trendu těchto koncentrací na hladině významnosti $p=0,02$. U měst Děčín a Ústí nad Labem nebyla dokázána statistická průkaznost poklesu či růstu koncentrací oxidů dusíku za sledované období. Grafy u měst, kde

byl staticky prokázán trend, jsou k nalezení v přílohách této práce. Jedná se o přílohy č. 1 a č. 2.

Město	Hladina významnosti p	Průkaznost	Trend
Děčín	0,23	ne	x
Ústí nad Labem	0,09	ne	x
Kostomlaty pod Milešovkou	0,02	ano	rostoucí
Chomutov	$< 10^{-5}$	ano	klesající

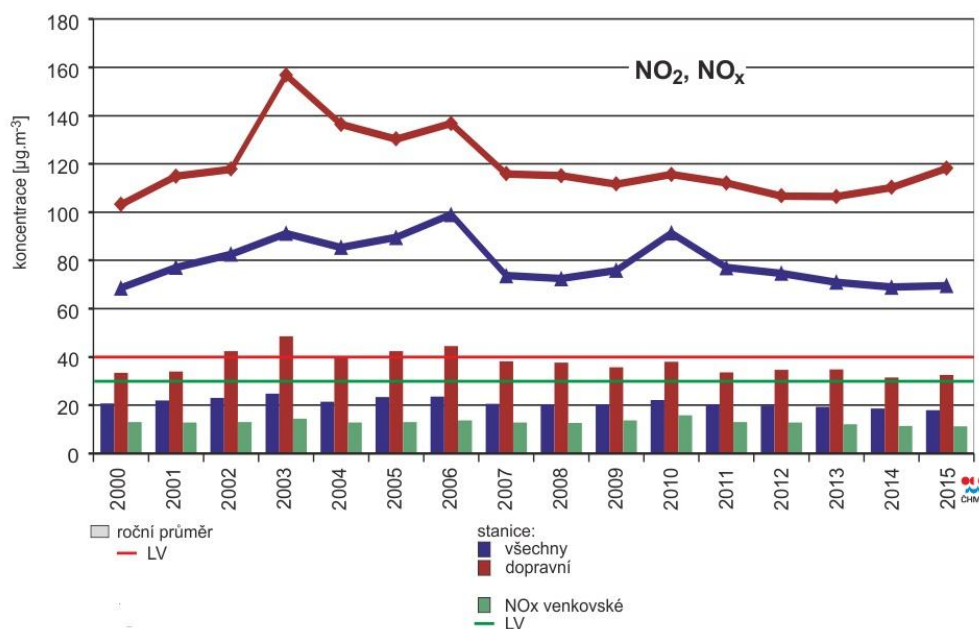
Tab. č. 8: Trend v časových řadách koncentrací NO_x ve vybraných městech

V průběhu 90. let došlo k výraznému poklesu ročních průměrných koncentrací NO_x. Důvodem byl prudký pokles emisí v tomto období v důsledku nabytí účinnosti zákona č. 309/1991 Sb. a na něj navazujícího zavádění nových technologických opatření ke snižování emisí. Vliv měla také změna skladby průmyslové výroby a vozového parku a složení pohonných hmot (ČHMÚ, 2016).

Určování převládajícího trendu je velice složité. Různí autoři se k této problematice staví jinak. HRUŠKA A KOL. (2006) tvrdí, že velikost kyselé depozice se pro dusík v současnosti snížila zhruba až na polovinu. Tato úroveň depozice by měla zůstat pravděpodobně zachována příštích dvacet až třicet let. Je zde ovšem riziko, že by mohla nastat tendence k mírnému růstu vyvolána automobilovou dopravou. HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ (2001) také uvádějí, že od roku 1988 je zde trend mírného růstu oxidu dusíku. Ovšem MŽP (2007) tvrdí, že kvalita ovzduší se na území České republiky od roku 1989 výrazně zlepšila. K tomu dopomohly hlavně zákony, které donutili odsířit elektrárny a snížit emise všechny velké zdroje znečištění. VIRTANEN A HÄMEKOSKI (1999) dodávají, že za velkým výskytem znečišťujících látek v ovzduší stojí zvláště velké zdroje, které spalují uhlí, topné oleje nebo plyn a samozřejmě automobilová doprava. V některých oblastech hrají velkou roli i nezodpovědní občané.

ČHMÚ (2016) uvádí, že relativně strmě klesající trend z 90. let minulého století pokračoval až do roku 2000. Od tohoto roku dochází střídavě k nárůstům a poklesům jak průměrných ročních koncentrací NO_x, tak i 19. nejvyšších hodinových koncentrací. Nejvýraznější nárůsty koncentrací byly zaznamenány v letech 2003, 2006 a 2010, pravděpodobně v důsledku nepříznivých meteorologických a rozptylových podmínek, které se v těchto letech vyskytovaly. Od roku 2011 bylo

možné pozorovat pozvolna klesající trend všech sledovaných charakteristik. V roce 2015 opět došlo k poklesu průměrné roční koncentrace. To je zřejmé z obr. č. 10, který nám ukazuje trendy ročních charakteristik pro NO₂ a NO_x na území České republiky v letech 2000 – 2015.



Obr. č. 10: Trendy ročních charakteristik NO₂ a NO_x v ČR, 2000 – 2015

(Zdroj: ČHMÚ, 2016)

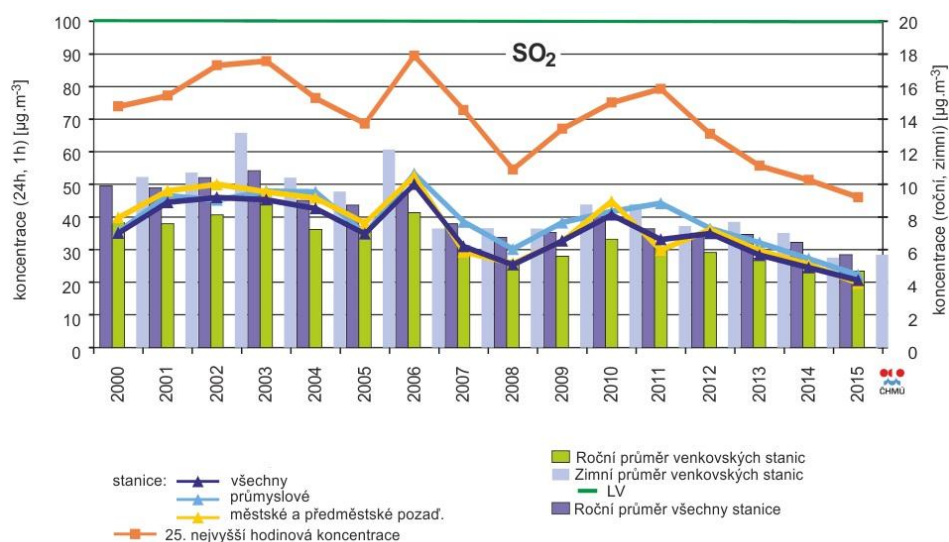
Oxid siřičitý

V tabulce č. 9 máme vyhodnocení trendů v koncentracích SO₂ pro stejná města jako tomu bylo u NO_x. Z tabulky je zřejmé, že je zde vidět statisticky průkazný pozitivní klesající trend oxidu siřičitého v ovzduší. Je to patrné v Děčíně, Ústí nad Labem a Kostomlatech pod Milešovkou. Pouze u Chomutova lze říci, že zde žádný trend vypočítán nebyl, protože hodnota *p* se zde rovnala 0,96. Grafy jsou opět v příloze této práce (přílohy č. 3 - 5).

Město	Hladina významnosti <i>p</i>	Průkaznost	Trend
Děčín	0,03	ano	klesající
Ústí nad Labem	8.10 ⁻⁵	ano	klesající
Kostomlaty pod Milešovkou	6.10 ⁻⁵	ano	klesající
Chomutov	0,96	ne	x

Tab. č. 9: Trend v časových řadách koncentrací SO₂ ve vybraných městech

V České republice, která patřila mezi nejvíce znečištěné oblasti Evropy, se podařilo dosáhnout snížení emisí SO₂ o téměř 90 % v rekordně krátké době v 90. letech. Jak však ukazuje stále špatný stav našich lesů, následky masivního znečištění jsou nadále přítomny (MOLDAN, 2009). Snížení škodlivin SO₂ v období devadesátých let dvacátého století bylo umožněno v důsledku hlubokých politicko-ekonomických změn ve střední Evropě a uplatnění nových legislativních nástrojů (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). K výraznému snížení imisních koncentrací SO₂ došlo po roce 1998 v souvislosti s nabytím účinnosti zákona č. 309/1991 Sb. a splněním předepsaných emisních limitů. Od té doby roční průměrné koncentrace této látky nepřekročily na venkovských lokalitách stanovený imisní limit 20 µg.m⁻³ (ČHMÚ, 2016). Tento zákon vyšel sice v roce 1991, ale imisní limity zavedl s platností až od roku 1998. Tato časová prodleva měla umožnit přípravu zdrojů na nové podmínky provozu. Došlo k restrukturalizaci národního hospodářství, k modernizaci zdrojů, z nichž mnoho ukončilo nebo omezilo svůj provoz. Od roku 1991 docházelo v sektoru energetiky k odstavování a modernizaci kotlů (ČHMÚ, 2006). V roce 2008 došlo na celém území ČR k dalšímu snížení koncentrací SO₂. V letech 2009 a 2010 bylo naopak zaznamenáno mírné zvýšení znečištění touto látkou, ale od roku 2011 do roku 2015 je průkazný další klesající trend. To je patrné z obr. č. 11 (ČHMÚ, 2016). V případě emisí se úroveň znečišťování ovzduší oxidem siřičitým v roce 2012 oproti roku 2001 snížila o 31% (ČHMÚ, 2014).



Obr. č. 11: Trendy ročních charakteristik SO₂ a v ČR, 2000 – 2015

(Zdroj: ČHMÚ, 2016)

6.3 Prostorová analýza koncentrací NO_x a SO₂ v ovzduší v Ústeckém kraji

ČHMÚ uvádí, že při tvorbě mapových podkladů depozičního nebo imisního zatížení území, které je důsledkem znečišťování ovzduší, využívají při odhadech polí depozičních a imisních charakteristik geostatické postupy a nástroje mapové algebry GIS. Při interpolaci se používá metoda IDW a metoda Kriging. Výše zmíněné metody mohou odhadnout hodnotu sledované veličiny v libovolném místě pole (ČHMÚ, 2010).

Pro tuto část diplomové práce byly vybrány obě metody, aby bylo možné jejich následné zhodnocení a porovnání. Navíc byla vypracována ještě metoda Thiessenových polygonů, která byla posléze také porovnána s předešlými metodami.

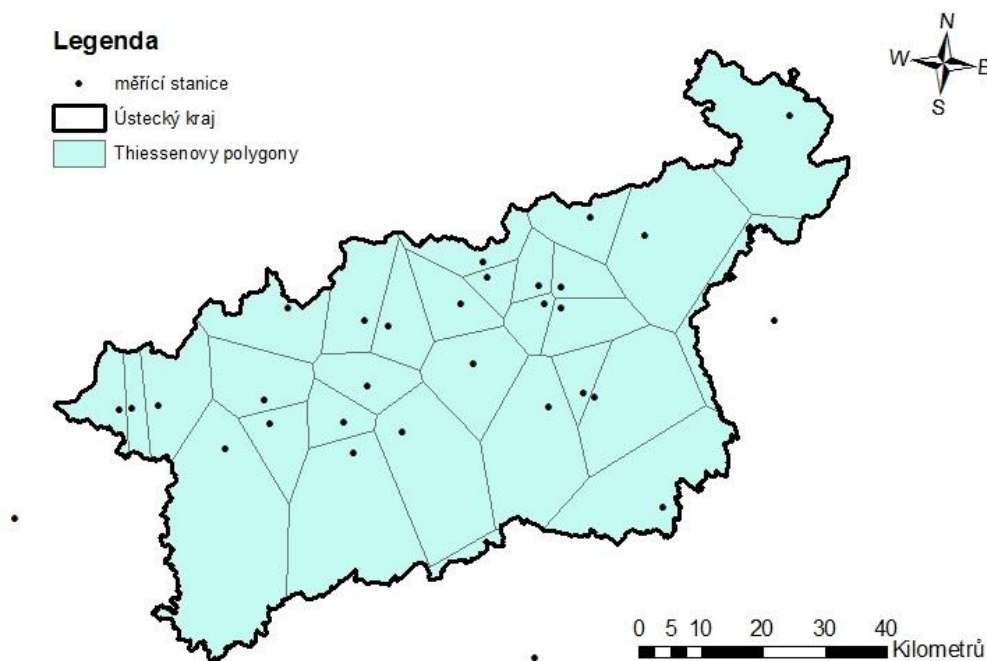
6.3.1 Thiessenovy polygony

Metoda Thiessenových polygonů byla zpracována v programu ArcMap 10. Pomocí programového nástroje Create Thiessen Polygons byly vytvořeny polygony pro jednotlivé měřicí stanice. Počet polygonů se za sledované roky měnil, jelikož v Ústeckém kraji postupně docházelo k redukci měřicích stanic, které se zabývaly měřením koncentrací těchto sloučenin. Plocha polygonů sloužila jako váha při výpočtu průměrné koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého pro jednotlivé roky.

Oxidy dusíku

Obrázek č. 12 nám ukazuje rozdělení kraje na polygony v roce 2005. Ty jsou ohraničeny tenčími čarami, tlustší čáry nám ohraničují území Ústeckého kraje. V tomto roce bylo na území kraje 30 měřicích stanic, tudíž je zde i 30 polygonů. Jsou zde dva částečné polygony, které jsou tvořeny stanicemi Česká Lípa a Kladno – Švermov.

Mezi lety 2005 a 2010 nedošlo k veliké změně, co se týče počtu měřicích stanic a tak je mapový výstup velmi podobný. V roce 2010 bylo na území kraje 28 stanic. Je zde opět jeden částečný polygon a jedná se o měřicí stanici Kladno – Švermov. V roce 2015 bylo v kraji pouze 15 měřicích stanic, jelikož zde došlo k výrazné redukci. Některé zastaralé stanice byly nahrazeny stanicemi novými, které už byly plně automatizované. Tyto mapové výstupy jsou vyobrazeny v přílohách diplomové práce. Jde o přílohy č. 6 a č. 7.



Obr. č. 12: Thiessenovy polygony pro NO_x v roce 2005

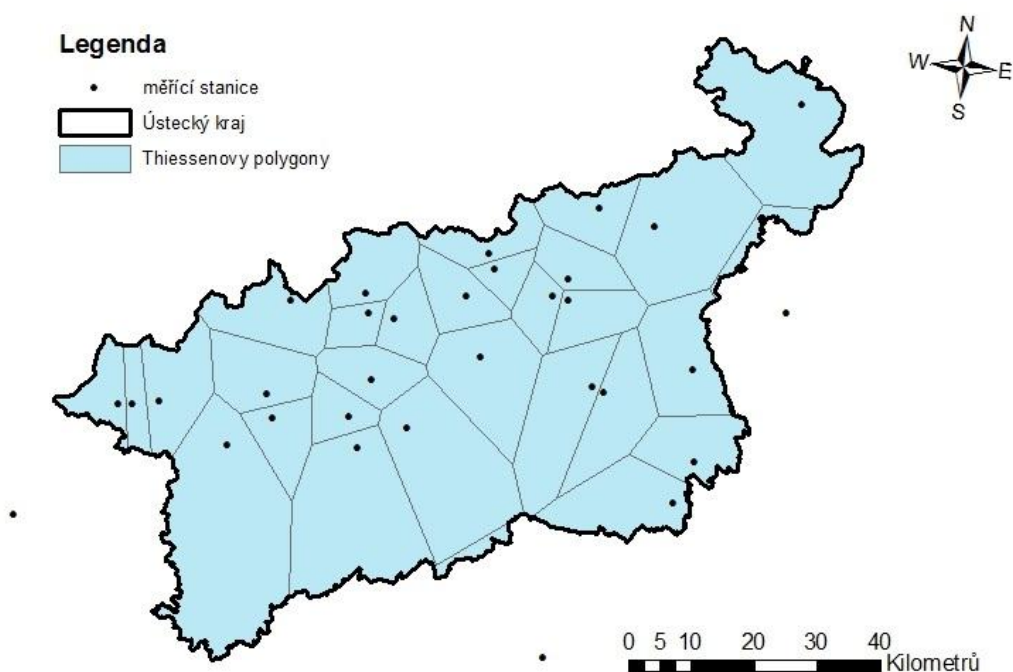
Oxid siřičitý

Obrázek č. 13 nám má ukázat, jak byl Ústecký kraj rozdělen na polygony v roce 2005. Jedná se určení polygonů na základě měřících stanic pro SO₂. V tomto roce byla koncentrace oxidu siřičitého měřena na 31 stanicích, vzniklo nám tedy 31 polygonů. Máme tu dva částečné polygony a jedná se o stanici Kladno – Švermov a Českou Lípou.

Mapový výstup Thiessenových polygonů v roce 2010 se výrazně nezměnil, neboť je území rozděleno na 28 polygonů. Opět je tu částečný polygon tvořený stanicí Česká Lípa. Pokud se jedná o venkovské stanice, tak ty jsou umístěny v otevřené krajině nebo na kraji vesnic. Městské a předměstské jsou umístěny v centru měst, jejich periferii nebo přímo u významných zdrojů znečištění – průmyslové části a elektrárny.

V roce 2015 došlo k výraznému poklesu měřících stanic. K tomuto poklesu došlo nejen na území Ústeckého kraje, nýbrž na území celé republiky. V celorepublikovém měřítku byly nahrazovány zastaralé stanice novými zautomatizovanými měřícími stanicemi, které v některých případech sloužili

k odběru více druhů látek, než bylo dříve. Mapy Thiessenových polygonů v roce 2010 a 2015 se nacházejí v přílohách (příloha č. 8 a č. 9).



Obr. č. 13: Thiessenovy polygony pro SO₂ v roce 2005

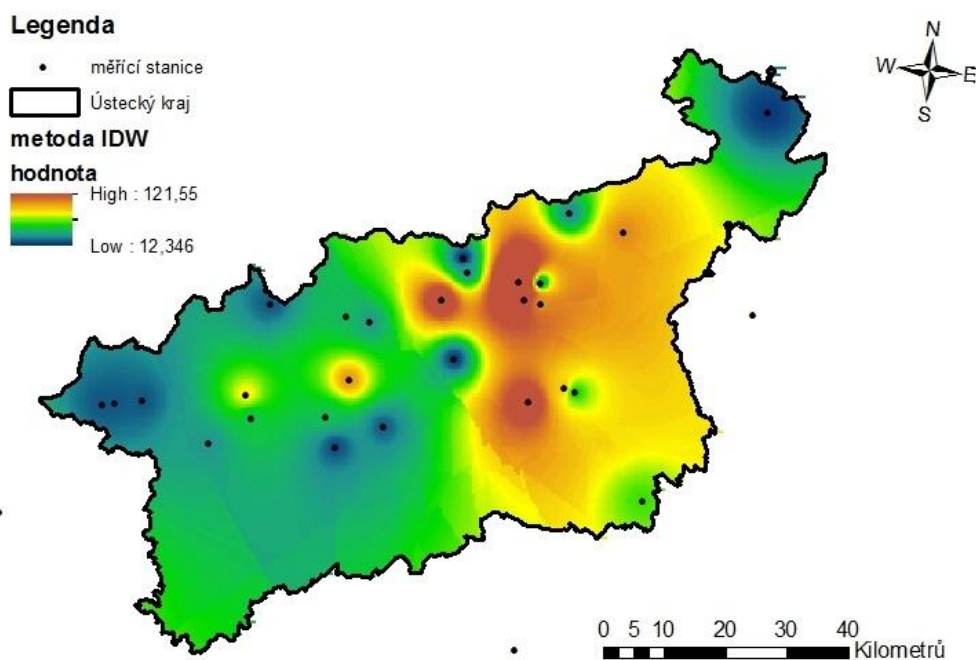
6.3.2 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)

Tato metoda byla opět vytvořena v programu ArcMap 10. Výstup, který je touto metodou vytvořen, je rastrová vrstva. Jedná se o rastrovou vrstvu průměrných ročních koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v Ústeckém kraji. Koncentrace jsou zde vyjádřeny jednotlivými barvami na barevné škále a udávány v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Každé buňce byla vypočtena příslušná hodnota koncentrace sledované látky. Rozdíl od metody Thiessenových polygonů je takový, že výstup nerozděluje území na jednotlivé polygony, ale pomocí barevného spektra a jeho postupného přechodu vyjadřuje koncentrace NO_x a SO₂ v příslušném roce.

Rozmezí koncentrací, které nám ukazuje postupné barevné přechody škály barev a značí tak různé množství koncentrací sledovaných látek na vybraném území, je na obrázku značeno jako „hodnota“. Výsledkem metody IDW je tedy jednak vypočtená příslušná hodnota ročních koncentrací látek v každém pixelu, a dále vypočtená průměrná roční hodnota koncentrace v Ústeckém kraji pro daný rok.

Metoda IDW je jednoduchá na výpočet a nejvíce se používá například pro interpolaci nadmořských výšek nebo meteorologických jevů, jako jsou srážky nebo teploty (MCCOY, 2001).

Oxidy dusíku

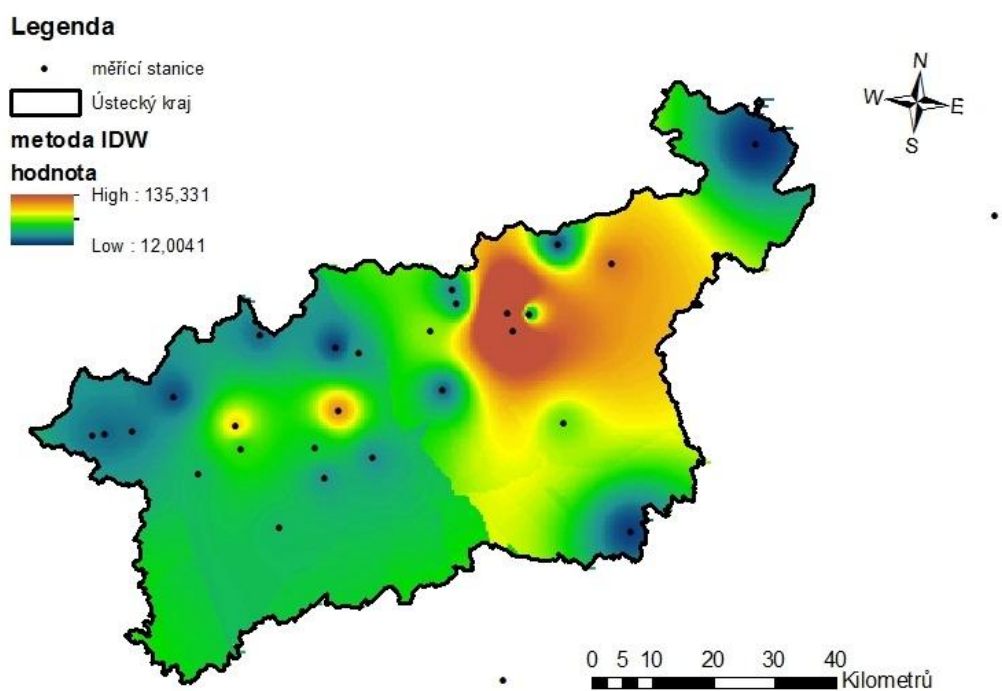


Obr. č. 14: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2005

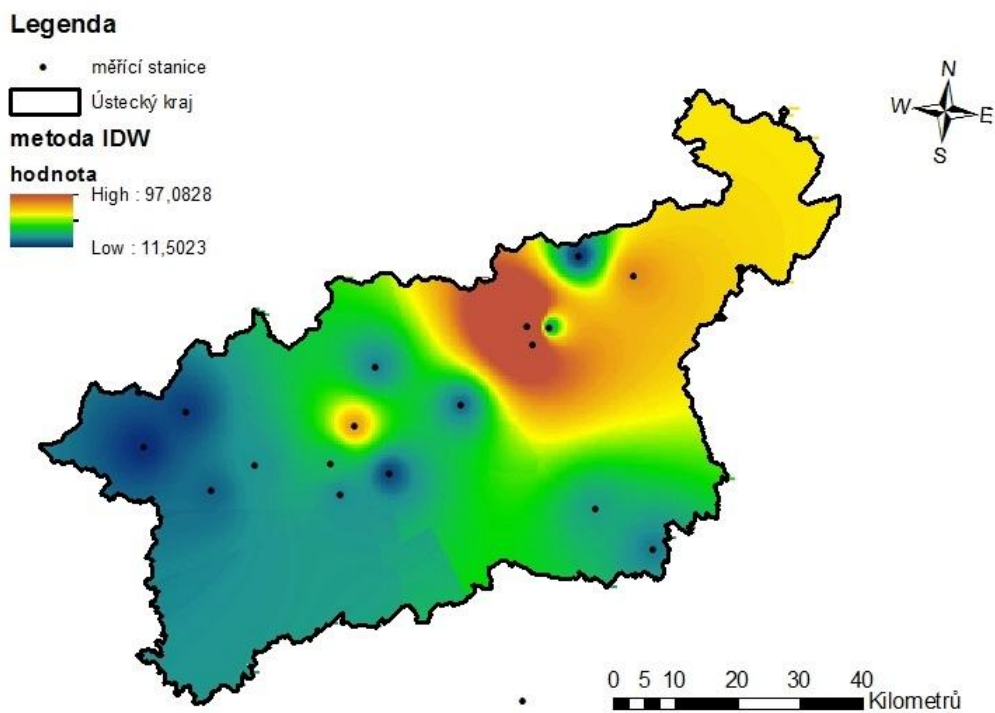
Na obrázku č. 14 jsou zachyceny koncentrace oxidů dusíku v Ústeckém kraji v roce 2005. Červenou barvou jsou vyznačena místa, kde byla naměřena nejvyšší koncentrace této sloučeniny. Z obrázku je patrné, že nejpostiženějšími místy jsou Lovosice, Teplice a především Ústí nad Labem, kde se hodnota koncentrace dostala přes $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Velice vysoká koncentrace je dosažena také v okolí měst Děčín, Most a Chomutov. Zelené spektrum představuje stále vysoké hodnoty, a to něco okolo $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejnižší koncentrace nám představuje modrá barva, která je zde ale zastoupena na nejmenší ploše.

Obrázek č. 15 nám ukazuje mapu koncentrací v Ústeckém kraji o 5 let později, tedy v roce 2010. Jak je vidět, tak je situace nadále kritická v Ústí nad Labem, Děčíně a Mostě. V Ústí nad Labem hodnota přesáhla dokonce $130 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak v okolí Teplic a Lovosic se situace výrazně zlepšila, v Teplicích byl dokonce

pokles koncentrace NO_x dvojnásobný. Celkově ubylo červených a oranžových míst, které byly nahrazeny zelenou barvou, které ale stále znamenají vysoké znečištění.



Obr. č. 15: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2010

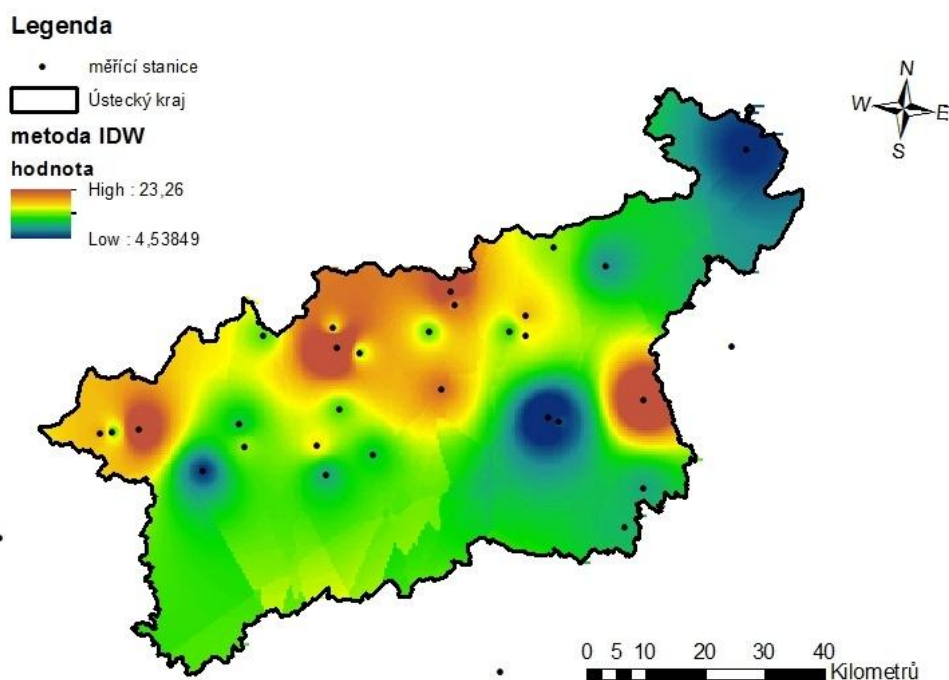


Obr. č. 16: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2015

Poslední obrázek (obr. č. 16) znázorňuje koncentrace NO_x metodou IDW v roce 2015. Červené a oranžové spektrum dále ubývá, což je velice pozitivní jev. Celkově byly v jednotlivých měřicích stanicích naměřeny zpravidla nižší hodnoty než v roce 2010. Bohužel v roce 2015 výrazně ubylo měřicích stanic a tak výsledná mapa koncentrací NO_x tak není přesně vykreslena jako v předešlých letech. Obecně platí, že Ústecký kraj je uprostřed rozdělen pomyslnou osou na dvě poloviny, z níž jsou ve východní části naměřeny daleko vyšší hodnoty koncentrací než v té západní.

Oxid siřičitý

Oxid siřičitý může být považován za typický jed životního prostředí. Ovšem v posledních letech jeho koncentrace v ovzduší klesá, což je způsobeno zavedením filtrů do průmyslových podniků a motorových vozidel (LÜLLMANN A KOL., 2004).

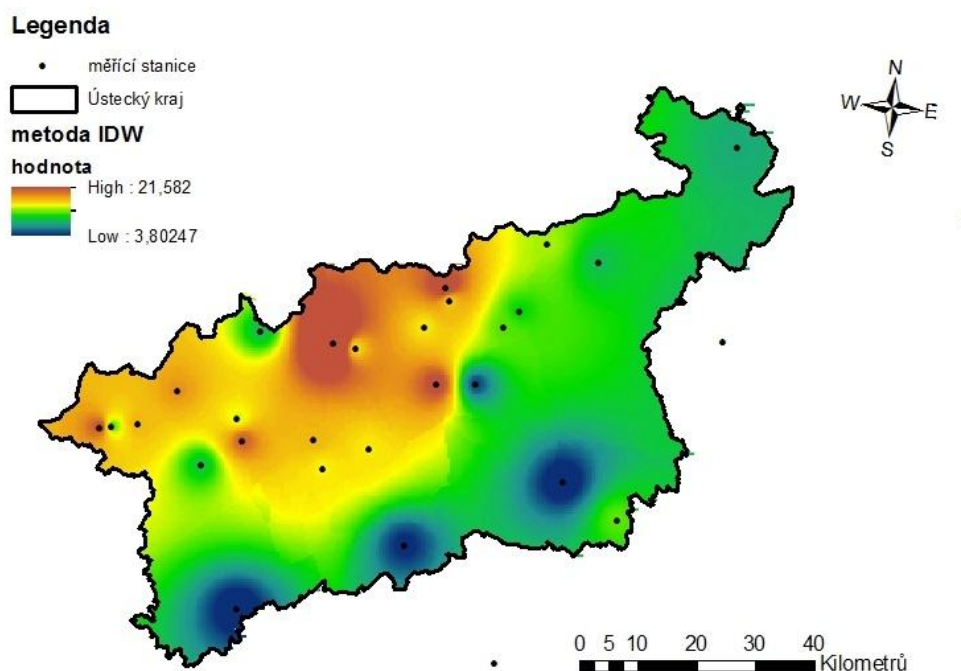


Obr. č. 17: Prostorová koncentrace SO_2 na území Ústeckého kraje v roce 2005

První obrázek (obr. č. 17) zachycuje koncentrace oxidu siřičitého na území Ústeckého kraje v roce 2005. Opět jsou zde místa s nejvyšší naměřenou koncentrací této sloučeniny vybarveny červenou barvou. Jedná se především o Litvínov a jeho okolí. V tomto městě koncentrace SO_2 překročila hranici $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak ve

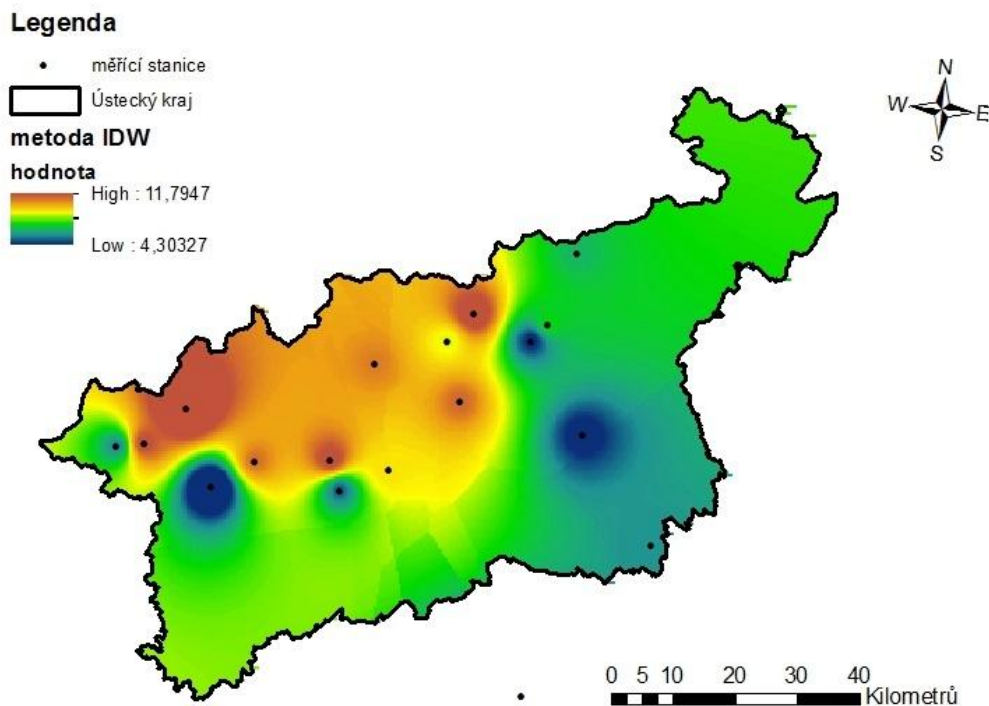
významných průmyslových městech Ústeckého kraje jako jsou Děčín, Most, Teplice, Chomutov a Ústí nad Labem se koncentrace pohybuje okolo $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Na obrázku č. 18 jsou znázorněny koncentrace oxidu siřičitého o pět let později, tzn. v roce 2010. Situace se na tomto území příliš nezměnila, průměrné koncentrace se pohybují na podobných hodnotách jako v roce 2005.



Obr. č. 18: Prostorová koncentrace SO_2 na území Ústeckého kraje v roce 2010

Poslední obrázek (obr. č. 19) nám ukazuje prostorovou koncentraci SO_2 v Ústeckém kraji v roce 2015. Stejně jako tomu bylo u NO_x , tak i zde výrazně ubylo měřicích stanic, kde byla tato látka měřena. Výsledný mapový výstup proto není zpracován z tolika hodnot jako předešlé výstupy. Naměřené koncentrace SO_2 se pohybují na výrazně nižších hodnotách než v uplynulých letech a tak se dá říci, že oxidu siřičitého v ovzduší v Ústeckém kraji ubývá. To potvrzuje i ČHMÚ (2016), které tvrdí, že v letech 2000 – 2015 došlo celkově k poklesu koncentrací SO_2 o cca 30-50 % v závislosti na imisní charakteristice. Trend koncentrací SO_2 je způsoben poklesem emisí, odsířením uhelných elektráren a změnou v používání paliv. Vliv na meziroční kolísání mají rovněž odlišné meteorologické a rozptylové podmínky v jednotlivých letech.



Obr. č. 19: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2015

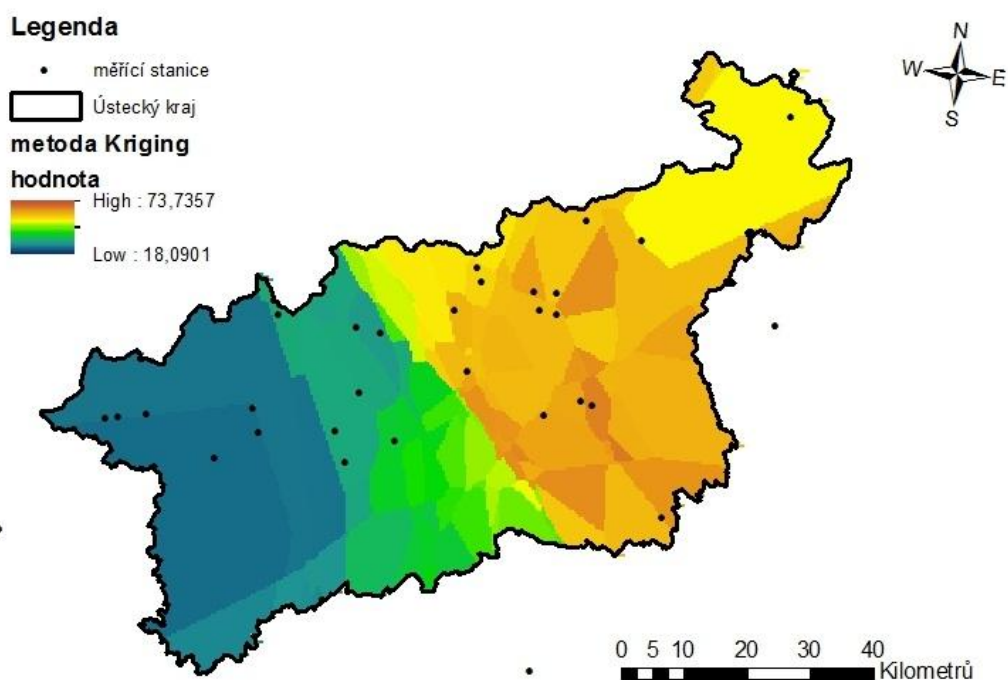
6.3.3 Metoda Kriging

Tato metoda byla opět vytvořena v programu ArcMap 10. Výstup, který je touto metodou vytvořen, je velmi podobný výstupům tvořeným metodou IDW. Jedná se o rastrovou vrstvu průměrných ročních koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v Ústeckém kraji. Koncentrace jsou zde opět vyjádřeny jednotlivými barvami na barevné škále a udávány v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Každé buňce byla vypočtena příslušná hodnota koncentrace sledované látky. Rozmezí koncentrací, které nám ukazuje postupné barevné přechody škály barev a značí tak různé množství koncentrací sledovaných látek na vybraném území, je na obrázku značeno opět jako „hodnota“. Výsledkem metody Kriging je tedy stejně jako u IDW jednak vypočtená příslušná hodnota ročních koncentrací látek v každém pixelu, a dále vypočtená průměrná roční hodnota koncentrace v Ústeckém kraji pro daný rok.

Metoda Kriging vytváří odhad, který může, ale také nemusí procházet vstupními body. V závislosti na tom následně přesahuje nebo nepřesahuje minimální a maximální hodnoty měřených bodů. Výhodná je možnost ovlivnění průběhu interpolace. Zároveň je ale dosti náročné vytvořit správný model, který vyjadřuje prostorovou autokorelaci sledovaného jevu. Kriging je vhodnou metodou pro data

prokazující zřetelný trend. Používá se zejména pro geologické aplikace jako průzkum ložisek nerostných surovin, někdy se však také hodí pro interpolaci výšek, meteorologických dat nebo znečištění ovzduší (JOHNSTON, 2001).

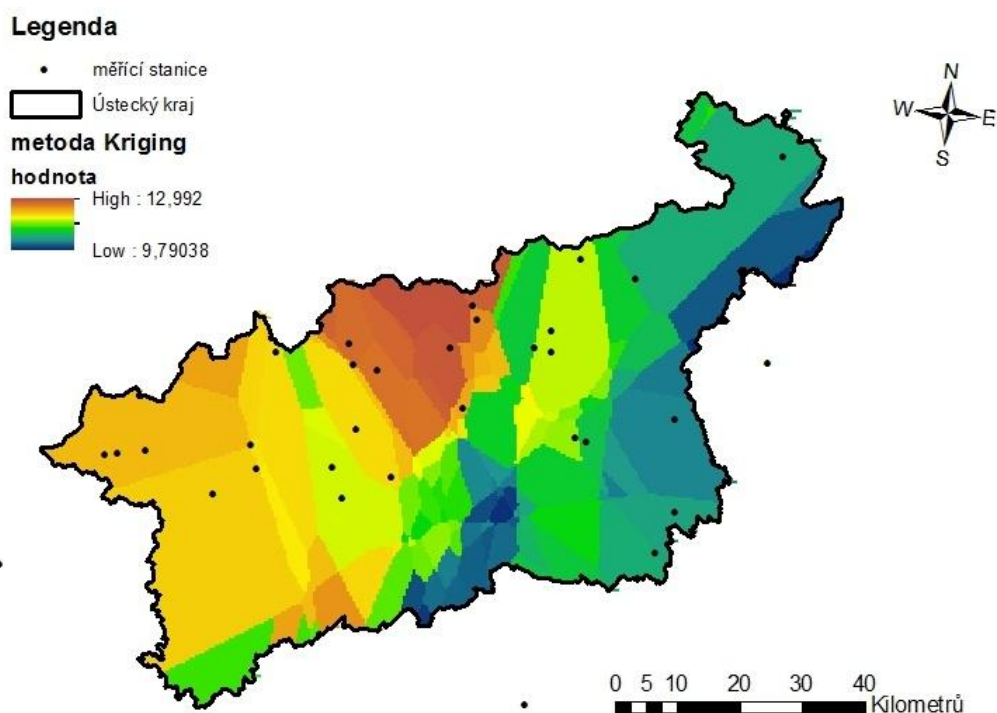
Oxidy dusíku



Obr. č. 20: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2005

Obrázek č. 20 nám zobrazuje prostorovou analýzu koncentrací NO_x v Ústeckém kraji v roce 2005 zpracovanou pomocí metody Kriging. Když mapový výstup porovnáme s výstupem vytvořeným metodou IDW, zjistíme, že se výsledné zobrazení koncentrací výrazně neliší. Místa s červenou barvou, tedy s nejvyšší koncentrací, se nacházejí opět v okolí měst Teplice, Lovosice, Ústí nad Labem a Děčín. Pro Šluknovský výběžek tato metoda vypočítala výrazněji vyšší hodnoty než metoda IDW, což je dáno odlišným postupem výpočtu hodnot, jak je zmíněno v kapitole popisující obě tyto metody (kapitola 4.). Opět zde ale platí, že červené, oranžové a žluté barevné spektrum se nachází ve východní části Ústeckého kraje. Mapové výstupy vytvořené metodou Kriging pro roky 2010 a 2015 jsou uloženy v přílohách této diplomové práce (přílohy č. 10 a č. 11).

Oxid siřičitý



Obr. č. 21: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2005

Na obrázku č. 21 je zachycena prostorová analýza koncentrací SO₂ v roce 2005 vytvořena pomocí metody Kriging. Po srovnání s výsledným mapovým výstupem metody IDW je možné vidět, že prostorové rozložení hodnot vypočtených těmito metodami je opět velmi podobné. Nejtmavší červené a oranžové barevné spektrum se nachází opět na severu kraje mezi městy Litvínov a Teplice. Naopak nejnižší hodnoty koncentrací se vyskytují ve Šluknovském výběžku stejně tak jako tomu bylo u mapového výstupu metody IDW. Zbylé výstupy prostorové analýzy koncentrací oxidu siřičitého v Ústeckém kraji provedené metodou Kriging pro roky 2010 a 2015 se opět nacházejí v přílohách. Jde o přílohy č. 12 a č. 13.

6.3.4 Diskuze k výstupům prostorové analýzy v Ústeckém kraji

Pro ekonomický rozvoj České republiky hraje Ústecký kraj významnou roli. Je to především způsobeno velkým zastoupením průmyslové výroby, kde dominuje chemický, sklářský a strojírenský průmysl. Velký význam má také dobývání nerostných surovin, především hnědé uhlí. Struktura výrobních podniků v kraji se v posledních letech značně změnila, některé podniky zanikly, ale velké průmyslové a energetické zdroje zůstaly. Díky tomu úroveň znečištění ovzduší na tomto území,

jinými slovy produkce emisních znečišťujících látek do ovzduší, se řadí i nadále k nejvyšším v České republice (MŽP, 2004).

Národní program na snižování emisí (nařízení vlády č. 372/2007 Sb.), do kterého jsou zahrnuty spalovací zdroje znečišťování ovzduší, stanovil pro tyto zdroje individuální emisní stropy (VAŇHOVÁ, 2011). Podle MAREŠE (2001) se Ústecký kraj lišil více než trojnásobně od celorepublikových průměrů měrných emisí.

Oxidy dusíku

V roce 2002 byl přijat zákon č.86/2002 Sb. o ochraně ovzduší, včetně jeho prováděcích předpisů. Od tohoto roku dochází konstantnímu poklesu množství všech znečišťujících látek, přičemž největší pokles byl zaznamenán u oxidů dusíku (VAŇHOVÁ, 2011).

Pokud se pozorně podíváme na mapové výstupy, tak je zřejmé, že dochází k postupnému ale velmi mírnému poklesu koncentrací oxidů dusíku v ovzduší. Tuto skutečnost potvrzují i HŮNOVÁ A KOL. (2012), kteří uvádějí, že byl vypočítán pokles koncentrací u stanic, kde se pohybovala velice vysoko – stanice v oblasti Černého trojúhelníka. I když jsou koncentrace NO_x poměrně vysoké, emisní stropy na území Ústeckého kraje nejsou podle ČHMÚ od roku 2008 překročeny. Tyto krajské emisní stropy jsou stanoveny podílem rozlohy na celkovou plochu republiky (VAŇHOVÁ, 2011).

Oxid siřičitý

V emisním spektru 70. a 80. let byl oxid siřičitý považován za modelovou látku charakterizující znečištění ovzduší. Koncentrace SO_2 v ovzduší v podmínkách České republiky s převládajícím spalováním fosilních paliv především méně hodnotného hnědého uhlí s vysokým obsahem síry vykazovala poměrně úzký a stabilní poměr k ostatním složkám emisního spektra. Proto byl oxid siřičitý považován za indikátor charakterizující celkové znečištění ovzduší a jeho škodlivý vliv na agrární ekosystémy (UŠŤAK, 1997).

Zdrojem SO_2 je v České republice hlavně spalování fosilních paliv – uhlí a těžkých olejů, a tavením rud s obsahem síry (LOLLEK A KAŠPAR, 2012). To potvrzuje i HŮNOVÁ (2009), která tvrdí, že dominantním zdrojem pro emise síry

v Evropě je energetika. HORÁK A KOL. (2004) dodávají, že velké množství sirných sloučenin obsahuje palivo. Tyto sloučeniny, které jsou v palivu obsaženy, později přechází do spalín. V ovzduší rychle přechází na kyselinu sírovou a ta pak způsobuje tvorbu zimního smogu a tvoří také základní složku kyselých dešťů.

V roce 2005 nebyl v České republice na žádném místě překročen stanovený jak hodinový imisní limit ($350 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), tak imisní limit pro 24hodinovou koncentraci oxidu siřičitého, který činí $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Byl tak potvrzen mírný klesající trend z předešlých let. Znečištění ovzduší oxidem siřičitým v roce 2005 nepřekračuje nikde imisní limity pro ochranu zdraví, a tak není důvodem pro zařazení kterékoli části území mezi oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší (ČHMÚ, 2006).

V roce 2010 se nejvyšší koncentrace pohybovala okolo $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a byla naměřena opět v Litvínově. Avšak podle zprávy *Vyhodnocení imisní situace v Litvínově v roce 2011*, kterou zpracovalo Ekologické centrum Most pro Krušnohoří v roce 2012, není oxid siřičitý od roku 1997 škodlivinou, jež by závažně ohrožovala zdraví obyvatel, ačkoliv v lokalitách, kde je soustředěno více malých spalovacích zdrojů, jimiž jsou zejména domácí topeniště, je riziko zvyšování SO_2 podstatně vyšší. Vytápění nekvalitním uhlím je totiž pro mnoho lidí nejpříjemnějším řešením zejména z finančního hlediska (KOVAŘÍKOVÁ A VLČKOVÁ, 2012).

Podle ČHMÚ (2013) lze předpokládat, že mohl nastat určitý nárůst koncentrací SO_2 v místech, kde měření neprobíhá, který může být způsoben návratem ke spalování uhlí v některých obcích.

6.3.5 Porovnání použitých metod prostorové analýzy v Ústeckém kraji

Díky metodě Thiessenových polygonů, vážené inverzní vzdálenosti (IDW) a Kriging byly zjištěny průměrné roční koncentrace oxidů dusíku a oxidu siřičitého pro Ústecký kraj. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 10 pro NO_x a v tabulce č. 11 pro SO_2 . Koncentrace obou látek jsou vypočteny v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Vyšších hodnot dosahují průměrné koncentrace získané pomocí metody Kriging a IDW. Tyto metody jsou modernější pro zjištění plošné distribuce dat. Naopak metoda Thiessenových polygonů je mnohem starší.

Oxidy dusíku

rok	metoda IDW	metoda Kriging	Thiessenovy polygony
2005	29,3	31,4	26,6
2010	26,2	27,9	23,1
2015	24,5	26,1	22,8

Tab. č. 10: Roční koncentrace NO_x v Ústeckém kraji vypočtené použitými metodami

V tabulce č. 10 jsou uvedeny konkrétní číselné hodnoty průměrných ročních koncentrací NO_x na území Ústeckého kraje, které byly vypočteny v programu ArcMap 10. Z tabulky je patrné, že nejvyšších hodnot dosahují výsledky, které byly vypočteny metodou Kriging. Následovaly výsledky vypočtené metodou IDW a nejnižších hodnot dosahovaly výsledky Thiessenových polygonů. Mezi metodou Kriging a IDW je největší rozdíl v roce 2005 a činí 2,1 μg.m⁻³, naopak nejmenší rozdíl je v roce 2015 a to 1,6 μg.m⁻³. Výpočet provedený metodou Kriging je v průměru o 6,7 % větší než výpočet metodou IDW.

Oxid siřičitý

rok	metoda IDW	metoda Kriging	Thiessenovy polygony
2005	10,9	11,4	9,7
2010	9,1	9,2	8,4
2015	7,8	8,0	6,9

Tab. č. 11: Roční koncentrace SO₂ v Ústeckém kraji vypočtené použitými metodami

Tabulka č. 11 nám ukazuje hodnoty průměrných ročních koncentrací oxidu siřičitého získané jednotlivými metodami. Platí tu stejné pravidlo jako u oxidů dusíku. Nejvyšších hodnot dosahují výsledky získané pomocí metody Kriging, následuje metoda IDW a Thiessenovy polygony. Největší rozdíl mezi metodami Kriging a IDW je 0,5 μg.m⁻³ opět v roce 2005. Výpočet, který byl proveden metodou Kriging je v průměru o 2,9 % větší než výpočet provedený metodou IDW, ovšem není statisticky průkazný.

Odhady obou metod (IDW a Kriging) jsou si hodně podobné, přispívá k tomu skutečnost, že jsou obě metody exaktní. Obě metody používají k výpočtu odhadu vážený průměr, u IDW i Kriging jsou váhy závislé na vzdálenostech mezi měřeným a určovaným bodem, u Kriging jsou ale ještě závislé na vzájemných prostorových vztazích mezi měřenými body okolo místa určovaného bodu (HORÁK, 2002).

Výhodou metody IDW je, že tato interpolace respektuje naměřené hodnoty v bodech měřících stanic. Kriging naměřené hodnoty obecně nerespektuje (ČHMÚ, 2014).

ČHMÚ uvádí, že při tvorbě mapových podkladů depozičního nebo imisního zatížení území, které je důsledkem znečišťování ovzduší, využívají při odhadech polí depozičních a imisních charakteristik geostatické postupy a nástroje mapové algebry GIS. Při interpolaci se používá právě metoda IDW a metoda Kriging. Výše zmíněné metody mohou odhadnout hodnotu sledované veličiny v libovolném místě pole (ČHMÚ, 2010).

Podle ČHMÚ jsou plošné mapy z výsledků měření v jednotlivých lokalitách konstruovány s využitím a kombinací mnoha informací. Nejistoty jednotlivých map jsou závislé zejména na hustotě sítě měřících stanic a na rovnoměrnosti pokrytí území, dále na nejistotách jednotlivých měření, vstupů do modelů, modelových výpočtů a na použitém způsobu konstrukce plošných map. Mapy mají nejmenší nejistotu v blízkosti měřících stanic. Protože jsou nejistoty zejména některých map dosti vysoké, jedná se o odhady imisního pole, které adekvátně odpovídají použitým podkladům a stavu současného poznání. K nejistotám map je nutno přihlížet při jejich interpretaci (ČHMÚ, 2016).

V souvislosti s dlouhodobým vývojem znečištění ovzduší na území České republiky lze konstatovat, že od roku 1988 je pozorován klesající trend ve znečištění oxidem siřičitým (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). To potvrzuje i ČHMÚ (2016), které tvrdí, že v letech 2000 – 2015 došlo celkově k poklesu koncentrací SO₂ o cca 30-50 % v závislosti na imisní charakteristice. Trend koncentrací SO₂ je způsoben poklesem emisí, odsířením uhelných elektráren a změnou v používání paliv. Vliv na meziroční kolísání mají rovněž odlišné meteorologické a rozptylové podmínky v jednotlivých letech.

Co se týká koncentrací oxidů dusíku v ovzduší, tak zde dochází také k postupnému poklesu, ovšem zde je pokles velmi mírný (ČHMÚ, 2013). Tuto skutečnost potvrzují i HŮNOVÁ A KOL. (2014), kteří uvádějí, že byl vypočítán pokles koncentrací u stanic, kde se pohybovala velice vysoko – jde právě o stanice v oblasti Černého trojúhelníka. I když jsou koncentrace NO_x poměrně vysoké, emisní stropy na území Ústeckého kraje nejsou podle ČHMÚ (2016) od roku 2008 překročeny.

7. ZÁVĚR

Ústecký kraj byl vybrán jednak z toho důvodu, že je na jeho území umístěno dostatečné množství měřících stanic, ale především proto, že tento kraj patří mezi oblasti s největší mírou znečištění ovzduší. V literatuře je nejčastěji popisován jako oblast Černého trojúhelníka (oblast mezi Krušnými horami, Jizerskými horami a Krkonošemi). Znečištění ovzduší je v Ústeckém kraji již léta aktuálním tématem. Průmysl s sebou za tu dobu přinesl spoustu kladů – nové výrobky, pracovní příležitosti, celkový rozvoj ekonomiky kraje s přínosy i pro celou Českou republiku. Rozsáhlá průmyslová výroba má ale veliký dopad na životní prostředí, jsou znečišťovány vody, půda i ovzduší.

Statistickým porovnáním koncentrací NO_x bylo zjištěno, že statisticky průkazný rozdíl v koncentracích je v roce 2005 a 2015 pouze u měřící stanice Chomutov, kde jsou koncentrace v roce 2015 o polovinu nižší. Nejvyšších koncentrací bylo dosaženo jak v roce 2005, tak v roce 2015 v Děčíně a Ústí nad Labem. U koncentrací SO_2 byla statisticky průkazně nižší hodnota zaznamenána v roce 2015 oproti roku 2005 u Kostomlat pod Milešovkou a opět u Chomutova. Hodnoty se ale výrazně nelišily. Nejvyšších koncentrací bylo dosaženo právě v Kostomlatech pod Milešovkou a v Chomutově.

Výskyt trendů v časových řadách koncentrací NO_x a SO_2 byl hodnocen pomocí jednoduché lineární regrese. U oxidů dusíku byl statisticky průkazný trend pozorován u dvou měst. Jednalo se o Chomutov, kde byl značný trend v poklesu koncentrací NO_x na dosažené hladině významnosti $p < 10^{-5}$. Naproti tomu Kostomlaty pod Milešovkou vykazovaly průkaznost rostoucího trendu těchto koncentrací na hladině významnosti $p=0,02$. U měst Děčín a Ústí nad Labem nebyla dokázána statistická průkaznost poklesu či růstu koncentrací oxidů dusíku za sledované období. U oxidu siřičitého byl zaznamenán statisticky průkazný pozitivní klesající trend. Je to patrné v Děčíně, Ústí nad Labem a Kostomlatech pod Milešovkou. Pouze u Chomutova lze říci, že zde žádný trend vyzorován nebyl, protože hodnota p se zde rovnala 0,96, čili zde byla hodnota 0,05 výrazně překročena.

V Ústeckém kraji byla také provedena prostorová analýza koncentrací oxidů dusíku a oxidu siřičitého v letech 2005, 2010 a 2015. Díky metodě Thiessenových

polygonů, vážené inverzní vzdálenosti (IDW) a Kriging byly zjištěny průměrné roční koncentrace těchto dvou látek. Tyto metody mezi sebou tedy mohli být následně porovnány. Nejvyšších hodnot dosahovaly výsledky, které byly vypočteny metodou Kriging. Následovaly výsledky vypočtené metodou IDW a nejnižších hodnot dosahovaly výsledky Thiessenových polygonů.

Trend poklesu oxidů dusíku i oxidu siřičitého je předpokládán i nadále, ale bude záviset na lidských možnostech, nově konstruovaných zařízeních či používaných metodách, jak omezit nebo snížit koncentrace těchto látek do atmosféry.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BARTOŇOVÁ, A., BEDNÁŘ, J., BÍZEK, V., BRANIŠ, M., BRECHLER, J., CÍLEK, V., FIALA, J., FILIP, J., HOLOUBEK, I., HOVORKA, J., HŮNOVÁ, I., KALVOVÁ, J., MOLDAN, B., MOLDANOVÁ, J., PŘIBIL, R. (2004): Aktuální otázky znečištění ovzduší, Ústav pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty a Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, Praha, str. 216

BARTOŇOVÁ, A. (2009): Účinky znečištění ovzduší. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, str. 264 – 279

BEDNÁŘ, J. (1989): Pozoruhodné jevy v atmosféře – Atmosférická optika, akustika a elektřina, Academia, Praha, str. 236

BEDNÁŘ, J. (2003): Meteorologie, Portál, Praha, str. 224

BEDNÁŘ, J. (2009): Základní informace o atmosféře země. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, str. 13 – 49

BRANIŠ, M. (2009): Znečišťování ovzduší. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, Karolinum, Praha, str. 180 – 197

ČERMÁKOVÁ, A., STŘELEČEK, F. (1995): Statistika I., Jihočeská univerzita, České Budějovice, str. 172

ČERVENÝ, J., BÖHM, B., BUBENÍČKOVÁ, L., BUCHTELE, J., ČULÍK, J., DAŇKOVÁ, H., FRIGA, J., HLADKÝ, J., KŘÍŽ, V., KURPELOVÁ, M., NEDELKA, M., ŠEBEK, O., ŠKULEC, Š., VANÍČEK, K., VITOSLAVSKÝ, J., ZÁVODSKÝ, J. (1984): Podnebí a vodní režim v ČSSR, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, str. 416

ČHMÚ (2006): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2005, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 236 <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr05cz/obsah> Staženo dne: 20.3.2017

ČHMÚ (2008): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2007, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 269 <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr07cz/> Staženo dne: 21.3.2017

ČHMÚ (2010): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2009, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 247 <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/> Staženo dne: 27.3.2017

ČHMÚ (2013): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 225 <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/12groc/gr12cz/obsah> Staženo dne: 7.4.2017

ČHMÚ (2014): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2013, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 245 <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/obsah> Staženo dne: 5.4.2017

ČHMÚ (2016): Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2015, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 228 <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/obsah> Staženo dne: 22.3.2017

FIALA, J. (2009): Monitoring a hodnocení kvality ovzduší. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, str. 198 – 238

HANIBAL, J., RAAB, P. (1979): Znečišťování ovzduší a jeho soudobé problémy – problematika kvality ovzduší, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, str. 211

HANOUSEK, J., CHARAMZA, P. (1992): Moderní metody zpracování dat: Matematická statistika pro každého, Grada, Praha, str. 216

HAVRÁNEK, T. (1993): Statistika pro biologické a lékařské obory, Academia Praha, str. 480

- HEMERKA, J., VYBÍRAL, P. (2010): Ochrana ovzduší, ČVUT, Praha, str. 148
- HENDL, J. (2006): Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat, Portál, Praha, str. 583
- HLÁSNY, T. (2007): Geografické informační systémy: Priestorové analýzy, Partner – Čižmárová, str. 160
- HORÁK, J. (2002): Prostorová analýza dat, VŠB, <http://gis.vsb.cz/pad/index.htm>
Staženo: 25. 2. 2017
- HORÁK, J., LINHART, I., KLUSOŇ, P. (2004): Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky, VŠCHT, 1. vydání, Praha, str. 188
- HRDÁ, J. (1982): Znečištění ovzduší v severočeské oblasti. Výzkumná zpráva za úkol P 16-331-453. ČHMÚ, Praha, str. 78
- HRKAL, Z., FOTTOVÁ, D., ROSENDORF, P. (2009): The Relationship between Quality of Ground Waters and Forest Cover in Regions Affected by High Levels of Acid Atmospheric Deposition – a Case Study of the Krušné Hory Mts., Czech Republic. Polish J. of Environment 18/2009, č. 6: 995-1004
- HRUŠKA, J., CIENCIALA, E. (2002): Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor lesnictví, MŽP ČR, Praha, str. 160
- HRUŠKA, J., MAJER, V., FOTTOVÁ D. (2006): Vliv kyselé depozice na chemismus povrchových vod v Krkonoších, Opera Corcontica, 43: 95 - 110
- HŮNOVÁ, I. (2009): Atmosférická depozice. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, str. 160 – 179
- HŮNOVÁ, I., HESOUN, R., KURFÜRST, P., MAZNOVÁ, J., OSTATNICKÁ, J. (2012): Atmosférická depozice na území České republiky, Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2011, ČHMÚ – Úsek ochrany čistoty ovzduší. <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/kap3.html>
Staženo: 25. 3. 2017

- HŮNOVÁ, I., KURFÜRST, P., STOKLASOVÁ, P. (2014): Atmosférická depozice na území České republiky, Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2013, ČHMÚ – Úsek ochrany čistoty ovzduší. http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/IX_depозice_CZ.html Staženo: 20. 3. 2017
- HŮNOVÁ, I., OSTATNICKÁ, J. (2001): Vývoj imisí a atmosférické depozice v České republice mezi lety 1989 – 1999, ČHMÚ, Praha, str. 2
- HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší, Karolinum, Praha, str. 143
- JELÍNEK, R., KOTĚŠOVEC, F., ŠRÁM, R. (1996): Program Teplice, Český ekologický ústav pro účely Programu Teplice, Praha, str. 64
- JOHNSTON, K. (2001): ArcGIS 9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst, 1st edition, ESRI, USA, str. 48
- KALACH, P., TRÍSKA, J., KOLÁŘ, L., JÍROVCOVÁ, E. (2010): Chemie životního prostředí, Jihočeská univerzita, České Budějovice, str. 171
- KALVOVÁ, J., MOLDAN, B. (1996): Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů, Karolinum, Praha, str. 161
- KEMEL, M. (1994): Hydrologie, Vydavatelství ČVUT, Praha, str. 222
- KOVAŘÍKOVÁ, D., VLČKOVÁ, R. (2012): Vyhodnocení imisní situace v Litvínově za rok 2011, VÚHU a.s., Ekologické centrum Most pro Krušnohoří, Most, str. 24
- KREČÍ, R., ČERNÝ, J., HAVEL, M. (2001): Poškození smrkového lesa v Krušných horách, časopis Vesmír 10/2001, číslo 80: 48 - 52
- KULASOVÁ, A., HANCVENCL, R., BUBENÍČKOVÁ, L., BUDSKÁ, E., HLAVÁČEK, J. (2004): Sledování vybraných složek atmosférické depozice a jakosti povrchových vod v Jizerských horách. In: ŠÍR, M., TESAŘ, M., Atmosférická depozice 2004, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, str. 135

- KURFÜRST, J. (1982): Zdroje znečištění ovzduší, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, str. 153
- LEPŠ, J. (1996): Biostatistika, Jihočeská univerzita, České Budějovice, str. 166
- LOLLEK, V., KAŠPAR, A. (2012): Krajský integrovaný program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje: Aktualizace 2012, <http://iszp.kr-moravskoslezsky.cz/assets/ovzdusi/Koncepce/aktualizace-pzko-2012.pdf> Staženo dne: 8.4.2017
- LÜLLMANN, H., MOHR, K., WEHLING, M. (2004): Farmakologie a toxikologie: překlad 15. zcela přepracovaného vydání, Grada, Praha, str. 725
- MAREŠ, M. (2001): Krajský program snižování emisí tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého a oxidů dusíku Ústeckého kraje, Tebodin Czech Republic, str. 257 <http://www.kr-ustecky.cz/>. Staženo dne: 21.3.2017
- MCCOY, J. (2001): ArcGIS 9: Using ArcGIS Spatial Analyst, 1st edition, ESRI, USA, str. 232
- MOLDAN, B. (1977): Geochemie atmosféry, Academia, Praha, str. 160
- MOLDAN, B. (1983): Koloběh hmoty v přírodě, Academia, Praha, str. 172
- MOLDAN, B. (1985): Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 1 – 6
- MOLDAN, B. (1991): Atmospheric deposition: A biogeochemical process, Academia, Praha, str. 109
- MOLDAN, B. (1992): Atmosférická depozice na území Československa v letech 1976-1987, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 44
- MOLDAN, B. (1995): Životní prostředí – Globální perspektiva, Karolinum, Praha, str. 112
- MOLDAN, B. (1997): Příroda a civilizace – životní prostředí a rozvoj lidské civilizace, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, str. 147
- MOLDAN, B. (2009): Podmaněná planeta, Karolinum, Praha, str. 418

- MOLDAN, B. (2009): Globální aspekty ochrany atmosféry. In: BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, Praha, str. 325 – 337
- MOLDAN, B., VAVROUŠEK, J. (1989): Stav a vývoj životního prostředí v Československu, Ekologická sekce Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 146
- MŽP (1991): Duhový program: Program ozdravení životního prostředí České republiky, Academia, Praha, str. 84
- MŽP (2004): Convention on long – range transboundary air pollution 25 anniversary – 25 let Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší, Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší, Praha, str. 32
- MŽP (2007): Národní program snižování emisí České republiky, str. 46 http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_snizovani_emisi/FIL/E/000-NPSE_CR-20120117.pdf. Staženo dne: 18.3.2017
- NOVOTNY, V., CHESTERS, G. (1981): Handbook of nonpoint pollution: Sources and management, Litton educational publishing, Nex York, str. 555
- PIVNIČKA, K., BRANIŠ, M. (1998): Úvod do studia životního prostředí, Karolinum, Praha, str. 142
- PODHORSKÝ, M. (2004): Ústecký kraj, Freytag & Berndt, Praha, str. 192
- POLÁŠKOVÁ, A. (2011): Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí, Karolinum, Praha, str. 283
- PROKEŠ, J. (2005): Základy toxikologie: obecná toxikologie a ekotoxikologie, Galén, Praha, str. 248
- PŘIBIL, R. (2009): Přirozené složky atmosféry. In: BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, Praha, str. 50-66
- ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KAŠPAR, M., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek, Academia, Praha, str. 574

- SÁRKOZY, F. (1998): Gis functions – interpolation, TU Budapest, http://agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html. Staženo: 27. 2. 2017
- SYMON, K. (1960): Znečištění ovzduší a jeho vztah ke zdravotnímu stavu obyvatelstva. Čs. Hygiena, V: 72 – 79
- SYMON, K., BENCKO, V. (1988): Znečištění ovzduší a zdraví, Avicenum, Praha, str. 252
- ŠANTROCH, J. (1985): Sledování kvality srážek a mokré depozice. In: ČERNÝ J., Sborník. Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, 1985, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 11 – 14
- UŠŤAK, S. (1997): Metodická příručka pro obsluhovatele stanice měřící oxid siřičitý (SO₂) v rámci imisního monitoringu VÚRV, Výzkumný ústav rostlinné výroby (VÚRV), Praha, str. 38
- VAŇHOVÁ, J. (2011): Ročenka životního prostředí 2011, str. 46 http://www.ecmost.cz/DS/rocenka_ul_2011.pdf. Staženo dne: 17.3.2017
- VIRTANEN, T., HÄMEKOSKI, K. (1999): Ochrana ovzduší – Svazek 14, Centrum environmentálních analýz, ICLEI, str. 31
- VYSOUDIL, M. (1997): Meteorologie a klimatologie pro geografy, Univerzita Palackého, Olomouc, str. 234
- VYSOUDIL, M. (2002): Ochrana ovzduší, Univerzita Palackého, Olomouc, str. 114
- ZÁVODSKÝ, D. (1985): Meranie kyselaj depozície. In: ČSRNÝ, J., Sborník. Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, 1985, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 7 – 10
- ŽAVORONKOV, N., M. (1952): Dusík v přírodě a technice, Technicko – vědecké vydavatelství, Praha, str. 48

9. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

- Obr. č. 1: Schéma procesů, kterým podléhají znečišťující látky v ovzduší
- Obr. č. 2: Mapa umístění stanic v Ústeckém kraji
- Obr. č. 3: Mapa umístění měřících stanic pro NO_x v roce 2005
- Obr. č. 4: Mapa umístění měřících stanic pro SO₂ v roce 2005
- Obr. č. 5: Mapa umístění měřících stanic pro NO_x v roce 2010
- Obr. č. 6: Mapa umístění měřících stanic pro SO₂ v roce 2010
- Obr. č. 7: Mapa umístění měřících stanic pro NO_x v roce 2015
- Obr. č. 8: Mapa umístění měřících stanic pro SO₂ v roce 2015
- Obr. č. 9: Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 v roce 2005
- Obr. č. 10: Trendy ročních charakteristik NO₂ a NO_x v ČR, 2000 - 2015
- Obr. č. 11: Trendy ročních charakteristik SO₂ v ČR, 2000 - 2015
- Obr. č. 12: Thiessenovy polygony pro NO_x v roce 2005
- Obr. č. 13: Thiessenovy polygony pro SO₂ v roce 2005
- Obr. č. 14: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2005
- Obr. č. 15: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2010
- Obr. č. 16: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2015
- Obr. č. 17: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2005
- Obr. č. 18: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2010
- Obr. č. 19: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2015
- Obr. č. 20: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2005
- Obr. č. 21: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2005

Seznam tabulek

- Tab. č. 1: Seznam měřících stanic v roce 2005
- Tab. č. 2: Seznam nových stanic pro rok 2010
- Tab. č. 3: Seznam pomocných měřících stanic
- Tab. č. 4: Statistické vyhodnocení NO_x v roce 2005
- Tab. č. 5: Statistické vyhodnocení NO_x v roce 2015
- Tab. č. 6: Statistické vyhodnocení SO₂ v roce 2005
- Tab. č. 7: Statistické vyhodnocení SO₂ v roce 2015
- Tab. č. 8: Trend v časových řadách koncentrací NO_x ve vybraných městech

Tab. č. 9: Trend v časových řadách koncentrací SO₂ ve vybraných městech

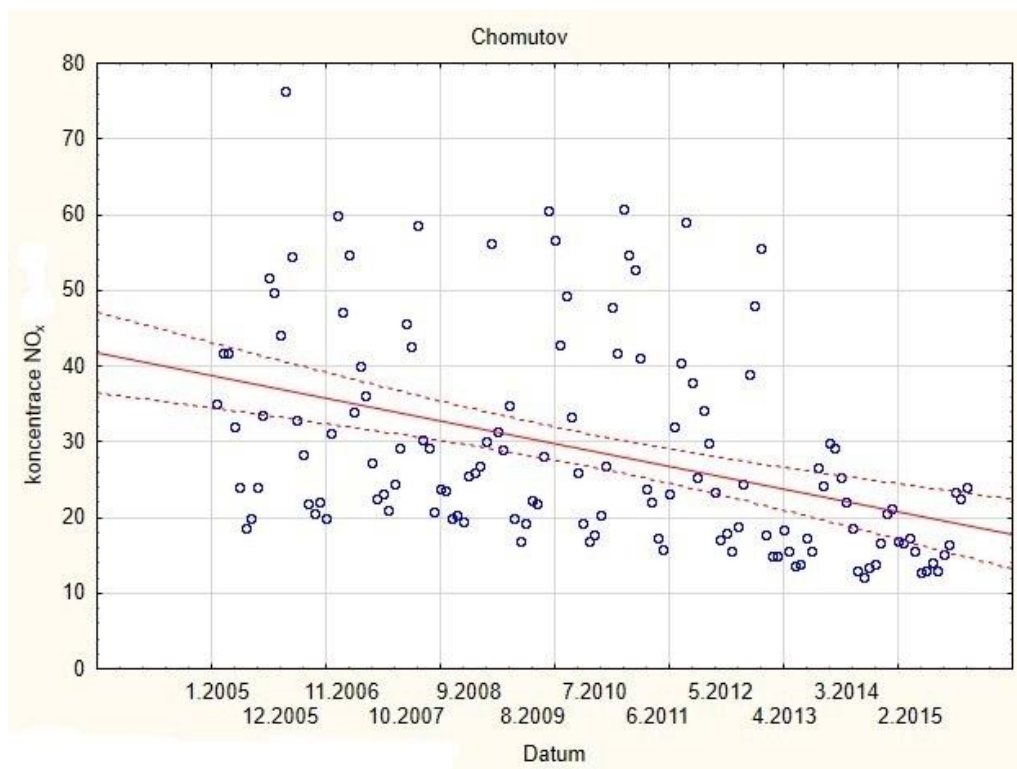
Tab. č. 10: Roční koncentrace NO_x v Ústeckém kraji vypočtené použitými metodami

Tab. č. 11: Roční koncentrace SO₂ v Ústeckém kraji vypočtené použitými metodami

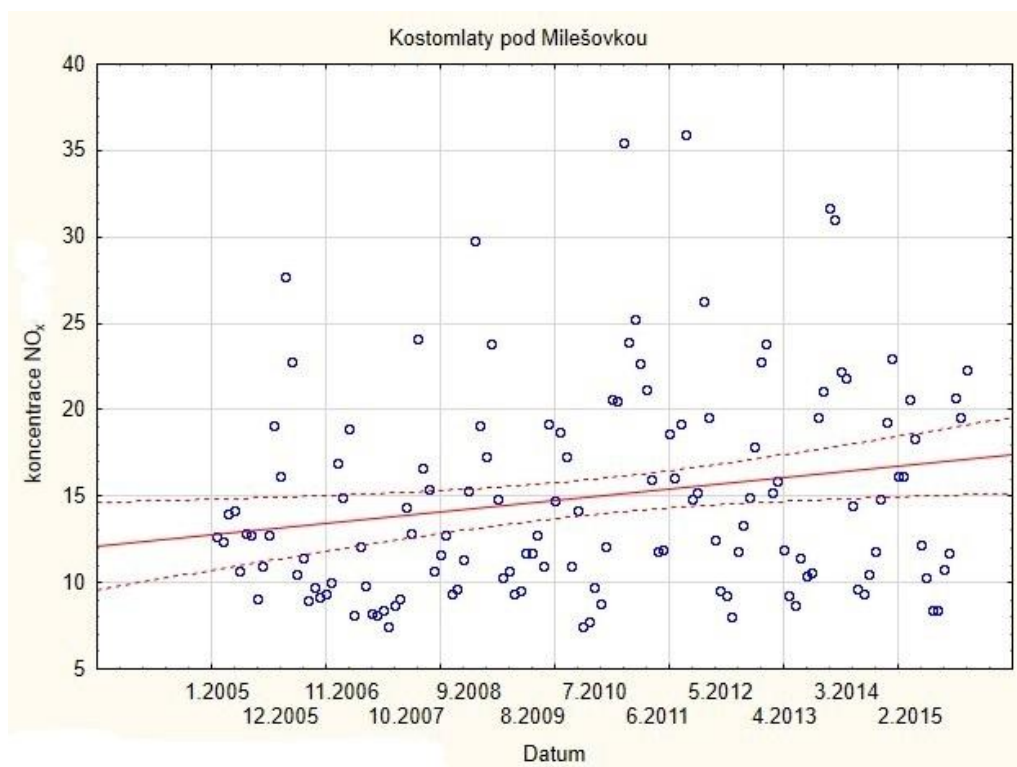
10. SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: Trendy v časových řadách koncentrací NO_x v Chomutově
- Příloha č. 2: Trendy v časových řadách koncentrací NO_x v Kostomlatech pod Milešovkou
- Příloha č. 3: Trendy v časových řadách koncentrací SO_2 v Děčíně
- Příloha č. 4: Trendy v časových řadách koncentrací SO_2 v Kostomlatech pod Milešovkou
- Příloha č. 5: Trendy v časových řadách koncentrací SO_2 v Ústí nad Labem
- Příloha č. 6: Mapa Thiessenových polygonů pro NO_x v roce 2010
- Příloha č. 7: Mapa Thiessenových polygonů pro NO_x v roce 2015
- Příloha č. 8: Mapa Thiessenových polygonů pro SO_2 v roce 2010
- Příloha č. 9: Mapa Thiessenových polygonů pro SO_2 v roce 2015
- Příloha č. 10: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2010
- Příloha č. 11: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2015
- Příloha č. 12: Prostorová koncentrace SO_2 na území Ústeckého kraje v roce 2010
- Příloha č. 13: Prostorová koncentrace SO_2 na území Ústeckého kraje v roce 2015

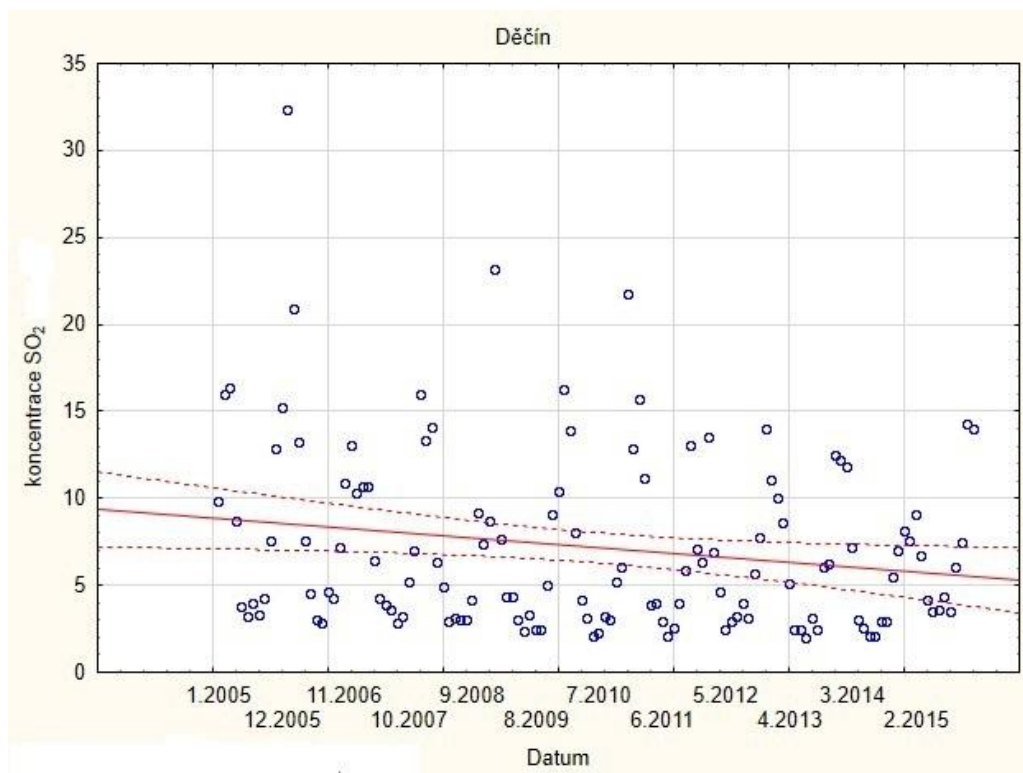
PŘÍLOHY



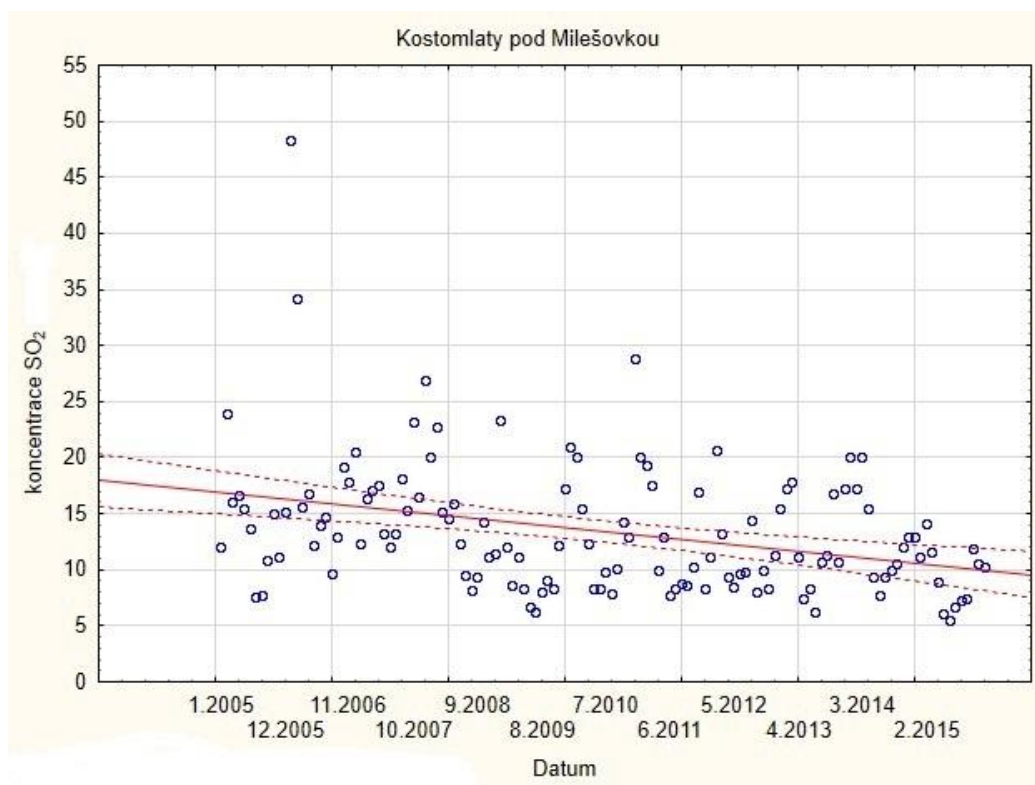
Příloha č. 1: Trendy v časových řadách koncentrací NO_x v Chomutově



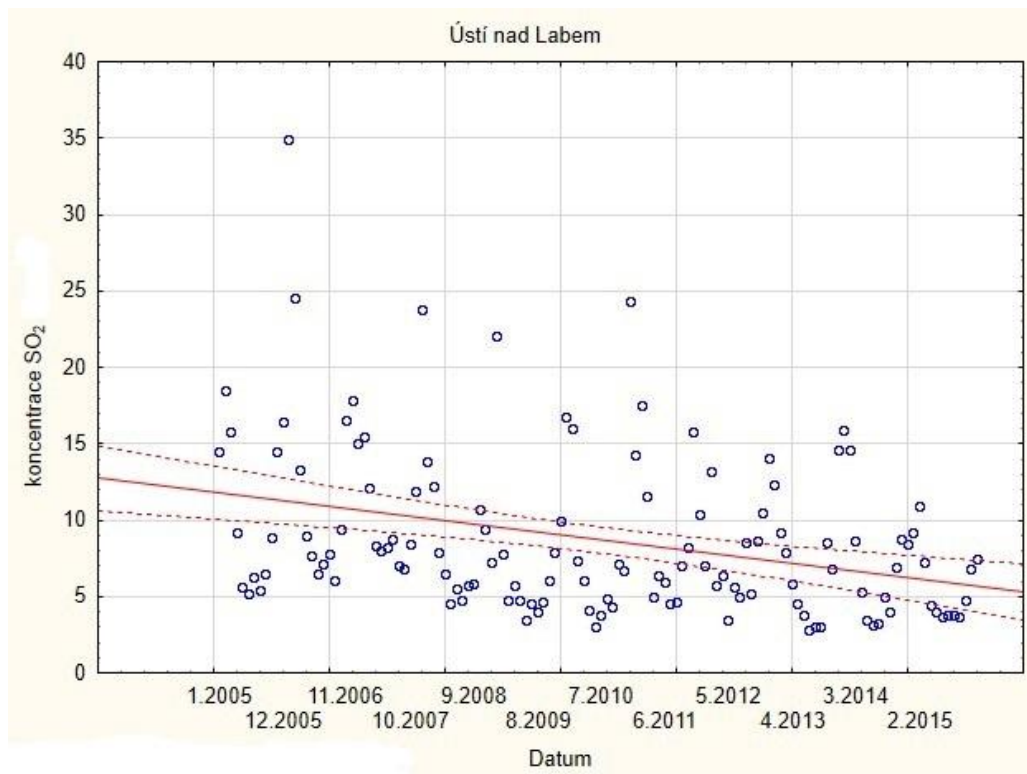
Příloha č. 2: Trendy v časových řadách koncentrací NO_x v Kostomlatech pod Milešovkou



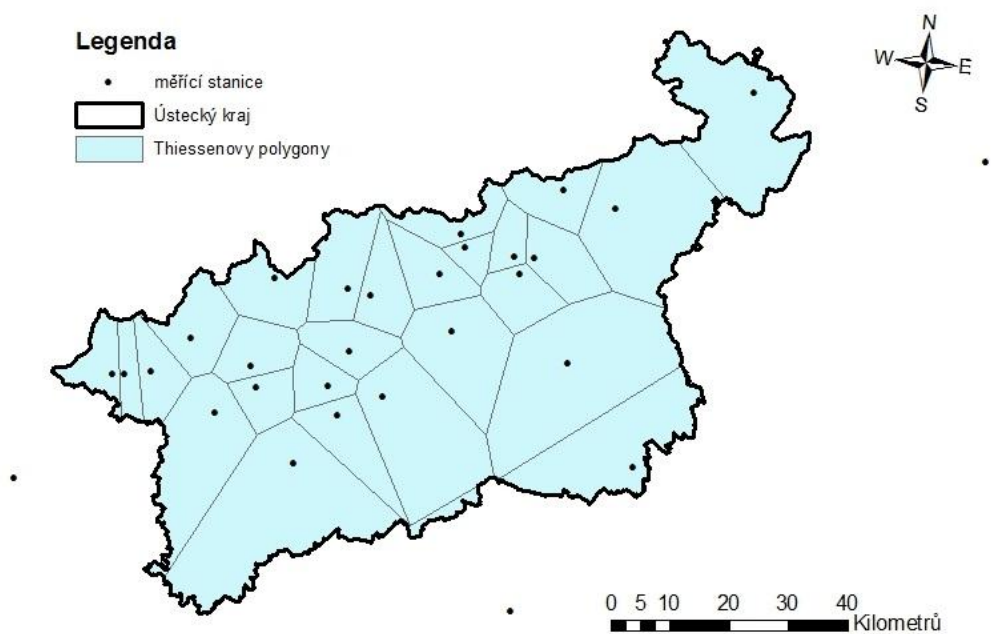
Příloha č. 3: Trendy v časových řadách koncentrací SO₂ v Děčíně



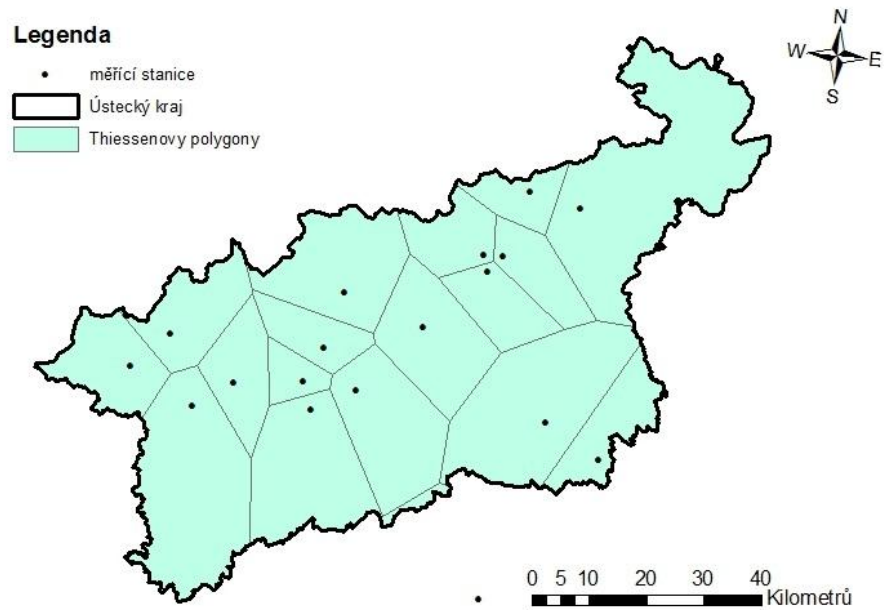
Příloha č. 4: Trendy v časových řadách koncentrací SO₂ v Kostomlatech pod Milešovkou



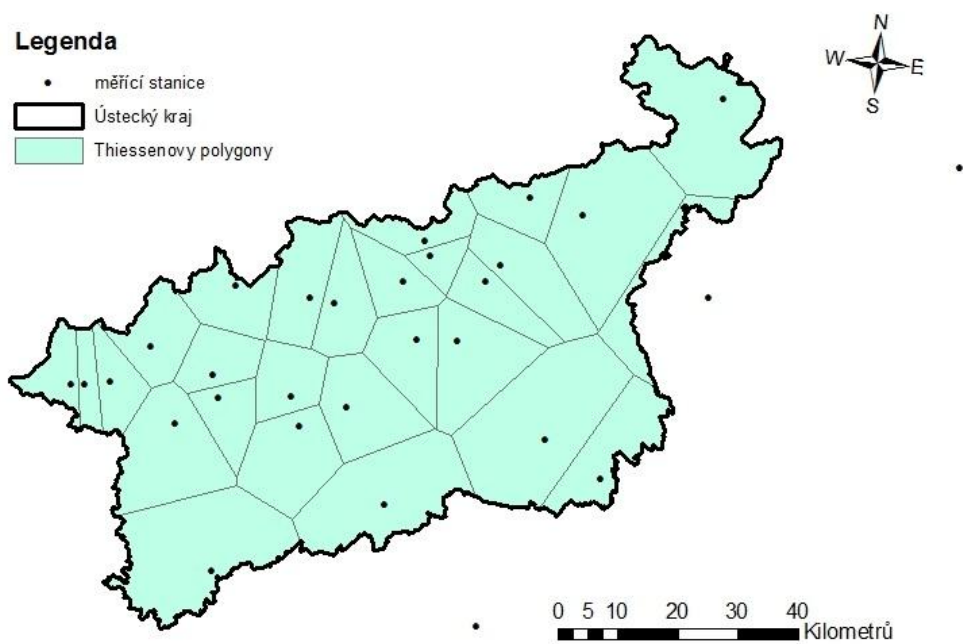
Příloha č. 5: Trendy v časových řadách koncentrací SO₂ v Ústí nad Labem



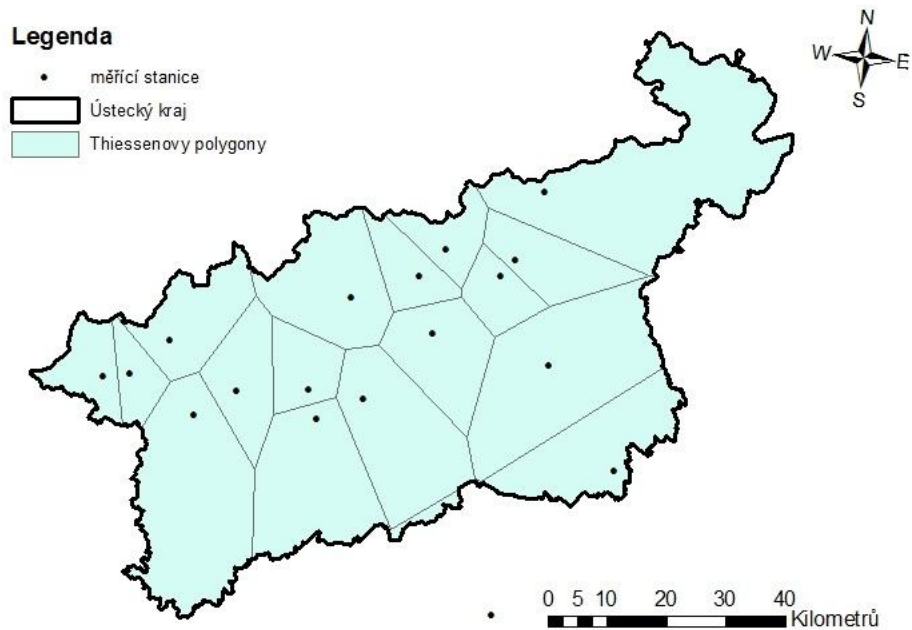
Příloha č. 6: Mapa Thiessenových polygonů pro NO_x v roce 2010



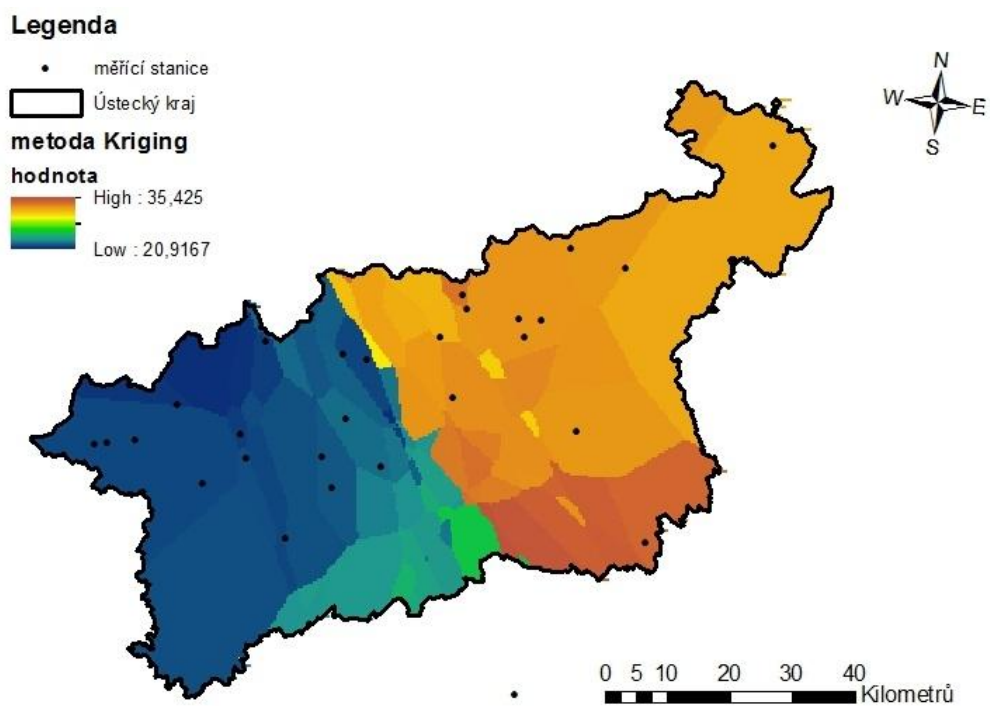
Příloha č. 7: Mapa Thiessenových polygonů pro NO_x v roce 2015



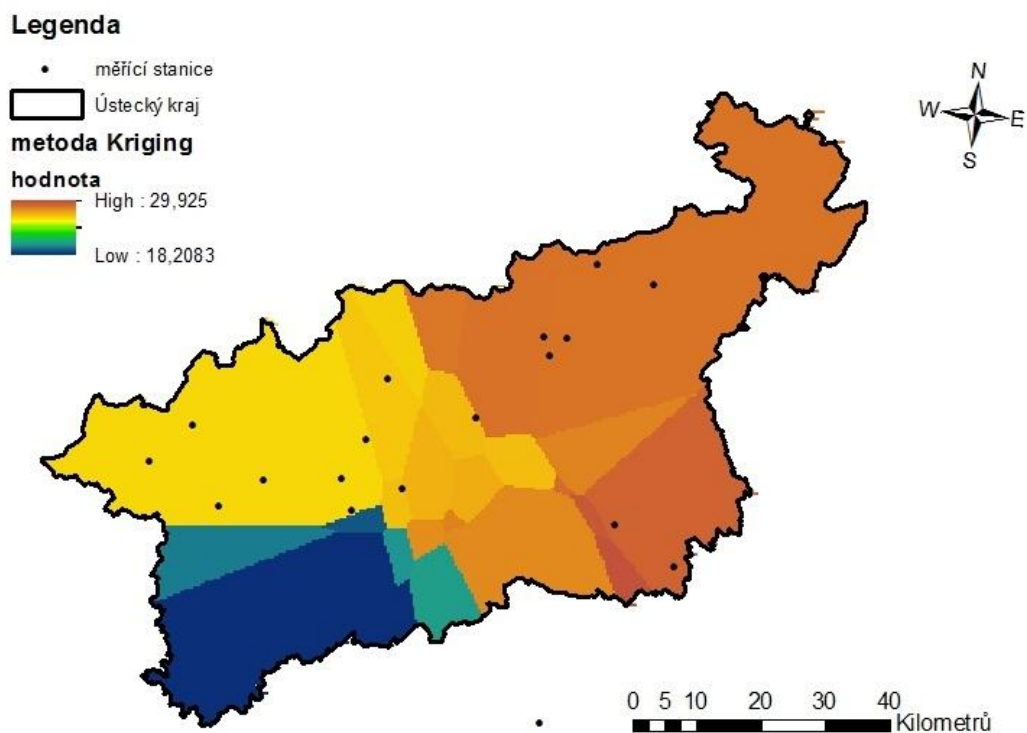
Příloha č. 8: Mapa Thiessenových polygonů pro SO₂ v roce 2010



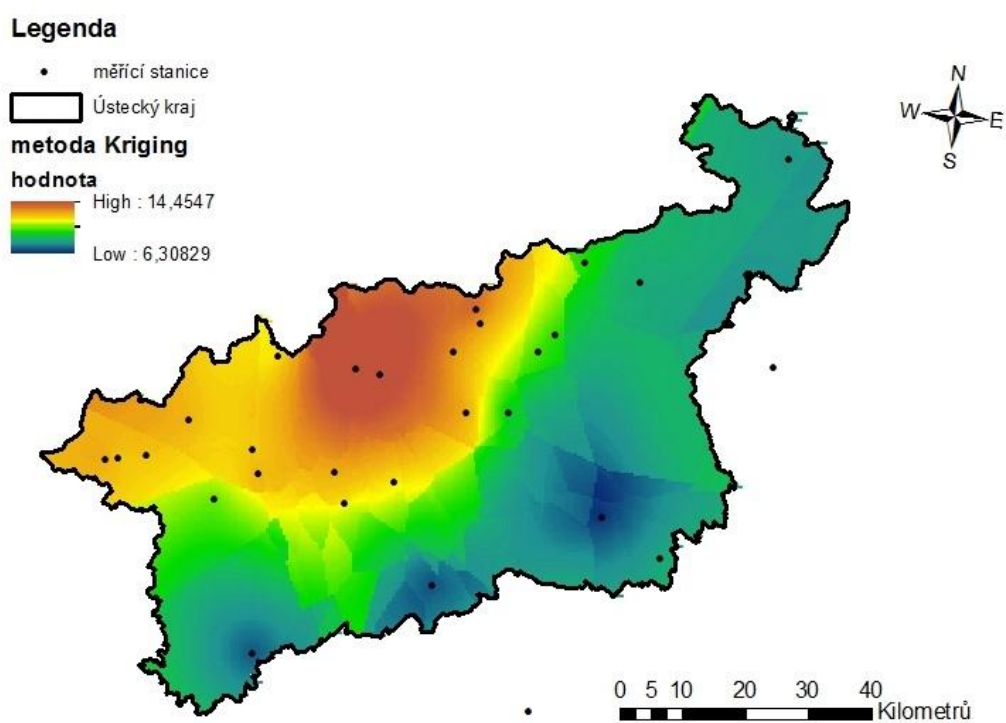
Příloha č. 9: Mapa Thiessenových polygonů pro SO₂ v roce 2015



Příloha č 10: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2010



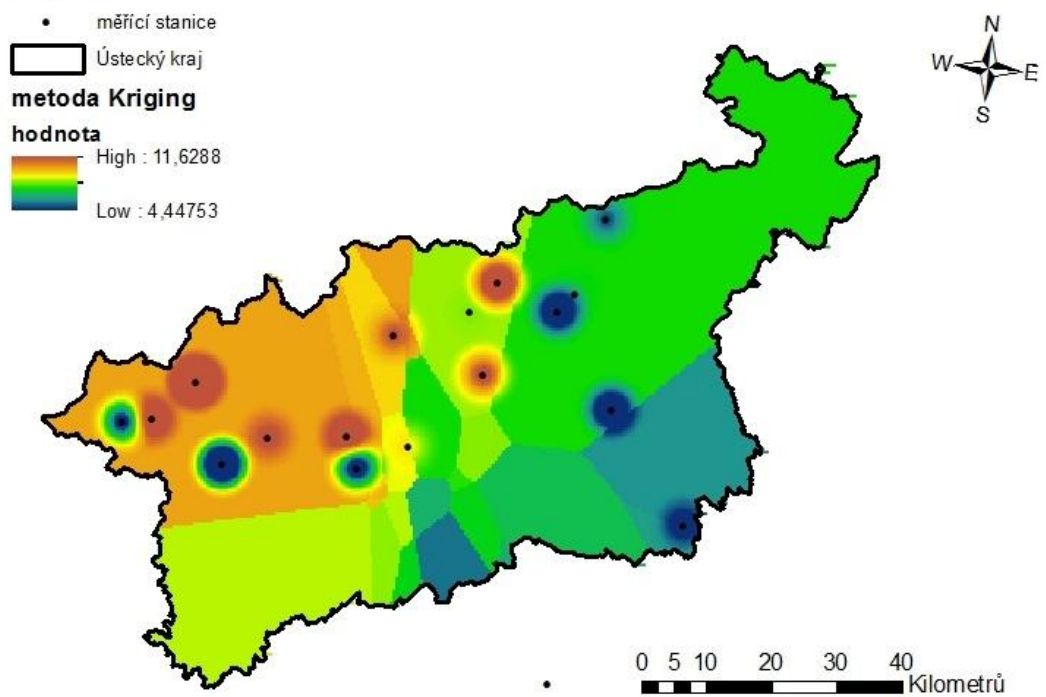
Příloha č. 11: Prostorová koncentrace NO_x na území Ústeckého kraje v roce 2015



Příloha č. 12: Prostorová koncentrace SO_2 na území Ústeckého kraje v roce 2010

Legenda

- měřicí stanice
 - ▭ Ústecký kraj
- metoda Kriging**
- hodnota**
- High : 11,6288
 - Low : 4,44753



Příloha č. 13: Prostorová koncentrace SO₂ na území Ústeckého kraje v roce 2015