

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Krajinového managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Porovnání vývoje atmosférické depozice dusíku a fosforu  
v různých oblastech ČR**

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

Autor diplomové práce: Bc. Jitka Suchá

České Budějovice, duben 2014

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jitka SUCHÁ**  
Osobní číslo: **Z12712**  
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Porovnání vývoje atmosférické depozice dusíku a fosforu v různých oblastech ČR**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

### Zásady pro vypracování:

Rešerše na dané téma.

Výběr vhodných datových souborů ve spolupráci s ČHMÚ.

Porovnání depozice mezi jednotlivými regiony ČR.

Analýza časových řad depozic - trendy, sezónnosti.


Prostorová analýza depozice dusíku v ČR.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **55 stran textu**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:


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: **4. března 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 02 České Budějovice

  
doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

**Prohlášení:**

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 výsledku 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 .....

.....

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svým blízkým a rodičům za všestrannou pomoc a podporu.

Dále bych především chtěla poděkovat svému vedoucímu Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při tvorbě mé diplomové práce.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním vývoje atmosférické depozice dusíku a fosforu v různých oblastech České republiky. V práci je vysvětlen vznik atmosférické depozice a s tím i související pojmy jako zdroj znečištění, emise, imise či oxidy dusíku. Dále jsou zde uvedeny typy atmosférické depozice, odběr vzorků a postup při zjišťování velikosti atmosférické depozice. Práce popisuje metody, kterých bylo použito při výpočtech či vyhodnoceních. Dále se zabývá výběrem vhodných měřících stanic ke zpracování vývoje atmosférické depozice dusíku. Atmosférické depozice fosforu se na území ČR v daném období od roku 2000 do roku 2010 neměřily. Cílem této práce je nalezení trendů v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  a statistického vyhodnocení vývoje atmosférické depozice dusíku. Pro tyto kapitoly byly vybrány koncentrace oxidů dusíku v krajských městech ČR. V kapitole prostorové analýzy koncentrací oxidů dusíku je vybrán Ústecký kraj, především kvůli tomu, že tato oblast se vyznačuje významně vysokou atmosférickou depozicí dusíku a celkovým znečištěním ovzduší. V literatuře se často objevuje pod pojmem oblast Černého trojúhelníka.

**Klíčová slova:** zdroje znečištění, imise, emise, atmosférická depozice, oxidy dusíku, metoda IDW, Thiessenovy polygony

## **ABSTRACT**

This thesis engages a comparison of the development of atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus in different regions of the Czech Republic. The work explains the formation of atmospheric deposition and related terms such as the source of pollution, emissions, air pollution and nitrogen oxides. There are stated types of atmospheric deposition, sampling procedure and the process of determining the size of atmospheric deposition. This work describes the methods that were used in the calculations and evaluations. It also deals with the selection of suitable measuring stations for processing the development of atmospheric nitrogen deposition. The atmospheric deposition of phosphorus were not measured in the territory of the Czech Republic in the period from 2000 to 2010. The aim of this work is to find trends in time series of concentrations of  $\text{NO}_x$  and statistical evaluation of the development of atmospheric nitrogen deposition. For these chapters were selected concentration of nitrogen oxides in the regional towns of the Czech Republic. In the chapter of spatial analyzes of the concentration of nitrogen oxides is selected Ústecký kraj, mainly due to the fact that this area is characterized by significantly high atmospheric deposition of nitrogen and total air pollution. A term the Black Triangle is often used for this location.

**Keywords:** pollution sources, air pollutions, emissions, atmospheric deposition, nitrogen oxides, IDW method, Thiessen polygons

## OBSAH:

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>2. LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>8</b>
2.1 Význam pojmu atmosférická depozice .....	8
2.2 Faktory ovlivňující atmosférickou depozici .....	9
2.2.1 Zdroje znečištění .....	9
2.2.2 Emise .....	11
2.2.3 Imise .....	13
2.3 Historický pohled na atmosférickou depozici .....	14
2.4 Vznik atmosférické depozice .....	15
2.5 Typy atmosférické depozice .....	17
2.5.1 Mokrá atmosférická depozice .....	18
2.5.1.1 Horizontální mokré depozice .....	19
2.5.1.2 Vertikální mokré depozice .....	21
2.5.2 Suchá atmosférická depozice .....	22
2.5.3 Kyselá atmosférická depozice .....	23
2.6 Hodnoty depozice dusíku a fosforu .....	25
2.7 Odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti depozice .....	27
2.7.1 Mokrá depozice .....	28
2.7.2 Suchá depozice .....	30
2.8 Dusík.....	32
2.8.1 Cyklus dusíku .....	32
2.8.2 Oxidy dusíku .....	33
2.9 Fosfor.....	34
2.9.1 Cyklus fosforu .....	35
2.10 Atmosférická depozice v České republice .....	36
2.11 Staniční sítě sledování atmosférické depozice v České republice .....	37
<b>3. MATERIÁL</b> .....	<b>40</b>
3.1 Sběr dat .....	40
<b>4. METODY</b> .....	<b>48</b>
4.1 Použité metody .....	48
4.1.1 Metoda vážené inverzní vzdálenosti - IDW .....	49
4.1.2 Thiessenovy polygony.....	49
4.1.3 Statistické metody .....	50



<b>5. VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>53</b>
5.1 Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v krajských městech České republiky od roku 2000 do roku 2010 .....	53
5.2 Statistické vyhodnocení porovnání koncentrací oxidů dusíku v krajských městech ČR za desetiletí .....	63
5.3 Prostorová analýza depozice dusíku v Ústeckém kraji .....	69
5.3.1 Thiessenovy polygony .....	69
5.3.2 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW) .....	72
5.3.3 Porovnání použitých metod prostorové analýzy na území Ústecké kraje .....	76
<b>6. ZÁVĚR</b> .....	<b>79</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ</b> .....	<b>80</b>
<b>8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ</b> .....	<b>87</b>
<b>9. SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>89</b>

## 1. Úvod

Atmosféra je tvořena ze směsi dusíku a kyslíku. Toto složení si atmosféra zachovává už několik milionů let. V posledních dvou stoletích se ale koncentrace některých dalších složek měnila vlivem znečišťování ovzduší. Jeho kvalita se snižuje nejen díky cizorodým látkám, které unikají do ovzduší, ale také v samotném prostředí, kde se obvyklé látky vyskytují ve větším množství, než je považováno za přirozené. Atmosférické srážky přispívají díky vymývání atmosféry ke vzniku procesů zvaných kyselá deště. Působením kyselých dešťů dochází k okyselování půdy, poškozování vegetace a dochází k eutrofizaci vod. Pozitivním vlivem atmosférické depozice je, že odstraňuje látky, které jsou do atmosféry emitovány nebo zde mohou vzniknout působením různých chemických reakcí. Pro ostatní ekosystémy ale představují významný zdroj znečišťujících látek. Na území České republiky je atmosférická depozice sledována na 50 lokalitách. Emitované látky do ovzduší výrazně přispívají k naměřeným hodnotám atmosférické depozice. Zejména oxidy dusíky, které jsou v poměrně velkém množství emitovány do ovzduší, se následně poté podílejí na spadu kyselých dešťů v atmosférické depozici. V posledních desetiletích je snahou omezovat vypouštění emisí či přispívat k vylepšování metod, jak tomuto vypouštění tak velkých koncentrací oxidů dusíku předejít.

Atmosférická depozice je závislá na zdrojích znečištění, ať už jsou přirozeného, nebo antropogenního původu. I z tohoto hlediska jsou na území České republiky místa, která jsou více či méně postižena především kyselou atmosférickou depozicí. Mezi oblasti s vysokým výskytem atmosférické depozice je oblast Černého trojúhelníka, která byla také pro porovnání během deseti let vybrána.

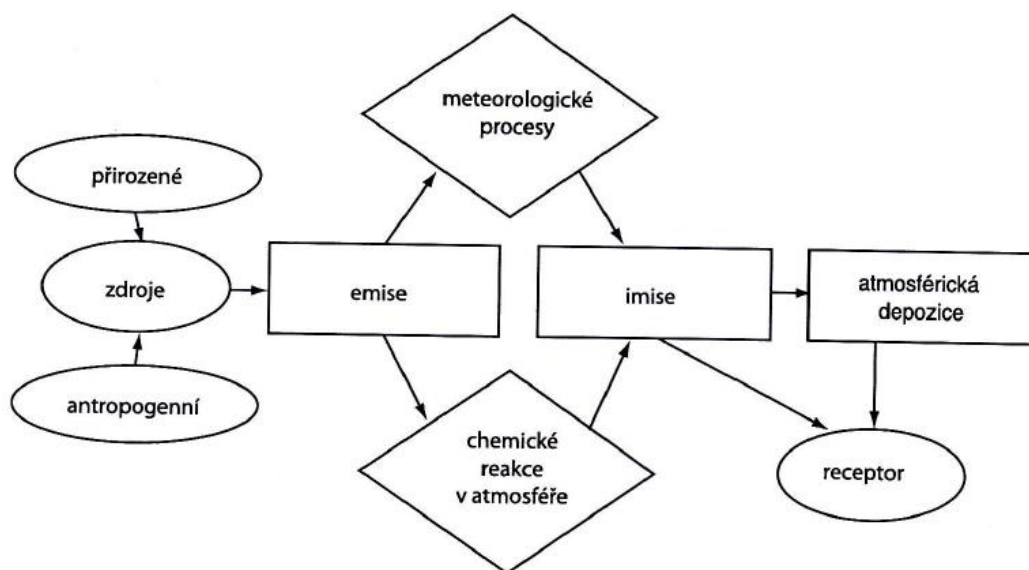
Cílem této diplomové práce je porovnání jednotlivých krajských měst a jejich koncentrací  $\text{NO}_x$  po dobu jednoho desetiletí. Dále pak nalezení průkazných trendů v charakteristikách koncentrací oxidů dusíku krajských měst od roku 2000 do roku 2010. A v neposlední řadě zde byla provedena prostorová analýza atmosférické depozice dusíku v Ústeckém kraji metodou IDW a Thiessenovými polygony za roky 2000, 2005 a 2010. Z nich byly vypočteny průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  v jednotlivých letech a ty byly mezi sebou následně porovnány.

## 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Význam pojmu atmosférická depozice

V rámci dějů, kterým podléhají látky v atmosféře od počáteční emise látky ze zdroje přes dálkový přenos a rozptyl v důsledku meteorologických procesů, transformace v důsledku chemických reakcí, představuje atmosférická depozice významný propad (anglicky „sink“) látek z ovzduší (HŮNOVÁ, 2009). Pojem atmosférická depozice označuje proces přestupu (transportu) látek v plynném, kapalném a tuhém skupenství z atmosféry na zemský povrch (do dalších částí ekosystému). Její studium má zásadní význam pro poznání škod, které způsobuje znečištění atmosféry na ekosystémech (VYSOUDIL, 2002).

Atmosférické depozici je dlouhodobě věnována značná pozornost, neboť touto cestou je vnášeno do životního prostředí velké množství znečišťujících látek (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006), zejména jde o látky kyselého charakteru (MOLDAN, 1992).



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

(Zdroj: HŮNOVÁ, 2009).

Atmosférická depozice je významným procesem, který se výraznou měrou podílí na samočištění atmosféry (SEINFELD A PANDIS, 1998). Odstraňuje látky, které jsou do atmosféry emitovány nebo které zde vznikají v důsledku chemických reakcí (HŮNOVÁ, 2009). Atmosférická depozice zahrnuje mnoho různých typů látek, nekyselých i kyselých (ÚVTIZ, 1986).

## 2.2 Faktory ovlivňující atmosférickou depozici

### 2.2.1 Zdroje znečištění

Čistý vzduch, neobsahující žádný prach ani plynné, popřípadě kapalné znečišťující látky, je ideálním pojmem a v přírodě se nevyskytuje (HOLOUBEK A KOMÁREK, 1982).

Termín znečištění pochází z latinského slova *polluere* a znamenal zašpinit, umazat. Znečištění může být definováno jako nežádoucí změna ve fyzikálním, chemickém a biologickém charakteru v ovzduší. Primárním zdrojem znečištění je mokrá a suchá atmosférická depozice, doprava a nahromaděné odpadky (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Problematika znečištění ovzduší je stále aktuálnější, neboť následky přímé či nepřímé pociťuje každý obyvatel naší planety. Disciplína chemie ovzduší se proto neustále vyvíjí a v průběhu času dochází i ke změnám interpretací některých chemických dějů v atmosféře probíhajících a zejména jejich možných dopadů (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010).

Znečištění ovzduší může mít přímý i nepřímý vliv na lidské zdraví, a to jak krátkodobě, tak dlouhodobě (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Vnášení nečistot do ovzduší nazýváme znečišťováním ovzduší nebo též emisí. Tímto pojmem tedy označujeme činnost neboli děj. Naproti tomu pojem znečištění ovzduší, vyjadřující obsah neboli imisi, označujeme určitý stav, k němuž došlo v důsledku znečišťovacího děje (HOLOUBEK A KOMÁREK, 1982).

Ovzduším jsou znečišťující látky přenášeny (transportovány) od zdrojů k příjemcům, v ovzduší také dochází k jejich změnám na látky jiné, mnohdy nebezpečnější než původní látky. Obsah znečišťujících látek v ovzduší v přízemních vrstvách atmosféry je rozhodující pro míru jejich působení na příjemce. Následkem znečišťování ovzduší je tak působení znečišťujících látek na příjemce – člověka, faunu, flóru, vodu, půdu, stavby (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Nejrozšířenějším zdrojem znečištění vzduchu v průmyslově vyspělých zemích je pět skupin primárních škodlivin: oxid uhelnatý, oxidy dusíku, oxid siřičitý, těkavé organické sloučeniny, celkové rozptýlené pevné částice (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

Látky znečišťující atmosféru jsou hmotné látky tuhého, kapalného nebo plynného skupenství, které buď přímo, nebo sekundárně (tj. v důsledku chemismu atmosféry) vedou k nepříznivým změnám přirozeného složení atmosféry (HOLOUBEK A KOMÁREK, 1982).

Zdroje znečištění můžeme rozdělit do dvou skupin na přírodní a antropogenní (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Z hlediska ochrany životního prostředí jsou podstatné především zdroje znečištění produkovaných lidskou činností. V zásadě je rozdělujeme na zdroje stabilní (komín, technologický celek) a zdroje mobilní (motorová vozidla, letadla) (HOLOUBEK A KOMÁREK, 1982).

HOLOUBEK (1990) uvádí charakteristiku zdrojů znečištění atmosféry z několika hledisek:

- z hlediska původu znečištění rozlišujeme zdroje přírodní a antropogenní,
- z hlediska rozložení zdrojů znečištění v prostoru rozlišujeme zdroje bodové, lineární, plošné a mobilní,
- z hlediska časového průběhu znečištění rozlišujeme zdroje okamžité (přechodné, dodávající za určitý časový interval do ovzduší určité množství škodlivin a poté přerušující činnost) a kontinuální (stálé, působící spojitě v čase),
- z hlediska místa vzniku rozlišujeme primární znečišťování (tj. úlet znečišťujících látek ze zdrojů, tedy emise) a sekundární znečišťování (tj. chemické změny, jimiž prochází většina znečišťujících látek během rozptylu a transportu v atmosféře),
- z hlediska rozsahu znečištění rozlišujeme zdroje lokální, regionální a globální.

Lokální znečištění ovzduší se týká městských a průmyslových oblastí. Je sice relativně omezeného rozsahu plošného, přesto významně ovlivňuje zdraví a život obyvatelstva, zejména v podobě různých smogových situací. Znečištění regionálního rozsahu zasahuje spodní vrstvu ovzduší celých územních celků až částí kontinentů. Příkladem takového znečištění jsou kyselé srážky v důsledku znečištění atmosféry oxidy dusíku a síry. Globální znečištění se týká celé atmosféry obklopující Zemi. Projevuje se ve změně složení atmosféry jako celku a způsobuje problémy týkající se celé Zeměkoule (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010).

#### Přirozené zdroje

Znečišťující plyny a částice tvoří jen nepatrnou část atmosféry a většina z nich má přírodní původ (SKOK, 2003). Mezi přirozené zdroje patří např. sopečná či bakteriální činnost, prašné bouře (BRANIŠ, 2009), půdní a prachové částičky, jemné krystalky mořských solí, částice vulkanického popela, částice organického původu (pylová zrna, výtrusy, spóry, bakterie, malá semínka rostlin, produkty rozkladu organických látek), produkty vznikající při hoření meteoritů, kosmický prach proniklý do ovzduší Země apod. (BEDNÁŘ, 1989).

## Antropogenní zdroje

Vedle těchto příměsí přirozeného původu je třeba zmínit se i o příměsích antropogenní povahy, které se do atmosféry dostávají jako přímý nebo nepřímý produkt činnosti člověka a mohou mít plynné, kapalně nebo tuhé skupenství (BEDNÁŘ, 1989). Antropogenními zdroji rozumíme veškeré zdroje související s lidskou činností, tedy výrobu elektřiny, tepla, průmyslovou a zemědělskou výrobu, dopravu a likvidaci odpadu (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004), výrobu energie a průmysl (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Automobilová doprava představuje jeden z hlavních zdrojů znečišťování atmosféry. Celkově se motorová vozidla podílejí jednou třetinou na veškerých emisích znečišťujících plynů (SKOK, 2003). Hlavní příčina nadměrného znečišťování atmosféry, zejména troposféry, je produkce znečišťujících látek průmyslovou činností. Jejich odstraňování nebo alespoň maximální snižování jejich produkce je klíčovým problémem při ochraně čistoty ovzduší (VYSOUDIL, 2002). Rozvoj průmyslových činností během posledních dvou staletí značně zvýšil koncentraci těchto látek v ovzduší (SKOK, 2003). Plynné příměsi antropogenního původu tvoří nejzávažnější hygienický a ekologický problém, které mají katastrofální dopad (zdevastované lesy...) (VYSOUDIL, 2006).

Podle uspořádání dělíme zdroje na bodové, liniové, plošné a objemové (BRANIŠ, 2009). Emise z bodových zdrojů jsou např. komíny (HOWELLS, 1990), lineárním zdrojem může být doprava na dálnici či řece (BRANIŠ, 2009). Plošné zdroje emisí nepocházejí z jednotlivých komínů, jde naopak o uvolňování emisí na velké ploše. Typickým příkladem jsou průmyslové procesy v rafinériích ropy, ale i vytápění domácností malými topeništi rozptýlenými po velké ploše. Bodové zdroje jsou ty, které uvolňují emise z jasně definovaného místa, jako je kouřovod (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). O zdroji objemovém lze hovořit v souvislosti s katastrofami (jaderný výbuch apod.) (BRANIŠ, 2009).

### 2.2.2 Emise

Znečišťující příměsi, tak jak jsou vypouštěné ze zdrojů, se označují jako emise (VYSOUDIL, 2002). Emise v obecném slova smyslu zahrnuje řadu různých činností zamožujících zemskou atmosféru (tuhými, kapalnými i plynnými škodlivinami, škodlivým elektromagnetickým zářením, hlukem, teplotou atd.). V užším slova smyslu se jimi rozumí vypouštění (vnášení) hmotných látek tuhého, kapalného nebo plynného skupenství ze zdrojů do ovzduší, které buď přímo, nebo po chemických

změnách v atmosféře, popřípadě ve spolupůsobení s jinou látkou (synergicky) negativně ovlivňují životní prostředí (HOLOUBEK A KOMÁREK, 1982).

Moderní průmyslově vyspělé společnosti spotřebují velké množství přírodních zdrojů a energie k výrobě zboží a služeb pro obyvatelstvo. Téměř veškerá tato činnost je spojena s vypouštěním emisí do ovzduší. Spalování paliva při výrobě je největší stacionární zdroj exhalátů v průmyslovém světě. Je to primární zdroj emisí oxidu siřičitého a velký zdroj oxidů dusíku. Mobilní zdroje emisí jsou všechny druhy dopravy (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). A i když při používání automobilů bylo dosaženo výrazného snížení emisí (využití katalyzátorů snižujících výrazně emise NO a CO a související pokles využívání tetraethylolova), problémem zůstává významný nárůst dopravy ve všech světových regionech (BRANIŠ, 2009). Při procesech spalování uhlí nebo dopravě, vznikají emise oxidu siřičitého a oxidu dusíku, které způsobují fenomén zvaný kyselý déšť (NOVOTNY A CHESTERS, 1981).

Negativní dopady nejsou spojené jen s antropogenními emisemi, ale často i s emisemi přírodními (příkladem mohou být přirozené emise těkavých organických sloučenin a jejich role v tvorbě ozonu v mezní vrstvě atmosféry). Do atmosféry se látky mohou dostat přímo, nebo jako v případě mnoha persistentních organických látek nepřímo, když jsou uvolněny například do půdy nebo do vody a po přenosu mezi různými složkami prostředí se nakonec uvolní do atmosféry (například erozí z půdy nebo vypařováním z půdy nebo z vody) (BARTOŇOVÁ, 2009). Dusíkaté sloučeniny z přirozených a antropogenních zdrojů byly do nedávné doby srovnatelné (HOWELLS, 1990).

Přes 70 % Evropanů žije v městských oblastech a ochrana ovzduší ve městech při současném zachování všech nutných činností představuje zásadní problém (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Mezi emisemi nejzatíženější oblasti České republiky patří stále tradiční oblasti, kterými jsou území hlavního města Prahy, severočeská a severomoravská oblast (VYSOUDIL, 2002). Mezi deseti největšími znečišťovateli je sedm uhelných elektráren – z toho pět provozovaných společností ČEZ, jeden chemický a dva metalurgické provozy. První desítka nese odpovědnost za 44 milionů tun emisí, tedy zhruba třetinu celkového českého znečištění (KOTECKÝ A POLANECKÝ, 2005). Emise síry a dusíku jsou hlavními zdroji kyselé depozice (HOWELLS, 1990). Srovnáme-li emise NO<sub>x</sub> ze zdrojů přirozených a antropogenních, je překvapující, že se pohybují ve stejném řádu. Emisní koncentrace jsou mnohem vyšší v oblastech s intenzivní lidskou činností než v oblastech odlehlých a od zdrojů vzdálených (BRANIŠ, 2009).

Ochranou vnějšího ovzduší se rozumí komplexní soubor opatření technických (technologických, surovinových, omezujících, územně technických a zajišťujících rozptyl znečišťujících látek), tak administrativních (legislativních, správních, organizačních, koncepčních, kontrolních, ekonomických aj.), která směřují buď přímo nebo nepřímo ke zmírnění, zastavení růstu nebo dokonce ke snížení úrovně znečišťování ovzduší s postupujícím rozvojem průmyslu, automobilismu a jiných jevů ovlivňujících znečišťování (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Sledování kvality ovzduší v České republice v současnosti představuje imisní a emisní monitoring čistoty atmosféry (VYSOUDIL, 2002).

Přirozené a antropogenní zdroje dusíku ve světovém měřítku jsou zhruba stejné. Ve středních šířkách severní polokoule činí antropogenní podíl asi 80% z celkových emisí: v městsko-průmyslových aglomeracích může být antropogenní podíl ještě větší (JONÁŠ, 1985).

### **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...), označujeme jako imise (BRANIŠ, 2009). Imise prošly procesem prostorového rozptylu od svých zdrojů do okolí. Při tom u nich obvykle došlo k řadě fyzikálních a chemických změn (VYSOUDIL, 2002).

Atmosférické imise jsou prostřednictvím depozice přenášeny do jiných složek prostředí (půda, voda...) (BRANIŠ, 2009). Znečištění ovzduší znamená přítomnost těchto látek v ovzduší – imise – v takové míře a době trvání, že se projevuje jejich nepříznivý vliv na životní prostředí. Znečištění tedy označuje stav, který je důsledkem původního děje. Mírou znečištění je množství imisí jednotlivých látek v daném místě nebo oblasti v přízemní vrstvě atmosféry (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Imise škodlivých látek ve vrstvách vzduchu poblíže povrchu půdy přestupují v menší nebo větší míře do půdy, vody nebo na rostliny a jsou označovány jako depozice. Mechanismus depozic závisí především na stavu agregace jednotlivých imisních komponent, jejich fyzikálně-chemických vlastnostech, zejména reaktivnosti a rozpustnosti, dále na aerodynamické a meteorologické situaci v atmosféře i na vlastnostech akceptorů (JONÁŠ, 1985).

Imisí se stává emise po přenosu, rozptýlení a po fyzikálně-chemických reakcích, do nichž v atmosféře vstupuje. Množství imise (koncentrace) se vyjadřuje v ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) nebo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (BRANIŠ, 2009), popř. hmotností příměsi na 1 kg vzduchu.



Často se též setkáváme, zvláště v odborné literatuře, s jednotkami ppm (pars per milion), příp. ppb (pars per billion), které označují poměr objemu znečišťujících příměsí k objemu směsi (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Stav znečištění České republiky oxidy dusíku dosahoval na 76 % území průměrných ročních hodnot do  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a na 96 % území maximálně  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (VYSOUDIL, 2002).

Zákonodárny systém České republiky postihuje emise škodlivin do ovzduší pomocí zákona 86/2002 a pomocí nařízení vlády 350/2002 k tomuto zákonu rovněž 12 látek v imisích (z toho 2 organické) (VÍDEN, 2005).

### **2.3 Historický pohled na atmosférickou depozici**

Kyselý déšť se často považuje za problém vzniklý v posledních letech (ÚVTIZ, 1986), ale kyselé srážky nejsou novým fenoménem. Tento jev se projevuje přibližně už 3 století (SEINFELD A PANDIS, 1998). Význam kyselé atmosférické depozice je však možné datovat již v roce 1872 v publikaci Anguse Smithe s názvem *Air and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology* (MOLDAN, 1991). Smith, anglický chemik, který zřejmě jako první analyzoval chemické složení deště v souvislosti s průmyslem v Británii, popsal 3 druhy příměsí ve vzduchu - s uhlíčanem amoniaku ve volných oblastech, se síranem amoniaku na předměstích a s kyselinou sírovou ve městech (HOWELLS, 1990). Prof. J. Stoklasa se zabýval složením atmosférických srážek již v roce 1883 až 1884. Upozorňoval, že "kouřové škody budou den ze dne stoupat" a vyzýval vlády jednotlivých zemí, aby daly podnět k zahájení výzkumu znečištění ovzduší a aby byly stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty pro koncentraci škodlivých látek (ÚVTIZ, 1986).

Atmosférická depozice je velmi významným ekologickým činitelem. Švédští vědci Rossby a Egnér zahájili na začátku padesátých let výzkum Air Chemistry Network (ERIKSSON, 1970). Až v roce 1961 švédský chemik Svante založil ve Skandinávii monitorovací síť pro chemismus povrchových vod. Na základě svých měření popsal kyselý déšť jako fenomén regionálního měřítka vyskytující se ve značné části Evropy. Hlavním základem našeho současného poznání kyselého deště a jeho důsledků jsou práce Evilla Gorhama. Prokázal v roce 1955, že acidita srážek v blízkosti průmyslových oblastí je způsobena emisemi ze spalovacích procesů, že zvyšující se acidita povrchových vod je způsobena srážkami (HŮNOVÁ, 2009). Od konce 70. let dvacátého století je acidifikace pokládána za jeden

z nejzávažnějších problémů životního prostředí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Švédská případová studie pro konferenci OSN o životním prostředí ve Stockholmu 1972 - Znečištění ovzduší přes hranice států, je považována za zásadní studii kyselé depozice. Za deset let po konferenci ve Stockholmu byla acidifikace považována za jeden ze světových palčivých ekologických problémů (MOLDAN, 1991). V roce 1980 USA a Kanada podepsaly memorandum o záměru zavedení bilaterálních dohod o přenosu znečištění přes hranice států včetně kyselé depozice. Obě země ustavily dlouhodobé programy pro sledování chemického složení srážek (NAPAP, National Acid Precipitation Assessment Program v USA a CANSAP, Canadian Network for Sampling Precipitation v Kanadě) (HŮNOVÁ, 2009), (EMEP, European Monitoring and Evaluation Programme v Evropě) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). V roce 1980 byla uspořádána v Norsku Mezinárodní vědecká konference o kyselých srážkách, v červnu 1982 se konala ve Stockholmu Světová konference o okyselení prostředí, v březnu 1984 v Ottawě (Ontario, Kanada) mezinárodní konference zástupců ministerstev pro životní prostředí o nutnosti ochrany před znečištěním ovzduší (ÚVTIZ, 1986). Další zprávy ukázaly, že kyselou depozici je možné považovat za jeden z nejnebezpečnějších globálních ekologických problémů, kterému bude lidstvo čelit v blízké budoucnosti (MOLDAN, 1991).

V červnu 2005 se konala v Praze již 7. mezinárodní konference nazvaná „Acid Rain 2005“ ([www.acidrain2005.cz](http://www.acidrain2005.cz)), na jejíž organizaci se spolupodílely Český hydrometeorologický ústav, Ministerstvo životního prostředí ČR, Česká geologická služba a Centrum pro otázky životního prostředí UK (HŮNOVÁ, 2009). Problematika ochrany ovzduší byla zařazena do náplně činnosti ČHMÚ v 60. letech. V roce 1967 byla na HMÚ v Praze zřízena složka čistoty ovzduší jako základna sledování, hodnocení a vývoje znečištění ovzduší pro orgány státní správy (ministerstva, národní výbory, investoři atd.) (VYSOUDIL, 2002).

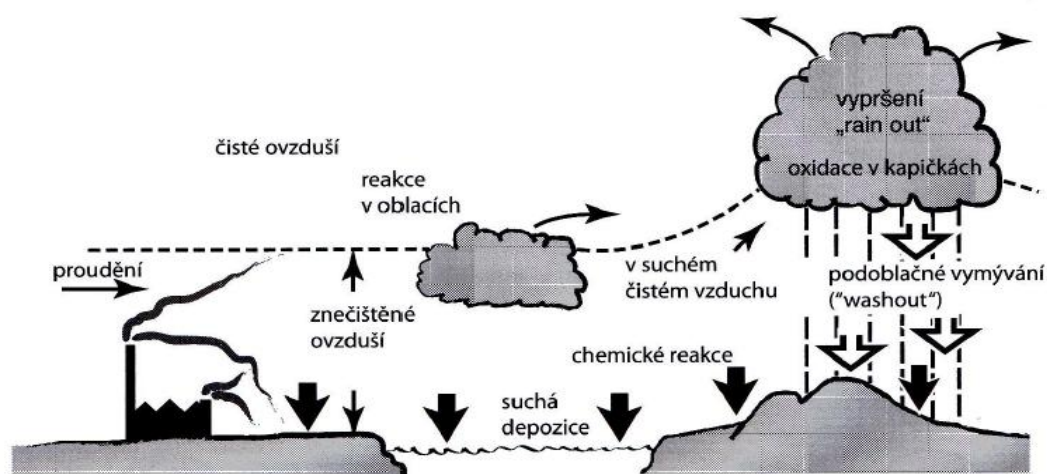
Macdougall (1988) a Waldrop (1988) tvrdili, že kyselá atmosférická depozice dokonce mohla hrát klíčovou roli v zániku dinosaurů a jiných živočichů v době křídové (MOLDAN, 1991).

## **2.4 Vznik atmosférické depozice**

Významnou vlastností ovzduší je jeho schopnost účinného samočištění, která je součástí řady stabilizačních mechanismů většinou spojených se systémem zpětných vazeb. Nejdůležitějšími mechanismy obnovy přirozeného složení

atmosféry jsou oxidační reakce v ovzduší odbourávající organické sloučeniny v atmosféře v konečné fázi na oxid uhličitý a vodu, a dále srážková činnost, která odstraňuje z ovzduší účinně jak pevné, tak i většinu plynných nečistot (PŘIBIL, 2009).

Atmosférická depozice umožňuje látkám v ovzduší přecházet do jiných složek prostředí (hydrosféry, pedosféry, litosféry, kryosféry, biosféry). Pro ně ovšem může představovat významný vstup znečišťujících látek a je tedy naopak zdrojem znečištění. Bez působení tohoto důležitého procesu by docházelo ke kumulaci látek v atmosféře (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004), díky depozici jsou zde ve stavu tzv. dynamické rovnováhy (HŮNOVÁ, 2009). Proces atmosférické depozice se sleduje ze dvou hledisek. Za prvé má význam pro chemické složení atmosféry, déšť, sněžení a další pochody zbavují ovzduší plynných a tuhých součástí včetně škodlivin antropogenního původu. Druhé hledisko studuje depozici jako mechanismus látkového vstupu do studovaného geosystému. V něm zkoumáme procesy biogeochemického metabolismu, jichž je atmosférická depozice důležitou součástí (MOLDAN, 1992).



Obr. č. 2: Procesy vedoucí k atmosférické depozici

(Zdroj: HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2009)

Různé znečišťující příměsi se do srážkové vody dostávají buď již při samotném vzniku srážkových elementů, tj. vodních kapek nebo ledových částic uvnitř oblaků (tzv. znečištění oblačné vody), nebo v průběhu jejich pádu v podoblačné vrstvě vzduchu. Prvý ze dvou uvedených mechanismů se v anglosaské literatuře označuje termínem „rain out“ (česky vypršení, vydeštění), zatímco druhý „cash out“ (česky vymytí) (BEDNÁŘ, 1989). HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ (2004) upravují výraz na washout „vymývání“. Je zřejmé, že jisté

znečištění srážek je zcela přirozeným a vlastně nutným jevem. Účinky kondenzačních jader ukazují pozitivní působení některých přirozených složek znečištění přítomných v ovzduší na kondenzační pochody, následkem čehož dochází už při samotném vzniku a v počáteční fázi vývoje zárodků srážkových elementů k jejich infekci těmito znečišťujícími příměsemi (BEDNÁŘ, 2009). NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ (2010) uvádí, že do srážkové vody se různé znečišťující příměsi dostávají buď již při samotném vzniku srážkových elementů, tj. vodních kapiček a ledových krystalků uvnitř oblaku, a tento mechanismus označujeme jako rainout.

Podoblačné vymývání je účinným mechanismem pro rozpustné plyny a aerosoly o průměru větším než 1  $\mu\text{m}$  a je významné, když koncentrace těchto látek jsou v podoblačné vrstvě mnohem vyšší než v oblaku. To se týká např. kouřových vleček v blízkosti emisních zdrojů. Při podoblačném vymývání je, vzhledem k výrazně většímu povrchu sněhových vloček ve srovnání s dešťovými kapičkami a k nižší pádové rychlosti, účinnější sníh než déšť (HŮNOVÁ, 2009).

Atmosférické depozici se věnuje velká pozornost proto, že tímto způsobem jsou vnášena podstatná množství cizorodých látek do životního prostředí. Zejména jde o látky kyselého charakteru (MOLDAN, 1992). Celkový objem atmosférické depozice se skládá z mokré depozice a suché depozice (HOWELLS, 1990).

Jednotky měření atmosférické depozice

Atmosférická depozice je přenos či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu vyjádřený jako hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku (zpravidla se používá jednotek  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$  nebo  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

## 2.5 Typy atmosférické depozice

Atmosférická depozice se vztahuje na přenos všech typů plynů, pevných částic a složek atmosférických srážek (ÚVTIZ, 1986). Celková atmosférická depozice je známa součtem depozice mokré a suché (MOLDAN, 1985). Velmi často se setkáme s pojmem kyselá depozice, příp. kyselý déšť (HŮNOVÁ, 2009).

Suchá depozice převládá v blízkosti emisních zdrojů, tedy ve městech, v průmyslových aglomeracích a v jejich blízkosti, zatímco depozice mokrá je významnější v tzv. pozadřových/regionálních oblastech (tedy v oblastech bez

významných vlastních zdrojů) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Suchá a mokrá depozice mají hlavní podíl na čištění atmosféry (HOWELLS, 1990). Koncentrace jednotlivých složek atmosférické depozice se uvádějí nejčastěji v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ , obvykle i časovým parametrem (VYSOUDIL, 2002).

### 2.5.1 Mokrá atmosférická depozice

Mokrá atmosférická depozice je definovaná jako hmotnost atmosférické příměsi, která je uložena na jednotku plochy zemského povrchu za jednotku času v důsledku procesů vymývání příměsí z atmosféry (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010). Mokrá depozice je spojena s hydrologickým cyklem, kde nejdůležitější roli hrají atmosférické srážky (MOLDAN, 1983) – ať už vertikální (déšť, sníh, kroupy) či horizontální, zvané též usazené nebo okultní (námraza, jinovatka, mlha). Srážky odstraňují z ovzduší plynné látky i částice (HŮNOVÁ, 2009). Polutanty, které jsou obsaženy ve srážkách, zahrnují kyselé látky, toxické kovy, organické chemikálie, fosfáty a dusíkaté sloučeniny (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Vzduch obsahuje pevné a kapalné částice a v této souvislosti hovoříme o atmosférickém aerosolu. V termodynamice atmosféry hraje zásadní roli vodní pára, jejichž chování je důležité pro vznik a další vývoj vodních kapek nebo ledových krystalů (ŘEZÁČOVÁ A KOL., 2007).

Mokrá depozice je pojem vztahující se na proces přenosu plynů, tekutých i plynných látek z atmosféry na zemský povrch během srážkové události (ÚVTIZ, 1986). Mokrá atmosférická depozice je dějem epizodickým (HŮNOVÁ, 2009). Na jeden čtvereční metr povrchu spadne ročně 748 l vody a každý litr srážkové vody obsahuje v průměru zhruba 10 g rozpuštěných látek (MOLDAN, 1991). Mezi nejhojnější chemické prvky tímto způsobem přenášené patří C, S, N, Ca, Cl, Na, K, Mg, Si, Al, Fe (MOLDAN, 1992).

Mokrá depozice se podrobně zkoumá na základě odběrů vzorků srážek, které se chemicky analyzují. Při studiu mokré depozice se současně sleduje vliv meteorologických situací, změny v čase, regionální rozložení a další (VYSOUDIL, 2002). V počáteční fázi srážek je mineralizace nejvyšší, protože se uplatňuje efekt vymývání částic prachu v podoblačné vrstvě. V další fázi mineralizace klesá až na téměř konstantní hodnotu, popřípadě v poslední fázi nepatrně stoupá (ŠANTROCH, 1985).

Mokrá depozice se sleduje na základě celkových chemických analýz odebraných vzorků srážek pro vybrané ionty ( $\text{SO}_4^{2-}$  - S,  $\text{NO}_3^-$  - N,  $\text{NH}_4^+$  - N,  $\text{H}^+$  (pH)

Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>) v souvislosti s jejich působením na složky životního prostředí. Prostorová depoziční zátěž území České republiky se stanovuje z pole koncentrací iontů ve srážkách a z pole ročních srážkových úhrnů, které bylo vytvořeno na základě údajů ze 750 srážkoměrných stanic se zohledněním vlivu nadmořské výšky na úhrn srážek (VYSOUDIL, 2002).

### 2.5.1.1 Horizontální mokré depozice

Mokrou depozici, kromě složky vertikálních (padajících) srážek (déšť, mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, krupky, zmrzlý déšť, kroupy a ledové jehličky), tvoří také část tzv. usazených atmosférických srážek (nevhodně nazývaných jako horizontální depozice) (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006). Neucelené a málo poznané jsou jevy související s kvantitativně méně významnou horizontální depozicí, která se uskutečňuje usazováním horizontálních srážek (mlhy nebo námrazy) (VYSOUDIL, 2002). Horizontální depozice se v některých oblastech může výraznou měrou hydrologicky podílet na celkové atmosférické depozici (HŮNOVÁ, 2009).

Ukazuje se, že rozhodující hranicí, kde je úhrn usazených srážek již významný, je nadmořská výška od 800 m n. m. Ve výškách nad 1 000 m n. m. může dokonce mlha přispívat k celkovému vstupu atmosférických srážek do lesních půd větší měrou než samotné vertikální srážky (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006). Kromě významného podílu vody z horizontálních srážek spočívá jejich význam i v tom, že jsou mnohem více mineralizované než srážky vertikální. Obsah vody v kapičkách mlhy je totiž výrazně nižší než v dešťových kapkách. Horizontální srážky bývají i výrazně déle v přímém kontaktu s povrchy vegetace (HŮNOVÁ, 2009). PAHL (1996) uvádí, že kapky mlhy se na listech udrží až 4krát déle, než odpadnou.

BEDNÁŘ (1989) uvádí, že znečištění usazenými srážkami a jeho ekologické důsledky dosud patří k poměrně málo prostudovaným problémům, avšak nelze pochybovat o tom, že např. výskyt rosy nebo námrazy může v jednotlivých případech významně ovlivňovat sedimentaci některých znečišťujících příměsí na zemském povrchu a v jeho vegetačním krytu.

Výpočet atmosférické depozice z usazených srážek je nesrovnatelně obtížnější než u vertikálních srážek. Nejobtížnější část výpočtu představuje stanovení úhrnu usazených srážek. První pokusy odhadu velikosti zachytu mlžné vody v lesních porostech byly prováděny již v šedesátých letech 20. století v Japonsku (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006). Koncentrace znečišťujících látek

v horizontálních srážkách přitom několikanásobně překračují koncentrace ve srážkové vodě (VYSOUDIL, 2002).

### Jinovatka

Označujeme tak bílou, kyprou a peříčkovitou usazeninu, lesknoucí se na slunci, tvořenou ledovými krystalky podobných tvarů jako jíní. Jinovatka se tvoří na elektrickém vedení, větvích, jehličí, na hranách a rozích předmětů a budov. Někdy má tvar visících vláken. Trvají-li podmínky příznivé pro její tvorbu delší dobu, jinovatka značně narůstá zvláště proti větru (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Lze ji snadno odstranit poklepem a zpravidla nepůsobí škody (BEDNÁŘ, 1989).

Jinovatka vzniká z přechlazené mlhy při styku s tuhými tělesy (např. se vzdušným drátovým vedením) (HOLOUBEK, 1990). Vzniká v kteroukoli denní dobu zpravidla při teplotách nižších než  $-8^{\circ}\text{C}$  při mlze nebo i bez ní, ale v podmínkách, kdy vodní pára obsažená ve vzduchu je velmi blízko stavu nasycení vůči vodě (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

### Námraza

Obvykle bílá zrnitá usazenina na návětrné straně (VYSOUDIL, 2006), obsahující krystalky zpravidla ve tvaru větviček a vznikající především za mlhy ukládáním přechlazených vodních kapek na zemi, předmětech na ní (BEDNÁŘ, 1989), na stromech, vedení nebo na letadlech při letu (VYSOUDIL, 2006). Námraza odolává i velmi silnému větru a usazuje-li se delší dobu, může svou tíhou lámat větve, přetrhávat dráty elektrického vedení apod. Je velmi nebezpečná při leteckém provozu. U nás se námraza vyskytuje v zimě především ve středních až vysokých polohách, které jsou delší dobu v mracích složených z přechlazených vodních kapiček, a to při teplotách do  $-5^{\circ}\text{C}$  (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Námraza je ledový povlak vznikající při dešti z podchlazených kapek, které po dopadu na zmrzlou zem okamžitě tuhnou (HOLOUBEK, 1990).

Jinovatka a námraza mohou mít nepříznivé ekologické dopady na horské lesy, kde se může urychlit škodlivé působení znečištěného ovzduší. Zvláště jinovatka může být velmi nebezpečným jevem, protože se vyskytuje v kritických zimních obdobích (MOLDAN, 1991).

Mlha

Místem zrodu meteorologických jevů nebývají vždy jen velké výšky. Právě naopak, zemský povrch někdy podporuje kondenzaci atmosférické vlhkosti, což způsobuje vznik větších nebo menších kapiček (SKOK, 2003).

### **2.5.1.2 Vertikální mokré depozice**

Dosud nejlépe poznanou složkou atmosférické depozice je vertikální mokrá depozice, která se poměrně snadno měří (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

V běžně používaných zařízeních pro odběr vertikálních srážek jsou usazené srážky zachytávány v zanedbatelném a blíže nedefinovatelném množství a při vyhodnocování celkové atmosférické depozice může být právě z důvodu zanedbání depozice usazených srážek celková atmosférická depozice pro dané území významně podhodnocena (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006).

Pozorování ukazují, že bezprostředně po spadnutí významnějších srážek nebo ještě v jejich průběhu vzduch často obsahuje podstatně méně znečišťujících příměsí než před jejich začátkem. Srážky tedy působí příznivě na vlastní čistotu atmosféry, ale na druhé straně nečistoty takto odstraněné ze vzduchu přecházejí do srážkové vody a mohou pak (zejména v souvislosti s antropogenním znečištěním) negativně působit na vegetaci, zamořovat půdu, povrchové i podzemní vody, poškozovat stavby apod. (BEDNÁŘ, 2009).

Děšť

Vodní srážky vypadávající z oblaků v podobě kapek o průměru větším než 0,5mm nebo i o menším průměru, vypadávají-li velmi hustě (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Děšť je tedy jedním z činitelů kyselé atmosférické depozice (MOLDAN, 1985).

Sníh

Tuhé srážky padající z oblaků a skládající se z ledových krystalků (popř. jejich shluků), jež mají převážně tvar šesticípé hvězdice nebo jejich částí (BEDNÁŘ, 1989). Krystalky vznikají ve velkých výškách při teplotě -12 až -16°C. Vydatné sněžení s velkými vločkami se vyskytuje hlavně při teplotách kolem 0°C (ROTH, 1999).



## Kroupy

Kroupy vypadávají z bouřkových mraků (VYSOUDIL, 2006). Jsou to kulovité, vejčité nebo hruškovité kousky ledu, které jako přeháňka padají hlavně při bouřce. Jejich poloměr kolísá od 5 do 50 mm (ROTH, 1999). Při rozříznutí lze často identifikovat několik průzračných a neprůzračných vrstev (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

Tvoří se zejména v létě při silném ochlazení, kdy velmi vlhký vzduch vystoupí do velké výšky (HOLOUBEK, 1990).

### 2.5.2 Suchá atmosférická depozice

Suchá depozice představuje tok plynů a částic z atmosféry (MOLDAN, 1991). Depozice suchá se uskutečňuje usazováním tuhých částic a absorpcí plynných složek vegetací a dalšími objekty na zemském povrchu (VYSOUDIL, 2002). Prostřednictvím suché depozice jsou z ovzduší na zemský povrch transportovány plyny a pevné částičky. Velké pevné částice sedimentují na zemském povrchu vlivem gravitace, malé částičky a plyny se pohybují turbulentní difúzí a na povrchu (včetně povrchu vegetace) se zachytávají sorpcí či chemickými reakcemi s látkami, které jsou součástí povrchu (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010). Suchá depozice je v porovnání s vymýváním srážkami podstatně pomalejší proces. Na rozdíl od srážek však probíhá neustále. V celkových bilancích za delší časové období suchá depozice v průmyslových oblastech několikanásobně převyšuje mokrou, naopak v odlehlejších, čistých, v našich podmínkách nejčastěji horských polohách, už převažuje mokrá depozice (ZÁVODSKÝ, 1985).

Podíl suché depozice na celkové atmosférické depozici vzrůstá v tzv. impaktních oblastech (oblasti pod přímým vlivem emisních zdrojů, průmyslové aglomerace) (HŮNOVÁ, 2009) a městských oblastech. Přímé vstřebávání plynů bylo studováno výhradně pro sloučeniny síry a dusíku ve vztahu ke kyselé depozici (MOLDAN, 1991). Suchá depozice dominuje tedy blíže ke zdroji (HOWELLS, 1990). Údaje o suché depozici v tuhé formě jsou na rozdíl od depozicí plynných a suchých ucelenější (VYSOUDIL, 2002). Suchá depozice spojená se spadem částic se dá měřit pomocí různých jednoduchých i složitých zařízení, která simulují přirozený povrch vegetace na zemském povrchu. Používá se odběrových zařízení nejrůznějších tvarů a z různých materiálů, které mají společné to, že musí být

chráněny před vlivem depozice mokré, která je zejména v čistých oblastech podstatně významnější (MOLDAN, 1985).

Gravitační síla je primárním mechanismem, který stanovuje výši suchého spadu z atmosféry, ale i další vlivy jako je elektrostatická přitažlivost, adsorpce a chemické reakce (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Faktory, které ovlivňují suchou depozici plynů a částic, jsou zejména atmosférická turbulence, chemické vlastnosti deponovaných látek a podstata povrchu, na který jsou látky deponovány (HŮNOVÁ, 2009). Mezi nejvíce reaktivní plyny patří např. oxid siřičitý, kyselina dusičná, oxidy dusíku a okysličovadla (MOLDAN, 1991).

### **2.5.3 Kyselá atmosférická depozice**

Kyselý déšť je vážný globální problém znečištění způsobený mokrou depozicí (NOVOTNY A CHESTERS, 1981), působí okyselení v přírodě (zvyšují koncentraci vodíkových iontů). Znečišťující látky se mohou ukládat v přírodě přímo jako plyny nebo částice a do pojmenování „kyselé deště“ se zahrnují oba způsoby. Celková depozice – kyselý déšť - je tedy součtem mokré a suché depozice (BARTOŇOVÁ, 2009). Kyselá depozice je komplex procesů, při kterých jsou z atmosféry odstraňovány kyselé složky vznikající jako produkt řady reakcí v atmosféře, která působí jako silné oxidační médium (HŮNOVÁ, 2009). Jejím působením se zvyšuje kyselost půdy (pH faktor), poškozují vegetace, zamožuje povrchová voda a urychluje koroze různých materiálů (VYSOUDIL, 2002).

Studium spadu atmosférických částic zaznamenalo bouřlivý rozvoj počátkem 50. let, přičemž hlavní pozornost byla věnována spadu radionuklidů, oxidů síry a dusíku, těžkých kovů a pevných částic (HOLOUBEK, 1990). Znečištění ovzduší má přímý a nepřímý dopad na životní prostředí. Oxidy síry a dusíku jsou hlavními prekursory kyselého spadu. Ten je spojován s okyselováním půdy a sladkovodních vod, které má zase nepříznivé účinky na vodní a půdní ekosystémy. Vysoké koncentrace  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  a  $\text{O}_3$  také přímo působí ztráty úrody a poškozování lesů (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Ke vzniku kyselého deště mohou částečně a lokálně vést i přírodní procesy, jako např. lesní požáry (ÚVTIZ, 1986). Kyselý déšť je vyvolán přítomností kyselin, vznikajících postupně především z oxidů síry a dusíku – ale i jiných látek – obsažených v průmyslových emisích. Srážky obsahují i některé další znečišťující látky, jako jsou těžké kovy a organické sloučeniny. V současné době se velký zájem věnuje právě těmto dalším složkám srážkových vod. Jsou to zejména sloučeniny čtyřmocné síry,  $\text{H}_2\text{O}_2$  a organické látky (ÚVTIZ, 1986).

V důsledku oxidačních reakcí v atmosféře jsou zde přítomny kyseliny v plynné fázi ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , atd.) v aerosolu (sulfáty, nitráty, chloridy, organické kyseliny atd.) a v kapalně fázi (SEINFELD A PANDIS, 1998). Z nich jsou zvláště sledovány silné organické kyseliny, kyselina octová a zejména mravenčí, které se mohou podílet až 30% na celkové aciditě srážkové vody. Chemické složení srážek a koncentrace vodíkových iontů je určena způsobem obhospodařování krajiny a blízkostí emisních zdrojů (ÚVTIZ, 1986).

Na okyselení srážek se podílejí hlavní měrou sulfáty a nitráty, které vznikají oxidací z emisí  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$ . Ty mohou být původu přirozeného i antropogenního. Podíl antropogenních zdrojů je odhadován u  $\text{SO}_2$  na více než 50%, u  $\text{NO}_x$  na více než 30%. Hlavními antropogenními zdroji jsou spalování fosilních paliv ve stacionárních velkých i malých zdrojích, průmyslová výroba a doprava (automobilová, lodní a letecká) (HŮNOVÁ, 2009). Atmosférická depozice eutrofizujících a okyselujících látek včetně oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ), amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) a oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) tvoří celou směsici znečišťujících látek. Vliv na ekosystémy může zahrnovat poškození lesů a jezer okyselením, poškození stanovišť v důsledku obohacení živinami, růst řas způsobený obohacením živinami a nervové a endokrinní narušení druhů pesticidy, steroidními estrogeny a průmyslovými chemickými látkami jako PCB (EEA, 2010). PCB (Polychlorované bifenyly) jsou technické směsi užívané prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Tyto sloučeniny našly použití např. jako dielektrická a teplotně stabilní média v průmyslových zařízeních, jako plastifikátory při výrobě barev a laků, jako hydraulické kapaliny, lubrikanty, přísady do pesticidních přípravků, složky brusných olejů či ohnivzdorných přípravků (PRÁŠKOVÁ A PROVAZNÍK, 2004).

Termín kyselý déšť může být používán pro srážky, které mají hodnotu pH nižší než 5,6 (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Někteří autoři používají místo pojmu "kyselá srážka" nebo "kyselý déšť" pojem "kyselá mokrá depozice". Primárním faktorem je znečištění ovzduší, přičemž látky kyselého charakteru přestupují z atmosféry na zemský povrch mokřím i suchým spadem. Rostoucí kyselost srážkové vody je hlavním nepříznivým následkem růstu regionálního znečištění ovzduší (ÚVTIZ, 1986). Masivním používáním fosilních paliv v průmyslu a pro pohon motorových vozidel se do atmosféry uvolňují oxid siřičitý a oxid dusíku. Větrná proudění odnášejí takto znečištěné mraky někdy i tisíce kilometrů daleko. Pak dešťové a sněhové srážky vrátí tyto kyseliny zpět na zemský povrch (SKOK, 2003).

Kyselý déšť se v poslední době zařadil mezi nejznámější hrozby životního prostředí. Obsah silných kyselin ve srážkových vodách ničí život ve vodě horských

jezer, škodí půdě a rostlinám, urychluje korozi fasád, konstrukcí, techniky (HOLOUBEK, 1990). Acidifikace je regionálním problémem souvisejícím s dálkovým přenosem znečišťujících látek přes hranice států a její omezení vyžaduje mezinárodní úsilí pro zavedení opatření k přechodu na čistší paliva a redukci emisí (HŮNOVÁ, 2009). Kyselá depozice způsobuje celou řadu ekologických problémů a má dalekosáhlé důsledky na naše kulturní dědictví (zvýšení sazeb koroze) a dokonce i na lidské zdraví (MOLDAN, 1991). Nejnebezpečnější vlastností síry antropogenního původu v atmosféře je její rozpustnost ve vodě. Při vypadávání srážek dochází k vymývání sloučenin síry i jiných látek z ovzduší, ale na druhé straně kontaminovaná voda znehodnocuje půdu, ničí vegetaci a znečišťuje povrchové vodní zdroje (VYSOUDIL, 2002).

Významný a v posledních desetiletích ve srovnání se sírou stále více dominující příspěvek ke vzniku nadměrné kyselosti srážek však přísluší oxidům dusíku. Dešťová voda by v případech neovlivněných antropogenním znečištěním měla slabou kyselost (ve stupnici pH cca 5,6) vytvořenou zejména rozpuštěným oxidem uhličitým. Antropogenním znečištěním ovzduší však dochází k výraznému zvýšení kyselosti srážek (snížení hodnot pH) (BEDNÁŘ, 2009). Lidská činnost dále zvyšuje průměrnou koncentraci okyselujících látek, jako je oxid siřičitý a oxidy dusíku. Tyto látky vznikají především spalovacími procesy jak ve stacionárních zdrojích, tak ve zdrojích mobilních, jako jsou automobily, lodi a letadla (MOLDAN, 2009).

Kyselá depozice poškozuje už několik desetiletí citlivé sladkovodní ekosystémy, lesy, půdy a přirozené ekosystémy ve značné části Evropy (EEA, 1998). Účinky se projevují mnoha způsoby včetně defoliace a snížením vitality stromů, poklesem rybích obsádek a snížením diversity ostatních vodních organismů v jezerech, řekách a potocích a ve změně půdního chemismu. Poškozováno je i kulturní dědictví, zejména vápencové a mramorové budovy, památníky, barevná skleněná okna. Depozice sloučenin dusíku se též podílí na eutrofizaci prostředí (HŮNOVÁ, 2009).

## **2.6 Hodnoty depozice dusíku a fosforu**

S atmosférickou depozicí úzce souvisí pojem kritická zátěž (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Kritická zátěž je definována jako nejvyšší hodnota acidifikujících sloučenin, která nepůsobí chemické změny. Tyto případné chemické

změny mohou vést ke škodlivým účinkům na funkci a strukturu ekosystému (AKSELSSON A KOL., 2003).

Definice se vztahuje na ekosystémy suchozemské i vodní a acidifikujícími sloučeninami se rozumějí sloučeniny síry a dusíku. Kritická zátěž je indikátorem trvalé udržitelnosti ekosystému, protože poskytuje informaci o maximální únosné dávce škodlivé látky pro ekosystém, při jejímž nepřekračování se snižuje riziko poškození ekosystému. Informace o senzitivitě jednotlivých ekosystémů mohou být porovnány s aktuálně měřenými hodnotami atmosférické depozice a tímto způsobem lze určit, které oblasti jsou v současné době ovlivněny takovými depozičními úrovněmi, které překračují „únosnost“ oblasti (HŮNOVÁ, 2009). Již na Stockholmské konferenci v roce 1972 byly prezentovány přesvědčivé studie o tom, jak znečištění ovzduší přestupuje hranice států a je přenášeno na vzdálenosti řádově tisíců kilometrů. V současné době se nejedná o výjimečné epizodické události, ale v zásadě o trvalý jev, byť s výraznými epizodami. Vzhledem k tomu, že naprostá většina průmyslově vyspělých států se vyskytuje na severní polokouli, je tato část glóbu ovlivněna výrazněji. S postupnou industrializací současných rozvojových zemí na jižní polokouli vzrůstá i transport škodlivin v této části glóbu (MOLDAN, 2009).

Koncept kritických zátěží se stal základem pro mezinárodní program EHK/OSN Mapování kritických zátěží (nyní pod názvem Mezinárodní program spolupráce pro modelování a mapování kritických zátěží a koncentrací – ICP pro modelování a mapování). Cílem tohoto mapovacího programu bylo stanovit úroveň snížení emisí sloučenin do ovzduší pro jednotlivé země, které jsou signatáři Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejících hranice států (FIALA A SKOŘEPOVÁ, 2001). V rámci mezinárodního programu Mapování kritických zátěží jsou vytvářeny mapy kritických zátěží pro jednotlivé evropské státy (HŮNOVÁ, 2009). Tohoto programu se od roku 1990 účastní i Česká republika. Hodnoty kritických zátěží síry a dusíku pro území ČR jsou vyhodnoceny na základě jednoduchých hmotových bilancí hlavních chemických prvků, které způsobují okyselování prostředí a které vzniklé okyselení neutralizují. Výpočet kritických zátěží uvažuje lesní ekosystém jako nejzranitelnější součást krajiny s ohledem na účinky kyselé atmosférické depozice (SKOŘEPOVÁ A KOL., 1997).

V České republice jsou aktuální kritické zátěže acidifikujících sloučenin síry a dusíku překročeny na velké většině území. Český ekologický ústav, který se mapováním kritických zátěží u nás zabývá, udává, že v roce 1996 byly kritické zátěže pro S a N překročeny na cca 99% lesních ploch ČR, v roce 2000 na cca

86%. Ještě nepříznivější situace je v případě kritických zátěží nutričního dusíku. V roce 1996 byly kritické zátěže pro nutriční N překročeny na 100% lesních ploch v ČR, v roce 2000 pak na 99% (HŮNOVÁ, 2009).

V České republice nejsou k dispozici hodnoty atmosférické depozice fosforu. Na stanicích ČHMÚ se depozice fosforu nestanovuje. Měření fosforu probíhá pouze na stanicích VÚV od roku 2011.

## 2.7 Odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti depozice

Při stanovení složek kontaminujících ovzduší je odběr vzorku nejkritičtějším krokem celého postupu. Z hlediska obsahu nečistot je třeba vzduch pokládat za zředěný aerosol, který kromě plynné fáze obsahuje též tuhé prachové částice a kapalnou fázi ve formě kapiček nebo zachycenou na povrchu prachových částic (POPL A FÄHNRIK, 1992).

Chemické složení jednotlivých typů vertikálních srážek se příliš neliší. Mrholení vymývá účinněji než prudký déšť. Chemické složení vertikálních srážek se v čase mění. Horizontální srážky (mlha, námraza a jinovatka) jsou v průměru více mineralizovány než vertikální srážky, protože se na znečištění přízemní vrstvy podílí ve větší míře atmosférický aerosol (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989). Jejich chemické složení je závislé na složení nejspodnější vrstvy ovzduší, které je nasycené nejrůznějšími škodlivinami z místních zdrojů (MOLDAN, 1992).

Srážky se většinou odebírají jako denní, týdenní či měsíční kumulativní vzorky. Po dobu odběrové periody se shromažďuje vzorek v odběrovém zařízení a poté je chemicky analyzován. Stanovuje se pH a vodivost srážek a dále koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  a  $\text{Ni}^{2+}$ . Za velmi důležitou charakteristiku je považována acidita srážek vyjádřená jako pH roztoku. Za přirozenou hodnotu pH je pokládána hodnota 5,6 a pokud má vzorek pH nižší, pokládá se za kyselý. U nás se nyní průměrné pH srážek pohybuje zpravidla v rozmezí 4,4 - 4,6 jednotek pH (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Měření pH se provádí potenciometricky pomocí pH - metru a skleněné elektrody, elektrolytická vodivost se měří vodivostními platinovými elektrodami a konduktometrem. Fluoridy, chloridy, dusičnany a sírany se stanovují metodou vysokoúčinné kapalinové iontové chromatografie,  $\text{NH}_4^+$  se měří spektrofotometricky. (HŮNOVÁ, 2009).

Geografická poloha místa, na kterém jsou odebírány srážkové vody, určuje chemické klima dané oblasti, pro něž je charakteristické i průměrné dlouhodobé složení srážkových vod (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ (2010) rozdělují odběr vzorků pro kvalitativní analýzu atmosférické depozice následujícími způsoby:

- odběr „wet only“ (pouze mokrá depozice) se provádí pomocí speciálního odběrového zařízení – pluviokolektoru, který je opatřen čidlem a otevírá poklop nad odběrovou nálevkou pouze v době dešťové srážky. Prachové částice (suchá depozice) se při tomto způsobu odběru do vzorku prakticky nedostanou.
- odběr „bulk“ je odběr veškeré atmosférické depozice, včetně suché depozice (tedy i prachových částic). Chemické složení odebraného vzorku je určeno souborem různých meteorologických situací a dalších faktorů ovlivňujících chemické složení atmosférické depozice po celé období odběru.
- odběr podkorunových srážek „throughfall“ je speciální způsob odběru depozice určitého specifického prvku, nejčastěji síry, za účelem sledování zatížení lesních porostů škodlivinami z ovzduší. Koruny stromů velmi účinně „vyčesávají“ suchou depozici a ta se dostává spolu s depozicí mokrou do odběrových nádob. Jedná se o metodu velmi jednoduchou a finančně nenáročnou, a proto v poslední době značně oblíbenou. Používají se zejména pro určování vstupu látek při bilancování látkového oběhu v malých povodích (HŮNOVÁ, 2009).

### 2.7.1 Mokrý depozice

Vertikální mokrá depozice

Velikost mokré vertikální depozice se zjišťuje násobením hodnot koncentrace jednotlivých složek ve srážkové vodě a množství vody spadlé na jednotku plochy za sledované období. Toto množství se stanoví jako úhrn za dané období měřený konvenční srážkoměrnou metodou (MOLDAN, 1992). Spočte se podle jednoduchého vztahu:

$$D = c_i \cdot P$$

kde

$c_i$  je průměrná koncentrace měřené složky (průměr vážený srážkovým úhrnem) a  $P$  je srážkový úhrn za vyčíslované časové období (zpravidla rok) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Z uvedeného vzorce je zřejmé, že i v relativně velmi čistých oblastech mohou být hodnoty mokré depozice značně vysoké, což je dáno vysokými ročními srážkovými úhrny (platí zejména pro horské stanice) (HŮNOVÁ, 2009).

Odběr srážek musí zajistit záchyt čistých vod nekontaminovaných prašným spadem. Provádí se jednak manuálním způsobem pomocí nálevek (v letním období) nebo polyetylenových věder (v zimě) s pokličkami odkrývanými pozorovatelem v době deště nebo sněžení, jednak automatickým zařízením typu pluviokolektor. Toto zařízení má záchytnou plochu ve výšce 160 cm nad zemí. Jeho plocha je 1/10 m<sup>2</sup> (průměr 35,7 cm). Zařízení je otevřeno pouze v době srážek, v bezsrážkovém období je zakryto víkem, mechanicky odklápěným na základě povelu z čidla, jež reaguje na první kapky deště nebo sněhové vločky (MOLDAN, 1992).

Vzorek vertikálních srážek (deště, sněhu) je možné odebírat třemi způsoby. Nejčastěji se používá odběr typu „wet-only“, kdy je odběrové zařízení exponováno pouze po dobu srážkové epizody (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). V čistých oblastech s minimální úrovní suché depozice je možno používat pro odběr vzorku srážek k stanovení atmosférické depozice zařízení otevřená po celou dobu expozičního období (bulk) (ZAPLETAL, 1997). Třetím možným typem odběru je metoda „throughfall“, která se považuje za nejlepší možný odhad celkové atmosférické depozice. Odběrové nádoby jsou exponovány pod lesním porostem nepřetržitě zpravidla po dobu jednoho měsíce (HŮNOVÁ, 2009).

#### Horizontální mokrá depozice

Orientační výpočet mokré horizontální depozice vychází z údajů o chemickém složení námraz a z odhadů množství vody vstupující do lesních ekosystémů usazenými srážkami (MOLDAN, 1992). Velikost atmosférické depozice z usazených srážek je odhadována od zanedbatelného množství až po stovky procent depozice z vertikálních srážek v závislosti na lokalitě a typu iontu. Variabilita existuje i v rámci jedné lesní plochy, neboť stromy na kraji lesa zadrží v průměru 3 –15 krát více iontů z atmosférické depozice usazených srážek než stromy uvnitř porostu. Za určitých podmínek může pH vody z mlhy poklesnout až pod hodnotu 2 (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006).

Odběrové metody především využívají gravitační sedimentace srážkových elementů. Zařízení pro odběr mokré depozice jsou většinou založena na odběru atmosférických srážek. V zásadě je můžeme rozdělit na dva typy – trvale exponované nebo otvírané v průběhu srážkových epizod. Prvním typem jsou odebírány vodní srážky popř. sníh společně se suchou depozicí a ve hrubém přiblížení můžeme mluvit o odběru celkové depozice. V počáteční fázi srážek je mineralizace nejvyšší, protože se uplatňuje efekt vymývání částic prachu



v podoblačné vrstvě. V další fázi mineralizace klesá až na téměř konstantní hodnotu, popřípadě v poslední fázi nepatrně stoupá (ŠANTROCH, 1985).

Většina lokalit je vybavena odběrem typu „wet-only“, v čistých oblastech s minimální hladinou suché depozice se využívá i odběru typu „bulk“ (HŮNOVÁ, 2009). Při konstrukci map mokré depozice se dává přednost výsledkům analýz čistých srážek před odběry „bulk“ (srážky s prašným spadem) a týdennímu odběru srážek před měsíčním (VYSOUDIL, 2002).

### 2.7.2 Suchá depozice

Suchá atmosférická depozice představuje hmotnost atmosférické příměsi, která je uložena na jednotku plochy zemského povrchu za jednotku času v důsledku jiných procesů samočištění ovzduší, než procesů vymývání (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010). Velikost suché depozice částic se zjišťuje z rozdílu velikosti depozice srážek s prašným spadem a mokré depozice padajícími srážkami (tzv. čistými srážkami) (MOLDAN, 1992) nebo se využije informací o toku znečišťujících látek k zemskému povrchu získaných z měření mikrometeorologických parametrů a výškového koncentračního gradientu sledovaných komponent. Přímé metody jsou závislé na vlastnostech povrchu a na mikrometeorologických podmínkách okolí odběrového místa a ke stanovení suché depozice nejsou běžně používány (ŠANTROCH, 1985).

Rychlost a průběh suché depozice je dána meteorologickými podmínkami, vlastnostmi deponovaných látek a vlastnostmi samotného povrchu (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010). Velikost suché depozice 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, odebraných z trvale otevřených nádob (VYSOUDIL, 2002). Složka suchá představuje depozici tuhých látek a plynů. Suchá depozice plynu může být kvantifikována empiricky definováním depoziční rychlosti pro určitý povrch:

$$v_d = F/c$$

kde

$v_d$  je depoziční rychlost,

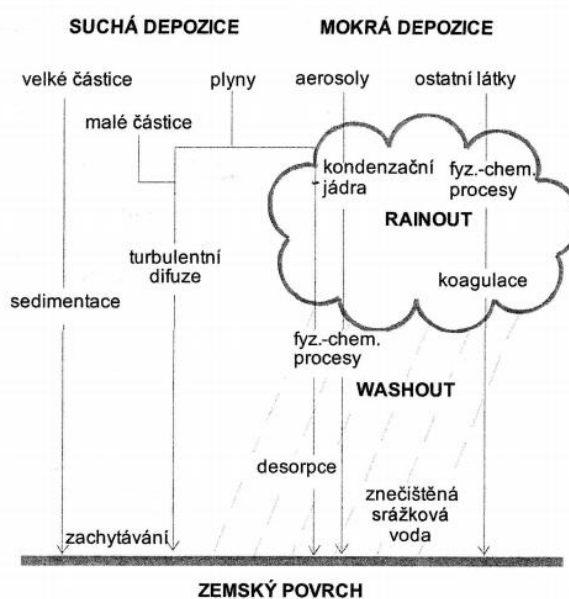
$F$  je tok látky k povrchu,

$c$  je střední koncentrace látky v blízkosti povrchu (měřena zpravidla ve výšce 1 m nad povrchem). Suchá depozice se pak zjišťuje většinou výpočtem z naměřené koncentrace sledované látky a její depoziční rychlosti (ta je zjištěna experimentálně a nabývá různé hodnoty pro oblasti s různým vegetačním pokryvem, nejhrubším

rozlišením jsou oblasti bezlesé a lesnaté, mění se též v závislosti na ročním období) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Depoziční rychlost si můžeme představovat jako rychlost hypotetického “zasouvání” sloupce ovzduší o konstantním průměru se známou koncentrací dané složky, přičemž rychlost “zasouvání” do absorbujícího povrchu odpovídá rychlosti absorpce sledované složky, depoziční rychlost je závislá na vlastnostech dané sloučeniny, na fyzikálních a chemických vlastnostech povrchu a na meteorologických parametrech (proudění, teplota vlhkost vzduchu) (MOLDAN, 1985).

Suchá depozice dusíku se počítá na základě polí průměrných ročních koncentrací  $\text{NO}_x$  pro ČR a depozičních rychlostí plynů pro oxidy dusíku  $0,4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  /  $0,1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  pro území s lesními porosty/území bezlesé. Sečtením hodnot (map) mokré a suché depozice dusíku jsou získány hodnoty (mapy) celkové depozice. Suchá depozice vodíkových iontů odpovídá depozici plynů a  $\text{NO}_x$  za předpokladu jejich kyselé reakce v prostředí. Celkové hodnoty depozice vodíkových iontů vzniknou součtem hodnot mokré a suché depozice (VYSOUDIL, 2002). Ve velmi čistých lokalitách nepřevyšuje velikost prашného spadu 10% všech zjištěných látek, v lokalitách průměrně čistých – se pohybuje mezi 20 – 40 % a v místech silně znečištěného ovzduší přesahuje 50 % všech zjišťovaných látek (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).



Obr. č. 3: Schéma atmosférické depozice

(Zdroj: NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010)

## 2.8 Dusík

Lomonosov pozoroval již roku 1756 zbytek vzduchu, který zůstal při žhání kovů v uzavřených nádobách. Cavendish našel dusík roku 1772, když vedl vzduch přes žhavé dřevěné uhlí. Získal plynný zbytek, jehož specifická hmotnost byla menší než specifická hmotnost vzduchu. Tento plyn nazval „mephitický vzduch“ (z latinského „mephitis“ = škodlivé výpary země, zápach). Ještě téhož roku, kdy Cavendish učinil svůj objev, uveřejnil Skot Daniel Rutherford (1749-1819) svou lékařskou doktorskou práci, v níž referoval o „jedovatém vzduchu“. Získal jej při pokusech s myšmi. Oficiálně platí za objevitele dusíku Rutherford a nikoli Cavendish, neboť jako první z obou výsledky svých pokusů uveřejnil. Lavoisier navrhl roku 1787 pro tento plyn název „azote“ podle řeckého slova „azotikos“, „život neudržující“. Tím lze vysvětlit i český termín dusík (ENGELS A NOWAK, 1971).

Molekula dusíku  $N_2$  je díky velmi pevné kovalentní trojně vazbě chemicky velmi stálá, čímž se podobá inertním plynům. Ačkoliv je dusík hlavní složkou atmosféry, v litosféře je obsažen pouze ve stopových koncentracích. Sloučeniny dusíku vyskytující se v atmosféře obsahují dusík v širokém rozpětí oxidačních čísel od negativně třívalentního ( $NH_3$ ) až po pozitivně pětivalentní (oxidy a dusičnany) (PŘIBIL, 2009).

### 2.8.1 Cyklus dusíku

Byl objeven Holanďanem Paulem Crutzenem (v roce 1970), laureátem Nobelovy ceny za chemii v roce 1995 (VÍDEN, 2005).

Dusík spolu s fosforem patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky. Patří do skupiny tzv. nutrietů, které jsou nezbytné pro rozvoj mikroorganismů (PITTER, 1999). Dostupnost dusíku a fosforu má závažný vliv na řadu aspektů globální biogeochemie. Převládající forma dusíku v globálním systému je téměř nereagující plynná forma  $N_2$  (CÍLEK a FILIP, 2009). Jeho zásoby v půdě jsou omezené, v atmosféře je ho sice k dispozici obrovské množství, ale zredukovat vzdušný dusík ( $N_2$ ) zvládnou jen některé mikroorganismy (ZOUHAR, 2011). Rostliny i mikroorganismy přijímají převážně jednoduché dusíkaté ionty – nitráty ( $NO_3^-$ ), nitrity ( $NO_2^-$ ) a amonné ionty ( $NH_4^+$ ) (ŠIMEK, 2008).

Zcela redukovanou formou dusíku je amoniak  $NH_3$ . Vzniká bakteriálním rozkladem bílkovin a jiných organických látek obsahujících dusík. Do atmosféry je uvolňován také z půdy při procesech fixace dusíku a částečně i denitrifikací. Jako

plyn zásaditého charakteru částečně kompenzuje okyselování atmosféry a vytváří kationty  $\text{NH}_4^+$ , které jsou ve formě amonných solí přirozenou složkou aerosolů (PŘIBIL, 2009). Amonná forma dusíku je v různých sloučeninách zabudována do biomasy a po jejím odumření zase uvolněna mineralizací. Dusík se může znovu využít jako živina, může se vázat v půdě, vypařit se do atmosféry nebo může být převeden nitrifikací na nitrátovou formu ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrátový dusík může také sloužit jako živina, může se redukovat na amoniak, vyplavit z půdy nebo přeměnit denitrifikací na plynný oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a molekulární dusík ( $\text{N}_2$ ). V těchto formách se dusík vrací do atmosféry a cyklus N se uzavírá (ŠIMEK, 2008).

Prakticky veškerý objem použitelného dusíku tedy cykluje mezi producenty, konzumenty a různými skupinami půdních bakterií (ZOUHAR, 2011).

### 2.8.2 Oxidy dusíku

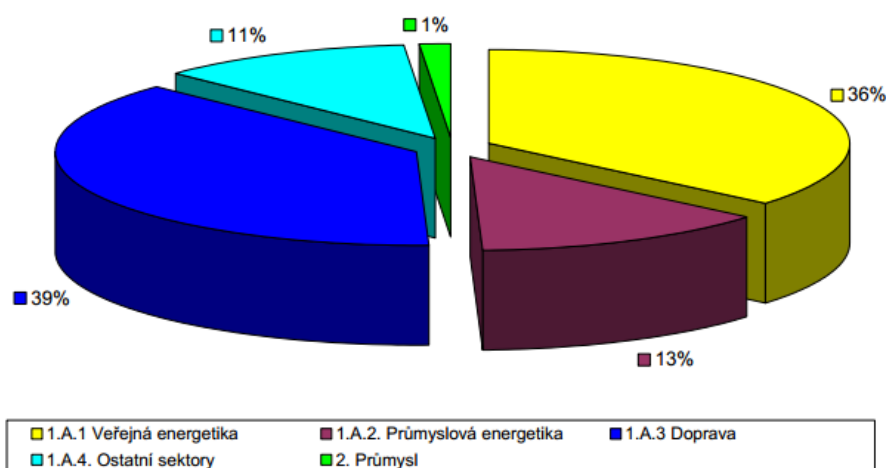
Oxidy dusíku, souhrnně označované jako  $\text{NO}_x$ , zahrnují oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$  – v atmosféře vznikající přirozeně, oxid dusnatý  $\text{NO}$  – produkovaný antropogenně (spalovacími procesy včetně provozu automobilů) i oxid dusičitý  $\text{NO}_2$  – vznikající v atmosféře oxidací  $\text{NO}$  (NÁBĚLKOVÁ A NEKOVÁŘOVÁ, 2010), popř. jeho dimer  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Vedle nich se nalézají v ovzduší ještě menší množství  $\text{N}_2\text{O}_3$  (POPL A FÄHNRICH, 1992). Menší část  $\text{NO}_x$  je produkována bakteriálními procesy. Převážná část  $\text{NO}_x$  pochází ze spalování fosilních paliv při vysokých teplotách, z výroby kyseliny dusičné, z nitrace organických látek apod. Důležité je, že tato produkce je soustředěna do průmyslových center a velkých městských aglomerací, kde koncentrace  $\text{NO}_x$  značně převyšuje průměrnou hodnotu naměřenou ve volné krajině. Mezi nejdůležitější zdroje  $\text{NO}_x$  patří výfukové plyny z automobilů se spalovacími i vznětovými motory (POPL A FÄHNRICH, 1986).

Z uvedených plynů není  $\text{N}_2\text{O}$  považován za škodlivinu. Vzniká převážně bakteriálním rozkladem dusíkatých látek, není reaktivní a ve velkých výškách se fotochemicky rozkládá na kyslík a dusík. Pokud hovoříme o oxidech dusíku jako o škodlivinách, jsou tím míněny  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$  (POPL A FÄHNRICH, 1992).

Hlavní úlohu zde hrají  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$ , jejichž zdrojem je troposférický oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$ . V troposféře vzniká největší množství  $\text{NO}$  při hoření či bouřkové činnosti, ale většina této látky je oxidována na  $\text{NO}_2$  a přeměněna na  $\text{HNO}_3$ , která je posléze vymyta z atmosféry. Hlavním zdrojem  $\text{N}_2\text{O}$  v troposféře jsou půda a zemský povrch vůbec, hlavními antropogenními zdroji jsou dusíkatá minerální hnojiva, emise z elektráren a důležitým zdrojem jsou letecká doprava a rakety (VÍDEN, 2005).

Oxid dusnatý vzniká jak přírodními ději, tak antropogenní činností (topeniště, spalovací motory, ...). Snadno přechází různými oxidačními a fotochemickými reakcemi na oxid dusičitý. Oxid dusičitý je mnohem toxičtější než ostatní oxidy dusíku (HOLOUBEK, 1990). Oxid dusnatý může blokovat hemoglobin pro přenos plynů. Akutní expozice 50-100 ppm NO<sub>2</sub> po několik minut až desítky minut vyvolá poškození plic na období několika týdnů, vyšší koncentrace mohou být i smrtelné (KALAČ A TŘÍSKA, 1998). Jejich přirozenými zdroji je oxidace atmosférického amoniaku, mikrobiální denitrifikace, elektrické výboje v atmosféře a vulkanická činnost. Propadem je oxidace v atmosféře za vzniku dusičnanů, které se podílejí na okyselování srážek a životního prostředí (PŘIBIL, 2009).

Antropogenní produkce NO<sub>x</sub> se blíží 100 milionům tun ročně (KALAČ A TŘÍSKA, 1998).



Obr. č. 4: Průměrný podíl významných sektorů na národních emisích NO<sub>x</sub> (%)

(Zdroj: MŽP, 2007. In: ČHMÚ)

## 2.9 Fosfor

Fosfor (P) patří mezi základní biogenní prvky (C, H, O, N, S) nezbytné pro všechny organismy (KALČÍK, 2006). Fosfor je nezbytnou součástí DNA, ATP a fosfolipidech molekul v buněčných membránách (CÍLEK a FILIP, 2009). Hraje významnou roli při transformaci energie. Bez fosforu nemohou růst rostliny ani živočichové. V rostlinách je nutný přenos dědičných vlastností, dělení buněk a fotosyntézy. V organismech jsou nukleové kyseliny mezičlánkem látkové výměny, u obratlovců jsou fosfáty součástí kostry (KALČÍK, 2006).

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých minerálů a zvětralých hornin. Do geochemického oběhu je fosfor začleňován

zvětráváním vyvěřelých i metamorfovaných hornin. Antropogenním zdrojem anorganického fosforu je především aplikace fosforečných hnojiv a odpadní vody z prádelen, do kterých se dostávají fosforečnany z pracích prostředků. Dalším zdrojem jsou polyfosforečnany používané v čistících a odmašťovacích prostředcích. Zdrojem organického fosforu je fosfor obsažený v živočišných odpadech. Dalším zdrojem fosforu organického původu je rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu, usazující se na dně jezer, nádrží a toků. Sloučeniny fosforu se dostávají do povrchových vod i z atmosférických depozic (PITTER, 1999).

### 2.9.1 Cyklus fosforu

Koloběh fosforu je ve srovnání s cykly ostatních prvků mimořádný tím, že fosfor netvoří významnější sloučeniny (redoxní potenciál půd je pro tvorbu fosfenu  $\text{PH}_3$  příliš vysoký). Málo významný je rovněž přenos fosforu ve formě prachu z půd a kapének mořské vody ovzduším (KALAČ A TRÍSKA, 1998).

Cyklus fosforu, na rozdíl od cyklu C nebo N, nezahrnuje masivní přenos P mezi vodními a suchozemskými ekosystémy a atmosférou, stejně jako fosforečné sloučeniny neslouží jako zdroj energie pro mikroorganismy. Naproti tomu, podobně jako v případě C a N, v cyklu fosforu mají významnou úlohu půdní mikroorganismy. Podstatně se podílejí na rozpouštění (solubilizaci) anorganických sloučenin P a na rozkladu (mineralizaci) organických sloučenin. Dočasné vázání fosforu v biomase mikroorganismů zabraňuje ztrátám rozpuštěného fosforu vyplavením nebo imobilizací vazbou na půdní sorpční komplex (tj. na jílové minerály a humusové látky). Vzhledem k poměrně rychlým životním cyklům půdních mikroorganismů se po odumření mikrobiálních buněk relativně mnoho fosforu průběžně uvolňuje a tento fosfor může být přijat rostlinami. Z hlediska zásobení rostlin fosforem tak mikrobiální biomasa představuje velmi významný zásobník fosforu (ŠIMEK, 2003).

Největší tok fosforu představují řeky, které do oceánů ročně odnášejí asi 21 milionů tun P, z toho jen kolem 1 milionu tun v rozpuštěné formě, ostatní jako součást pevných částic. Tento tok se poněkud zvyšuje v důsledku silící vodní eroze, intenzivnějšího hnojení fosforečnými hnojivy a rostoucího použití pracích prostředků. Mimořádně velká množství fosforu jsou uložena v sedimentech na dně moří a oceánů. Tohoto původu jsou i těžená ložiska fosfátů (KALAČ A TRÍSKA, 1998).

## 2.10 Atmosférická depozice v České republice

Česká republika patří přes mnohá zlepšení v minulých letech stále k nejvíce znečištěným oblastem celé Evropy (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Znečištění ovzduší patřilo u nás k nejzávažnějším environmentálním problémům. První informace o naměřených koncentracích některých znečišťujících látek v ovzduší na našem území jsou již z období padesátých let, a to zejména z některých průmyslových oblastí (SYMON, 1960). V Československu byly přijaty normy na ochranu ovzduší v 60. letech (JANČÁŘOVÁ, 1993).

Koncem šedesátých let bylo zahájeno zřizování monitorovacích sítí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Pravidelná měření znečištění ovzduší na území tehdejšího Československa byla zahájena též v šedesátých letech (ŠANTROCH A BABUŠÍK, 1986). Tehdejší ČSSR se jako jedna z prvních evropských zemí přihlásila k monitorování pozadového znečištění ovzduší (BÖHM, 1986). Systematické sledování chemického složení atmosférických srážek, důležité z hlediska odhadu atmosférické depozice látek na území, se provádí v České republice již od roku 1974, kdy bylo měření zahájeno na stanici Hrádek u Pacova (MOLDAN, 1991). Koncem roku 1977 byl na stanicích zahájen evropský měřicí program EMEP (BÖHM, 1986).

V letech 1982 – 84 byla vytvořena Národní síť pro sledování kvality srážek, která pokrývala vcelku rovnoměrně území celého státu a kterou spravoval ČHMÚ ve spolupráci s Ústředním ústavem geologickým (ÚÚG). Měřeními se kromě ČHMÚ a ÚÚG zabýval i Výzkumný ústav vodohospodářský (VÚV), Ústav krajinné ekologie (ÚKE) ČSAV a Ústav fyziky atmosféry (ÚFA) ČSAV (HŮNOVÁ, 2009). V období od 1990 do 1992 byl pozorován pokles znečištění ovzduší, který byl způsoben poklesem průmyslové výroby a dalších hospodářských činností. V období 1990-1999 došlo ke snížení emisí, které se pohybovaly v rozmezí od 13 do 89 procent (MOLDAN A HÁK, 2000). Pro druhou polovinu 90. let lze potvrdit zmíněný mírný pokles depozice oxidovaných forem dusíku o 10–20 %. V roce 2000 byl zaznamenán pokles suché depozice dusíku, který však zřejmě odráží další zpřesnění při modelování pole koncentrací oxidů dusíku v ovzduší. Celková depozice dusíku pro rok 2000 byla rovna hodnotě  $84\,852 \text{ t N (ox+red).rok}^{-1}$  (ČHMÚ, 2010).

V roce 2010 byla celková depozice dusíku rovna hodnotě  $78\,925 \text{ t N (ox+red).rok}^{-1}$  na plochu republiky. Nejvyšších hodnot celková depozice dusíku dosahovala na území Orlických hor (HŮNOVÁ A KOL., 2011). V roce 2012 byla

celková depozice dusíku rovna hodnotě 75 133 t N (ox+red).rok<sup>-1</sup> na plochu republiky a došlo tedy ve srovnání s rokem 2011 k jejímu nárůstu. Nejvyšších hodnot celková depozice dusíku dosahovala na území Krkonoš, Orlických hor, Jizerských hor, Moravskoslezských Beskyd a Krušných hor (ČHMÚ, 2012).

## 2.11 Staniční síť sledování atmosférické depozice v České republice

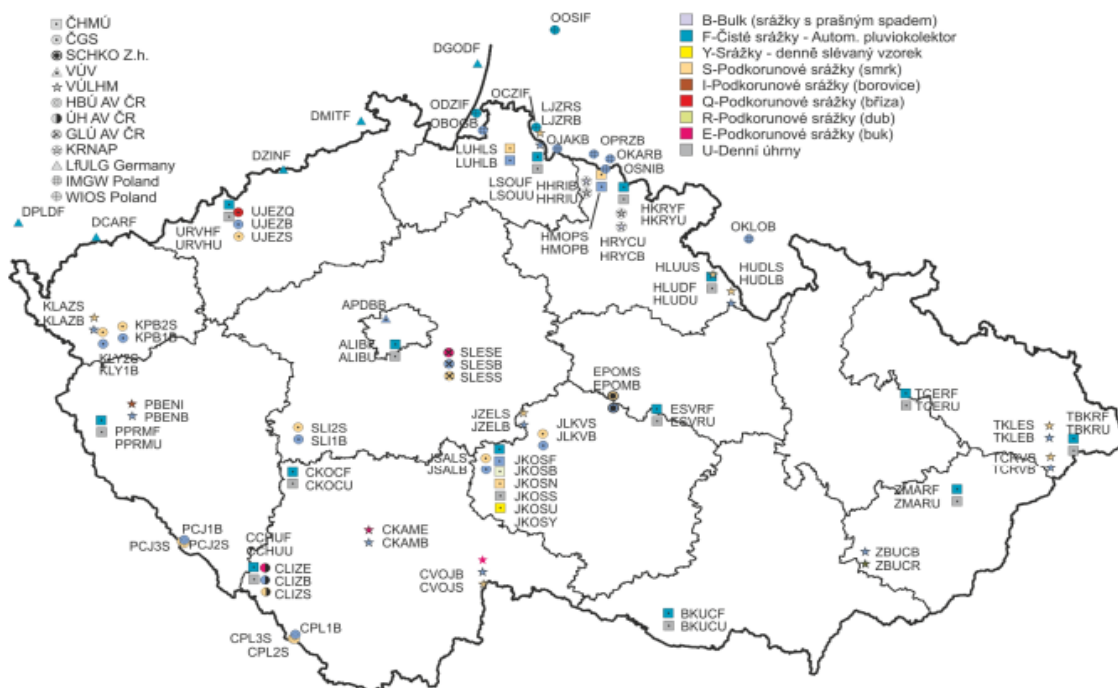
MŽP (1991) uvedlo, že monitorovací síť v České republice jsou nedostatečně technicky i personálně vybaveny a plně nevyhovují ani pro vnitřní potřeby, ani pro účely mezinárodní spolupráce v oblasti životního prostředí.

V průběhu let dochází k určitému vývoji staniční sítě, rozšiřují se měření, co do počtu stanic i frekvence odběrů, rozšiřuje se též spektrum měřených látek a zdokonalují se metody odběru vzorků i jejich následné chemické analýzy. Veškeré naměřené údaje jsou shromažďovány v centrální databázi Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) ČHMÚ (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004) a jsou v tabelární formě prezentována v numerických ročenkách ČHMÚ, prezentuje rozpětí průměrných ročních koncentrací  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  a hodnoty pH (HŮNOVÁ, 2009). Úsek ochrany čistoty ovzduší Českého hydrometeorologického ústavu sleduje dlouhodobě kvalitu venkovního ovzduší, tedy imisní úrovně a atmosférickou depozici znečišťujících příměsí na celém území České republiky. Měřené hodnoty jsou ukládány v jednotné centrální databázi Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) ČHMÚ. Každoročně je prováděna rozsáhlá datová analýza a výsledky jsou pravidelně publikovány např. v tabelárních ročenkách a publikacích (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). Stanice určené pro monitoring zaměřený na ochranu zdraví by měly být umístěné v oblastech s výskytem nejvyšších koncentrací, kde je pravděpodobná přímá či nepřímá expozice populace po dobu signifikantní vzhledem k časovému intervalu, pro který je stanoven imisní limit a v ostatních oblastech zón a aglomerací, které reprezentují obecnou expozici populace (FIALA, 2009).

Chemické složení atmosférických srážek a atmosférická depozice se sledují na území České republiky dlouhodobě na poměrně značném počtu stanic. V roce 2010 byla do databáze Informačního systému kvality ovzduší ISKO dodána data o chemickém složení atmosférických srážek celkem z 50 lokalit (16 lokalit, na kterých zajišťuje měření ČGS, 15 ČHMÚ, 12 VÚLHM, 1 VÚV TGM a 6 HBÚ AV ČR). Dále byla také dodána data z 5 německých lokalit z příhraničních oblastí (HŮNOVÁ A KOL., 2011). Stanice pokrývají dosti rovnoměrně celé území ČR a reprezentují



různá prostředí – relativně čistá (stanice horské a regionální, které nejsou pod bezprostředním vlivem emisních zdrojů, ale jsou samozřejmě ovlivněny dálkovým přenosem znečišťujících příměsí) i antropogenně značně ovlivněná (stanice městské a průmyslové) (HŮNOVÁ, 2009).



Obr. č. 5: Staniční síť sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2012 (vysvětlení zkratk viz příloha č. 1)

(Zdroj: ČHMÚ [online], 2012)

Vzorek čistých srážek se v souladu s metodikou EMEP provádí na stanicích ČHMÚ jako týdenní od r. 1996. Od roku 1997 (do roku 2010 (HŮNOVÁ A KOL., 2011)) byl na těchto stanicích zaveden speciální týdenní odběr srážek s prašným spadem na těžké kovy, tzv. „bulk srážek“. Tato metoda se používá z důvodů vysoké nákladnosti a složitosti odděleného sběru suché a vlhké depozice z atmosférických srážek. Umožňuje odhadnout celkovou atmosférickou depozici (suchou i vlhkou) v lesních ekosystémech (VYSOUDIL, 2002). Od roku 2011 se budou analýzy těžkých kovů na stanicích ČHMÚ provádět z čistých srážek. Na lokalitách ostatních organizací se měří v měsíčních (popř. nepravidelných) intervalech koncentrace ve srážkách typu „bulk“ na volné ploše (popř. pod korunami stromů) (HŮNOVÁ A KOL., 2011). Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském TGM v Praze se provádí dlouhodobé sledování atmosférické depozice, které umožňuje sledovat plošné znečištění přírodního prostředí, povrchových vod a půdy. Cílem tohoto sledování je získání podkladů pro hodnocení změn celkové atmosférické

depozice a poskytování údajů pro výpočet celoplošného znečištění vodních toků a půdy depozicí síry, nutrientů a těžkých kovů (BUDSKÁ, 1998).

### 3. MATERIÁL

K řešení této diplomové práce byly vybrány reprezentativní stanice ze 14 krajů. Pro porovnání a trendy v České republice byla vybrána krajská města. Pro prostorovou analýzu atmosférické depozice byl vybrán Ústecký kraj, jednak pro nejvyšší počet umístěných stanic na svém území, jednak z důvodu vyššího znečištění ovzduší a spadu celkové atmosférické depozice. Vzhledem k použití metody IDW (metoda vážené inverzní vzdálenosti) a Thiessenových polygonů, aby došlo k rozprostření po celém území Ústeckého kraje, byly vybrány nejbližší stanice sousedících tří krajů, a to Středočeského, Karlovarského a Libereckého.

Všechny stanice se nacházejí na území České republiky. U většiny z nich je vlastníkem a zároveň správcem daných lokalit Český hydrometeorologický ústav. Na území Ústeckého kraje má uvedené lokality ve správě ČHMÚ s pobočkou v Ústí nad Labem. Stanice, reprezentující krajská města, má rovněž ve správě ČHMÚ s pobočkami ve svých statutárních městech. U zbývajících stanic, které se nacházejí v jiné správě než ČHMÚ je tato skutečnost vždy uvedena. Jednotlivé stanice jsou očíslovány a podle těchto čísel jsou zobrazeny na mapkách.

Údaje o měřících stanicích popisuje ČHMÚ ve svých tabelárních ročenkách, které jsou volně dostupné na jejich internetových stránkách ([www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)). Pro popis těchto měřících stanic byly použity ročenky 2000, 2005 a 2010.

Tento publikovaný tabelární přehled je výsledkem statistické analýzy imisních dat systematicky ukládaných za daný kalendářní rok do imisní databáze ze všech významných sítí monitorujících znečištění ovzduší na území státu. Od roku 1992 byl v ČHMÚ s využitím aktuálních informačních technologií vybudován Imisní informační systém (IIS), později byl integrován do databázového systému Informační systém kvality ovzduší (ISKO), který je dále rozvíjen. Informační systém kvality ovzduší ISKO soustřeďuje a zpřístupňuje k dalšímu zpracování naměřená data z významných sítí monitorujících látky znečišťující ovzduší a data ze sítí sledování chemického složení atmosférických srážek a atmosférické depozice (ČHMÚ, 2005 [online]).

#### 3.1 Sběr dat

Stanice Ústeckého kraje v roce 2000 byly jen z části automatizované, mnohé z nich byly stanicemi s manuálním odběrem. Měřícími programy, které se na nich

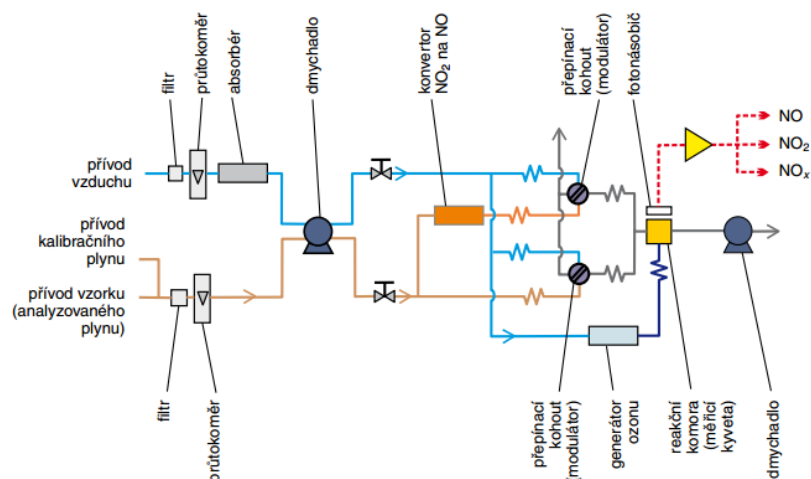
používaly je metoda měření CHLM, TLAM, GUAJA a FUCEL. Pokud není uveden měřicí program u stanice, je stanice automatizovaná, a používá tak CHLM metodu.

GUAJA – Guajakalová (modifikovaná Jakobs-Hochheiserova) spektrofotometrie. Po oxidaci se  $\text{NO}_2$  absorbuje do roztoku NaOH s přídavkem guajakolu a převádí se na dusitany. Následuje Griessova diazotace sulfanilamidem v kyselém prostředí  $\text{H}_3\text{PO}_4$  s kopulačním činidlem NEDA (roztokem N-(1-naftyl) etylendiamindihydrochloridu) za vzniku červeného zbarvení. Intenzita zbarvení se měří spektrofotometricky při 560 nm. Použití  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$  na manuálních stanicích (ČHMÚ, 2007).

TLAM - triethanolaminová spektrofotometrie. Po oxidaci se  $\text{NO}_2$  absorbuje do roztoku thiethanolaminu s přidáním kyseliny sulfanilové v kyselém prostředí  $\text{H}_3\text{PO}_4$  s kopulačním činidlem NEDA. Intenzita zbarvení se měří spektrofotometricky při 540 nm. Konkrétní použití:  $\text{NO}_x$  na manuálních stanicích ZÚ (ČHMÚ, 2007 [online]).

FUCEL - Elektrochemický palivový článek. Kontinuálně-manuální metoda, detektorem je selektivní mikropalivová cela. Konkrétní použití:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  na stanicích ZÚ (ČHMÚ, 2005 [online]).

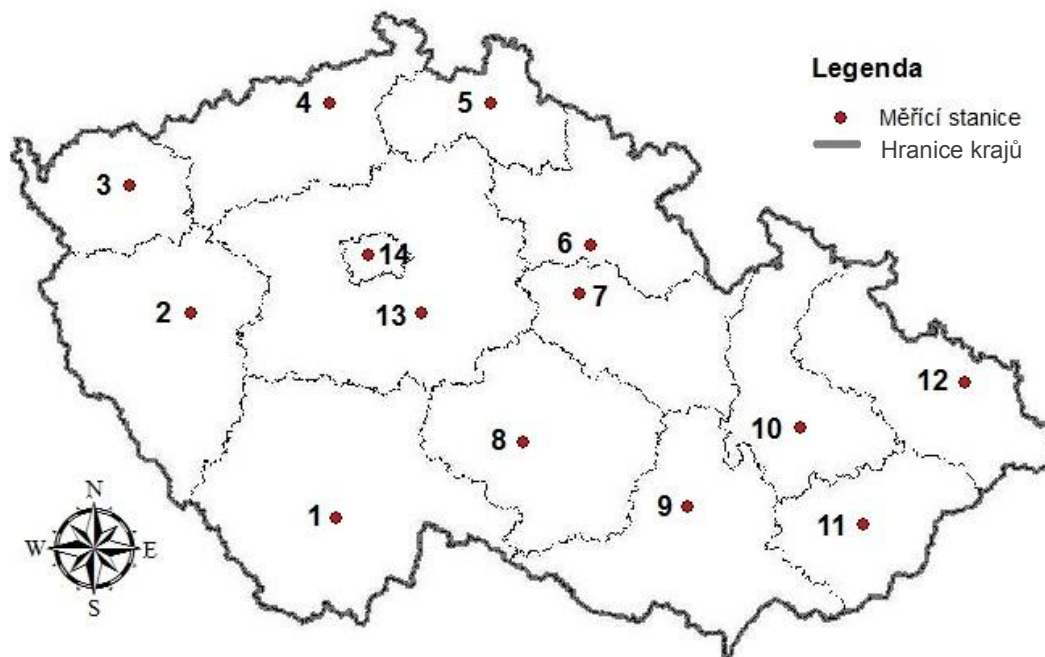
Použité stanice od roku 2005 mají automatizovaný kontinuálně měřicí program, který je označen písmenem A na konci kódu stanice. Tyto stanice zaznamenávají koncentrace oxidů dusíku v časovém intervalu 30 min nebo jedné hodiny. Oxidy dusíku jsou zaznamenávány v jednotkách  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Používaná metoda měření na všech automatizovaných stanicích je CHLM (chemiluminiscence). POPL A FÄHNRIK (1986) uvádí, že chemiluminiscenční metoda se používá ke stanovení okamžitých hodnot  $\text{NO}_x$ . Oxid dusnatý NO je oxidován ozonem  $\text{O}_3$  na  $\text{NO}_2$ . V případě chemiluminiscence vzniká záření v ultrafialové, viditelné nebo blízké infračervené oblasti vlnových délek (BARTOVSKÝ, 2011). V reakční nádobě, jejíž stěny jsou pozlacené, se mísí ozon se vzorkem ovzduší. Vzniklé slabé záření prochází interferenčním filtrem a dopadá na fotonásobič. Po zesílení je světelný tok registrován zapisovačem. Emitované záření se měří při vlnové délce 700 – 900 nm. Nutnou součástí přístroje je i generátor ozonu. Při stanovení celkového množství  $\text{NO}_x$  je třeba oxid dusičitý převést na NO. Po přepnutí čtyřcestného kohoutu se  $\text{NO}_2$  redukuje katalyticky při  $375^\circ\text{C}$  (POPL A FÄHNRIK, 1992). Analyzátor po zpracování signálů poskytuje informaci o koncentraci NO,  $\text{NO}_2$  i jejich součtu  $\text{NO}_x$  (BARTOVSKÝ, 2011).



Obr. č. 6: Schéma chemiluminiscenčního analyzátoru pro měření koncentrace NO, NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> (Zdroj: BARTOVSKÝ, 2011)

Použité stanice krajských měst jsou v této kapitole diplomové práce jmenovitě vypsány a v příloze č. 2 následuje jejich podrobný popis. Měřicí stanice jsou očíslovány a pod těmito čísly jsou zobrazeny na obrázku č. 7.

- 1) Stanice CCBDA-1104 – České Budějovice (Jihočeský kraj)
- 2) Stanice PPLVA-1105 – Plzeň Doubavka (Plzeňský kraj)
- 3) Stanice KKVMA-1505 – Karlovy Vary (Karlovarský kraj)
- 4) Stanice UULMA-1571 – Ústí nad Labem – město (Ústecký kraj)
- 5) Stanice LLIMA-1016 – Liberec – město (Liberecký kraj)
- 6) Stanice HHKSA-396 – Hradec Králové – Sukovy Sady (Královéhradecký kraj)
- 7) Stanice EPAOA-1418 – Pardubice – Rosice (Pardubický kraj)
- 8) Stanice JJIHA-1477 – Jihlava (Kraj Vysočina)
- 9) Stanice BBNYA-1130 – Brno – Tuřany (Jihomoravský kraj)
- 10) Stanice MOLSA-1197 – Olomouc – Šmeralova (Olomoucký kraj)
- 11) Stanice ZZLNA-1510 – Zlín (Zlínský kraj)
- 12) Stanice TOPRA-1410 – Ostrava – Přívoz (Moravskoslezský kraj)
- 13) Stanice SONRA-1108 – Ondřejov (Středočeský kraj)
- 14) Stanice ARIEA-772 – Praha 2 – Riegrovy sady (hlavní město Praha)

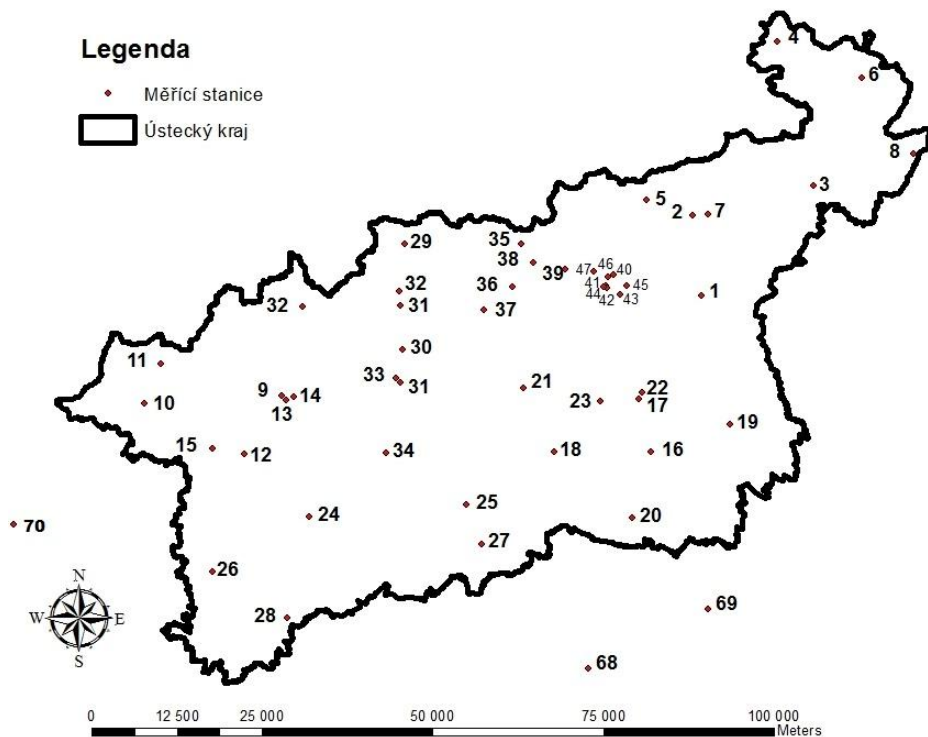


Obr. č. 7: Mapa umístění měřících stanic v krajských městech

Stanice v Ústeckém kraji v roce 2000 jsou rovněž vyjmenovány a jejich podrobný popis nalezneme rovněž v příloze č. 3. Na obrázku č. 8 pod textem najdeme umístění jednotlivých měřících stanic na území Ústeckého kraje.

- 1) Stanice Buková Hora-1279
- 2) Stanice Děčín-1014
- 3) Stanice Lipnice-1303
- 4) Stanice Lobendava-1280
- 5) Stanice Sněžník-1013
- 6) Stanice Valdek-1015
- 7) Stanice Děčín-OHS-576
- 8) Stanice Varnsdorf-5.ZŠ Střel.-1201
- 9) Stanice Chomutov-1001
- 10) Stanice Měděnec-1000
- 11) Stanice Přísečnice-615
- 12) Stanice Tušimice-1002
- 13) Stanice Chomutov-NSP-409
- 14) Stanice Chomutov-OHS-261
- 15) Stanice Kadaň-262
- 16) Stanice Doksany-80

- 17) Stanice Litoměřice-Mlékojedy-1025
- 18) Stanice Lkáň-1305
- 19) Stanice Malešov-1278
- 20) Stanice Martiněves-1034
- 21) Stanice Milešovka-57
- 22) Stanice Litoměřice-OHS-617
- 23) Stanice Lovosice-MÚ-637
- 24) Stanice Čeradice-1027
- 25) Stanice Louny-1026
- 26) Stanice Nepomyšl-1028
- 27) Stanice Smolnice-590
- 28) Stanice Strojetic-1306
- 29) Stanice Fláje-1004
- 30) Stanice Kopisty-37
- 31) Stanice Most-1005
- 32) Stanice Rudolice v Horách-1317
- 33) Stanice Litvínov-929
- 34) Stanice Meziboří-927
- 35) Stanice Most-OHS-537
- 36) Stanice Blažim-1351
- 37) Stanice Krupka-1007
- 38) Stanice Teplice-1008
- 39) Stanice Všechlapy-1009
- 40) Stanice Teplice-OHS-267
- 41) Stanice Chabařovice-1010
- 42) Stanice Ústí nad Labem-Kočkov-1011
- 43) Stanice Ústí nad Labem-město-1012
- 44) Stanice Ústí nad Labem-Brná-1452
- 45) Stanice Ústí nad Labem-Kamenný Vrch-584
- 46) Stanice Ústí nad Labem-KHS,Pasteurova-1457
- 47) Stanice Ústí nad Labem-Krás.Březno-545
- 48) Stanice Ústí nad Labem-Severní terasa-543
- 49) Stanice Ústí nad Labem-Všebořice-547



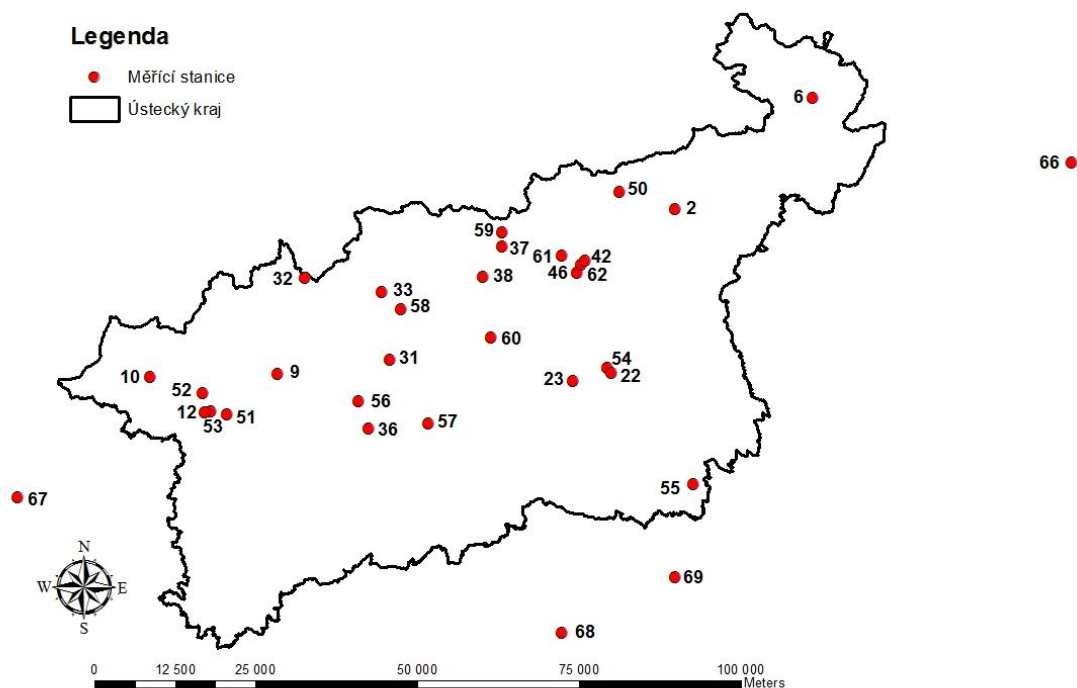
Obr. č. 8: Mapa umístění měřících stanic v roce 2000

V roce 2005 v Ústeckém kraji, ale i celé České republice, došlo k modernizaci měřících stanic. Většina manuálních stanic byla vyměněna za nové, zautomatizované. Jejich výčet najdeme pod tímto textem a podrobnější popis v příloze č. 3. Stanice jsou číslovány vzestupně dále, aby bylo možné dohledat i stanice, které zůstaly z roku 2000 zachované. Na obrázku č. 9 je zaznamenáno umístění měřících stanic v roce 2005 na území Ústeckého kraje.

- 50) Stanice USNZA – Sněžník-1570
- 51) Stanice UDROA – Droužkovice-1331
- 52) Stanice UNVDA – Nová Víska u Domašína-1332
- 53) Stanice UHOHA – Horní Halže-1333
- 54) Stanice ULTTA - Litoměřice-1475
- 55) Stanice ULPRA – Libkovic pod Řípem-1575
- 56) Stanice UHVRA – Havraň-205
- 57) Stanice UMLAA – Milá-1330
- 58) Stanice ULOMA – Lom-1507
- 59) Stanice UKVZA - Komáří Vížka-1328
- 60) Stanice UKOSA – Kostomlaty pod Milešovkou-1329
- 61) Stanice UULDA - Ústí nad Labem – Všebořická (hot spot)-1481



62) Stanice UULMA-Ústí nad Labem – město-1571



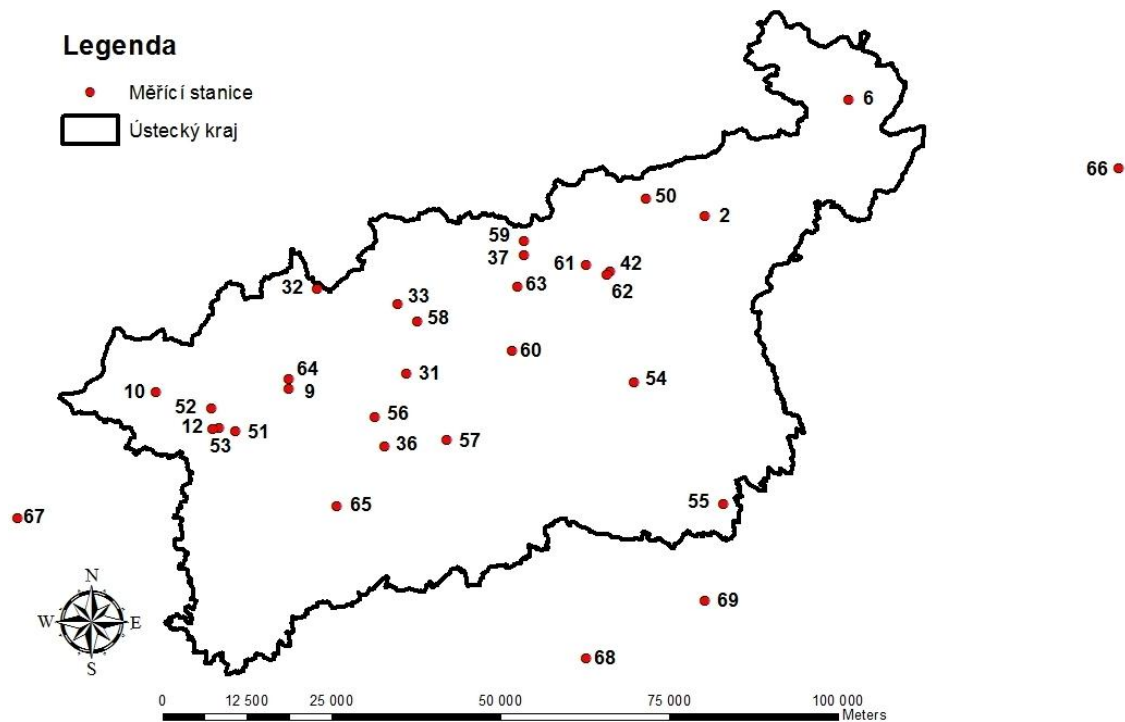
Obr. č. 9: Mapa umístění měřících stanic v roce 2005

V roce 2010 byly oproti roku 2005 už jen malé změny u měřících stanic Ústeckého kraje. Výčet nových měřících stanic v roce 2010 je uveden pod textem a na obrázku č. 10 je tato situace zaznamenána. Podrobnější popis nalezneme v příloze č. 3.

63) Stanice UTPM – Teplice-1763

64) Stanice UVSLA - Chomutov-1871

65) Stanice UZAZA – Žatec-1623



Obr. č. 10: Mapa umístění měřících stanic v roce 2010

Na obrázcích č. 8, 9 a 10 jsou zaznamenány i stanice mimo Ústecký kraj, které jsou používány následně v metodách IDW nebo Thiessenových polygonů. Jmenovitě jsou stanice vyjmenovány pod textem. Podrobně jsou poté popsány v příloze č. 4.

- 66) Stanice LFRUA-Liberec-Frýdlant-Údolí-1018
- 67) Stanice KKVMA-Karlovy Vary-1505
- 68) Stanice SKLSA - Kladno-Švermov-1455
- 69) Stanice SVELA-Mělník-Veltrusy-792
- 70) Stanice Karlovy Vary-1030

## 4. METODY

### 4.1 Použité metody

Jako nejvhodnější metody, které byly vybrány pro porovnání vývoje atmosférické depozice dusíku, byla použita metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW) a metoda Thiessenových polygonů. Tyto metody byly použity pro prostorovou analýzu depozice dusíku v Ústeckém kraji v roce 2000, 2005 a 2010. V této práci je analyzován soubor ročních průměrných koncentrací  $\text{NO}_x$  na různém počtu měřících stanic (minimálně kolem 30) v období jednoho roku. Metody jsou vhodné svým relativně snadným provedením, ale zároveň poměrně přesným výstupem. Takto získané průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  byly mezi sebou následně porovnány a vyhodnoceny. Další část je zaměřena na analýzu časových řad a trendů v krajských městech České republiky za použití klasických statistických metod. V celé diplomové práci je porovnáván pouze dusík, jelikož fosfor na měřících stanicích nebyl mezi roky 2000 až 2010 měřen.

Potřebná data byla upravena a vyhodnocena v softwaru Microsoft Office Excel 2007 od firmy Microsoft, dále v programu ArcGis for Desktop 10 od firmy Esri a v programu Statistica 9 od společnosti StatSoft.

Microsoft Excel 2007 byl použit pro výběr vhodných dat z volně dostupných internetových stránek ČHMÚ pro zvolené roky a období a dále byl použit pro prezentaci výsledných dat formou přehledných tabulek.

Zvolená data sloužila jako vstupní údaje do programu Statistica 9, kde byla zhotovena statistická analýza pro vyhodnocení trendů v časových řadách, a dále do programu ArcGis pro řešení otázky prostorové analýzy. Program ArcGis patří společnosti ESRI, která byla založena v roce 1969. Program ArcGis je komplexním systémem, který slouží pro editaci a správu geografických dat.

Geografický informační systém (GIS) je databázově založený informační systém sloužící především k zachycení, uložení, manipulaci, analýze a prezentaci všech druhů prostorových dat ([www.ise.cz](http://www.ise.cz)). ArcMap 10 je aplikací ArcGis a byl použit pro tvorbu přehledných mapek měřících stanic a pro mapové výstupy použitých prostorových analýz, kde jednak došlo k rozčlenění území na jednotlivé plochy (metoda Thiessenových polygonů), jednak k použití postupných barevných přechodů při výpočtu prostorové distribuce koncentrací  $\text{NO}_x$  v Ústeckém kraji

(metoda IDW). Podle aplikované metody byly používány dva různé nástroje k jejich vytvoření.

#### **4.1.1 Metoda vážené inverzní vzdálenosti - IDW**

Metoda inverzních vzdáleností (IDW- Inverse Distance Weighting) je metodou lokální a spojitou. Výhodou této metody je poměrně jednoduchá implementace výpočtového algoritmu, proto je obsažena téměř ve všech aplikacích umožňujících prostorovou interpolaci. Kvalita interpolačních výsledků závisí na počtu a rozmístění známých bodů použitých pro výpočet (HELLEBRAND, 2011).

Interpolace IDW určuje hodnoty buněk na základě lineárně vážené kombinace množiny vstupních bodů, kde je váha funkcí převrácené hodnoty vzdálenosti. Volba váhy v rámci IDW interpolace nám umožňuje kontrolovat důležitost vstupních bodů pro výsledný povrch v závislosti na jejich vzdálenosti od aktuálně počítaného bodu. Zvýšením hodnoty váhy zdůrazníme význam nejbližších bodů (ORŠULÁK A PACINA, 2011). Pro tvorbu IDW metody byla použita aplikace ArcMap 10.

Metoda IDW pracuje s naměřenými ročními koncentracemi  $\text{NO}_x$  jednotlivých stanic, které byly zadány do atributové tabulky do vrstvy s měřicími stanicemi. V panelech nástrojů se nachází funkce IDW, která jak již bylo zmíněno, dokáže dopočítat chybějící údaje či data z množiny zadaných vstupních dat. Výpočet je tedy založen na váze (hodnotě) funkcí převrácené hodnoty vzdálenosti. Čím dále se zadaný bod (měřící stanice s koncentrací  $\text{NO}_x$ ) nachází od neznámého bodu, tím menší má na jeho hodnotu vliv. Konečným výstupem je rastrová vrstva, kde má každá buňka (pixel) vypočtenou koncentraci  $\text{NO}_x$ . V této vrstvě byla provedena úprava zobrazení koncentrací  $\text{NO}_x$  z jednotlivých rozčleněných intervalů na plynulý přechod (barevnou škálu) dopočtených hodnot. Pro prostorové rozmístění po celém území Ústeckého kraje byly použity nejbližší stanice z okolních krajů. Výpočet neznámých hodnot proběhl tedy i za správní hranice Ústeckého kraje. Výstupní mapa byla oříznuta a tím omezena pouze na území tohoto kraje. Jediným částečně neinterpolovaným místem je oblast Šluknovského výběžku, kde jsou stanice umístěny příliš daleko od státních hranic a hodnoty ze sousedních německých stanic, které by byly potřebné pro výpočet celé této oblasti, nejsou k dispozici.

#### 4.1.2 Thiessenovy polygony

Metoda Thiessenových polygonů je jednou z nejdéle a nejčastěji používaných metod pro stanovení plošných úhrnů atmosférických srážek. Tato metoda vychází z principu konstantní interpolace bodových dat. Reprezentativní plochy jednotlivých srážkoměrů jsou tvořeny půlením vzdáleností sousedních stanic (PUNČOCHÁŘ A KŘEČEK, 2011). Tato metoda se především používá pro stanovení plošných úhrnů srážek, ale je vhodná i k použití výpočtu plošné koncentrace  $\text{NO}_x$ .

Pro tvorbu Thiessenových polygonů se použije funkce Create Thiessen Polygons z panelu nástrojů. Tyto Thiessenovy polygony využívají hodnoty vstupních bodových dat, tedy koncentrace  $\text{NO}_x$  z měřících stanic. Území kraje rozdělí na jednotlivé polygony a to podle vzájemné polohy měřících stanic. Každý polygon obsahuje pouze jednu stanicí s danou koncentrací  $\text{NO}_x$ . Znamená to, že každé místo v polygonu je bližší k dané měřící stanici uvnitř polygonu než k ostatním okolním stanicím v území, popřípadě i za hranicí Ústeckého kraje. Výsledkem je rozčleněné území na jednotlivé plochy, které mají stejné hodnoty jako měřící stanice nacházející se uvnitř polygonu. K výpočtu byly rovněž použity stanice za hranicí Ústeckého kraje a tak byla rovněž provedena úprava ve formě oříznutí pouze na zájmové území.

#### 4.1.3 Statistické metody

V této diplomové práci byla ke statistickému vyhodnocení použita metoda jednoduché lineární regrese a metoda pro porovnání libovolného počtu průměrů – analýza rozptylu nebo-li ANOVA. Kromě těchto metod bylo použito základních popisných statistik a to aritmetického průměru, 95% (konfidenčního) intervalu spolehlivosti, mediánu, směrodatné odchylky a variačního koeficientu.

Popisné statistiky slouží k porovnání krajských měst na území České republiky. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce a porovnány.

#### Aritmetický průměr

HAVRÁNEK (1993) uvádí, že průměr je velmi důležitou charakteristikou. Můžeme říci, že průměr charakterizuje polohu (střed výběru) souboru dat na škále měření. Aritmetický průměr tedy dostaneme součtem všech hodnot vydělených jejich počtem.

## **Medián**

Medián je padesátiprocentním kvantilem, který charakterizuje hodnotu souboru, která je co do velikosti prostřední. Odděluje tedy polovinu hodnot menších od poloviny hodnot větších (SOUČEK, 2001).

## **Konfidenční interval spolehlivosti**

Častou úlohou statistiky bývá odhadnout neznámou hodnotu některého z parametrů na základě dat. Označme obecně kterýkoli parametr symbolem  $\theta$  (théta). Odhadneme-li tento parametr jediným číslem, hovoříme o bodovém odhadu. Při vědomí, že každý takovýto bodový odhad je zatížen větší či menší chybou (protože je založen na náhodně nasbíraných datech a ta mohou být více či méně vychýlená) budeme raději používat odhad intervalový, tzv. interval spolehlivosti nebo též konfidenční interval. Hodnota spolehlivosti (značená jako  $1-\alpha$ ) se nejčastěji volí 0,95 (95 %) a udává pravděpodobnost, s níž je skutečná hodnota parametru  $\theta$  nalezeným intervalem pokryta (HRACH, 2003).

## **Směrodatná odchylka**

KÁBA (1982) uvádí, že nejčastěji používanými charakteristikami variability jsou takové charakteristiky, které informují o proměnlivosti jednotlivých hodnot znaku kolem aritmetického průměru. Variabilita se často popisuje též pomocí kladně vzaté odmocniny z rozptylu, která se nazývá směrodatná odchylka  $S$ . Rozptyl je aritmetický průměr čtverců odchylek od aritmetického průměru a je tedy konstruován k vyjádření variability hodnot kolem aritmetického průměru, ale vyjadřuje i vzájemnou odlišnost hodnot znaku (DRÁPELA A ZACH, 1999).

## **Variační koeficient**

Variační koeficient je podíl směrodatné odchylky a průměru (LEPŠ, 1996). Obvykle tento poměr prezentujeme v procentech. Pak udává, z kolika procent se v průměru odchylují jednotlivé hodnoty od aritmetického průměru (SOUČEK, 2001).

## **Jednoduchá lineární regrese**

Pokud chceme vyjádřit závislost jedné proměnné na jiné, metodický postup se nazývá regrese. Nejjednodušším příkladem regrese je jednoduchá lineární regrese. Jednoduchá znamená, že máme jen jednu nezávislou proměnnou. Lineární znamená, že závislost můžeme vyjádřit přímkou. Nezávisle proměnnou značíme

obvykle  $X$  a vynášíme ji na vodorovnou osu, závisle proměnná bývá značena  $Y$  a vynáší se na svislou osu. Rovnice přímky potom je:  $\hat{Y} = \alpha + \beta X$ , kde  $\hat{Y}$  je očekávaná (predikovaná) hodnota závisle proměnné,  $\beta$  je směrnice této přímky (často zvaná sklon slope) a  $\alpha$  je hodnota  $Y$  v případě kdy  $X=0$ , tedy souřadnice průsečíku přímky s osou  $y$  (intercept) (LEPŠ, 1996).

### **Analýza rozptylu**

V praxi se používá tam, kde vyšetřujeme vliv na jednoho nebo více faktorů na zkoumaný znak, při čemž není rozhodující, zda použitý faktor má povahu kvantitativního či kvalitativního znaku. Nejjednodušším modelem analýzy rozptylu, kdy předpokládáme, že sledovaný statistický znak je ovlivňován pouze jediným faktorem, který budeme sledovat na několika jeho úrovních. Tento model se nazývá analýza rozptylu při jednoduchém třídění (jednoduchá analýza rozptylu) (SOUČEK, 2001). LEPŠ (1996) uvádí pojem analýza variance či ANOVA. Princip analýzy variance můžeme přibližně vysvětlit takto: testujeme nulovou hypotézu, že se střední hodnoty mezi sebou neliší. Protože předpokladem ANOVy je rovnost variancí, můžeme si představit, že za platnosti nulové hypotézy se jedná o několik výběrů z téhož souboru.

Metoda analýzy rozptylu je založena na skutečnosti, že celkovou variabilitu vysvětlované proměnné je možno analyticky vysvětlit jednak variabilitou mezi skupinami daného souboru, jednak variabilitou uvnitř těchto skupin. Pro realizaci tohoto postupu potřebujeme kvantifikovat meziskupinovou variabilitu. Testovým kritériem je poměr mezi rozptylem mezi skupinami (třídami) a rozptylem uvnitř skupin (tříd). Tento poměr je označován na počest známého anglického statistika Ronalda Fischera symbolem  $F$  (SOUČEK, 2001).

Tyto statistické metody byly provedeny a vyhodnoceny v programu Statistica 9 a MS Excel 2007. Program Statistica 9 je komplexní systém, který obsahuje nástroje pro správu dat a jejich analýzy. Společnost má velmi široký výběr technologií, které jsou speciálně vyvinuty pro různá odvětví (www.statsoft.cz, 2013).

## 5. VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Trendy v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v krajských městech České republiky od roku 2000 do roku 2010

Zjištěné koncentrace NO<sub>x</sub> na jednotlivých měřicích stanicích ve statutárních městech vykazovaly značné rozdíly i během jednoho kalendářního roku a podobně tomu bylo i v dalších letech. Nejvyšší koncentrace NO<sub>x</sub> byly naměřeny v zimních měsících. To potvrzuje i JANOUŠKOVÁ A KOL. (2002). Ti uvádí, že expozice NO<sub>x</sub> se výrazně liší mezi stanicemi městskými (i v rámci města podle typu stanice) a venkovskými, výrazná variabilita se projevuje během dne i během roku.

Cílem této kapitoly je zjistit, zda se na jednotlivých stanicích v krajských městech dá vyzorovat trend charakteristik na základě zjištěných koncentrací NO<sub>x</sub> nebo nikoliv.

Ke zjištění této teorie bylo použito programu Statistica 9 a testu jednoduché lineární regrese. Výsledkem tohoto testování je graf pro každé krajské město, kde jsou zaneseny veškeré zjištěné koncentrace NO<sub>x</sub> v bodech na svislou osu Y a jednotlivá data měření na vodorovnou osu X. Jednoduchá lineární regrese je statistický model, který předpokládá, že pro kteroukoli danou hodnotu prediktoru (nezávisle proměnné X) má odpovídající veličina (závislá proměnná Y) střední hodnotu (průměr), která je dána příslušnou hodnotou na regresní přímce. Opakovaná pozorování Y při daném X = x budou nabývat hodnot kolem střední hodnoty a jejich rozdělení by mělo být normální s nějakým neznámým rozptylem  $\sigma^2$  (EUROMISE, 1998 [online]).

Při jednoduché lineární regresi je použito intervalu spolehlivosti (konfidenčního intervalu) pro střední hodnotu  $\mu$  na hladině spolehlivosti  $1 - \alpha$ . Zpravidla se volí  $\alpha=0,05$  nebo  $\alpha=0,01$ , pak  $1 - \alpha$  je 0,95 nebo 0,99. Jde tedy o to, aby námi zkonstruovaný interval pokryl s pravděpodobností např. 0,99 neznámou hodnotu střední hodnoty  $\mu$ . Tak víme, že  $\mu$  leží s pravděpodobností 0,99 uvnitř na základě dat nalezeného intervalu (HAVRÁNEK, 1993). V diplomové práci je použit interval, který pokryl s pravděpodobností 0,95 neznámou hodnotu střední hodnoty  $\mu$ .

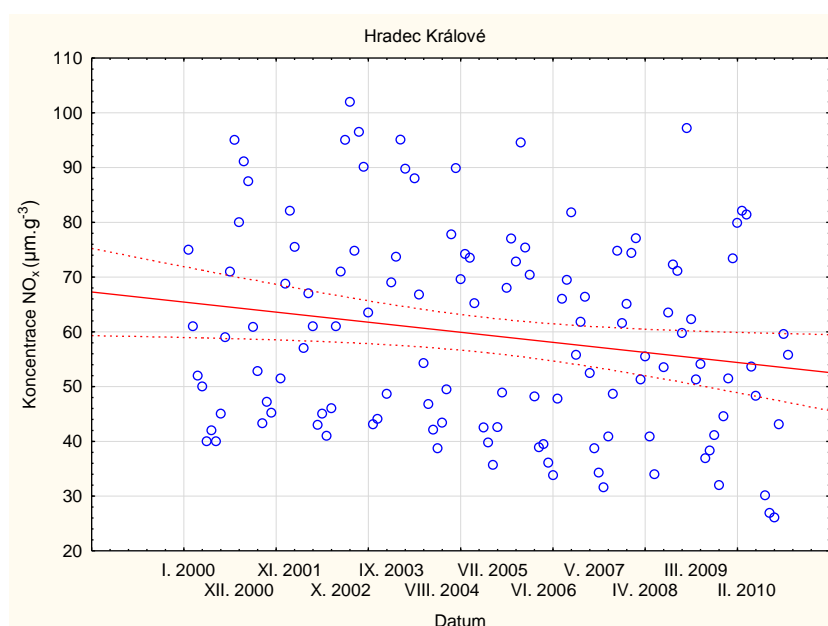
Výsledkem je tedy přímka, která nám ukazuje trendy charakteristik na jednotlivých měřicích stanicích ve statutárních městech. V rámci této diplomové práce je možno pozorovat tři různé trendy v charakteristikách naměřených



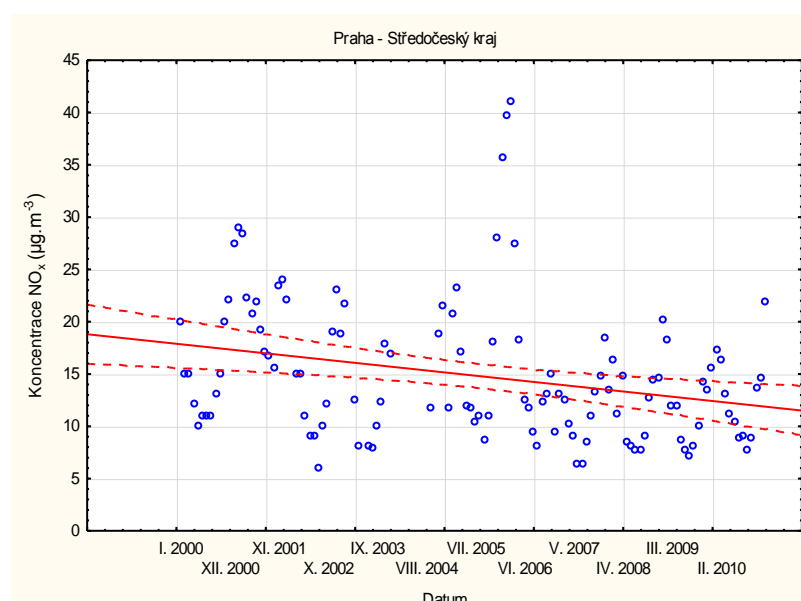
koncentrací  $\text{NO}_x$  ve statutárních městech po dobu deseti let. Tato koncentrace  $\text{NO}_x$  byla pro získání trendů v časových řadách použita ze stanic, které jsou uvedeny v kapitole 3.1 a obr. č. 7.

Krajská města jsou rozdělena podle průkaznosti trendů, ať už klesajících nebo rostoucích, na dosažené hladině významnosti  $p < 0,05$ .

Prvním statisticky průkazným trendem, který je možno vypočítat jsou grafy č. 1 a 2 ukazující trendy v Hradci Králové a Středočeském kraji. Klesající trend v Hradci Králové (graf č. 1) na dosažené hladině významnosti  $p=0,03$  je průkazný. Stejně tak je tomu u Prahy ve Středočeském kraji (graf č. 2), která rovněž ukazuje na průkaznost klesajícího trendu na hladině významnosti  $p < 10^{-6}$ .



Graf č. 1: Trend v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  v Hradci Králové

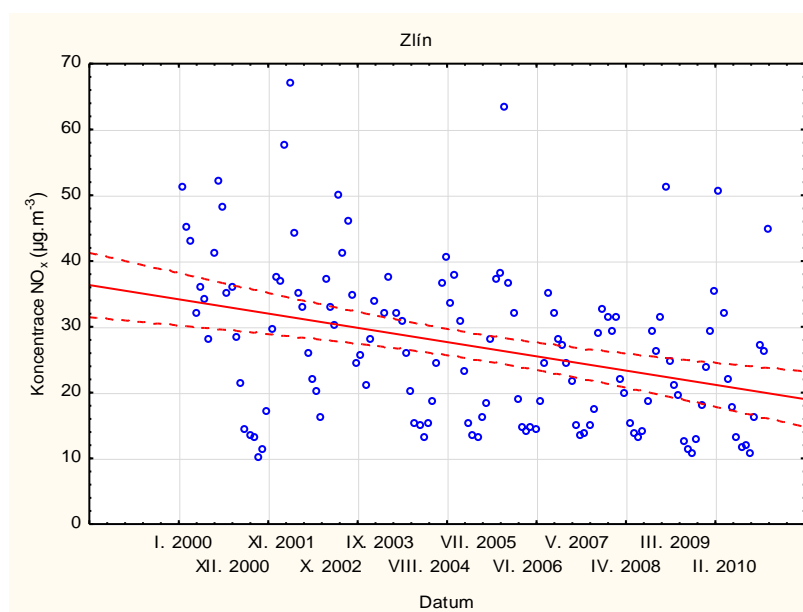


Graf č. 2: Trendy v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  v Praze (Středočeský kraj)

Graf č. 3 a 4, krajská města Plzeň a Zlín, ukazují rovněž na průkaznost klesajícího trendu při dosažené hladině významnosti  $p=0,02$  v Plzni (vyobrazeno na grafu č. 3) a  $p < 10^{-6}$  ve Zlíně (graf č. 4).



Graf č. 3: Trendy v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  v Plzni



Graf č. 4: Trendy v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  ve Zlíně

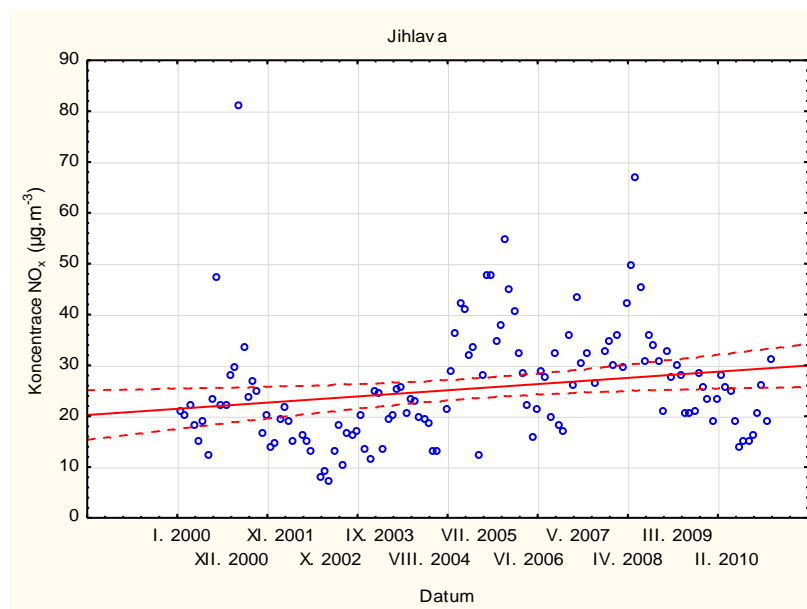
Grafy č. 1-4 ukazují, že klesající trendy oxidů dusíku v městech Hradec Králové, ve Středočeském kraji, v Plzni a Zlíně v průběhu deseti let jsou statisticky průkazné. ČHMÚ [online] (2004) uvádí, že tento sestupný trend byl dán stabilizací emisí ze stacionárních zdrojů. Mírný pokles emisí mobilních zdrojů je dán probíhající obnovou vozového parku, zejména osobních automobilů. Z emisní analýzy vyplývá, že emise znečišťujících látek se po výrazném poklesu v letech 1990 až 1999 dostaly

v období 2000 až 2005 do fáze mírného poklesu. S tímto trendem je počítáno dle Národního programu snižování emisí České republiky až do roku 2010 (MŽP, 2007).

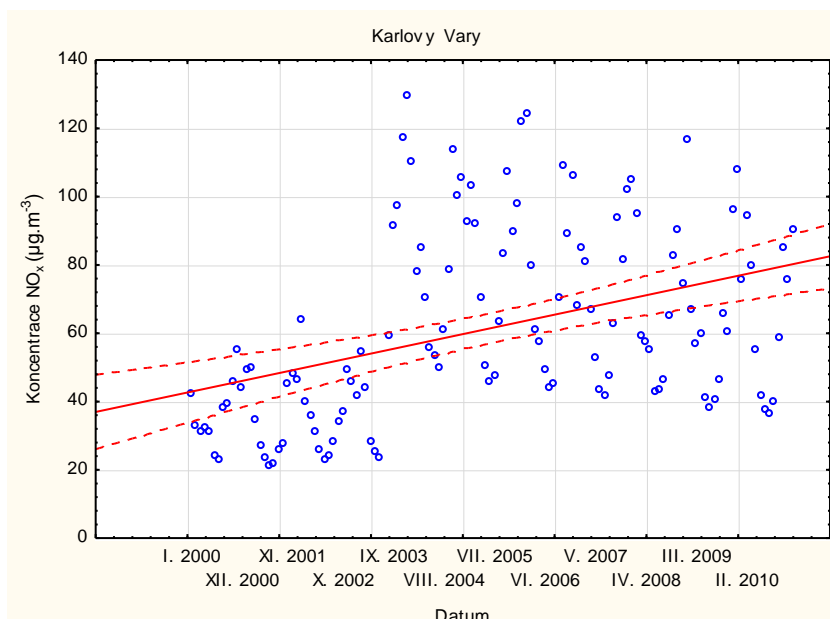
Trend poklesu koncentrací  $\text{NO}_x$  je pozitivním jevem, avšak i z grafu č. 1 je patrné, že hodnoty oxidů dusíku, ve kterých se toto město pohybuje, tedy Hradec Králové, jsou stále značně vysoké. Dle MŽP (2007) za tento stav nemohou velké továrny, ale často také sami občané. Největším současným problémem jsou totiž neklesající emise – a ty pocházejí především z lokálních topenišť a automobilů. Lokální topeniště ke znečištění ovzduší významně přispívají i v oblastech, kde se na znečištění významně podílí rovněž průmysl.

Grafy č. 5 a č. 6 zobrazují opačný trend koncentrací  $\text{NO}_x$ . I v tomto případě jsou tyto rostoucí trendy statisticky průkaznými.

Graf č. 5 zobrazuje situaci v krajském městě Jihlavě. Tento rostoucí trend je průkazný na dosažené hladině významnosti  $p=0,02$ . Posledním statisticky průkazným rostoucím trendem koncentrací  $\text{NO}_x$  je graf č. 6, který zaznamenává Karlovy Vary. Jedná se o průkazný vývoj koncentrací oxidů dusíku na hladině významnosti  $p < 10^{-6}$ . Karlovy Vary vykazují od roku 2004 strmý nárůst koncentrací  $\text{NO}_x$ . Jak uvádí BRODSKÁ (2013) velký výskyt znečišťujících látek v ovzduší je nejčastěji způsoben zvláště velkými, velkými zdroji, které spalují uhlí, plyn nebo topné oleje, dále velký vliv na znečištění ovzduší má automobilová doprava a v některých oblastech i nezodpovědní občané.



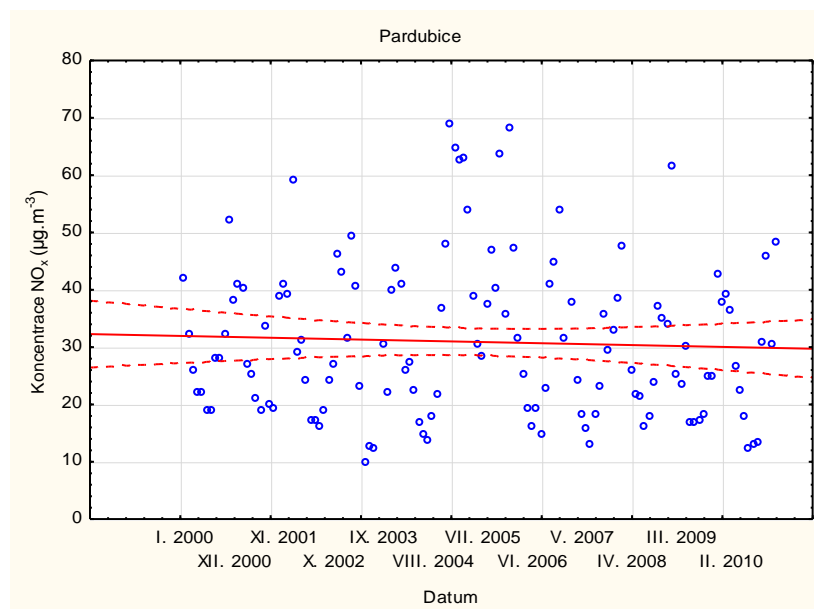
Graf č. 5: Trendy v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  v Jihlavě



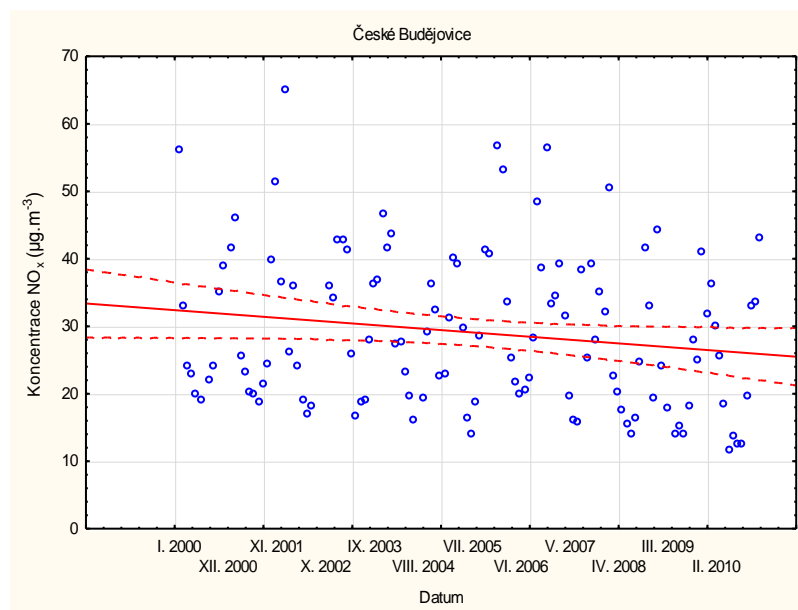
Graf č. 6: Trendy v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Karlových Varech

Grafy č. 7 – 10 ukazují, že průměrné hodnoty depozice dusíku se v čase snižují či zvyšují, ale trendy jsou statisticky neprůkaznými. A to z toho důvodu, že jejich dosažené hladiny významnosti převyšují hodnotu  $p=0,05$ .

Graf č. 7 zaznamenává koncentrace NO<sub>x</sub> v Pardubicích. Dosažená hladina významnosti je  $p=0,61$ . Tato situace nastala rovněž u Českých Budějovic (graf č. 8), dosažená hladina významnosti je  $p=0,07$ .

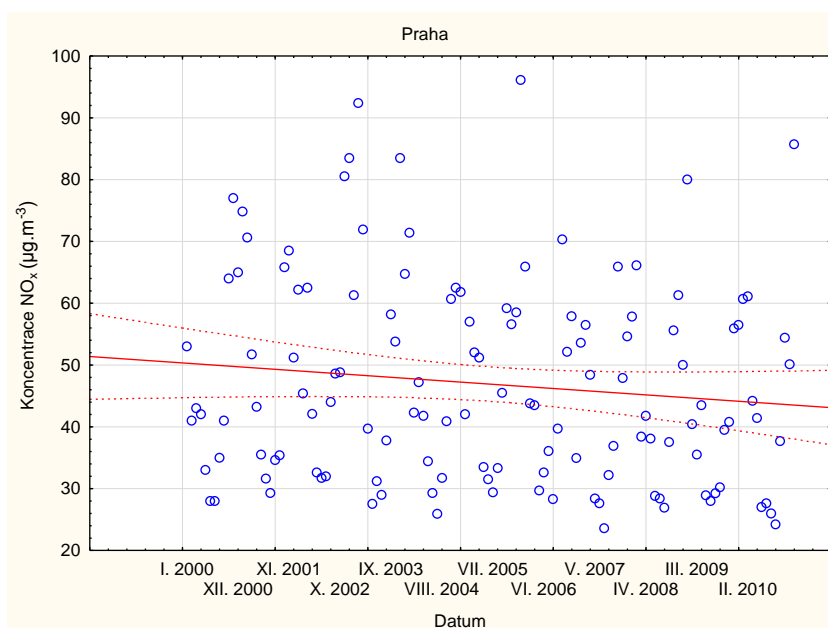


Graf č. 7: Trend v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Pardubicích

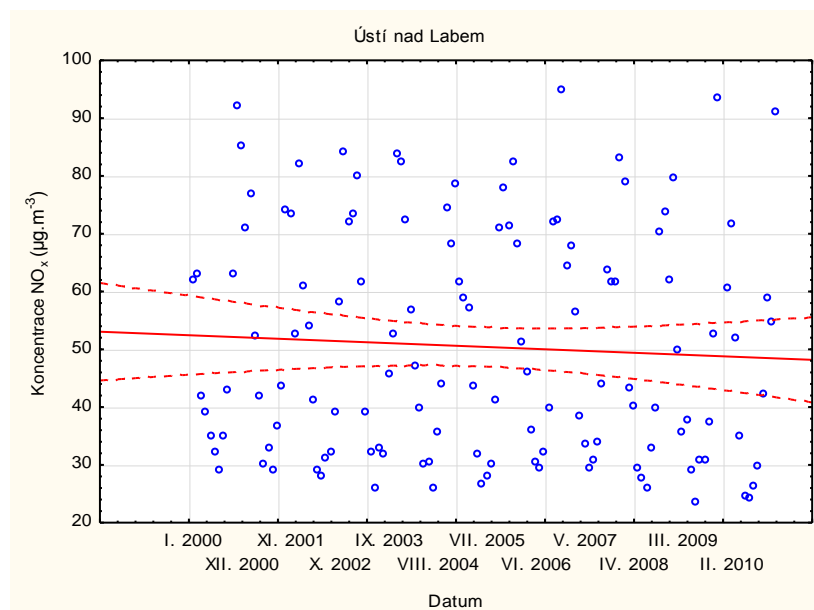


Graf č. 8: Trend v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Českých Budějovicích

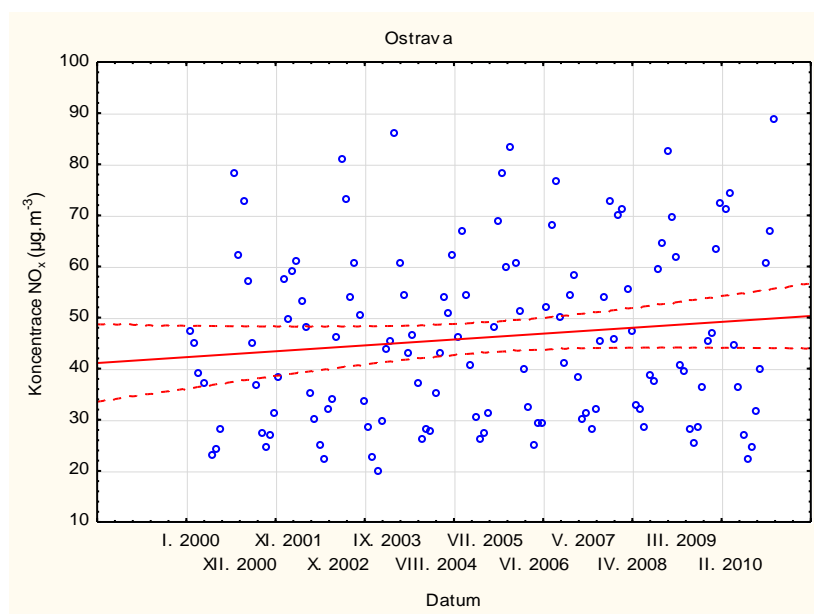
Graf č. 9 zobrazuje průměrné koncentrace oxidů dusíku v hlavní město Praze, dosažená hladina významnosti je  $p=0,17$ . Graf č. 10 zaznamenává město Ústí nad Labem, zde dosahuje hladina významnosti  $p=0,50$ .



Graf č. 9: Trendy v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Praze (hl. město)



Graf č. 10: Trendy v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Ústí nad Labem



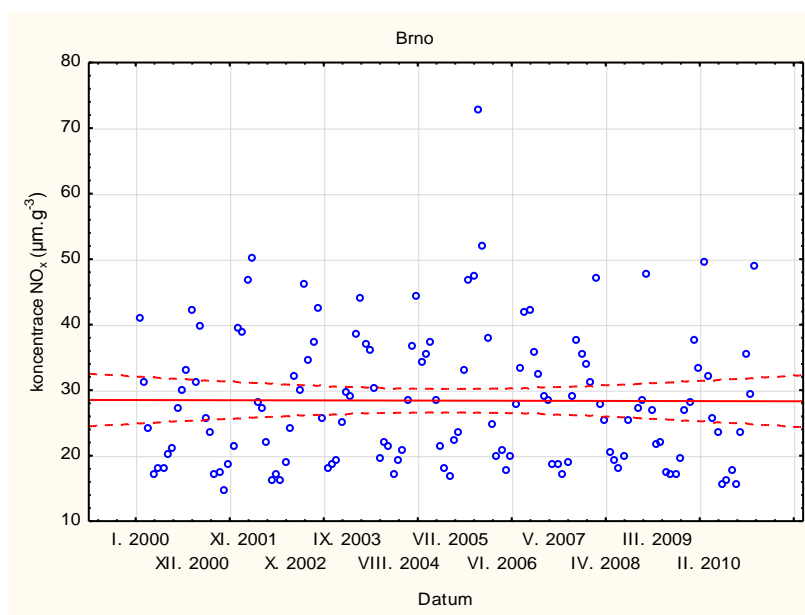
Graf č. 11: Trendy v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Ostravě

Graf č. 11 ukazuje situaci v krajském městě Ostravě. Průměrné koncentrace depozice dusíku se v průběhu deseti let snižují nebo zvyšují, ale trend je statisticky neprůkazným. Dosažená hladina významnosti je  $p=0,15$ . V Ostravě je tato situace zapříčiněna těžkým průmyslem. Tato lokalita patří dlouhodobě mezi oblasti s nejhorším znečištěním ovzduší v ČR (ČHMÚ, MŽP).

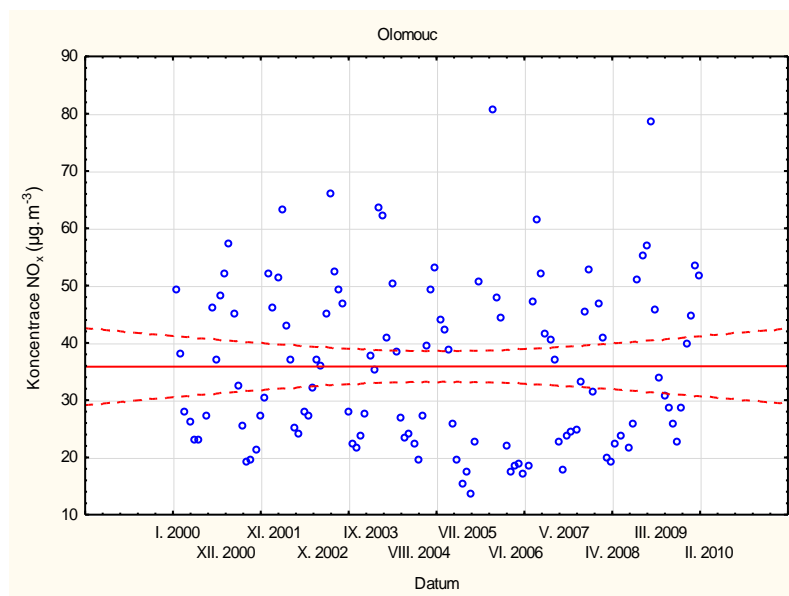
Grafy č. 12-14 neukazují od roku 2000 do roku 2010 žádný trend v nárůstu nebo naopak poklesu koncentrací NO<sub>x</sub> v daných krajských městech. Nejedná se

tedy o průkazné trendy, jelikož dosažená hladina významnosti byla vyšší než hodnota  $p=0,05$ .

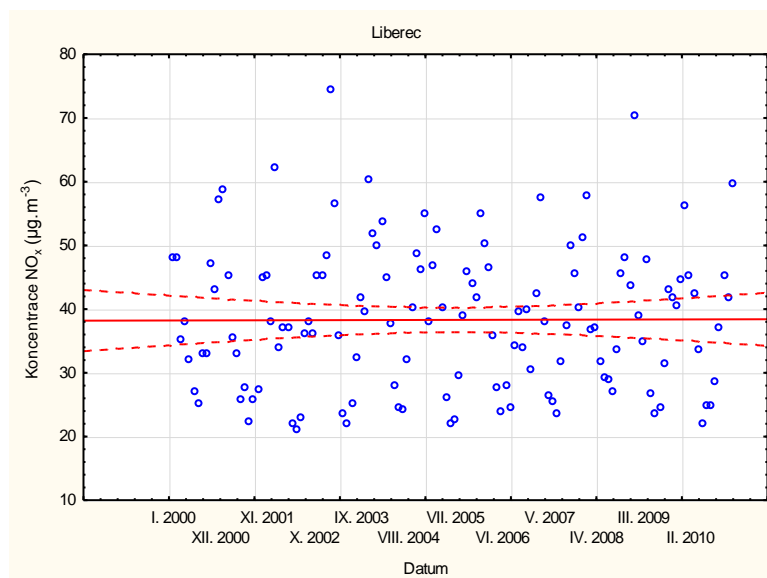
Graf č. 12 zobrazuje dosažených koncentrací  $\text{NO}_x$  v Brně. Dosažená hladina významnosti je  $p=0,96$ . Graf č. 13 a 14, tedy koncentrace  $\text{NO}_x$  v Olomouci a Liberci, vykazují téměř totožné hodnoty koncentrací oxidů dusíku po dobu deseti let. V grafu č. 13, které zobrazuje krajské město Olomouc je dosažená hladina významnosti  $p=0,99$ , v grafu č. 14 zobrazující krajské město Liberec je hodnota  $p=0,96$ .



Graf č. 12: Trend v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  v Brně



Graf č. 13: Trend v časových řadách koncentrací  $\text{NO}_x$  v Olomouci



Graf č. 14: Trend v časových řadách koncentrací NO<sub>x</sub> v Liberci

Výsledky jednoduché lineární regrese, které měly vysledovat trendy v charakteristikách koncentrací oxidů dusíku v jednotlivých krajských městech jsou uvedeny v tab. č. 2. Ve sloupci průkaznost je vždy uvedeno, zda dané krajské město a jeho vysledovaný vývoj koncentrací NO<sub>x</sub> je statisticky průkazný (hodnota dosažené hladiny významnosti je  $p < 0,05$ ) nebo nikoliv (v tomto případě je hodnota  $p > 0,05$ ). Podle dosažené hladiny významnosti  $p$  je možno rozhodnout, zda se jedná či nejedná o průkazný trend v charakteristikách koncentrací oxidů dusíku. U krajských měst, kde byla hodnota  $p > 0,05$  lze říci, že zde nebyl vypořizován žádný trend.

Tab. č. 2: Přehled trendů charakteristik v koncentracích NO<sub>x</sub> v krajských městech

krajské město	průkaznost	trend
České Budějovice	ne	-
Brno	ne	-
Jihlava	ano	↗
Olomouc	ne	-
Ústí nad Labem	ne	-
Pardubice	ne	-
Hradec Králové	ano	↘
Karlovy Vary	ano	↗
Praha (Středočeský kraj)	ano	↘
hlavní město Praha	ne	-
Zlín	ano	↘
Liberec	ne	-
Plzeň	ano	↘
Ostrava	ne	-

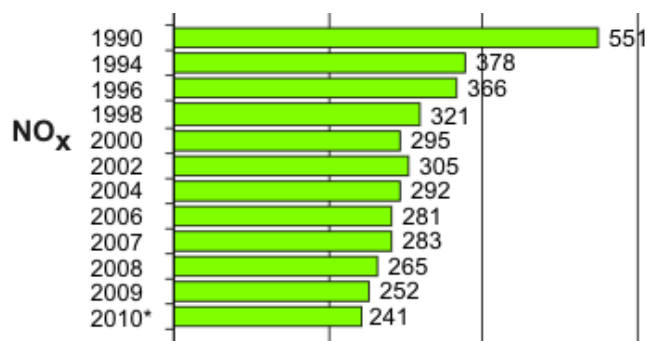


Různá literatura se v předpovědích růstu či poklesu oxidů dusíku staví jinak. Např. HRUŠKA A KOL. (2006) uvádějí, že velikost kyselé depozice se pouze v současnosti snížila, a to zhruba na polovinu pro dusík. Tato úroveň depozice zůstane pravděpodobně zachována v příštích dvou až třech desetiletích. U dusíku je dokonce mírná tendence k růstu, který je způsoben rostoucí automobilovou dopravou. HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ (2001) zase tvrdí, že od roku 1988 je pozorován mírně stoupající trend v úrovních oxidů dusíku. MŽP (2007) uvádí, že kvalita ovzduší v České republice se od roku 1989 výrazně zlepšila – pomohly k tomu zákony, které donutily elektrárny odsířit a všechny velké zdroje znečištění snížit emise. Ovšem v posledních letech se tento pozitivní trend zastavil a kvalita ovzduší se začíná opět zhoršovat.

Určení toho, jaký trend převládá nebo jaký trend se dá očekávat je velmi složité. Obecně se dá říci, že se předpokládá trend poklesu oxidů dusíku v průběhu dalších 15 let. Do roku 2020 dle MŽP je předpovídán další pokles v emisích oxidů dusíku. Obr. č. 11 zobrazuje, že tento trend snižování koncentrací  $\text{NO}_x$  převažuje. Najdou se zde ale roky, které naopak vykazují nárůst oproti rokům předešlým.

ČHMÚ (2010) vysvětluje, že všeobecně je trend kolísání koncentrací  $\text{NO}_x$  takový, že v letech 2001–2003 koncentrace  $\text{NO}_x$  stoupají a v roce 2003 dosahují svých maximálních úrovní. V roce 2004 byl tento vzestupný trend ve znečištění  $\text{NO}_x$  zastaven a došlo naopak k určitému poklesu jejich koncentrací. V roce 2007 byl dosavadní kolísavý trend v úrovni koncentrací látek zastaven a došlo k výraznému snížení znečištění ovzduší  $\text{NO}_x$ . V roce 2009 byl naopak patrný vzestup znečištění ovzduší  $\text{NO}_x$  zhruba na úroveň roku 2007. Vzestup koncentrací uvedených znečišťujících látek v ovzduší byl dán méně příznivými meteorologickými a rozptylovými podmínkami zejména v lednu, únoru a v prosinci 2009 oproti roku 2008.

Kolísání trendů jednotlivých znečišťujících látek je způsobeno jednak poklesem emisí, změnou skladby průmyslové výroby a používaných paliv, na druhou stranu velký vliv mají meteorologické podmínky, zejména rozptylové podmínky (ČHMÚ [online], 2011).



Obr. č. 11: Koncentrace NO<sub>x</sub> od roku 1990 do roku 2010 na území České republiky

(Zdroj: ČHMÚ [online], 2011)

## 5.2 Statistické vyhodnocení porovnání koncentrací oxidů dusíku v krajských městech ČR za desetiletí

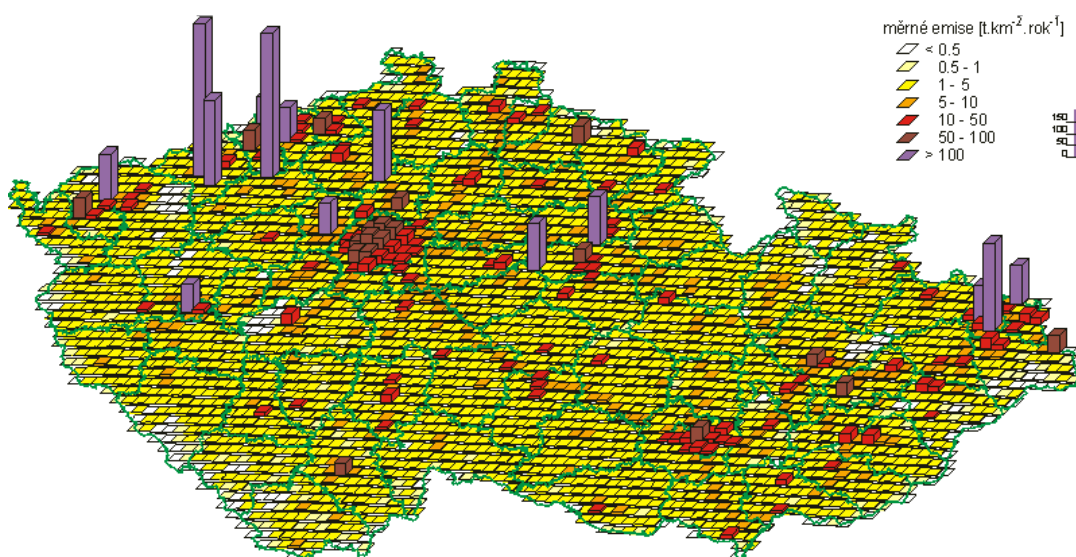
Koncentrace NO<sub>x</sub> byly získány z krajských stanic, které jsou blíže rozepsány v kapitole 3.1 a na obr. č. 7. Data se v průběhu roku značně lišila. Nejvyšších hodnot dosahovaly oxidy dusíku v zimních obdobích. V programu Statistica 9 byly z daných koncentrací NO<sub>x</sub> pro roky 2000 (tab. č. 3) a 2010 (tab. č. 4) vypočítány aritmetické průměry s 95 % konfidenčním intervalem, mediány, směrodatné odchylky a variační koeficienty.

Tab. č. 3: Statistické vyhodnocení NO<sub>x</sub> v krajských městech v roce 2000

Krajská města za rok 2000	Aritm. průměr [μg.m <sup>-3</sup> ]	Int. spolehl. -95% [μg.m <sup>-3</sup> ]	Int. spolehl. 95% [μg.m <sup>-3</sup> ]	Medián [μg.m <sup>-3</sup> ]	Směrodatná odchylka [μg.m <sup>-3</sup> ]	Variační koeficient [μg.m <sup>-3</sup> ]
České Budějovice	29,50	21,26	37,74	24,00	11,52	39,05
Brno	26,83	21,29	32,38	25,50	8,73	32,52
Jihlava	22,42	16,87	27,97	21,50	8,73	38,6
Ostrava	42,56	28,59	56,52	39,00	18,17	42,71
Olomouc	36,09	28,56	43,62	37,00	11,21	31,06
Zlín	40,08	35,14	45,02	38,50	7,77	19,40
Pardubice	30,00	23,66	36,34	28,00	9,97	33,24
Karlovy Vary	36,50	30,57	42,43	35,50	9,34	25,58
Hradec Králové	59,17	47,87	70,46	55,50	17,78	30,05
Liberec	38,83	32,64	45,02	36,50	9,74	25,08
Plzeň	22,92	17,70	28,13	21,00	8,21	35,81

Praha (Středočeský kraj)	14,58	11,99	17,17	14,00	4,08	27,96
Ústí nad Labem	51,67	38,28	65,06	42,50	21,08	40,79
hl.m. Praha	45,83	35,86	55,80	41,50	15,69	34,23

Pro rok 2000 byly vyšší průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  dosaženy na několika stanicích v krajských městech, a to Ostrava, Hradec Králové, Ústí nad Labem a hlavní město Praha. Dále lze pozorovat poměrně stále vysoké koncentrace oxidů dusíku v Liberci, Karlových Varech, Zlíně či Olomouci. Naopak nízké koncentrace  $\text{NO}_x$  byly vypočteny pro Středočeský kraj, Plzeň a Jihlavu. Tyto údaje odpovídají i zpracovaným grafickým údajům ČHMÚ (2001) na obr. č. 12, i přesto, že tyto údaje jsou vypracovávány pro rozlohu 5x5 km, tedy pro mnohem větší oblast než zaujímají údaje z jedné měřicí stanice. I tak lze pozorovat stejný trend vývoje hodnot oxidů dusíku pro rok 2000.



Obr. č. 12: Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km, 2000

(Zdroj: ČHMÚ [online], 2001)

Tabulka č. 4 zobrazuje statistické vyhodnocení po deseti letech, tedy v roce 2010. Za toto období došlo na většině měřicích stanic k poklesu koncentrací  $\text{NO}_x$ . Stanice s nejvyššími koncentracemi oxidů dusíku zůstaly nezměněny stejně jako v roce 2000 a je jimi Hradec Králové, Ústí nad Labem a hlavní město Praha. I u těchto měst došlo k poklesu hodnot koncentrací oxidů dusíku. Jediným krajským městem, kde lze pozorovat ještě nárůst koncentrací  $\text{NO}_x$  je Ostrava. Dalším statutárním městem, kde došlo ke zvýšení koncentrací  $\text{NO}_x$ , patří Karlovy Vary.

I v dalších krajských městech došlo ke snížení koncentrací NO<sub>x</sub>. Nejlepšího zlepšení dosáhlo město Zlín a Plzeň, kdy došlo k omezení koncentrací oxidů dusíku téměř na polovinu oproti roku 2000.

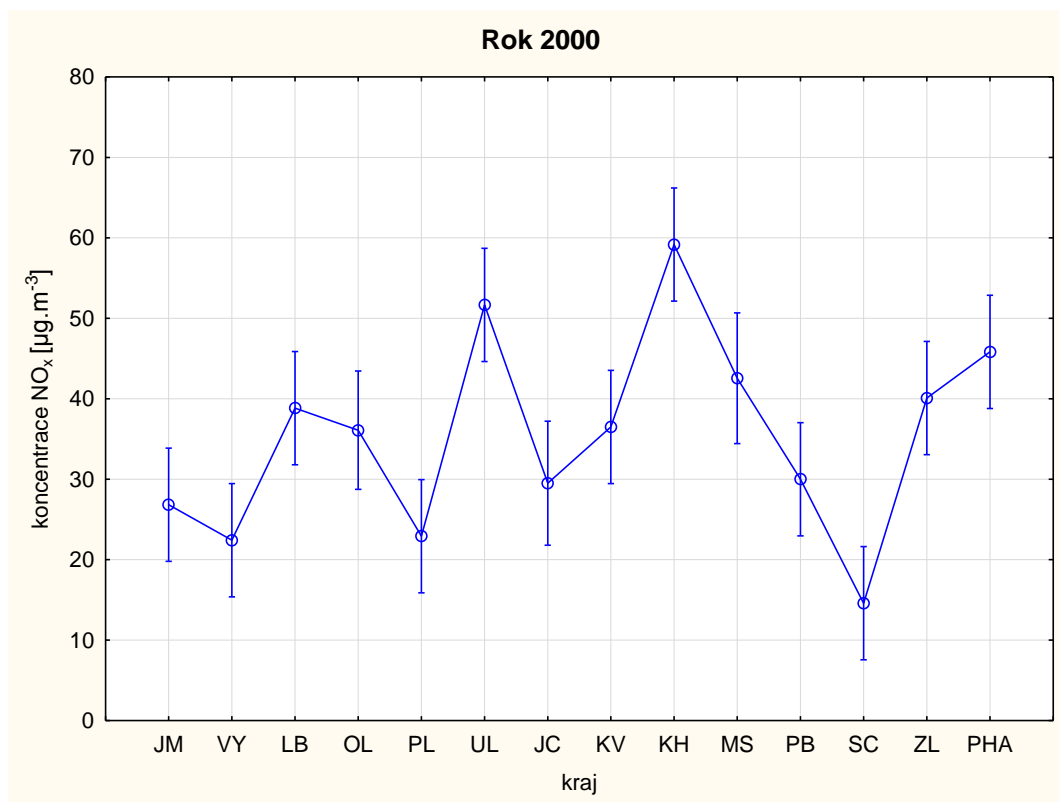
V krajském městě Olomouci nedocházelo v roce 2010 k měření. Proto tyto údaje v tab. č. 4 chybí.

Tab. č. 4: Statistické vyhodnocení NO<sub>x</sub> v krajských městech v roce 2010

<b>Krajská města za rok 2010</b>	<b>Aritm. průměr</b> [μg.m <sup>-3</sup> ]	<b>Int. spolehl. -95%</b> [μg.m <sup>-3</sup> ]	<b>Int. spolehl. 95%</b> [μg.m <sup>-3</sup> ]	<b>Medián</b> [μg.m <sup>-3</sup> ]	<b>Směrodatná odchylka</b> [μg.m <sup>-3</sup> ]	<b>Variační koeficient</b> [μg.m <sup>-3</sup> ]
České Budějovice	24,16	17,29	31,02	22,65	10,80	44,72
Brno	27,73	20,13	35,34	24,55	11,97	43,14
Jihlava	21,06	17,40	24,72	19,70	5,76	27,35
Hradec Králové	50,70	36,19	65,21	50,95	20,28	40,00
Ústí nad Labem	47,54	34,17	60,91	47,00	21,04	44,27
Pardubice	27,98	19,96	36,01	28,35	12,63	45,14
Zlín	23,63	15,24	32,01	19,75	13,19	55,83
Praha	12,71	10,00	15,42	12,10	4,27	33,58
Ostrava	48,89	34,70	63,09	42,15	22,34	45,70
Olomouc	-	-	-	-	-	-
Karlovy Vary	64,03	50,17	77,89	67,20	21,82	34,07
Liberec	38,38	30,59	46,18	39,40	12,26	31,95
Plzeň	11,25	9,19	13,30	11,40	3,05	27,16
hl.m. Praha	45,01	33,26	56,76	42,80	18,50	41,10

Dále byla mezi sebou porovnána data koncentrací oxidů dusíku v jednotlivých krajských městech pomocí jednocestné analýzy variance (ANOVA). Vstupní data do programu Statistica 9 byla tvořena průměrnými měsíčními koncentracemi NO<sub>x</sub> v roce 2000, 2005 a 2010 v jednotlivých krajských městech České republiky.

Nejprve byly testovány průměrné měsíční koncentrace NO<sub>x</sub> v roce 2000, což zobrazuje graf č. 15. Z průkazného výsledku analýzy rozptylu ANOVA vyplývá, že existuje statisticky významný rozdíl v koncentracích oxidů dusíku alespoň v jednom případě mezi měřícími stanicemi v krajských městech v roce 2000 na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Proto následovala analýza pomocí post-hoc testů (např. Fischer LSD, Scheffé, Tukey HSD, aj.), která prokázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými stanicemi. V příloze č. 5 je uvedena pro příklad tabulka s analýzou pomocí post-hoc testů pro rok 2000, zvolen byl test Fischer LSD.

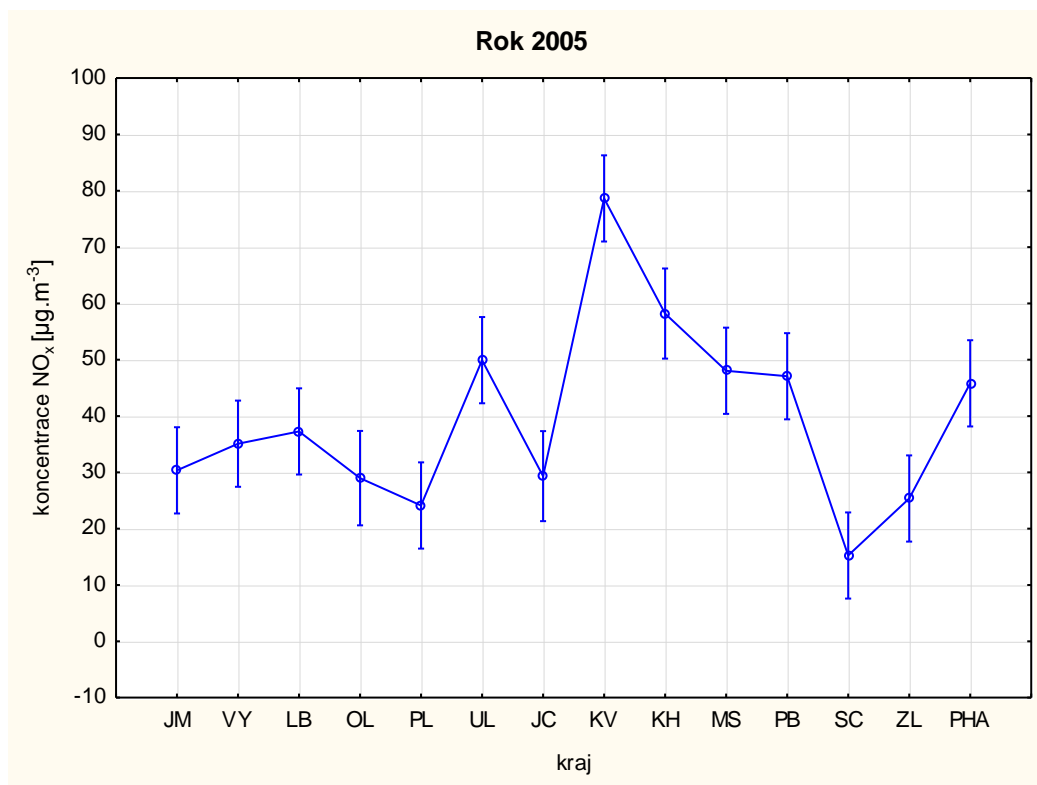


Graf č. 15: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 95$  % interval spolehlivosti) měsíčních koncentrací NO<sub>x</sub> v krajských městech v roce 2000.

Na základě grafického zobrazení i provedených post-hoc testů můžeme potvrdit závěry ze začátku této kapitoly, že Hradec Králové, Ústí nad Labem, hlavní město Prahu a Ostravu lze zařadit mezi krajská města, která nejvíce znečišťují ovzduší v roce 2000. Tato města můžeme souhrnně zařadit do první skupiny, kdy jejich koncentrace oxidů dusíku přesahují hodnotu 40 [µg.m<sup>-3</sup>]. Další skupinu krajských měst lze vyčlenit z hodnot koncentrací NO<sub>x</sub> do 30 [µg.m<sup>-3</sup>]. Zbývající krajská města se nacházejí mezi těmito dvěma skupinami. Statisticky průkazně nejvyšší koncentrace NO<sub>x</sub> má Hradec Králové a nejnižší Středočeský kraj.

Koncentrace oxidů dusíku v roce 2005 byla rovněž porovnána v jednotlivých krajských městech pomocí jednocestné analýzy variance (graf č. 16). Provedená analýza rozptylu (ANOVA) a následné post-hoc testy ukázaly průkazně vyšší koncentraci oxidů dusíku v Karlových Varech. I u dalších krajských měst se prokázal alespoň jeden statisticky významný rozdíl mezi měřícími stanicemi v průměrných měsíčních koncentracích NO<sub>x</sub> na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Tuto situaci lze vidět na grafu č. 16. Následovala tedy analýza pomocí post-hoc testů (např. Fischer LSD, Scheffé, Tukey HSD, aj.), která prokázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými

stanicemi. V příloze č. 6 je uvedena opět tabulka s analýzou pomocí post-hoc testů pro rok 2005, zvolen byl test Fischer LSD.



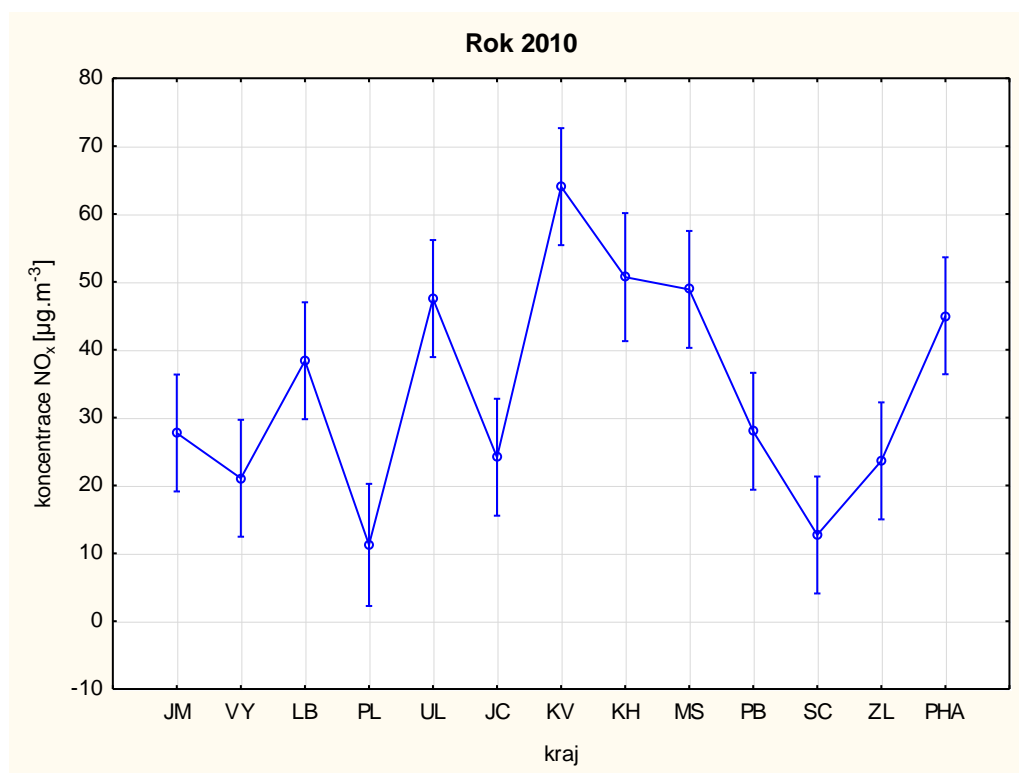
Graf č. 16: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 95$  % interval spolehlivosti) měsíčních koncentrací NO<sub>x</sub> v krajských městech v roce 2005

Graf č. 16 ukazuje, že koncentrace NO<sub>x</sub> oproti roku 2000 mírně narůstají. Největší nárůst v koncentracích oxidů dusíku lze zaznamenat u Karlových Varů a Pardubic. Nejméně znečištěné ovzduší stejně jako v roce 2000 je ve Středočeském kraji.

Koncentrace oxidů dusíku v krajských městech v roce 2005 je možné rozdělit do dvou různých skupin, a sice hodnoty do 40 [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] a nad 40 [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ], přičemž statisticky průkazně nejvyšší koncentrace NO<sub>x</sub> mají Karlovy Vary a nejnižší opět Středočeský kraj.

Další graf č. 17 zobrazuje situaci koncentrací oxidů dusíku v roce 2010. Z průkazného výsledku analýzy rozptylu vyplývá, že existuje statisticky významný rozdíl v koncentracích NO<sub>x</sub> alespoň v jednom případě mezi měřícími stanicemi v krajských městech na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Dále tedy následovala analýza pomocí post-hoc testů (např. Fischer LSD, Scheffé, Tukey HSD, aj.), která

prokázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými stanicemi. V příloze č. 7 je uvedena tabulka s analýzou pomocí post-hoc testů pro rok 2010, zvolen byl test Fischer LSD.



Graf č. 17: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 95$  % interval spolehlivosti) měsíčních koncentrací NO<sub>x</sub> v krajských městech v roce 2010

V roce 2010 lze koncentrace NO<sub>x</sub> krajských měst rozdělit do tří skupin, a to hodnoty koncentrace NO<sub>x</sub> do 20 [µg.m<sup>-3</sup>], od 20 [µg.m<sup>-3</sup>] do 40 [µg.m<sup>-3</sup>] a nad 40 [µg.m<sup>-3</sup>], přičemž statisticky průkazně nejvyšší koncentrace oxidů dusíku mají opět Karlovy Vary a nejnižší Plzeň. V krajském městě Olomouci nebylo v roce 2010 měření prováděno, proto tyto údaje v grafu č. 17 nejsou zaznamenány.

Statistické vyhodnocení a analýza ANOVA ukazují na stejný trend vývoje koncentrací oxidů dusíku v průběhu jednoho desetiletí u jednotlivých krajských měst. K nejvyššímu nárůstu koncentrací NO<sub>x</sub> došlo u Karlových Varů. Naopak k výraznému poklesu došlo u krajských měst Plzeň a Zlín.

Ministerstvo životního prostředí vypracovalo Národní program snižování emisí ČR. Ten počítal s tím, že nejpozději do konce roku 2008 vznikne novela zákona o ovzduší, ve které budou stanoveny emisní i technické parametry pro malé stacionární spalovací zdroje, aby tak bylo omezeno znečišťování ovzduší i z těchto spalovacích zařízení – tedy i z domácích kamen či kotlů pro ústřední vytápění.

Spalovací zařízení, která nebudou parametry splňovat, nebude povoleno po 1.lednu 2014 používat. Stejně tak se postupně zpřísní požadavky na kvalitu paliv – nekvalitní paliva tak do roku 2014 zmizí z trhu, takže si je lidé ani nebudou mít možnost koupit (MŽP, 2007).

### **5.3 Prostorová analýza depozice dusíku v Ústeckém kraji**

Oblast hraniční zóny mezi bývalým východním Německem, jihozápadním Polskem a severozápadním Českem je známa také jako „Černý trojúhelník“, protože v minulosti patřila tato oblast k nejvíce znečišťovaným oblastem ČR, ale také celé Evropy. Tato situace se po roce 1989 začala zlepšovat zavedením mnohých nařízení. Zlepšení se začala nejvíce projevovat po roce 1996 (BRIDGMAN A KOL., 2002).

Ze studie LARSEN A KOL. (2003) vyplývá, že koncentrace  $\text{NO}_x$  v Podkrušnohoří patří mezi vysoké zdroje emisí, čemuž přispívají i zahraniční státy jako Sasko v Německu, Polsko a sever České republiky. Dodává ale zároveň, že kvalita ovzduší v této oblasti Černého trojúhelníka je srovnatelná s koncentracemi Zemí Evropské Unie. HŮNOVÁ A KOL. (2004) uvádějí, že od roku 1993 do roku 2001 byl zaznamenán sestupný trend průměrných ročních koncentrací  $\text{NO}_x$  na vybraných stanicích Ústeckého kraje.

Dle ČHMÚ (2010 [online]) se při tvorbě mapových podkladů imisního nebo depozičního zatížení území ze znečišťování ovzduší při odhadech polí imisních a depozičních charakteristik na podkladě staničních měření využívají geostatické postupy a nástroje mapové algebry GIS. Při interpolaci je aplikována metoda IDW, či interpolační metoda kriging. Obě tyto interpolační metody umožňují odhadnout hodnotu sledované charakteristiky v libovolném místě pole. Pro tuto kapitolu diplomové práce byly vybrány metody IDW a Thiessenových polygonů.

#### **5.3.1 Thiessenovy polygony**

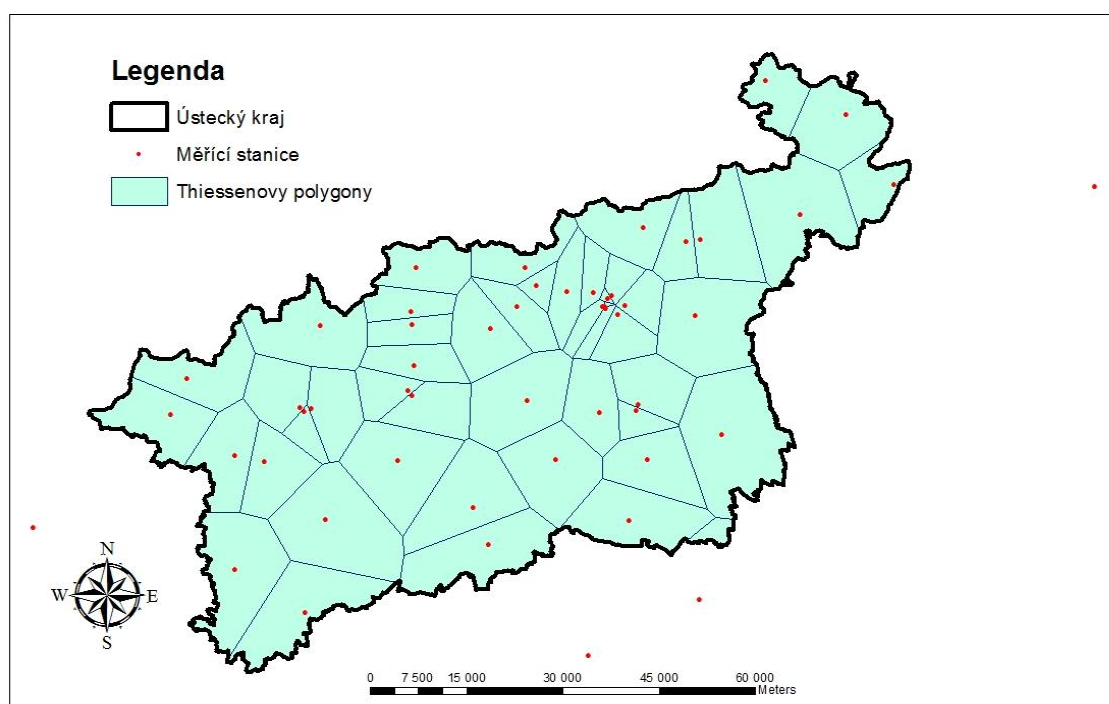
Tato metoda výpočtu koncentrací  $\text{NO}_x$  v Ústeckém kraji byla zhotovena v programu ArcMap 10. Počet polygonů, které byly vytvořeny touto metodou, záležel na počtu měřících stanic v konkrétním roce. Stanice se v průběhu deseti let měnily, především kvůli své zastaralosti, kdy byla potřeba jejich modernizace.

Plocha vzniklých polygonů následně sloužila při výpočtu průměrné koncentrace  $\text{NO}_x$  v daných letech jako váha. Výpočet byl proveden v programu



Microsoft Excel 2007 pomocí váženého průměru. Výsledky jsou uvedeny v kapitole 5.3.3, v tabulce č. 5 společně s výsledky, které byly získány metodou IDW (kapitola 5.3.2) a následně jsou mezi sebou tyto hodnoty porovnány.

Obrázek č. 13 zobrazuje rozdělení Ústeckého kraje Thiessenovými polygony v roce 2000. Ohraničení mezi jednotlivými polygony je tvořeno tmavšími úsečkami v území spolu s černou barvou, která označuje správní hranice Ústeckého kraje. V roce 2000 bylo na území kraje 50 měřících stanic, vzniklo tedy 50 polygonů. Dále byl na území Ústeckého kraje vytvořen ještě jeden částečný polygon, který patří k měřící stanici Mělník-Veltrusy-792.

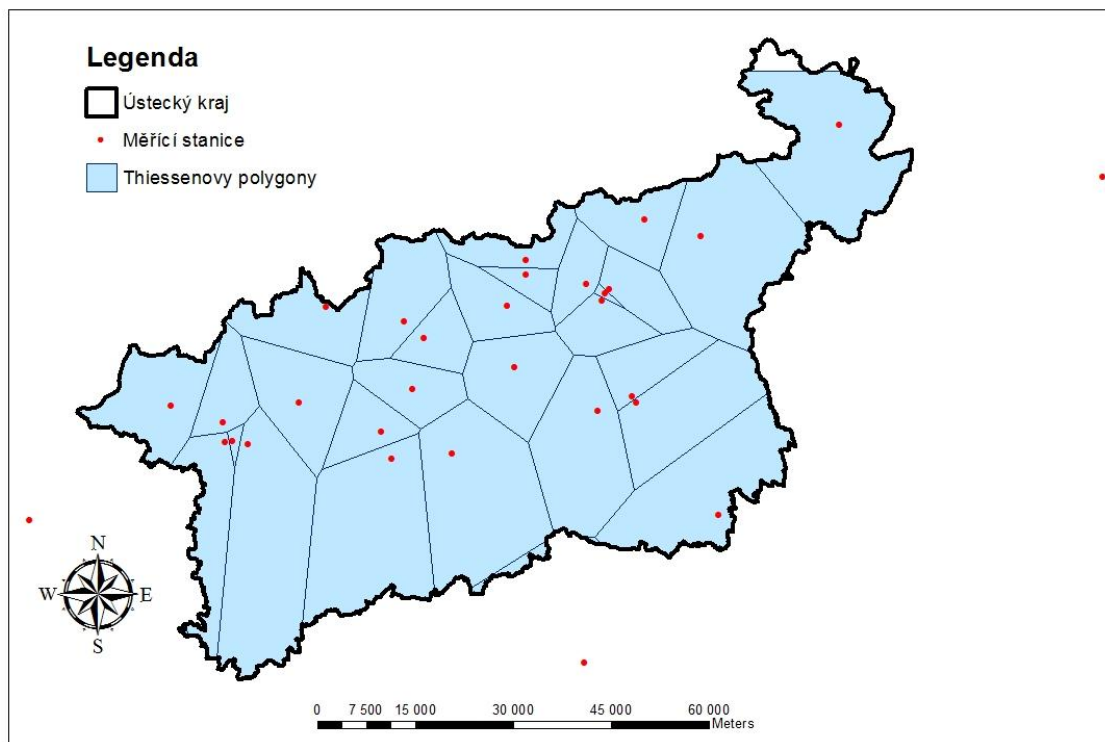


Obr. č. 13: Thiessenovy polygony vytvořené v Ústeckém kraji v roce 2000

Obrázek č. 14 zobrazuje Thiessenovy polygony na území Ústeckého kraje v roce 2005. Polygonů je podstatně méně z toho důvodu, že v celorepublikovém měřítku byly zastaralé stanice nahrazeny a umístěny nové měřící stanice, které byly zautomatizovány, popřípadě sloužily k odběru více druhů látek, než tomu bylo doposud. Stanice byly nově rozmisťovány tak, aby co nejlépe charakterizovaly svým typem koncentrace  $\text{NO}_x$ , popřípadě další sledované látky. Nové stanice měly za úkol zkvalitnit staniční síť sledování znečištění ovzduší po celé České republice. Venkovské stanice jsou umisťovány v otevřené krajině, popřípadě na okraji vesnic, městské a předměstské v blízkosti významných zdrojů znečištění, v blízkosti měst nebo jejich centrech, dopravní stanice v blízkosti významných dopravních

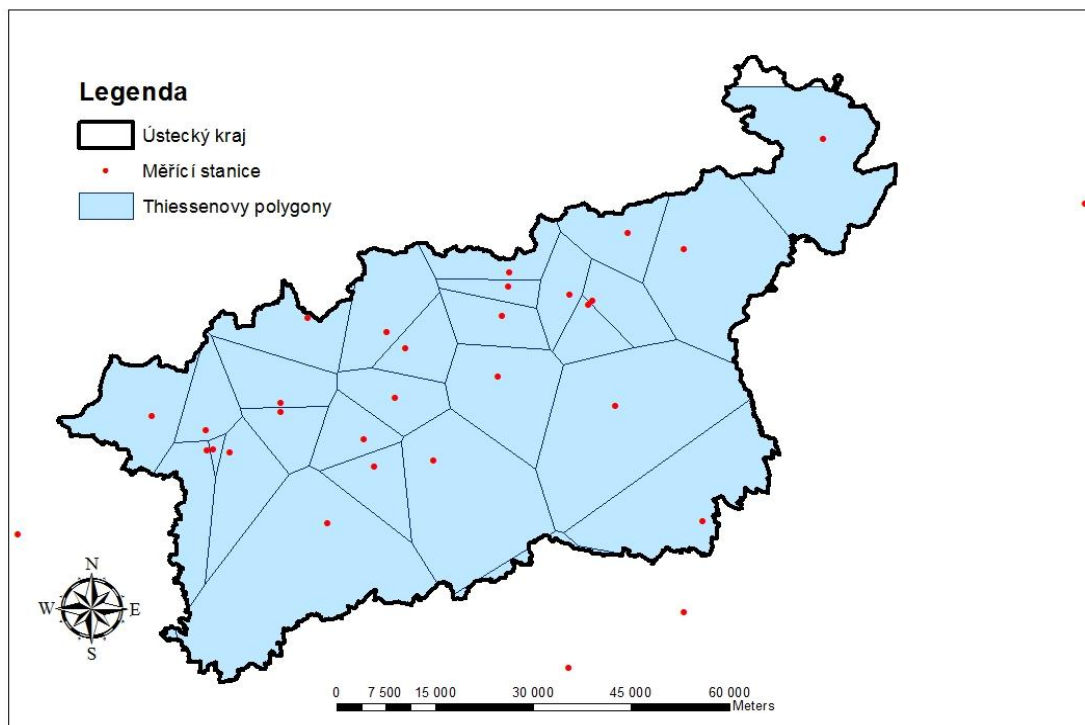
komunikací, průmyslové stanice se nachází v okolí průmyslových zón či elektráren a požadové stanice jsou umísťovány na venkově.

Polygonů bylo v roce 2005 vytvořeno 30. Část jednoho polygonu patří ke stanici Kladno-Švermov-1455.



Obr. č. 14: Thiessenovy polygony vytvořené v Ústeckém kraji v roce 2005

Změny v měřících stanicích mezi roky 2005 a 2010 nebyly již tak velké a je možno sledovat podobné rozmístění Thiessenových polygonů tak jak tomu bylo v roce 2005, i když došlo ke zrušení několika stanic, popřípadě byly zavedeny stanice nové. Měřících stanic v roce 2010 je umístěno 30 (obr. č 15). Vzniklo tedy 30 polygonů, a jak tomu bylo v roce 2005, částečný polygon patří ke stanici Kladno-Švermov-1455.



Obr. č. 15: Thiessenovy polygony vytvořené v Ústeckém kraji v roce 2010

Thiessenovými polygony došlo tedy k rozčlenění území na různě velké polygony, kdy každá buňka v tomto útvaru má stejnou koncentraci  $\text{NO}_x$  jako příslušná stanice uvnitř polygonu.

Část oblasti Šluknovského výběžku v roce 2005 a 2010 nebyla vykreslena žádným polygonem, jelikož na celou tuto oblast připadala jen jedna měřicí stanice. Pro vykreslení výběžku by bylo zapotřebí více umístěných stanic, popřípadě stanice za hranicí státu.

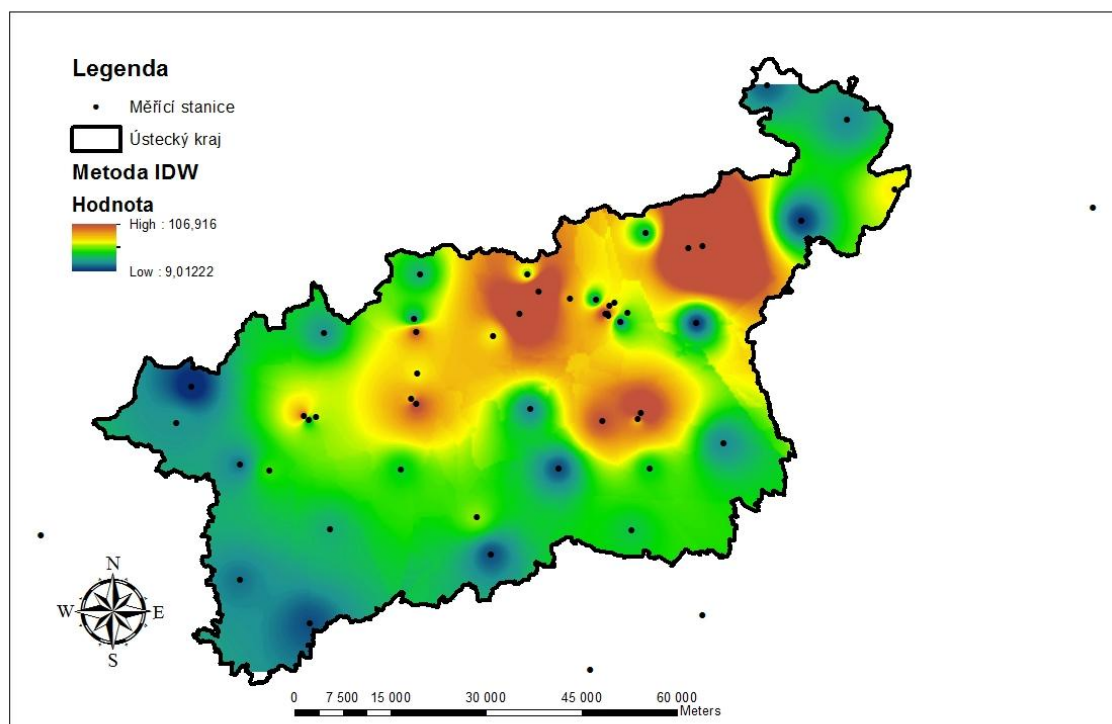
### 5.3.2 Metoda vážené inverzní vzdálenosti (IDW)

Další metodou, která byla v této kapitole použita je metoda IDW. Byla rovněž vytvořena v programu ArcMap 10, kde vznikla rastrová vrstva ze zadaných průměrných ročních koncentrací  $\text{NO}_x$  pro Ústecký kraj. Každé buňce byla tedy vypočtena příslušná hodnota koncentrace  $\text{NO}_x$ . Hodnoty koncentrací se pohybují mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou. Na rozdíl od metody Thiessenových polygonů vznikl výstup, který nerozděloval území Ústeckého kraje na jednotlivé polygony, ale který pomocí barevného spektra a jeho postupným přechodem označoval koncentrace  $\text{NO}_x$  v příslušném roce.

Rozmezí koncentrací, které je na obrázku značeno jako „Hodnota“, je určeno různými postupnými přechody škály barev a značí tak různé množství koncentrací  $\text{NO}_x$  na správním území Ústeckého kraje. Koncentrace  $\text{NO}_x$  je udávána v jednotkách  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Výsledkem metody IDW je tedy vypočtená příslušná hodnota ročních koncentrací  $\text{NO}_x$  v každém pixelu, a také vypočtená průměrná roční koncentrace oxidů dusíku v Ústeckém kraji pro daný rok.

Ústecký kraj hraje v ekonomickém rozvoji České republiky významnou úlohu, a to právě díky struktuře průmyslové výroby, kde dominuje zejména chemický, strojírenský a sklářský průmysl a dobývání nerostných surovin, především hnědého uhlí. Přestože se struktura výrobních podniků v kraji v průběhu minulých let ve velké míře změnila, a některé podniky zcela zanikly, velké energetické a průmyslové zdroje zůstaly. Úroveň znečišťování ovzduší v kraji, tj. produkce emisí znečišťujících látek do ovzduší, patří i nadále k nejvyšším v České republice (MŽP, CENIA, 2007).

Spalovací zdroje znečišťování ovzduší, které jsou zahrnuty do národního programu snižování emisí (nařízení vlády č. 372/2007 Sb.), mají stanoveny individuální emisní stropy (VAŇHOVÁ, 2011). MAREŠ (2004) uvádí, že v roce 2001 se Ústecký kraj od celorepublikových průměrů měrných emisí více než trojnásobně.

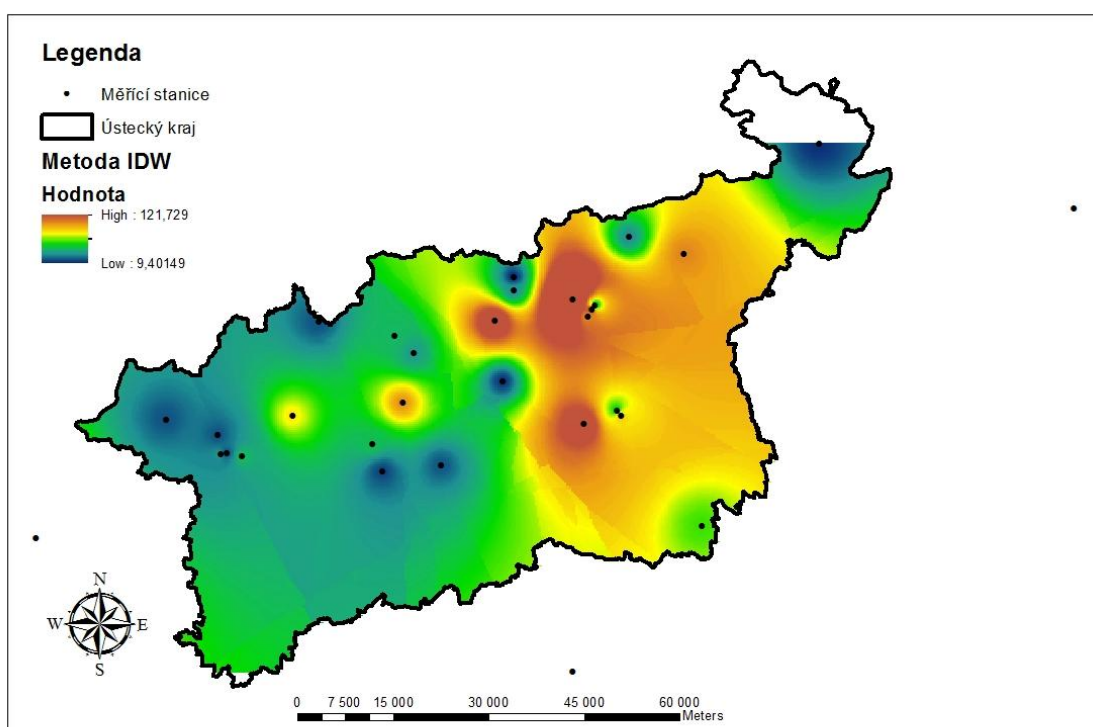


Obr. č. 16: Prostorová koncentrace  $\text{NO}_x$  na území Ústeckého kraje v roce 2000

Na obrázku č. 16 jsou červenou barvou vyznačena místa nejvyšší koncentrace  $\text{NO}_x$ . Mezi tato místa patří oblast Podkrušnohoří. Mezi nejpostiženější místa můžeme zařadit Děčín, Teplice, Litoměřice a Most. Naopak statutární město Ústí nad Labem se pohybuje v menších koncentracích než již zmiňovaná města v okolí. Červená škála barev dosahuje hodnot kolem  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zelené spektrum tedy představuje stále vysoké koncentrace oxidů dusíku a to k  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . I z tohoto důvodu je tato oblast řazena mezi oblasti z hlediska nejvyššího znečištění ovzduší.

Od roku 2002, kdy byl přijat zákon č.86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, včetně jeho prováděcích právních předpisů, dochází k plynulému poklesu množství všech znečišťujících látek. Největší pokles nastal a stále trvá u oxidů dusíku (VAŇHOVÁ, 2011).

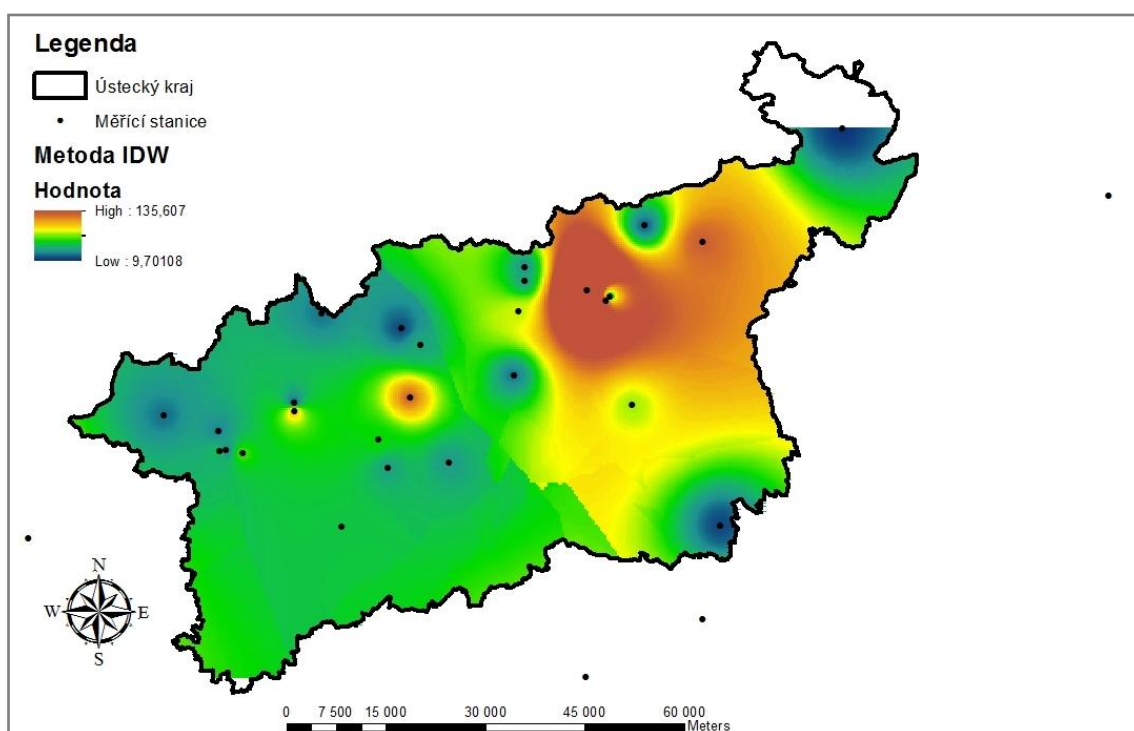
Obrázek č. 17 zachycuje koncentrace oxidů dusíku v Ústí nad Labem v roce 2005. V tomto roce došlo ke snížení koncentrace  $\text{NO}_x$  zejména v oblasti Děčínska či Mostecka. Oproti roku 2000 došlo ke zlepšení zejména v oblastech, kde byly naměřeny vysoké koncentrace, tedy červené až žluté spektrum barev. Obrázek č. 17 ukazuje, že modrých spekter barev přibývá, tedy oblastí s nízkou koncentrací oxidů dusíku.



Obr. č. 17: Prostorová koncentrace  $\text{NO}_x$  na území Ústeckého kraje v roce 2005

Posledním obrázkem č. 18 je znázorněna koncentrace  $\text{NO}_x$  metodou IDW v roce 2010. Červené a žluté spektrum barev ubývá nadále, což je pozitivní jev. Přesto zeleného spektra, které stále obsahuje vysoké množství koncentrací oxidů dusíku, je stále mnoho.

Červené spektrum barev převládá v okolí velkých průmyslových měst. Tyto hodnoty koncentrací  $\text{NO}_x$  jsou sledovány pomocí emisních limitů. Ty jsou stanoveny pro různé zdroje či zařízení odlišně. Všechna tato zlepšení jsou kladným jevem, přesto, jak je vidět, velmi pomalým a postupným. Koncentrace  $\text{NO}_x$  jsou především zásluhou lidské činnosti. Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách.



Obr. č. 18: Prostorová koncentrace  $\text{NO}_x$  na území Ústeckého kraje v roce 2010

Porovnáním daných roků je možno určit, že dochází k postupnému, ale mírnému snižování oxidů dusíku v Ústeckém kraji. Tuto teorii potvrzují i HŮNOVÁ A KOL. (2004), kteří uvádějí, že bylo pozorovatelné snížení koncentrací u stanic, kde byla koncentrace  $\text{NO}_x$  velmi vysoká, tedy především u měřících stanic v oblasti Černého trojúhelníka. I přes poměrně vysoké koncentrace oxidů dusíku nejsou emisní stropy na území Ústeckého kraje za rok 2010 překročeny. Krajské emisní stropy jsou stanoveny podílem rozlohy na celkové ploše republiky. Dle údajů ČHMÚ zpracovaných v krajské ročence Ústeckého kraje od roku 2008 nedochází k překročení krajských emisních stropů (VAŇHOVÁ, 2011).



### 5.3.3 Porovnání použitých metod prostorové analýzy na území Ústecké kraje

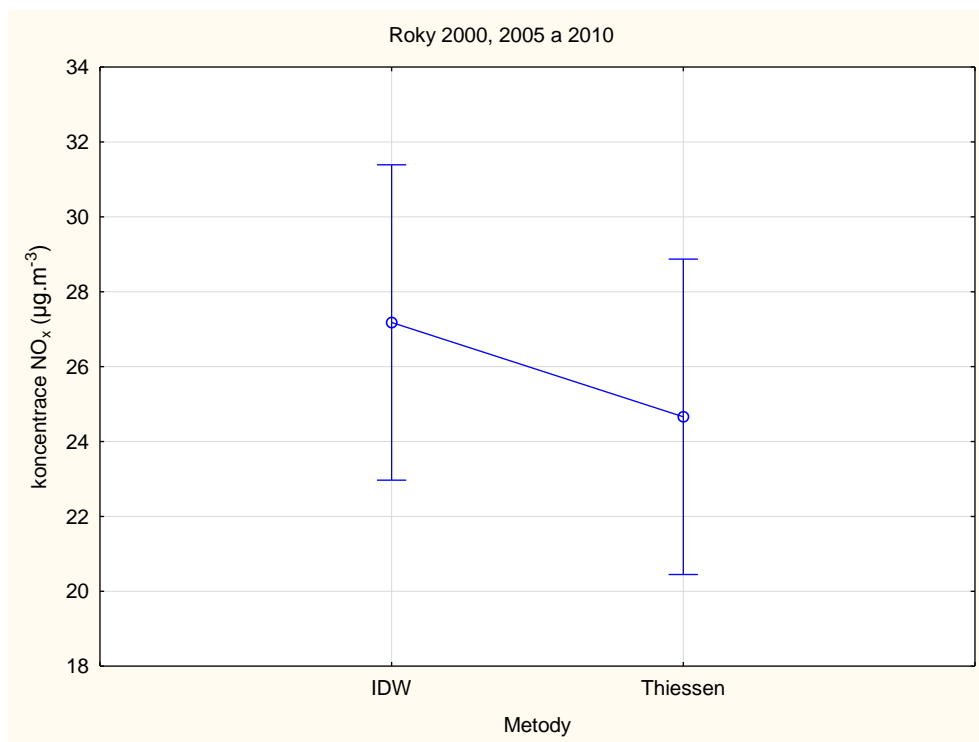
Jak bylo uvedeno v kapitole 5.3.1 Thiessenovými polygony a metodou IDW (kapitola 5.3.2) byly vypočítány jednotlivé průměrné roční koncentrace oxidů dusíku pro Ústecký kraj. Tyto hodnoty jsou uvedené v tabulce č. 5. Koncentrace oxidů dusíku jsou vypočteny v jednotkách  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

Tab. č. 5: Roční koncentrace  $\text{NO}_x$  v Ústeckém kraji vypočtené použitými metodami

rok	metoda IDW ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Thiessenovy polygony ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
2000	24,74	23,19
2005	30,27	27,45
2010	26,53	23,34

Tabulka č. 5 uvádí konkrétní číselné hodnoty vypočtených průměrných ročních koncentrací  $\text{NO}_x$  na území Ústeckého kraje. Je patrné, že vyšších hodnot dosahují výsledky, které byly získány metodou IDW. Největší rozdíl je v roce 2010 a činí  $3,19 \mu\text{g.m}^{-3}$ , nejmenší rozdíl je pak v roce 2000, a to  $1,55 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Výpočet provedený IDW metodou je v průměru o 10,2 % větší než výpočet Thiessenovými polygony.

Provedenou analýzou rozptylu (ANOVA) byla potvrzena nerozdílnost mezi jednotlivými metodami, jelikož se neprokázaly rozdíly v ročních průměrech vypočtených koncentrací  $\text{NO}_x$  na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  (graf č. 18). Neprůkaznost testu může být ale dána nedostatečným množstvím vstupních dat. Je pravděpodobné, že při větším množství získaných údajů průměrných ročních koncentrací  $\text{NO}_x$  by se prokázala průkaznost v použitých metodách mezi vypočtenými ročními průměry. Byla by tedy potvrzena teorie, že metodou IDW jsou získávány v průměru o 10 % vyšší koncentrace oxidů dusíku než při výpočtech provedených pomocí Thiessenových polygonů.



Graf č. 18: Graf průměrů s odchylkami (průměr  $\pm 0,95$  interval spolehlivosti) vypočtených průměrných ročních koncentrací NO<sub>x</sub> použitými metodami pro roky 2000, 2005 a 2010

Koncentrace oxidů dusíku, které jsou používány v této diplomové práci, jsou brány ze všech stanic různých typů. Tedy i ze stanic, které sledují emise oxidů dusíku. Jak lze vidět na obrázcích hodnoty především emisních koncentrací oxidů dusíku jsou poměrně vysoké (především červené a žluté spektrum barev). Přesto v posledních letech nedochází k překračování emisních limitů ani emisních stropů.

Zákon 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, a nařízení vlády č. 597/2006 Sb. uvádí, že přípustný limit za jeden kalendářní rok pro oxidy dusíku je 30 µg.m<sup>-3</sup>. Tato hodnota je stanovena pro ochranu ekosystémů a vegetace. ČHMÚ (2010 [online]) uvádí, že imisní limit roční průměrné koncentrace NO<sub>x</sub> (30 µg.m<sup>-3</sup>) vychází z naměřených koncentrací NO<sub>x</sub> na lokalitách klasifikovaných jako venkovské.

Pro úplnost jsou v tabulce č. 6 uvedeny hodnoty koncentrací oxidů dusíku na venkovských stanicích za roky 2005 a 2010.

Rok 2000 není uveden, jelikož ČHMÚ v roce 2000 neuváděla u jednotlivých stanic jejich typ. V tabulce č. 6 je uveden kód stanice a podrobnější popis měřicích stanic nalezneme v příloze č. 3.



Tab. č. 6: Venkovské stanice v roce 2005 a 2010

<b>kód stanice</b>	<b>rok 2005</b> [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	<b>rok 2010</b> [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
1015	13,1	12
1570	18,6	14,5
1002	19,4	21,4
1000	15	15,1
1331	23,9	25,6
1332	14,9	15,9
1333	14,7	16,3
1575	28,5	12,9
205	23,9	23,5
1317	15,1	15,5
1330	15,3	17,9
1351	14,1	18,5
1507	20	-
1007	19	18,1
1328	12,3	17,3
1329	13,2	15,4
1871	-	14

Z tabulky č. 6 je patrné, že na území Ústeckého kraje nedocházelo v roce 2005 ani 2010 k překračování imisních limitů. HŮNOVÁ A KOL. (2004) doplňuje, že za celé sledované období, které trvalo od roku 2001, nepřekročila koncentrace  $\text{NO}_x$   $30 \mu\text{m}\cdot\text{g}^{-3}$ .

## 6. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo porovnat vývoj atmosférické depozice v krajských městech po dobu deseti let, tedy od roku 2000 do roku 2010 a dále zde najít trendy v charakteristikách koncentrací oxidů dusíku, které se výraznou měrou podílejí na kyselé atmosférické depozici. V další části se práce zabývala vybraným regionem a jeho prostorovou analýzou v letech 2000, 2005 a 2010. Vybranou oblastí byl Ústecký kraj a to z toho důvodu, že na jeho území je umístěno dostatečné množství měřících stanic a také proto, že tento kraj patří mezi oblasti s největším výskytem atmosférické depozice. V literatuře je nejčastěji popisován jako oblast Černého trojúhelníka (oblast mezi Krušnými horami, Jizerskými horami a Krkonošemi).

Dosažené výsledky ukazují, že hledané trendy v časových řadách koncentrací oxidů dusíku byly nalezeny u 6 krajských měst. U zbývajících krajských měst byla dosažená hladina významnosti překročena ( $p > 0,05$ ). U těchto měst tedy nebyl nalezen žádný průkazný trend poklesu nebo nárůstu koncentrací oxidů dusíku v průběhu deseti let. Statisticky průkazné byly trendy u měst Hradec Králové, Plzeň, Zlín a ve Středočeském kraji, kde byla potvrzena tendence poklesu koncentrací  $\text{NO}_x$ . Naopak průkazné rostoucí trendy koncentrací  $\text{NO}_x$  byly vyzorovány v Karlových Varech a Jihlavě.

Statistickým porovnáním koncentrací  $\text{NO}_x$  bylo zjištěno, že ve většině krajských měst docházelo od roku 2000 do roku 2010 k poklesu oxidů dusíku. Naopak výrazný nárůst byl zaznamenán u města Karlových Varů. Nejnižší koncentrace oxidů dusíku po dobu deseti let byla zaznamenána ve Středočeském kraji, v části Praha 2.

Ústecký kraj, který byl vybrán pro prostorovou analýzu depozice dusíku, byl porovnáván v letech 2000, 2005 a 2010. I u tohoto kraje se potvrdil pokles koncentrace  $\text{NO}_x$ . Za dobu jednoho desetiletí dochází k postupnému poklesu koncentrací oxidů dusíku a tím k omezování emitovaných látek do ovzduší a tedy i k poklesu oxidů dusíku, které vstupují do atmosférické depozice a způsobují především vznik kyselých dešťů.

Závěrem lze říci, že trend poklesu oxidů dusíku je předpokládán i nadále, ale bude záviset na lidských možnostech, nově konstruovaných zařízeních či používaných metodách, jak omezit nebo snížit koncentrace oxidů dusíku vypouštěných do atmosféry.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

AKSELSSON, C., ARDÖ, J., SVERDRUP, H. (2003): Critical loads of acidity for forest soils and relationship to forest decline in the northern Czech republic. *Environmental Monitoring and Assessment* 98: 363–379

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

BARTOVSKÝ, T. (2011): Analyzátory kouřových plynů (část 2). *AUTOMA*, č. 12, str. 34 – 37

<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/45410.pdf>. Staženo: 15.3. 2014

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

BÖMH, B. (1986): Výzkum regionálního znečištění některých hlavních složek přírodního prostředí. *Meteorologické zprávy* 39, č. 5-6, str. 136-139

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

BUDSKÁ, E. (1998): Atmosférická depozice ekologicky významných látek v Krkonoších, VTEI, č. 03-04.

[http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-](http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/aa943fb38bfdd406c12568e70070205e/4e48f291f1de8106802568070032c3fb?OpenDocument)

[copy.nsf/aa943fb38bfdd406c12568e70070205e/4e48f291f1de8106802568070032c3fb?OpenDocument](http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/aa943fb38bfdd406c12568e70070205e/4e48f291f1de8106802568070032c3fb?OpenDocument). Staženo: 16.3. 2012

CÍLEK, V., FILIP, J. (2009): Interakce atmosféry s dalšími částmi zemského systému a okolním vesmírem. In: BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší*, 2009, Karolinum, Praha, str. 67 - 94

ČHMÚ(2007): Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2006, Praha, str. 132

ČHMÚ (2010): Český hydrometeorologický ústav.

[http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2010\\_enh/cze/indexCZ.html](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2010_enh/cze/indexCZ.html)

ČHMÚ (2012): Český hydrometeorologický ústav.

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/kap3.html>

DRÁPELA, K., ZACH, J. (1999): Statistické metody I., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, str. 160

EEA (1998): Europe's environment: The second assessment. *Environmental Assessment Report* 12/1998: 16-18

EEA (2010): Evropské životní prostředí - stav a výhled 2010: shrnutí, Evropská agentura pro životní prostředí, Kodaň, str. 222

EEA (2010): The European environment: State and outlook 2010. Air pollution, publications office of the European Union, Luxembourg, str. 42

ENGELS, S., NOWAK, A. (1971): Auf der Spur der Elemente, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, str. 368

ERIKSSON, E. (1970): The importance of investigation global background pollution. WMO Technical note 106: 35-38

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

FIALA, J., SKOŘEPOVÁ, I. (2001): Stanovení kritických zátěží síry a dusíku a hodnot překročení kritických zátěží aktuálními depozicemi na území ČR. Vyhodnocení připravenosti ČR splnit požadavky na kvalitu ovzduší podle směrnic EU a Konvence CLRTAP. Příloha č. DU02-2.E6.1. [http://old.chmi.cz/uoco/prj/vav\\_740\\_2\\_00/du02-2e6.1.pdf](http://old.chmi.cz/uoco/prj/vav_740_2_00/du02-2e6.1.pdf). Staženo: 20.2. 2012

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

HELLEBRAND, R. (2011): Interpolace dešťoměrných dat metodou IDW. Rainfall data interpolation with IDW method. Juniorstav, 3. Vodní hospodářství a vodní stavby, 2011, str. 1-7.

[http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/3/Hellebrand\\_Radek\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/3/Hellebrand_Radek_CL.pdf).  
Staženo: 20.3. 2014

HEMERKA, J., VYBÍRAL, P. (2010): Ochrana ovzduší, ČVUT, Praha, str. 148

HOLOUBEK, I. (1990): Chemie a společnost, Chemie životního prostředí, Státní pedagogické nakladatelství, Praha, str. 154

HOLOUBEK, I., KOMÁREK, J. (1982): Chemie životního prostředí, rektorát UJEP Brno – A. Nováka 1, str. 152

HOWELLS, G. (1990): Acid rain and acid waters, Ellis Horwood Limited, Cambridge, str. 215

HRACH, K. (2003): Interval spolehlivosti pro pravděpodobnost, FSE UJEP, Ústí nad Labem, 2003.

[fse1.ujep.cz/download.php?idx=5398](http://fse1.ujep.cz/download.php?idx=5398). Staženo: 19.3. 2014

HRUŠKA, J., MAJER, V., FOTTOVÁ, D. (2006): Vliv kyselých depozic na chemismus povrchových vod v Krkonoších. Opera Corcontica, 43: 95–110

[http://opera.krnep.cz/\\_pdf/43/oc43-6.pdf](http://opera.krnep.cz/_pdf/43/oc43-6.pdf). Staženo dne: 1.4. 2014

HŮNOVÁ, I. (2009): Atmosférická depozice. In: BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, Praha, str. 160-179

HŮNOVÁ, I., HESOUN, R., KURFÜRST, P., MAZNOVÁ, J., OSTATNICKÁ, J., SCHREIBEROVÁ, M. (2011): Atmosférická depozice na území České republiky, Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2010, ČHMÚ - Úsek ochrany čistoty ovzduší.

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/kap3.html>

Staženo:17.3.2012

HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší, Karolinum, Praha, str. 143

HŮNOVÁ, I., OSTATNICKÁ, J. (2001): Vývoj imisí a atmosférické depozice v České republice mezi lety 1989-1999, ČHMÚ, Praha, str. 2

HŮNOVÁ, I., ŠANTROCH, J., OSTATNICKÁ, J. (2004): Ambient air quality and deposition trends at rural stations in the Czech Republic during 1993-2001. Atmospheric Environment 38: 887-898

JANČÁŘOVÁ, I. (1993): Právní úprava na ochranu ovzduší, Masarykova univerzita, Brno, str. 45

JANOUŠKOVÁ, S., HŮNOVÁ, I., ŠANTROCH, J. (2002): Koncepce imisních limitů pro oxidy dusíku v české legislativě, str. 11

Dostupné z: <http://old.chmi.cz/uoco/limit/pub4.pdf>

JONÁŠ, F. (1985): Vliv průmyslových imisí na zemědělskou a lesní produkci, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, str. 72

KÁBA, B. (1982): Statistika pro obory fyto technika, zootechnika, meliorace a tropické a subtropické zemědělství, Vysoká škola zemědělská v Praze, Praha, str. 286

KALČÍK, J. (2006): Koloběh fosforu v lesních půdách. Lesnická práce. 86/2006

<http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-11-01/kolobeh-fosforu-v-lesnich-pudach>

Staženo: 7.3.2014

KALACH, P., TRÍSKA, J. (1998): Chemie životního prostředí, JU ZF České Budějovice, str. 147

KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ, J. (2005): Jak vzniká počasí, Karolinum, Praha, str. 268

KOTECKÝ, V., POLANECKÝ, K. (2005): Fosilní faktor – analýzy hlavních zdrojů znečištění oxidem uhličitým a emisní intenzita českých uhelných elektráren, Hnutí Duha, Brno, str. 32

LEPŠ, J. (1996): Biostatistika, Jihočeská univerzita, České Budějovice, str. 166

MAREŠ, M. (2004): 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: 1.4.2014

MOLDAN, B. (1983): Koloběh hmoty v přírodě, Academia, Praha, str. 171

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. (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., HÁK, T. (2000): Czech Republic 2000, Ten years on: Environment and quality of life after ten years of transition, Charles University, Praha, str. 51

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 (2007): Národní program snižování emisí České republiky, str. 46  
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni\\_program\\_snizovani\\_emisi/\\$FILE/OOO-NPSE\\_CR-20120117.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_snizovani_emisi/$FILE/OOO-NPSE_CR-20120117.pdf). Staženo: 1.4.2014

NÁBĚLKOVÁ, J., NEKOVÁŘOVÁ J. (2010): Chemie, Chemie životního prostředí, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, str. 197

NOVOTNY, V., CHESTERS, G. (1981): Handbook of nonpoint pollution: Sources and management, Litton educational publishing, Nex York, str. 555

ORŠULÁK, T., PACINA, J. (2011): 3D Modelování, Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem, str. 63  
<http://gis.fzp.ujep.cz/DTM/3d.pdf>. Staženo: 18.3. 2014

PAHL, S. (1996): Fog deposition on spruce forests in high elevation sites (in German), DWD 198, Berlín, str. 137

PITTER, P. (1999): Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT, Praha, str. 568

POPL, M., FÄHNRICH, J. (1986): Analytická chemie životního prostředí, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, str. 74.

POPL, M., FÄHNRICH, J. (1992): Analytická chemie životního prostředí, VŠCHT Praha, str. 238

PRÁŠKOVÁ, L., PROVAZNÍK K. (2004): Obsah PCB na pozorovacích plochách BMP. In: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Odbor agrochemie, půdy a výživy rostlin. VII, 3/2004: 1-13

PROŠKOVÁ, J., HŮNOVÁ, I. (2006): Přístupy k hodnocení atmosférické depozice usazených srážek. Meteorologické zprávy 59/2006, číslo 5: 151-157

PŘIBIL, R. (2009): Přirozené složky atmosféry. In: BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, Praha, str. 50-66

PUNČOCHÁŘ P., KŘEČEK, J. (2011): Prostorová interpolace srážkoměrných dat v horském povodí, Vodní hospodářství, 2011, č. 8, str. 317-320

Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2011/vh08-2011.pdf>.

Staženo: 20.3.2014

ROTH, G.D. (1999): Wetterkunde für alle. BLV Verlagsgesellschaft, München, 1999, 296 s.

ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KAŠPAR, M., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek, Academia, Praha, str. 574

SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N. (1998): Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate Change, John Wiley & Sons, New York, str. 1326

SKOK, L. (2003): Počasí: zemská atmosféra, srážky, meteorologie, klimatická pásma, životní prostředí, Cesty za poznáním, Fortuna Print, Praha, str. 128

SKOŘEPOVÁ, I., ROUŠAROVÁ, Š., FANTA, M., ŠOLC, P., STRNAD, Z. (1997): Mapování kritických zátěží síry a dusíku na území České republiky. Ochrana ovzduší 3/1997: 2-7

SOUČEK, E. (2001): Základy statistiky, Univerzita Pardubice, Pardubice, str. 167

SYMON, K. (1960): Znečištění ovzduší a jeho vztah ke zdravotnímu stavu obyvatelstva. Čs. Hygiena, V: 72-79

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

ŠANTROCH, J., BABUŠÍK, I. (1986): Zhodnocení vývoje umělé radioaktivity ovzduší na území ČSSR za období 1962-1985. Meteorologické zprávy, 39, č. 5-6, str. 7-82

ŠIMEK, M. (2003): Základy nauky o půdě. 3. Biologické procesy a cykly prvků, Biologická fakulta JU, České Budějovice, str. 151

ŠIMEK, M. (2008): Skleníkové plyny v půdě, Dusíkaté plyny – oxid dusný. Vesmír, 87, str. 758 – 761

Dostupný z: <<http://www.vesmir.cz/files/file/fid/5397/aid/8042>>

ÚVTIZ (1986): Vliv kyselých srážek v zemědělství a lesním hospodářství, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, str. 72

VAŇHOVÁ, J. (2011): Ročenka životního prostředí 2011, str. 46  
[http://www.ecmost.cz/DS/rocenka\\_ul\\_2011.pdf](http://www.ecmost.cz/DS/rocenka_ul_2011.pdf). Staženo dne: 1.4.2014

VÍDEN, I. (2005): Chemie ovzduší, Vydavatelství VŠCHT Praha, str. 98

VIRTANEN, T., HÄMEKOSKI, K. (1999): Ochrana ovzduší – Svazek 14, Centrum environmentálních analýz, ICLEI, str. 31

VYSOUDIL, M. (2002): Ochrana ovzduší, Univerzita Palackého, Olomouc, str. 114

VYSOUDIL, M. (2006): Meteorologie a klimatologie, Univerzita Palackého, Olomouc, str. 281

ZAPLETAL, M. (1997): Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky, Slezská univerzita: Filosoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav historie a muzeologie, Opava, str. 180

ZÁVODSKÝ, D. (1985): Meranie kyselej depozície. In: ČERNÝ J., Sborník. Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, 1985, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 7-10

ZOUHAR, P. (2011): Jak ekosystém k dusíku přišel aneb Nový zdroj pod našima nohama. Vesmír, 90, str. 616-617  
<http://www.vesmir.cz/clanek/jak-ekosystem-k-dusiku-prisel>  
Staženo:7.3.2014

### **Ostatní zdroje**

ArcGIS: Features. Esri: software [online]. 2014 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z:  
<http://www.esri.com/software/arcgis/features>

ČHMÚ [online], 2001 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr01cz/kap1.html>

ČHMÚ [online], 2004 [cit. 2014-04-8]. Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr04cz/kap1.html>

ČHMÚ [online], 2005 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z:  
[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2005\\_enh/cze/pdf/kom.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2005_enh/cze/pdf/kom.pdf)

ČHMÚ [online], 2007 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z:  
[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2007\\_enh/cze/pdf/kom.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2007_enh/cze/pdf/kom.pdf)

ČHMÚ [online], 2010 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:  
[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2010\\_enh/cze/pdf/kom.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2010_enh/cze/pdf/kom.pdf)

ČHMÚ [online], 2011 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/png/o11-01.png>



EUROMISE [online], 1998 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:  
<http://ucebnice.euromise.cz/index.php?conn=0&section=biostat1>

Geoinformační systémy [online], 2014 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z:  
<http://www.ise.cz/geoinformacni-systemy>

Statsoft [online]. 2014 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z:  
<http://www.statsoft.cz/reseni/reseni/>

## 8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

### Seznam obrázků

Obr. č. 1: Schéma procesů, kterým podléhají znečišťující látky v ovzduší.....	8
Obr. č. 2: Procesy vedoucí k atmosférické depozici .....	16
Obr. č. 3: Schéma atmosférické depozice.....	31
Obr. č. 4: Průměrný podíl významných sektorů na národních emisích NO <sub>x</sub> (%) .....	34
Obr. č. 5: Staniční sítě sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2012 .....	38
Obr. č. 6: Schéma chemiluminiscenčního analyzátoru pro měření koncentrace NO, NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> .....	42
Obr. č. 7: Mapa umístění měřicích stanic v krajských městech .....	43
Obr. č. 8: Mapa umístění měřicích stanic v roce 2000 .....	45
Obr. č. 9: Mapa umístění měřicích stanic v roce 2005 .....	46
Obr. č. 10: Mapa umístění měřicích stanic v roce 2010 .....	47
Obr. č. 11: Koncentrace NO <sub>x</sub> od roku 1990 do roku 2010 na území České republiky .....	63
Obr. č. 12: Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km, 2000.....	64
Obr. č. 13: Thiessenovy polygony vytvořené v Ústeckém kraji v roce 2000 .....	70
Obr. č. 14: Thiessenovy polygony vytvořené v Ústeckém kraji v roce 2005 .....	71
Obr. č. 15: Thiessenovy polygony vytvořené v Ústeckém kraji v roce 2010 .....	72
Obr. č. 16: Prostorová koncentrace NO <sub>x</sub> na území Ústeckého kraje v roce 2000 ....	73
Obr. č. 17: Prostorová koncentrace NO <sub>x</sub> na území Ústeckého kraje v roce 2005 ....	74
Obr. č. 18: Prostorová koncentrace NO <sub>x</sub> na území Ústeckého kraje v roce 2010 ....	75

### Seznam tabulek

Tab. č. 1: Třídy lokalit sítě.....	Příloha č. 2
Tab. č. 2: Přehled trendů charakteristik v koncentracích NO <sub>x</sub> v krajských městech .....	61
Tab. č. 3: Statistické vyhodnocení krajských měst v roce 2000.....	63
Tab. č. 4: Statistické vyhodnocení krajských měst v roce 2010.....	65
Tab. č. 5: Roční koncentrace NO <sub>x</sub> v Ústeckém kraji vypočtené použitými metodami.....	76
Tab. č. 6: Venkovské stanice v roce 2005 a 2010.....	78

### Seznam grafů

Graf č. 1: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Hradci Králové .....	54
----------------------------------------------------------------------------------------	----

Graf č. 2: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Praze (Středočeský kraj)..	54
Graf č. 3: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Plzni.....	55
Graf č. 4: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> ve Zlíně .....	55
Graf č. 5: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Jihlavě .....	56
Graf č. 6: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Karlových Varech.....	57
Graf č. 7: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Pardubicích.....	57
Graf č. 8: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Českých Budějovicích.....	58
Graf č. 9: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v hlavním městě Praha .....	58
Graf č. 10: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Ústí nad Labem .....	59
Graf č. 11: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Ostravě .....	59
Graf č. 12: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Brně .....	60
Graf č. 13: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Olomouci .....	60
Graf č. 14: Trendy v časových řadách koncentrací NO <sub>x</sub> v Liberci .....	61
Graf č. 15: Graf průměrů s odchylkami (průměr ±95 % interval spolehlivosti) měsíčních koncentrací NO <sub>x</sub> v krajských městech v roce 2000 .....	66
Graf č. 16: Graf průměrů s odchylkami (průměr ±95 % interval spolehlivosti) měsíčních koncentrací NO <sub>x</sub> v krajských městech v roce 2005 .....	67
Graf č. 17: Graf průměrů s odchylkami (průměr ±95 % interval spolehlivosti) měsíčních koncentrací NO <sub>x</sub> v krajských městech v roce 2010 .....	68
Graf č. 18: Graf průměrů s odchylkami (průměr ±0,95 interval spolehlivosti) vypočtených průměrných ročních koncentrací NO <sub>x</sub> použitými metodami pro roky 2000, 2005 a 2010.....	77

## **9. SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Staniční sítě sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2012

Příloha č. 2: Krajské měřicí stanice v ČR

Příloha č. 3: Stanice Ústeckého kraje v roce 2000, 2005 a 2010

Příloha č. 4: Použité pomocné stanice jiných krajů

Příloha č. 5: Analýza pomocí post-hoc testů v roce 2000, Fischer LSD

Příloha č. 6: Analýza pomocí post-hoc testů v roce 2005, Fischer LSD

Příloha č. 7: Analýza pomocí post-hoc testů v roce 2010, Fischer LSD

Příloha č. 1: Staniční síť sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2012

Kód Code	Stanice Station	Kraj/země Region/country	Okres District	Organizace zajišťující měření Operating organization	Nadmořská výška [m] Altitude [m]	Typ odběru Sampling method
ALIB	Pha 4 - Libuš	HL.m.Praha	Praha 4	ČHMÚ	301	W1(HM)
APDB	Podbaba	HL.m.Praha	Praha 6	VÚV	183	M2(HM)
BKUC	Kuchařovice	Jihomoravský	Znojmo	ČHMÚ	334	W1(HM)
CCHU	Churáňov	Jihočeský	Prachatice	ČHMÚ	1118	W1(HM)
CKAM	Kamýk-Všeteč	Jihočeský	České Budějovice	VÚLHM	593	M2(HM), M4(HM)_bu
CKOC	Kocelovice	Jihočeský	Strakonice	ČHMÚ	519	W1(HM)
CLIZ	Na lizu	Jihočeský	Prachatice	ČGS	828	M2(HM), M4(HM)_sm
CPL1, CPL2, CPL3	Plešné jezero	Jihočeský	Prachatice	HBÚ AV ČR	1087 (bulk), 1122 (tf), 1334 (tf)	F2, F4_sm, F4_sm
CVOJ	Vojítov-Lásenice	Jihočeský	Jindřichův Hradec	VÚLHM	595	M2(HM), M4(HM)_sm, M4(HM)_bu
DCAR	Carlsfeld	Německo	Sasko-Chemnitz	LfuG	896	W1
DGOD	Gorlitz DWD	Německo	Sasko-Dresden	LfuG	237	W1
DMIT	Mittelndorf	Německo	Sasko-Dresden	LfuG	323	W1
DPLD	Plauen DWD	Německo	Sasko-Chemnitz	LfuG	386	W1
DZIN	Zinnwald	Německo	Sasko-Dresden	LfuG	877	W1
EPOM	Polomka	Pardubický	Chrudim	ČGS	512	M2(HM), M4(HM)_sm
ESVR	Svratouch	Pardubický	Chrudim	ČHMÚ	735	W1(HM)
HHRI	Hřibecí	Královéhradecký	Trutnov	KRNAP	842	M2(HM)
HKRY	Krkonoše-Rýchory	Královéhradecký	Trutnov	ČHMÚ	1001	W1(HM)
HLUD	Luisino údolí	Královéhradecký	Rychnov n. Kn.	ČHMÚ	875	W1(HM)
HLUU	Luisino údolí	Královéhradecký	Rychnov n. Kn.	VÚLHM	940	M4(HM)_sm
HMOP	Modrý potok	Královéhradecký	Trutnov	ČGS	1010	M2(HM), M4(HM)_sm
HRYC	Rýchory	Královéhradecký	Trutnov	KRNAP	1003	M2(HM)
HUDL	U dvou louček	Královéhradecký	Rychnov n. Kn.	ČGS	880	M2(HM), M4(HM)_sm
JKOS	Košetice	Vysočina	Pelhřimov	ČHMÚ	535	D1(HM), M2(HM), M4(HM)_sm, D2(POPS,PAHs)
JLKV	Loukov	Vysočina	Havlíčkův Brod	ČGS	500	M2(HM), M4(HM)_sm
JSAL	Salačova Lhota	Vysočina	Pelhřimov	ČGS	557	M2(HM), M4(HM)_sm
JZEL	Želivka	Vysočina	Havlíčkův Brod	VÚLHM	440	M2(HM), M4(HM)_sm
KLAZ	Lazy	Karlovarský	Cheb	VÚLHM	875	M2(HM), M4(HM)_sm
KLY1, KLY2	Lysina	Karlovarský	Cheb	ČGS	867 (bulk), 836 (tf)	M2(HM), M4(HM)_sm
KPB1, KPB2	Pluhův bor	Karlovarský	Cheb	ČGS	753 (bulk), 714 (tf)	M2(HM), M4(HM)_sm
LSOU	Souš	Liberecký	Jablonec n.N.	ČHMÚ	771	W1(HM)
LUHL	Uhlířská	Liberecký	Liberec	ČGS	780	M2(HM), M4(HM)_sm
OCZI	Czierniawa	Polsko	Lubanski	WIOS	645	F2(HM)
ODZI	Dzialoszyn	Polsko	Zgorzelecki	WIOS	363	F2(HM)
OOSI	Osieczow	Polsko	Boleslawiecki	WIOS	190	F2(HM)
PBEN	Benešovice	Plzeňský	Tachov	VÚLHM	385	M2(HM), M4_bo
PCJ1, PCJ2, PCJ3	Čertovo jezero	Plzeňský	Klatovy	HBÚ AV ČR	1180 (bulk), 1057 (tf), 1330 (tf)	F2, F4_sm, F4_sm
PPRM	Primda	Plzeňský	Tachov	ČHMÚ	740	W1(HM)
SLES	Lesní potok	Středočeský	Kolín	ČGS	400	M2(HM), M4(HM)_sm

Kód Code	Stanice Station	Kraj/země Region/country	Okres District	Organizace zajišťující měření Operating organization	Nadmořská výška [m] Altitude [m]	Typ odběru Sampling method
SLI1 SLI2	Litavka	Středočeský	Příbram	ČGS	700 (bulk), 710 (tf)	M2(HM), M4(HM)_sm
TBKR	Bílý Kříž	Moravskoslezský	Frýdek-Místek	ČHMÚ	890	W1(HM)
TCER	Červená	Moravskoslezský	Opava	ČHMÚ	749	W1(HM)
TCRV	Červík	Moravskoslezský	Frýdek-Místek	ČGS	640	M2(HM), M4(HM)_sm
TKLE	Klepačka	Moravskoslezský	Frýdek-Místek	VÚLHM	650	M2(HM), M4(HM)_sm
UJEZ	Jezeří	Ústecký	Chomutov	ČGS	820	M2(HM), M4(HM)_sm
URVH	Rudolice v Horách	Ústecký	Chomutov	ČHMÚ	840	W1(HM)
ZBUC	Buchlovice	Zlínský	Uherské Hradiště	VÚLHM	350	M2(HM), M4(HM)_du
ZMAR	Maruška	Zlínský	Vsetín	ČHMÚ	664	W1(HM)

Vysvětlivky:

- M2 - měsíční bulk (srážky s prašným spadem)
- M4 - měsíční podkorunové srážky
- W1 - týdenní čisté srážky - autom. pluviokolektor
- D1 - denní čisté srážky- autom. pluviokolektor
- D2 - denní čisté srážky-manuální odběr
- F1 - čisté srážky- nepravidelný odběr
- F2 - bulk- nepravidelný odběr
- F4 - podkorunové srážky- nepravidelný odběr
- (HM) - analýza těžkých kovů v daném odběru
- (POPS,PAHS) - analýza POPS a PAHs
- \_sm - smrk
- \_bu - buk
- \_bo - borovice
- \_du - dub

### **Jihočeský kraj**

1) *Stanice CCBDA-1104 – České Budějovice*

Stanice je umístěna v krajském městě České Budějovice. Byla založena 28.3. 1994 na zeměpisných souřadnicích 48°59'3,791" severní šířky a 14°27'56,462" východní délky. Nadmořská výška této měřicí stanice je 383 m. Je začleněna jako B/U/R (tab. č. 1). Kontejner je umístěn na travnatém prostranství mezi městskou zástavbou, asi 300 m od pravého břehu řeky Vltavy v Nerudově ulici. Cílem programu na této stanici je stanovení reprezentativní koncentrace pro osídlené části území.

### **Plzeňský kraj**

2) *Stanice PPLVA-1105 – Plzeň Doubravka*

Stanice je umístěna v okrese Plzeň – město. Měřicí stanice vznikla 19.1. 1994 jako typ pozadové stanice. Je klasifikována jako B/S/A (tab. č. 1). Kontejner je umístěn na severovýchodním okraji okresu, za městskou aglomerací ve směru převažujícího proudění, přibližně 1 km od zástavby na zeměpisných souřadnicích 49°46'7,017" severní šířky a 13°25'24,171" východní délky, v nadmořské výšce 348 m.

### **Karlovarský kraj**

3) *Stanice KKVMA-1505 – Karlovy Vary*

Měřicí stanice se nachází v centru města v blízkosti autobusového nádraží, kde je pohyb automobilů cca 15 000/24 hodin, ve vzdálenosti cca 25 m od frekventované křižovatky. Charakterizuje tedy imise z dopravy do vzdálenosti asi 200 m. Stanice je zde umístěna od 21.7. 2003 a je klasifikována jako T/U/RC (tab. č. 1). Její nadmořská výška je 411 m a zeměpisné souřadnice jsou 50°13'48,589" severní šířky a 12°51'56,560" východní délky. Cílem měřicího programu je určení nejvyšší koncentrace znečišťující látky v oblasti.

### **Ústecký kraj**

4) *Stanice UULMA-1571 – Ústí nad Labem – město*

Stanice se nalézá v prostranství mezi administrativními budovami a bytovými objekty, v rovinné travnaté ploše v Ústí nad Labem. Byla založena 1.1. 2005. Stanice má zeměpisné souřadnice 50°39'39,941" severní šířky a 14°2'35,027" východní délky, v nadmořské výšce 147 m. Je klasifikována jako B/U/RC (tab. č. 1).

## **Liberecký kraj**

### 5) *Stanice LLIMA-1016 – Liberec – město*

Stanice je začleněna jako B/U/RC (tab. č. 1). Nachází se v centru města uprostřed zástavby, mimo přímé ovlivnění dopravou. Určující polohou jsou souřadnice 50°45'53,778" severní šířky a 15°3'14,029" východní délky, v nadmořské výšce 350 m. Stanice byla založena 1.12. 1992.

## **Královéhradecký kraj**

### 6) *Stanice HHKSA-396 – Hradec Králové – Sukovy Sady*

Stanice se nachází na okraji parku v blízkosti frekventované komunikace v západní části města. Je zazeleněna jako T/U/RCI (tab. č. 1). Je umístěna v rovinném terénu v nadmořské výšce 233 m a její zeměpisné souřadnice určující její polohu jsou 50°12'32,000" severní šířky a 15°48'42,998" východní délky. Byla zde založena již 1.1. 1981.

## **Pardubický kraj**

### 7) *Stanice EPAOA-1418 – Pardubice – Rosice*

Cílem stanice je určení vlivu na zdravotní stav obyvatelstva a stanovení reprezentativní koncentrace pro osídlené části území. Je umístěna ve volném terénu za sokolovnou vedle tenisových kurtů. Její zeměpisné souřadnice jsou 50°2'31,913" severní šířky a 15°44'21,891" východní délky, v nadmořské výšce 217 m. Stanice vznikla 1.1. 1998. Je klasifikována jako B/S/RI (tab. č. 1).

## **Kraj Vysočina**

### 8) *Stanice JJIHA-1477 – Jihlava*

Tato stanice, která vznikla 3.10. 2003 se nachází v areálu školy. Její přesné umístění se nachází na souřadnicích 49°24'6,007" severní šířky a 15°36'35,669" východní délky, v nadmořské výšce 502 m. Stanice se nachází ve spodní části svahu. Tato lokalita je z části zastavěná, z části ozeleněná. Stanice je klasifikována jako B/U/RC (tab. č. 1).

## **Jihomoravský kraj**

### 9) *Stanice BBNYA-1130 – Brno – Tuřany*

Stanice nacházející se v areálu letiště Tuřany na náhorní planině vznikla 1.1. 1994. Její lokalizace je dána zeměpisnými souřadnicemi 49°8'56,298" severní šířky a 16°41'46,380" východní délky a nadmořskou výškou 241 m. Nachází se v okrese



Brno – město. V okolí stanice převažuje TTP a nevyskytuje se zde téměř žádná zástavba. Měřicí stanice je začleněna jako B/SR (tab. č. 1).

### **Olomoucký kraj**

#### *10) Stanice MOLSA-1197 – Olomouc – Šmeralova*

Tato měřicí stanice vznikla 1.2. 1994. Stanice je umístěna na Šmeralově ulici v areálu VŠ kolejí. V okolí je tedy vícepodlažní zástavba. Stanice je klasifikována jako B/U/R (tab. č. 1). Vlastníkem této měřicí stanice není ČHMÚ jak tomu bylo v předchozích případech, ale Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě – CHL, v ulici Wolkerova 6. Poloha této stanice je  $49^{\circ}35'41,000''$  severní šířky a  $17^{\circ}16'10,000''$  východní délky, v nadmořské výšce 220 m. Cílem měřicího programu je určení vlivu na zdravotní stav obyvatelstva.

### **Zlínský kraj**

#### *11) Stanice ZZLNA-1510 – Zlín*

Stanice se nachází na pozemku zlínských vodáren na jižních svazích města Zlína. Měřicí stanice je umístěna v okolí nízkopodlažní zástavby (vilová čtvrť). Vznikla 21.8. 2003. Zeměpisné souřadnice jsou  $49^{\circ}13'58,463''$  severní šířky a  $17^{\circ}40'1,831''$  východní délky a nadmořská výška činí 258 m. Klasifikace této stanice je B/S/RN (tab. č. 1).

### **Moravskoslezský kraj**

#### *12) Stanice TOPRA-1410 – Ostrava – Přívoz*

Tato stanice vznikla 31.12 1998. Je začleněna jako I/U/IR (tab. č. 1). Nachází se v ulici Na Mlýnici na hřišti v areálu obchodního učiliště. Tato lokalita se nachází v průmyslové zástavbě. Její přesná poloha je určena zeměpisnými souřadnicemi  $49^{\circ}51'22,530''$  severní šířky a  $18^{\circ}16'11,068''$  východní délky a nadmořskou výškou 207 m.

### **Středočeský kraj**

#### *13) Stanice SONRA-1108 – Ondřejov*

Středočeský kraj na rozdíl od ostatních krajů nemá své statutární město umístěno na svém území, ale je jím hlavní město Praha, které má status samostatného kraje. Pro účely této diplomové práce je použita stanice, která se nachází v okrese Praha-Východ, a to z důvodu použití jedné reprezentativní stanice ze Středočeského kraje.

Stanice je umístěna v areálu Astronomického ústavu asi 20 m od přijímací antény radioteleskopu v okrese Praha-Východ od 7.9. 1993. Stanice je začleněna jako B/R/N (tab. č. 1). V okolí se nachází TTP a zemědělská půda. Její přesné souřadnice jsou 49°54'48,647" severní šířky a 14°46'57,451" východní délky, v nadmořské výšce 514 m.

## Hlavní město Praha

### 14) Stanice ARIEA-772 – Praha 2 – Riegrovy sady

Tato stanice vznikla 22.8.1991 za cílem využití při operativních řízení a regulací. Je umístěna na svahu v parku asi 50 m od málo frekventované komunikace. V okolí se nachází především zelená plocha a stanice je teda klasifikována jako B/U/NR (tab. č. 1). Její přesnou polohu určují souřadnice 50°4'53,335 severní šířky a 14°26'33,690" východní délky, s nadmořskou výškou 256 m.

Tab. č. 1: Třídy lokalit sítě

Typ lokality		Typ zóny (oblasti)		Charakteristika zóny (oblasti)	
Dopravní	T	městská	U	Obytná	R
Pozadová	I	předměstská	S	Obchodní	C
Průmyslová	B	venkovská	R	Průmyslová	I
				Zemědělská	A
				Přírodní	N
				Obytná/obchodní	RC
				Obchodní/průmyslová	CI
				Průmyslová/obytná	IR
				Obytná/obchodní/průmyslová	RCI
				Zemědělská/přírodní	AN

(Zdroj: ČHMÚ [online], 2010)

### **Rok 2000**

1) *Stanice Buková Hora-1279*

Tato stanice s manuálním odběrem se nachází v okrese Děčín. Nachází se na zeměpisných souřadnicích 50°40'20" severní šířky a 14°13'48" východní délky, v nadmořské výšce 683 m na travnatém porostu. Stanice byla založena 1.10. 1996 a jejím cílem je stanovení celkové hladiny pozadí koncentrací. Používanou metodou měření je GUAJA.

2) *Stanice Děčín-1014*

Tato automatizovaná stanice se nachází v okrese Děčín v prostranství mezi domy, na rovině mimo plné ovlivnění dopravou, částečně ve vilové zástavbě a částečně v průmyslové oblasti. Polohu určují zeměpisné souřadnice 50°46'22" sš a 14°13'26" vd a v nadmořské výšce 131 m. Stanice byla zavedena 19.3. 1992.

3) *Stanice Lipnice-1303*

Stanice je manuální, umístěna na okraji obce, v mírném svahu. V jejím okolí převažuje orná půda a kontejner je lokalizován souřadnicemi 50°50'3" sš a 14°25'48" vd a nadmořskou výškou 365 m. Stanice byla zavedena 14.11. 1995, používaná metoda měření – GUAJA.

4) *Stanice Lobendava-1280*

Stanice vznikla 1.10. 1996 ve velmi řídké zástavbě na okraji obce. Tato manuální stanice používá metodu měření GUAJA. Leží v nadmořské výšce 340 m, na zeměpisných souřadnicích 51°56" sš a 14°18'29" vd.

5) *Stanice Sněžník-1013*

Tato automatizovaná stanice se nachází v otevřené krajině, západně pod horou Sněžník. Byla založena 19.1. 1992 na zeměpisných souřadnicích 50°47'33" sš a 14°5'20" vd, v nadmořské výšce 588 m.

6) *Stanice Valdek-1015*

Měřicí stanice se nachází rovněž v okrese Děčín za obcí Staré Křečany. Polohu stanice udávají zeměpisné souřadnice 50°58'23" sš a 14°30'58" vd a nadmořská výška 438 m. Je umístěna v otevřené krajině, ve vyšší poloze, cca 60

m od silnice vedoucí do obce. V blízkosti se nenachází téměř žádná zástavba pouze několik samot. Meteorologická stanice zde byla umístěna 1.4. 1993.

7) *Stanice Děčín-OHS-576*

Vlastníkem této stanice s manuálním odběrem je Hygienická služba se sídlem v Děčíně, v Březinově ulici 3. Stanice je umístěna v budově OHS od 1.9. 1980. V okolí se nachází administrativní, obchodní a bytové objekty. Určujícími souřadnicemi je 50°46'51" sš a 14°13'7" vd a nadmořská výška 135 m.

8) *Stanice Varnsdorf-5.ZŠ Střel.-1201*

Tato stacionární stanice s manuálním odběrem je ve vlastnictví Hygienické služby v Děčíně, nachází se v ulici České mládeže na zeměpisných souřadnicích 50°54'47" sš a 14°36'59" vd v okolí panelových sídlišť. Používanou metodou měření NO<sub>x</sub> je FUCEL.

9) *Stanice Chomutov-1001*

Automatizovaná stanice se nachází ve městě Chomutov na volném prostranství, které je obklopené rodinnými domy mimo přímé ovlivnění dopravou. Byla zavedena 20.1. 1992 na zeměpisných souřadnicích 50°28'5" sš a 13°24'48" vd, v nadmořské výšce 344 m.

10) *Stanice Měděnec-1000*

Měřicí stanice je umístěna v okrese Chomutov již od 4.3. 1992. V jejím okolí převažuje orná půda. Je umístěna na samotě u rekreačního střediska, v poměrně vrcholové partii a mírném svahu nedaleko železniční zastávky Kotlina. Přesnější lokalizace určují hodnoty 827 m a zeměpisné souřadnice 50°25'41" sš a 13°7'55" vd.

11) *Stanice Přísečnice-615*

Tato manuální stanice leží na zeměpisných souřadnicích 50°29'24" sš a 13°8'17" vd a nadmořské výšce 740 m. Používaná metoda měření na této stanici je GUAJA. Nachází se na břehu údolní vodní nádrže. Byla založena 1.1. 1983.

12) *Stanice Tušimice-1002*

Automatizovaná stanice se nachází na zeměpisných souřadnicích 50°22'46" sš a 13°20'1" vd a nadmořské výšce 322 m v otevřené krajině mimo zástavbu. Vznikla 18.1. 1992.

13) *Stanice Chomutov-NSP-409*

Tato manuální stanice ve vlastnictví Hygienické služby, se sídlem v Chomutově, v Partyzánské ulici 4. Leží na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}27'16''$  sš a  $13^{\circ}24'46''$  vd ve vrcholové poloze. Je umístěna v areálu nemocnice, v ulici Kochova 1185 od 1.1. 1980. Používaná metoda měření – TLAM.

14) *Stanice Chomutov-OHS-261*

Stanice lokalizovaná souřadnicemi  $50^{\circ}27'37''$  sš a  $13^{\circ}25'25''$  vd a nadmořskou výškou 330 m je ve vlastnictví Hygienické služby. Byla založena 1.1. 1974 cca 50 m od budovy OHS. Použitá metoda měření je TLAM.

15) *Stanice Kadaň-262*

Tato chomutovská manuální stanice je ve vlastnictví Hygienické služby od 1.1. 1974. Nachází se ve středu města v ulici 5. května v místě gymnázia. Stanice leží na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}22'47''$  sš a  $13^{\circ}16'10''$  vd a nadmořské výšce 298 m. měřícím programem na této stanici je TLAM.

16) *Stanice Doksany-80*

Manuální stanice ležící v okrese Litoměřice na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}27'32''$  sš a  $14^{\circ}10'18''$  vd a nadmořské výšce 158 m byla založena 1.1. 1968. Použitou metodou je GUAJA. Stanice je umístěna na samotě v polích, od roku 1995 v budce ČO.

17) *Stanice Litoměřice-Mlékojedy-1025*

Stanice umístěná na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}31'30''$  sš a  $14^{\circ}7'27''$  vd a nadmořské výšce 147 m. Nachází se v rovině na okraji Litoměřic a Mlékojed vedle občanské a průmyslové zástavby od 1.4. 1993.

18) *Stanice Lkáň-1305*

Tato manuální stanice používá metodu měření GUAJA od 24.10. 1995. Leží na okraji obce v nadmořské výšce 210 m a její polohu určují souřadnice  $50^{\circ}26'42''$  sš a  $13^{\circ}58'37''$  vd. Převažuje zde orná půda, v blízkosti cca 40 m se nachází samota.

19) *Stanice Malešov-1278*

Manuální stanice ležící na zeměpisných souřadnicích 50°30'34" sš a 14°19'46" vd a nadmořské výšce 250 m se nachází na zahradě v otevřené krajině. Vznikla zde 1.10. 1996. Od této doby je používán program měření GUAJA.

20) *Stanice Martiněves-1034*

Stanice ležící na zeměpisných souřadnicích 50°22'13" sš a 14°9'15" vd a nadmořské výšce 269 m a najdeme ji na kraji obce vedle vodojemu, v jejím okolí převažuje zemědělská půda. Vznikla zde 21.5.1993.

21) *Stanice Milešovka-57*

Nachází se na vrcholu Milešovky v budově MS v měřící budce ČO na meteorologické zahrádce. Vznikla zde 1.11. 1968 a použitou metodou měření je GUAJA. Zeměpisné souřadnice určují její polohu takto 50°33'20" sš a 13°56'vd, v nadmořské výšce 837 m.

22) *Stanice Litoměřice-OHS-617*

Tato manuální stanice vznikla 3.1. 1983 a je majetkem hygienické služby, se sídlem v Litoměřicích, Mírovo náměstí 35. Zeměpisné souřadnice určují polohu 50°32'4" sš a 14°8'8" vd a nadmořská výška je 166 m. Leží na dvoře OHS v přízemí, 2 m nad terénem.

23) *Stanice Lovosice-MÚ-637*

Manuální stanice patřící Hygienické službě je umístěna v budově polikliniky Lovosice. Vznikla 1.2. 1984. Metodou měření – TLAM. Stanice leží v nadmořské výšce 152 m a v zeměpisných souřadnicích 50°30'55" sš a 14°3'8" vd.

24) *Stanice Čeradice-1027*

Stanice nacházející se na zeměpisných souřadnicích 50°18'18" sš a 13°29'45" vd a nadmořské výšce 330 m byla založená 22.5. 1993. Najdeme ji v otevřené krajině vedle nízkých vodojemů, v okolí zemědělských půd v okrese Louny.

25) *Stanice Louny-1026*

Stanice se nachází na okraji otevřeného prostranství mezi školou, kostelem a sídlištěm. Jejími zeměpisnými souřadnicemi je 50°21'37" sš a 13°47'7" vd a nadmořská výška 181 m. Stanice byla zavedena 1.4. 1993.

26) *Stanice Nepomyšl-1028*

Určující poloha této automatizované stanice je  $50^{\circ}13'18''$  sš a  $13^{\circ}18'36''$  vd, s nadmořskou výškou 424 m. Nachází se na okraji obce v blízkosti hřiště na volné travnaté ploše od 8.4. 1993.

27) *Stanice Smolnice-590*

Manuální stanice založená 1.1. 1982 se nachází na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}18'32''$  sš a  $13^{\circ}51'31''$  vd a v nadmořské výšce 345 m. V jejím okolí se nachází orná půda, je umístěna v budce ČO na zahradě.

28) *Stanice Strojetic-1306*

Stanice s manuální obsluhou je umístěna na okraji obce, v zahradě a jejím okolí se vyskytuje orná půda. Vznikla 1.10. 1995 a její polohu určují souřadnice  $50^{\circ}12'12''$  sš a  $13^{\circ}29'3''$  vd a nadmořská výška 360 m. Použitá metoda měření GUAJA.

29) *Stanice Fláje-1004*

Automatizovaná stanice ležící na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}41'15''$  sš a  $13^{\circ}35'15''$  vd v nadmořské výšce 739 m leží na náhorní planině vedle vodní nádrže od 17.9. 1992 v okrese Most.

30) *Stanice Kopisty-37*

Tato manuální stanice se nalézá v objektu meteorologické stanice UFA ČSAV, v budce ČO od 1.8. 1970. Používaná metoda při měření je GUAJA. Nadmořská výška této lokality je 240 m a zeměpisné souřadnice  $50^{\circ}32'40''$  sš a  $13^{\circ}37'25''$  vd.

31) *Stanice Most-1005*

Stanice je umístěna v otevřené rovinaté ploše mezi sídlištěm a stadionem uprostřed města od 12.8. 1992. Jejimi souřadnicemi je  $50^{\circ}30'38''$  sš a  $13^{\circ}38'55''$  vd a nadmořská výška 221 m.

32) *Stanice Rudolice v Horách-1317*

Tato měřicí stanice se nachází na náhorní rovině, v otevřené krajině, mimo obydlenou obec. Stanice je lokalizována přesnými souřadnicemi  $50^{\circ}34'52''$  sš a  $13^{\circ}25'17''$  vd, v nadmořské výšce 840 m. Vznikla 6.10.1995.

33) *Stanice Litvínov-929*

Stanice s manuální obsluhou je umístěna na zeměpisných souřadnicích 50°36' sš a 13°36'30" vd a v nadmořské výšce 334 m, tedy v budově polikliniky. Vznikla 1.1. 1991, jejím vlastníkem je Hygienická služba, se sídlem v Mostě, v ulici J.E. Purkyně 270/5.

34) *Stanice Meziboří-927*

Vlastníkem stanice je Hygienická služba od 1.1. 1991. Je umístěna v budově MÚ. Zeměpisné souřadnice lokality jsou 50°37'20" sš a 13°36'vd, nadmořská výška 489 m.

35) *Stanice Most-OHS-537*

Tato stanice s manuální obsluhou je rovněž ve vlastnictví Hygienické služby. Leží v nadmořské výšce 305 m a je umístěna v 1. patře budovy OHS od 1.1. 1970. Její polohu určují souřadnice 50°30' sš a 13°38'30" vd.

36) *Stanice Blažim-1351*

Vlastníkem měřicí stanice je ČEZ, a.s., správcem lokality je společnost ORGREZ sídlící v Mostě, v ulici Budovatelů 2830. Byla založena 1.1. 1996. Stanice leží v nadmořské výšce 266 m a zeměpisné souřadnice jsou 50°24'35" severní šířky a 13°37'50" východní délky.

37) *Stanice Krupka-1007*

Tato stanice se nachází v okrese Teplice. Stanice je umístěna na jihovýchodním úbočí Krušných hor, mimo obec, kde převažuje zemědělská půda, nadmořská výška je 533 m. Zeměpisné souřadnice udávají polohu 50°41'47" sš a 13°50'56" vd. Stanice vznikla 12.6. 1992.

38) *Stanice Teplice-1008*

Tato stanice nacházející se v centru města, mimo přímé ovlivnění dopravou, v okolí budov má souřadnice 50°38'25" sš a 13°49'39" vd a nadmořskou výšku 225 m. Vznikla 1.3. 1992.

39) *Stanice Všechlapy-1009*

Automatizovaná stanice leží v nadmořské výšce 216 m ve volné krajině v blízkosti vodní nádrže, ve vrcholových partiích mírného svahu. Zeměpisné



souřadnice určují polohu 50°36'33" sš a 13°47'2" vd. Stanice byla založena 28.7. 1992.

40) *Stanice Teplice-OHS-267*

Vlastníkem této stanice je Hygienická služba se sídlem v Teplicích, Wolkerova 3. Byla založena 1.1. 1971 v podkrovní místnosti OHS ve výšce 12 m nad terénem, budova je situována v centru města, ve vzdálenosti cca 50 m od jedné z hlavních komunikací. Zeměpisné souřadnice určují polohu 50°38'46" sš a 13°50'3" vd a nadmořská výška 230 m.

41) *Stanice Chabařovice-1010*

Stanice leží v otevřené krajině na rovině mimo zástavbu vedle účelové komunikace a 60 m od železnice na souřadnicích 50°40'50" sš a 13°55'32" vd a v nadmořské výšce 199 m. Stanice byla zavedena 19.1. 1992.

42) *Stanice Ústí nad Labem-Kočkov-1011*

Tato stanice se nachází na zeměpisných souřadnicích 50°41'4" sš a 14°2'33" vd, v nadmořské výšce 367 m a to již od 18.2. 1992. Stanice se nachází v okresním městě Ústí nad Labem ve svahu nad budovou pobočky, na severním okraji města, která je otevřená do krušnohorské kotliny.

43) *Stanice Ústí nad Labem-město-1012*

Stanice byla založena 18.2. 1992 na otevřeném prostranství mezi budovami, okolo travnatá plocha a místní komunikace. Leží v nadmořské výšce 149 m a zeměpisné souřadnice určují její polohu takto 50°39'39" sš a 14°2'29" vd.

44) *Stanice Ústí nad Labem-Brná-1452*

Tato stanice s manuálním odběrem leží v nadmořské výšce 190 m a zeměpisné souřadnice jsou 50°37'15" sš a 14°4'38" vd. Jejím vlastníkem je Hygienická služba se sídlem v Ústí nad Labem. Byla založena 1.9. 1998. Použitá metoda měření je TLAM. Stanice je umístěna v rodinném domku, v suterénu, v okolí zástavba rodinných domů.

45) *Stanice Ústí nad Labem-Kamenný Vrch-584*

Tato stanice je rovněž ve vlastnictví Hygienické služby. Nachází se uprostřed sídliště, v budově základní školy v 1. patře od 1.1. 1982. Jejimi zeměpisnými

souřadnicemi je  $50^{\circ}39'30''$  sš a  $14^{\circ}3'52''$  vd a nadmořská výška 190 m. Použití metoda měření je TLAM.

46) *Stanice Ústí nad Labem-KHS,Pasturova-1457*

Stanice je manuálně obsluhována od 27.9. 1999 a je majetkem Hygienické služby. Stanici je možno lokalizovat podle souřadnic  $50^{\circ}39'53''$  sš a  $14^{\circ}1'36''$  vd a nadmořské výšky 172 m.

47) *Stanice Ústí nad Labem-Krás.Březno-545*

Tato měřicí stanice, která používá měřicí program TLAM, vznikla 1.1. 1982. V okolí se nachází zástavba panelových domů, na zahradě školy v ulici Gerberova. Zeměpisné souřadnice určují tuto polohu takto  $50^{\circ}40'3''$  sš a  $14^{\circ}4'50''$  vd a nadmořská výška 175 m.

48) *Stanice Ústí nad Labem-Severní terasa-543*

Vlastníkem této stanice je Hygienická služba. Nachází se uprostřed sídliště Severní Terasa v ulici Pod Parkem v budově ZŠ-knihovna od 1.9. 1995. Koncentrace oxidů  $\text{NO}_x$  je měřena pomocí metody TLAM. Souřadnice určující její polohu jsou  $50^{\circ}40'53''$  sš a  $14^{\circ}1'52''$  vd a nadmořská výška je 295 m.

49) *Stanice Ústí nad Labem-Všebořice-547*

Tato stanice s manuálním odběrem byla založena 1.1. 1982 a jejím vlastníkem je Hygienická služba. Nadmořská výška stanice je 250 m a zeměpisné souřadnice určují polohu  $50^{\circ}41'$  sš a  $14^{\circ}11''$  vd. Měřicí program této stanice je TLAM a leží uprostřed městské zástavby, na zahradě – penzion Junior v ulici Kosmonautů.

## **Rok 2005**

50) *Stanice USNZA – Sněžník-1570*

Stanice se nachází v okrese Děčín, za obcí Jílové, v otevřené krajině západním směrem od hory Sněžník v nadmořské výšce 590 m. Terén je rovinatý, okolí měřicí stanice je téměř bez zástavby. Zeměpisné souřadnice této lokality jsou  $50^{\circ}47'30.142''$  sš a  $14^{\circ}5'13.402''$  vd. Stanice je klasifikována jako B/R/N (tab. č. 1), vznikla 20.5. 2004.

51) *Stanice UDROA – Droužkovice-1331*

Měřicí stanice je umístěna v okrese Chomutov, v obci Droužkovice. Vlastníkem je ČEZ, a.s. Správcem lokality je společnost ORGREZ, a.s., se sídlem v Mostě. Stanice je lokalizována souřadnicemi  $50^{\circ}24'39.776''$  sš a  $13^{\circ}25'48.859''$  vd, v nadmořské výšce 319 m. V okolí stanice se vyskytuje náhorní planina a téměř žádná zástavba. Z místa měřicí stanice je výhled na elektrárny Tušimice a Prunéřov. Stanice je klasifikována jako I/R/A (tab. č. 1). Byla založena 9.12. 1994.

52) *Stanice UNVDA – Nová Víska u Domašína-1332*

Tuto stanici nalezneme na souřadnicích  $50^{\circ}26'15.096''$  sš a  $13^{\circ}11'10.770''$  vd, v nadmořské výšce 650 m v okrese Chomutov, v obci Klášterec nad Ohří již od 1.1. 1978. Vlastníkem této stanice je společnost ČEZ, a.s., z tohoto důvodu je klasifikována jako I/R/N (tab. č. 1). Nachází se v polovině svahu Krušných hor nad elektrárnou Prunéřov a s výhledem na elektrárnu Tušimice.

53) *Stanice UHOHA – Horní Halže-1333*

Měřicí stanice byla založena 9.12. 1994 v okrese Chomutov za obcí Měděnec. Vlastníkem je společnost ČEZ a.s. Stanice je začleněna jako I/R/N (tab. č. 1). Nachází se v poměrně vysoké nadmořské výšce 891 m, se zeměpisnými souřadnicemi  $50^{\circ}24'51.243''$  sš a  $13^{\circ}4'55.728''$  vd. Stanice se nalézá ve vrcholových partiích Krušných hor, ve značně svažitém terénu, s výhledem na elektrárnu Tušimice.

54) *Stanice ULTTA - Litoměřice-1475*

Stanice je umístěna v okresním městě Litoměřice a byla založena 10.4. 2003. Měřicí stanice se nachází na západním rovinatém okraji města, vedle pojezdu u železniční tratě na travnatém pozemku, na okraji sídliště. Je tedy klasifikována jako B/U/R (tab. č. 1). Zeměpisnými souřadnicemi je lokalizována  $50^{\circ}32'27.231''$  sš a  $14^{\circ}7'9.871''$  vd s nadmořskou výškou 190 m.

55) *Stanice ULPRA – Libkovice pod Řípem-1575*

Tato stanice se nachází v Libkovicích pod Řípem v okrese Litoměřice. Vlastníkem je společnost ČEZ, a.s. Stanice byla založena jako I/R/A (tab. č. 1). Nachází se na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}24'0.788''$  sš a  $14^{\circ}20'54.742''$  vd, v nadmořské výšce 260 m. Stanice vznikla 1.1. 2005.

56) *Stanice UHVRA – Havraň-205*

Stanice se nalézá v obci Havraň v okrese Most. Jejím vlastníkem je společnost ČEZ, a.s., se sídlem v Mostě. Stanice je klasifikována jako I/R/A (tab. č. 1). Nachází se vedle fotbalového stadionu v rovinatém terénu na částečně zastavěné ploše. Stanice vznikla již 1.1. 1971. Přesnější souřadnice určují její polohu takto:  $50^{\circ}26'43.935''$  sš a  $13^{\circ}35'49.770''$  vd, s nadmořskou výškou 330 m.

57) *Stanice UMLAA – Milá-1330*

Tato měřicí stanice nacházející se v obci Bečov v okrese Most je vlastnictvím společnosti ČEZ, a.s. Je tedy zařazena jako I/R/A (tab. č. 1). Nachází se na okraji obce, směrem k elektrárně Počerady. Okolí je částečně zastavěno. Stanice byla založena 18.11. 1994. Určujícími souřadnicemi je  $50^{\circ}25'40,000''$  sš a  $13^{\circ}45'10.000''$  vd a nadmořská výška 339 m.

58) *Stanice ULOMA – Lom-1507*

Stanice nacházející se na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}35'8.757''$  sš a  $13^{\circ}40'24.305''$  vd a v nadmořské výšce 265 m, je charakterizována jako I/R/NI (tab. č. 1). Vznikla 12.11. 2004. Nachází se rovněž v okrese Most za obcí Mariánské Radčice. Je umístěna v otevřené ploše v podhůří Krušných hor.

59) *Stanice UKVZA - Komáří Vížka-1328*

Tato měřicí stanice se nachází v okrese Teplice v obci Krupka. Jejím vlastníkem je ČEZ, a.s. Nalézá se na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}42'25,00''$  sš a  $13^{\circ}50'40,00''$  vd, v nadmořské výšce 774 m. Stanice je umístěna na vrcholu Krušných hor od 4.11. 1994 – nad stanicí ČHMÚ Krupka. Je tedy ve značně svažitém terénu. Tato stanice je klasifikována jako B/R/IN (tab. č. 1).

60) *Stanice UKOSA – Kostomlaty pod Milešovkou-1329*

Měřicí stanice se nachází stejně jako její název v Kostomlatech pod Milešovkou, v okrese Teplice. Jejím vlastníkem je společnost ČEZ, a.s. Je klasifikována jako I/R/A (tab. č. 1). Nachází se tedy na kraji obce směrem k elektrárně Ledvice. Zeměpisné souřadnice udávají polohu  $50^{\circ}33'29.001''$  sš a  $13^{\circ}51'52.149''$  vd, v nadmořské výšce 410 m. Stanice byla založena 4.11. 1994.

61) *Stanice UULDA - Ústí nad Labem – Všebořická (hot spot)-1481*

Stanice v okresním městě je klasifikována jako T/U/RC (tab. č. 1), a to z důvodu umístění cca 2 m od silnice, která je frekventovanou výpadovkou z města,

byla zde umístěna 29.7. 2004. Stanice je lokalizována souřadnicemi  $50^{\circ}40'59.248''$ sš a  $13^{\circ}59'52.344''$  vd, v nadmořské výšce 320 m.

62) *Stanice UULMA-Ústí nad Labem – město-1571*

Stanice se nalézá v prostranství mezi administrativními budovami a bytovými objekty, v rovinné travnaté ploše v Ústí nad Labem. Byla založena 1.1. 2005. Stanice má zeměpisné souřadnice  $50^{\circ}39'39.941''$ severní šířky a  $14^{\circ}2'35.027''$  východní délky, v nadmořské výšce 147 m. Je klasifikována jako B/U/RC (tab. č. 1).

## **Rok 2010**

63) *Stanice UTPM – Teplice-1763*

Měřicí stanice se nachází v okresním městě Teplice a je umístěna u Základní školy Koperníkova, na travnaté strmější ploše, na okraji obytné části města od 9.6. 2008. Její přesná lokalizace je  $50^{\circ}38'43.004''$ sš a  $13^{\circ}51'4.499''$  vd s nadmořskou výškou 257 m. Klasifikace této stanice je určena jako B/U/R (tab. č. 1).

64) *Stanice UVSLA - Chomutov-1871*

Stanice, která leží v okrese Chomutov na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}27'53.424''$ sš a  $13^{\circ}14'26.608''$  vd, v nadmořské výšce 344 m. Vlastníkem stanice je společnost ČEZ, a.s. a je tedy začleněna jako I/R/N (tab. č. 1). Měřicí stanice se nachází ve vrcholové poloze ve značně svažitém terénu. Stanice byla založena 1.1 2010.

65) *Stanice UZAZA – Žatec-1623*

Měřicí stanice se nachází v okrese Louny. Vlastníkem je Střední škola zemědělská a ekologická Žatec, která sídlí v ulici Svatopluka Čecha 1180. Stanice je umístěna na nádvoří školy, v jejím okolí jsou panelové domy, Žatecká teplárenská a vily. Vznikla od 1.1. 2006. Přesnější lokalizace stanice je  $50^{\circ}19'14.539''$ sš a  $13^{\circ}32'48.925''$  vd s nadmořskou výškou 265 m. Je klasifikována typem jako B/S/R (tab. č. 1).

Příloha č. 4: Použité pomocné stanice jiných krajů

66) *Stanice LFRUA-Liberec-Frýdlant-Údolí-1018*

Stanice se nachází v obci Frýdlant v okrese Liberec. Je charakterizována jako B/R/AN (tab. č. 1). Její souřadnice určující její polohu jsou  $50^{\circ}56'17,582''$  sš a  $15^{\circ}4'49,037''$  vd a nadmořská výška 381 m. Je umístěna v mírném severním svahu od 9.12.1992.

67) *Stanice KKVMA-Karlovy Vary-1505*

Měřicí stanice se nachází v Karlových Varech v nadmořské výšce 411 m a na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}13'48,589''$  sš a  $12^{\circ}51'56,560''$  vd. Je klasifikována jako T/U/RC (tab. č. 1). Leží v centru města - v blízkosti autobusového nádraží. Charakterizuje imise z dopravy. Byla založena 21.7. 2003.

68) *Stanice SKLSA - Kladno-Švermov-1455*

Tato měřicí stanice se nachází v okrese Kladno ve Středočeském kraji. Je klasifikována jako B/U/RI (tab. č. 1). Její polohu určují souřadnice  $50^{\circ}10'2,682''$  sš a  $14^{\circ}6'21,771''$  vd a nadmořská výška 219 m. Stanice se nachází na Havlíčkově náměstí v Kladně, poblíž nízkopodlažní bytové zástavby s četnými lokálními topeništi. Stanice vznikla 10.2. 1999.

69) *Stanice SVELA-Mělník-Veltrusy-792*

Stanice situovaná v obci Veltrusy v okrese Mělník ve Středočeském kraji má polohu  $50^{\circ}16'2,938''$  sš a  $14^{\circ}19'41,614''$  vd a nadmořskou výšku 174 m. Je majetkem ČESKÉ RAFINÉRSKÉ a.s., Litvínov se sídlem v Kralupech nad Vltavou. Měřicí stanice se nachází v Alšově ulici ve Veltrusech na jižním okraji obce od 1.6. 1992. Je klasifikována jako I/S/RI (tab. č. 1).

70) *Stanice Karlovy Vary-1030*

Tato stanice se nachází na zeměpisných souřadnicích  $50^{\circ}14'21''$  sš a  $12^{\circ}52'8''$  vd, v nadmořské výšce 429 m. Nachází se na sídlišti Růžový Vrch v Karlových Varech a vznikla 1.4. 1993. Tuto stanici nahrazuje od roku 2005 stanice KKVMA-1505.

Příloha č. 5: Analýza pomoci post-hoc testů v roce 2000, Fischer LSD

Č. buňky	Kraj	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}
		26,833	22,417	38,833	36,091	22,917	51,667	29,500	36,500	59,167	42,556	30,000	14,583	40,083	45,833
1	JM		0,381969	0,018466	0,074279	0,438037	0,000002	0,614449	0,056881	0,000000	0,004433	0,530507	0,016204	0,009424	0,000233
2	VY	0,381969		0,001385	0,008794	0,921058	0,000000	0,182014	0,005859	0,000000	0,000301	0,134302	0,122027	0,000599	0,000007
3	LB	0,018466	0,001385		0,595169	0,001913	0,011856	0,079322	0,643858	0,000087	0,494924	0,081539	0,000004	0,804343	0,166682
4	OL	0,074279	0,008794	0,595169		0,011529	0,002937	0,223402	0,936793	0,000015	0,245575	0,238821	0,000050	0,439438	0,060478
5	PL	0,438037	0,921058	0,001913	0,011529		0,000000	0,214649	0,007812	0,000000	0,000419	0,161723	0,100145	0,000842	0,000011
6	UL	0,000002	0,000000	0,011856	0,002937	0,000000		0,000047	0,003061	0,138601	0,096098	0,000031	0,000000	0,022860	0,248668
7	JC	0,614449	0,182014	0,079322	0,223402	0,214649	0,000047		0,187178	0,000000	0,022666	0,924721	0,005401	0,046956	0,002377
8	KV	0,056881	0,005859	0,643858	0,936793	0,007812	0,003061	0,187178		0,000014	0,267475	0,198885	0,000025	0,477934	0,065867
9	KH	0,000000	0,000000	0,000087	0,000015	0,000000	0,138601	0,000000	0,000014		0,002684	0,000000	0,000000	0,000220	0,008995
10	MS	0,004433	0,000301	0,494924	0,245575	0,000419	0,096098	0,022666	0,267475	0,002684		0,022392	0,000001	0,650188	0,547765
11	PB	0,530507	0,134302	0,081539	0,238821	0,161723	0,000031	0,924721	0,198885	0,000000	0,022392		0,002622	0,047118	0,002017
12	SC	0,016204	0,122027	0,000004	0,000050	0,100145	0,000000	0,005401	0,000025	0,000000	0,000001	0,002622		0,000001	0,000000
13	ZL	0,009424	0,000599	0,804343	0,439438	0,000842	0,022860	0,046956	0,477934	0,000220	0,650188	0,047118	0,000001		0,255461
14	PHA	0,000233	0,000007	0,166682	0,060478	0,000011	0,248668	0,002377	0,065867	0,008995	0,547765	0,002017	0,000000	0,255461	

Příloha č. 6: Analýza pomoci post-hoc testů v roce 2005, Fischer LSD

Kraj	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}	{14}
	30,358	35,083	37,267	28,970	24,117	49,917	29,327	78,642	58,200	48,042	47,058	15,233	25,358	45,808
JM		0,389652	0,209119	0,809341	0,256235	0,000478	0,854163	0,000000	0,000002	0,001527	0,002712	0,006469	0,362727	0,005435
VY	0,389652		0,690710	0,288902	0,047041	0,007546	0,305646	0,000000	0,000060	0,019255	0,030325	0,000396	0,077808	0,052049
LB	0,209119	0,690710		0,150709	0,017571	0,022263	0,158320	0,000000	0,000263	0,050978	0,075813	0,000091	0,031245	0,120951
OL	0,809341	0,288902	0,150709		0,399489	0,000366	0,951478	0,000000	0,000002	0,001129	0,001977	0,018019	0,530453	0,003902
PL	0,256235	0,047041	0,017571	0,399489		0,000006	0,353605	0,000000	0,000000	0,000023	0,000048	0,106897	0,820951	0,000115
UL	0,000478	0,007546	0,022263	0,000366	0,000006		0,000328	0,000001	0,141176	0,732558	0,602503	0,000000	0,000014	0,454339
JC	0,854163	0,305646	0,158320	0,951478	0,353605	0,000328		0,000000	0,000001	0,001050	0,001870	0,012891	0,479568	0,003766
KV	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000		0,000361	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
KH	0,000002	0,000060	0,000263	0,000002	0,000000	0,141176	0,000001	0,000361		0,071666	0,048445	0,000000	0,000000	0,028416
MS	0,001527	0,019255	0,050978	0,001129	0,000023	0,732558	0,001050	0,000000	0,071666		0,857749	0,000000	0,000057	0,684009
PB	0,002712	0,030325	0,075813	0,001977	0,000048	0,602503	0,001870	0,000000	0,048445	0,857749		0,000000	0,000114	0,819770
SC	0,006469	0,000396	0,000091	0,018019	0,106897	0,000000	0,012891	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,066463	0,000000
ZL	0,362727	0,077808	0,031245	0,530453	0,820951	0,000014	0,479568	0,000000	0,000000	0,000057	0,000114	0,066463		0,000267
PHA	0,005435	0,052049	0,120951	0,003902	0,000115	0,454339	0,003766	0,000000	0,028416	0,684009	0,819770	0,000000	0,000267	



Příloha č. 7: Analýza pomoci post-hoc testů v roce 2010, Fischer LSD

kraj	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}	{13}
	27,733	21,058	38,383	11,245	47,542	24,158	64,033	50,700	48,892	27,983	12,708	23,625	45,008
JM		0,280628	0,086178	0,009858	0,001624	0,562790	0,000000	0,000519	0,000785	0,967700	0,016023	0,506110	0,005781
VY	0,280628		0,005644	0,121668	0,000032	0,615748	0,000000	0,000010	0,000013	0,263080	0,177637	0,677703	0,000157
LB	0,086178	0,005644		0,000031	0,139516	0,022455	0,000055	0,058764	0,090394	0,093730	0,000054	0,017957	0,284232
PL	0,009858	0,121668	0,000031		0,000000	0,042309	0,000000	0,000000	0,000000	0,008820	0,816760	0,051444	0,000000
UL	0,001624	0,000032	0,139516	0,000000		0,000220	0,008341	0,625871	0,826928	0,001851	0,000000	0,000160	0,681656
JC	0,562790	0,615748	0,022455	0,042309	0,000220		0,000000	0,000068	0,000097	0,535839	0,065285	0,931161	0,000930
KV	0,000000	0,000000	0,000055	0,000000	0,008341	0,000000		0,040980	0,015237	0,000000	0,000000	0,000000	0,002438
KH	0,000519	0,000010	0,058764	0,000000	0,625871	0,000068	0,040980		0,780069	0,000594	0,000000	0,000049	0,380066
MS	0,000785	0,000013	0,090394	0,000000	0,826928	0,000097	0,015237	0,780069		0,000900	0,000000	0,000070	0,529647
PB	0,967700	0,263080	0,093730	0,008820	0,001851	0,535839	0,000000	0,000594	0,000900		0,014380	0,480624	0,006507
SC	0,016023	0,177637	0,000054	0,816760	0,000000	0,065285	0,000000	0,000000	0,000000	0,014380		0,078678	0,000001
ZL	0,506110	0,677703	0,017957	0,051444	0,000160	0,931161	0,000000	0,000049	0,000070	0,480624	0,078678		0,000693
PHA	0,005781	0,000157	0,284232	0,000000	0,681656	0,000930	0,002438	0,380066	0,529647	0,006507	0,000001	0,000693	