

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO  
MODELOVÁNÍ



**Chemismus atmosférické depozice v oblasti města Sokolov**

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Bakalant: Jiří Košar

2017

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jiří Košar

Územní technická a správní služba

Název práce

**Chemismus atmosférické depozice v oblasti města Sokolov**

Název anglicky

**The chemistry of atmospheric deposition in the area of town Sokolov**

---

### Cíle práce

V rešeršní části popsat atmosférické depozice měřené Českým hydrometeorologickým ústavem v oblasti města Sokolov. Uvést jejich možné zdroje, jejich chemismus a vliv na životní prostředí. Provést analýzu získaných dat z oblasti města Sokolov z portálu Českého hydrometeorologického ústavu v období od roku 2010 do roku 2014 a vyhodnotit kvalitu prostředí.

### Metodika

V rešeršní části popsat jednotlivé druhy depozic, jejich zdroje, chemismus v atmosféře a dopad atmosférických depozic na životní prostředí. Analyzovat získaná data a provést na základě výsledků vyhodnocení kvality ovzduší

**Doporučený rozsah práce**

35 stran textu

**Klíčová slova**

atmosférické depozice, Sokolov, síra, dusík, ozón, PM10, PM2,5, emise, acidifikace

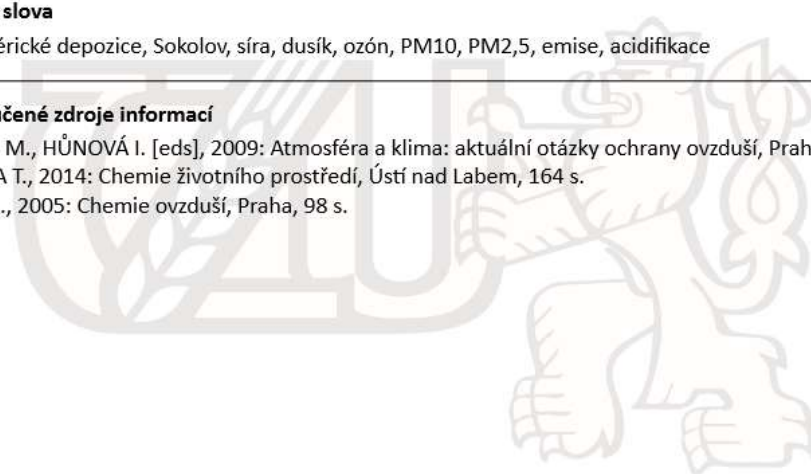
---

**Doporučené zdroje informací**

BRANIŠ M., HŮNOVÁ I. [eds], 2009: Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší, Praha, 352 s.

LOUČKA T., 2014: Chemie životního prostředí, Ústí nad Labem, 164 s.

VÍDEN I., 2005: Chemie ovzduší, Praha, 98 s.



---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 4. 4. 2016

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 4. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 13. 04. 2017

**Prohlášení autora:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D. a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 15. 4. 2017

.....

Jiří Košář

### **Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce a za poskytnutí odborných rad. Rovněž bych vyjádřil vděčnost své rodině za podporu během studia a své přítelkyni Mgr. et Mgr. Kláře Beckové za veškerou podporu při studiu a při zpracování práce.

V Praze dne 15. 4. 2017

**Abstrakt:**

Bakalářská práce v rešeršní části popisuje atmosférické depozice. Pojem depozice je definován jako transport látek z ovzduší k zemskému povrchu (Warneck 1999). Rozděluje se na složku mokrou a suchou. (Braniš et al. 2009)

Bližší je charakterizován oxid siřičitý, oxidy dusíku, ozon a suspendované částice emitovaných do ovzduší. U imisí je popisován jejich možný zdroj, chemické reakce v atmosféře a následný dopad na životní prostředí či lidské zdraví.

Dále je uveden legislativní rámec zabývající se ochranou ovzduší a imisními limity. V závěrečné části je provedeno vyhodnocení kvality ovzduší ve městě Sokolov na základě údajů měření provedených v období 2010 až 2014 Českým hydrometeorologickým ústavem v Praze.

**Klíčová slova:** atmosférická depozice, Sokolov, síra, dusík, ozon, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, emise, acidifikace

**Abstract:**

The bachelor thesis describes the atmospheric deposition in the research part. The definition deposition is as the transport of substances from air to the earth's surface (Warneck 1999). It is divided into wet and dry. (Braniš et al. 2009).

Sulfur dioxide, oxides of nitrogen, ozone and suspended particles emitted into the atmosphere are characterized closer. For imissions, there is described their possible source, chemical reactions in the atmosphere and the consequent impact on the environment or human health.

Further, there is a legislative framework dealing with the air protection and air pollution limits. In the final part, there is an evaluation of the air quality in the town Sokolov based on the measurements carried out in the period of 2010-2014 by the Czech Hydrometeorological Institute in Prague.

**Keywords:** Atmospheric Deposition, Sokolov, Sulfur, Nitrogen, Ozone, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, Emission, Acidification

# Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů .....	9
1. Úvod.....	11
2. Cíle práce .....	12
3. Metodika .....	12
4. Zájmová oblast: Sokolov .....	13
4.1. Vymezení zájmové oblasti .....	13
4.2. Klima .....	14
4.3. Hydrologie.....	14
4.4. Průmysl.....	14
4.5. Doprava .....	14
4.6. Čištění odpadních vod .....	15
4.7. Ovzduší.....	16
5. Atmosférická depozice .....	18
5.1. Suchá depozice .....	19
5.2. Mokrá depozice .....	20
5.3. Depozice síry .....	20
5.3.1. Oxid siřičitý.....	21
5.3.2. Charakteristika .....	21
5.3.3. Chemismus.....	21
5.3.4. Vliv na lidské zdraví .....	22
5.4. Depozice dusíku .....	23
5.4.1. Oxid dusnatý .....	23
5.4.2. Oxid dusičitý .....	24
5.4.3. Oxidy dusíku.....	24
5.4.4. Chemismus.....	24
5.4.5. Vliv na lidské zdraví .....	26
5.5. Ozon .....	26
5.5.1. Charakteristika .....	26
5.5.2. Chemismus.....	27
5.5.3. Vliv na lidské zdraví .....	28
5.6. Pevná část suché depozice.....	29
5.6.1. Charakteristika suspendovaných částic.....	29
5.6.2. Vliv suspendovaných částic na lidské zdraví.....	29

5.7.	Smog.....	30
5.7.1.	Fotochemický smog .....	30
5.7.2.	Kyselý smog.....	31
6.	Legislativa.....	32
7.	Výsledky .....	34
8.	Diskuse.....	43
9.	Závěr .....	44
10.	Zdroje .....	45
11.	Seznam příloh.....	48



## Seznam použitých zkratek a symbolů

**% hm** - hmotnostní procento

**µg/m<sup>3</sup>** - mikrogram na metr krychlový

**µm** - mikrometr

**AIM** - automatický imisní monitoring

**CO** - oxid uhelnatý

**ČEZ** - Skupina ČEZ

**ČHMÚ** - Český hydrometeorologický ústav

**D/M** - den/měsíc

**e<sup>-</sup>** - elektron

**EU** - Evropská unie

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** - oxid železitý

**FeS<sub>2</sub>** - pyrit

**h** - hodina

**H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>** - kyselina siřičitá

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** - kyselina sírová

**HO•** - hydroxylový radikál

**HO<sub>2</sub>•** - hydroperoxylový radikál

**hν** - světelné kvantum

**CH<sub>4</sub>** - metan

**IPPC** - Integrovaný program prevence a omezování znečištění

**IRZ** - Integrovaný registr znečištění

**ISKO** - Informační systém kvality ovzduší

**km** - kilometr

**KSOMA** - kódové označení automatického měřicího systému měřicí stanice Sokolov

**KSOVA** - kódové označení automatického měřicího systému měřicí stanice Sokolov1

**KVITA** - kódové označení automatického měřicího systému měřicí stanice Vítkov

**M** - označení pro nspecifikovanou třetí látku

**m n. m.** - metrů nad mořem

**mg/m<sup>3</sup>** - miligram na metr krychlový

**MP** - měsíční aritmetický průměr

**MT7** - mírně teplá klimatická oblast č. 7

**NH<sub>3</sub>** - amoniak

**(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** - síran amonný

**NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>** - dusičnan amonný

**nm** - nanometr

**NMVOC** - nemetanické organické těkavé sloučeniny

**NO** - oxid dusnatý

**NO<sub>2</sub>** - oxid dusičitý

**NO<sub>2</sub>\*** - excitovaná molekula oxidu dusičitého

**NO<sub>x</sub>** - oxidy dusíku

**N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** - dimer oxidu dusnatého

**N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** - oxid dusičný  
**O\*** - kyslík v excitovaném stavu  
**O<sub>2</sub>** - elementární kyslík, molekulární kyslík  
**PAN** - peroxyacetylnitrát  
**PM<sub>10</sub>** - suspendované částice o velikosti 10 mikrometrů  
**PM<sub>2,5</sub>** - suspendované částice o velikosti 2,5 mikrometrů  
**POPs** - perzistentní organický polutant  
**REZZO** - Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší  
**RO<sub>2</sub>•** - peroxyradikál  
**RP** - roční aritmetický průměr  
**S** - síra  
**Sb.** - Sbírka zákonů Poslanecké sněmovny ČR  
**SO<sub>2</sub>** - oxid siřičitý  
**SO<sub>2</sub>\*** - excitovaná molekula oxidu siřičitého  
**SO<sub>3</sub>** - oxid sírový  
**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** - síranový aniont  
**S<sub>org.</sub>** - organicky vázaná síra  
**UV** - ultrafialové záření  
**VOC** - těkavé organické sloučeniny  
**WHO** - Světová zdravotnická organizace  
**X** - katalyzátor urychlující chemickou reakci  
**λ** - označení vlnové délky (lambda)

# 1. Úvod

Země má, jako i některé další planety sluneční soustavy, svůj plynný obal označovaný jako atmosféra. Atmosféra je směsí mnoha plynů, aerosolových částic v kapalném i pevném skupenství, znečišťujících látek a různých druhů organismů (Braniš 1997).

Do atmosféry jsou emitovány látky ve formě molekul nebo partikulárních částic při různých přírodních jevech, biologických procesech a antropogenních činnostech. Vlivem meteorologických podmínek se tyto částice přenáší a rozptýlí do okolí. Zároveň se transformují vlivem chemických reakcí. Výrazně se tak snižuje množství látek v ovzduší (Braniš et al. 2009), čímž dochází k samočisticímu mechanismu atmosféry. Transport látek směrem k zemskému povrchu probíhá sedimentováním, vynášením či vymýváním. Tento přenos se definuje jako atmosférická depozice (Warneck 1999).

Uvedené částice mohou negativně ovlivnit kvalitu ovzduší. Následkem jsou pak negativní dopady na ekosystémy a lidské zdraví.

Pro člověka je ovzduší jednou z hlavních složek životního prostředí, bez které nemůže existovat. Při plicní ventilaci se do lidského těla dostávají se vzduchem i různé cizorodé látky, které mohou přímo ovlivňovat svým působením zdraví člověka. Proto je jak na mezinárodní, evropské, tak i národní úrovni věnována pozornost kvalitě ovzduší. Sledují se úrovně znečištění, které svými účinky mohou ovlivnit materiály, ekosystémy, vegetaci a především lidské zdraví. Měřením kvality ovzduší a atmosférických depozic na území České republiky je pověřen Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Naměřená data jsou archivována v Informačním systému kvality znečištění (ISKO) provozovaný ČHMÚ. Sledováním znečištění ovzduší se v České republice dále věnují organizace jako je Zdravotní ústav, městské úřady, Skupina ČEZ, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti a další (MŽP 2017).

Každý z nás byl někdy v průběhu svého života negativně ovlivněn zhoršeným stavem ovzduší. Proto je důležité, aby se tomuto problému věnovala jak široká odborná veřejnost, tak i ostatní občané. Někteří z nás si neuvědomují, že svým nevhodným chováním negativně přispívají ke zhoršování kvality ovzduší, ať se jedná o spalování plastových odpadků v lokálních topeništích, nadbytečné užívání svého motorového vozidla či jiné chování, při kterém dochází k vypouštění nečistot do ovzduší. Proto informovanost veřejnosti o dopadech znečištění ovzduší a o depozicích znečišťujících látek je zahrnuta v různých strategických plánech obcí, krajů, regionů a do státní politiky ochrany ovzduší.

## 2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je:

- Popsat nejčastěji měřené atmosférické depozice Českým hydrometeorologickým ústavem a dalšími organizacemi v oblasti města Sokolov.
- Uvést jejich možné zdroje znečištění, chemismus těchto látek v atmosféře a vliv na lidské zdraví či životní prostředí.
- Vyhodnotit kvalitu ovzduší na základě výsledků měření imisí provedených v období od roku 2010 do roku 2014 zaznamenaných ČHMÚ.

## 3. Metodika

Pro zpracování rešeršní části popisující atmosférickou depozici a sloučeniny přispívající ke vzniku depozice, chemismus a dopad na lidské zdraví nebo životní prostředí, bylo využito různých pramenů. Mezi nejdůležitější patří knihy *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší* (Braníš et Hůnová 2009), *Chemie životního prostředí* (Loučka 2014) a *Chemie ovzduší* (Víden 2005). Důležitým zdrojem dat pro vyhodnocení kvality ovzduší byla online data z tabelárních přehledů ČHMÚ.

## 4. Zájmová oblast: Sokolov

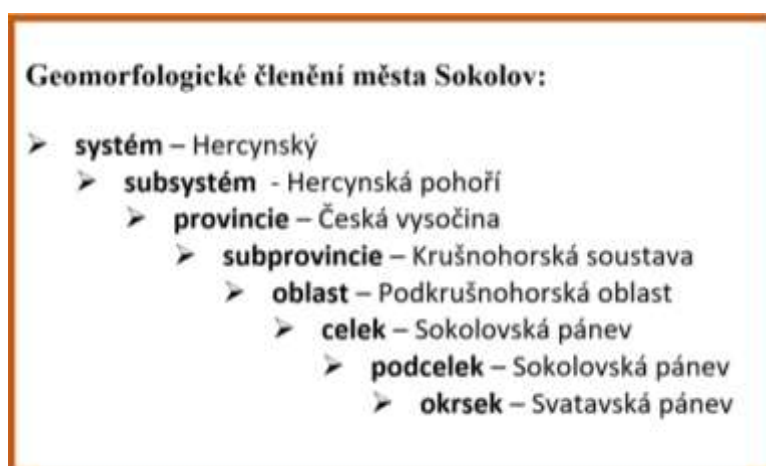
### 4.1. Vymezení zájmové oblasti

Sledované území se nachází v západních Čechách v Karlovarském kraji mezi vodními nádržemi Medard a Vítkov. Jedná se o katastrální území města Sokolov (75223) vyznačené na obr. č. 1 v Sokolovské pánvi v příkopové propadlině vzniklé v podkrušnohorské ose lomu (ČÚZK 2016). Propadlinu tvoří kenozoické jezerní sedimenty, které jsou důležitým zdrojem uhlí a keramických jílů. Město je v nadmořské výšce 401 m n. m. při soutoku vodních toků Ohře, Svatavy a Lobežského potoka. Sokolov s rozlohou 22,9 km<sup>2</sup> a s počtem obyvatel 24 148 ke dni 31. 12. 2015 (ČSÚ 2016) má čtyři městské části Hrušková, Novina, Vítkov a Sokolov.



Obr. č. 1 - Katastrální území města Sokolov (ČÚZK 2016)

Geomorfologické členění znázorňuje obrázek č. 2.



Obr. č. 2 - Geomorfologické členění oblasti města Sokolov (CENIA 2016)

## **4.2. Klima**

Území města Sokolov začleňujeme do mírně teplé klimatické oblasti MT7 (Quitt 1971) a do VI. třídy klimatické regionalizace ČR (Moravec et Votýpka 1998). Průměrná roční teplota dosahuje rozmezí 6 - 7 °C. Průměrný počet letních dnů v roce je 20 – 30 a mrazových 110 – 130. Výše průměrných ročních srážek činí 600 – 800 mm.

## **4.3. Hydrologie**

Z jihozápadu do města přitéká řeka Ohře s průměrným ročním průtokem 13,243 m<sup>3</sup>/s. V ulici Rokycanova se do Ohře vlévá řeka Svatava a z jihovýchodní strany přitéká Lobezský potok. Voda z řeky Ohře je využívána společností Hexion a. s. pro výrobní procesy. Kvalita vody je ovlivněna množstvím průmyslových podniků, které se nachází v povodí Ohře a kvalitou vod vypouštěných čistírnami odpadních vod.

## **4.4. Průmysl**

Sokolovská pánev je bohatá na přírodní zásoby hnědého uhlí. Těžbu provádí společnost Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., která je zároveň se společností Hexion a.s., jedním z největších zaměstnavatelů v regionu. Hexion a.s. se svou chemickou výrobou látek má jako jediný subjekt ve městě povolení Ministerstva životního prostředí z Integrovaného programu prevence a omezování znečištění (IPPC). Povolení se uděluje pro vybranou činnost v zemědělském a průmyslovém odvětví a nahrazuje některá vyjádření, souhlasy a rozhodnutí věcně příslušných správních orgánů (MŽP 2017). Je rovněž jediným podnikem evidovaným v Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) a Integrovaném registru znečišťování životního prostředí (IRZ). Mezi další větší zaměstnavatele patří firmy Nemocnice Sokolov, Wieland Electric, s. r. o., Sokolovské strojírný a. s. a ČEPS, a. s. Svou činnost ve městě dále provozuje i 4 952 aktivních ekonomických subjektů (ČSÚ 2016).

## **4.5. Doprava**

Základní silniční skelet v regionu tvoří propojenost dálnice D6 vedoucí od severovýchodu po jihozápad a místní pozemní komunikace č. 181, 181 H a 210. Největším zdrojem znečištění ovzduší je dálnice D6 spojující Cheb, Sokolov a Karlovy Vary, jak je vidět na obrázku č. 3.



Do čistírny byl instalován filtrační materiál Filtralite a drenážní systém Leopold (VOSS 2016).

## 4.7. Ovzduší

Na kvalitu ovzduší má hlavní vliv antropogenní činnost, mezi níž patří nedokonalé spalování v motorech dopravních prostředků, vypouštění zplodin z chemických a průmyslových výroby, prachová depozice při stavební a jiné činnosti.

Mezi lokální zdroje znečištění ve městě Sokolov patří bodové zdroje, jako jsou domácí kotelny, průmyslový areál společnosti Hexion a.s., prostor kamenolomu Vítkov či nedaleká těžba a zpracování hnědého uhlí v blízkosti města. Lineárním zdrojem znečištění je především autodoprava. Vyhodnocením znečištění ovzduší se věnuje kapitola č. 7.

Množství znečišťujících látek v ovzduší měří stacionární stanice Sokolov Českého hydrometeorologického ústavu automatického imisního monitoringu (AIM), umístěná v ulici Švabinského 1702 na zeměpisných souřadnicích 50°10'22.169" severní šířky 12°40'22.145" východní délky v nadmořské výšce 476 m n. m. Do 31. 5. 2012 bylo prováděno měření znečištění ovzduší druhou stacionární stanicí Sokolov1 s AIM umístěnou v ulici Pionýrů na zeměpisných souřadnicích 50°11'0.004" severní šířky 12°38'59.999" východní délky v nadmořské výšce 420 m n. m. Stanici provozoval Zdravotní ústav Ústí nad Labem. Třetí měřicí stanice Vítkov s AIM byla do 31. 12. 2013 umístěna v areálu rozvodny vysokého napětí v úpatí Slavkovského lesa v Sokolově část Vítkov na zeměpisných souřadnicích 50°9'38.760" severní šířky 12°40'20.422" východní délky v nadmořské výšce 490 m n. m. Stanici provozovala společnost Orgrez, a. s. (ČHMÚ 2016). Rozmístění měřicích stanic zobrazuje obr. č. 5 a údaje k jednotlivým stanicím a k metodám měření imisí jsou uvedeny v tab. č. 1.



Obr. č. 5 - Mapa rozložení měřicích stanic imisí ve městě Sokolov (Seznam 2016)



Měřicí stanice provádí měření imisí metodami (ČHMÚ 2016):

- **chemiluminiscence** - využívá uvolněného záření při chemiluminiscenci, když molekuly dusíku přechází z excitovaného stavu do základního energetického stavu. Uvolněné záření z molekul oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>) nebo oxidů dusíků (NO<sub>x</sub>) detekuje fotonásobič.
- **oscilační mikrováhy (TEOM)** - slouží pro měření hmotnostního množství vzorku vzduchu, který se zachycuje na výměnném filtru podle změny frekvence oscilujícího kuželovitého nosiče.
- **radiometrie - absorpce beta záření** - principem této metody je absorpce beta záření zachyceného aerosolu na filtračním materiálu. Koncentrace látky (suspendovaných částic o velikosti 10 μm nebo 2,5 μm - PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) se následně vypočte z rozdílu mezi filtračním materiálem exponovaným a neexponovaným.
- **UV absorpce** - metoda je založena na schopnosti ozonu (O<sub>3</sub>) absorbovat záření o vlnové délce 254 nm. UV lampou se následně provádí střídavé měření čistého vzduchu a vzorku v kyvetách.
- **UV fluorescence** - vzorek vzduchu je nejprve ozařován UV lampou, kdy dochází k energetické excitaci molekul oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>), které při zpětném přechodu do základního stavu uvolňují energii. Uvolněné záření detekuje fotonásobič.

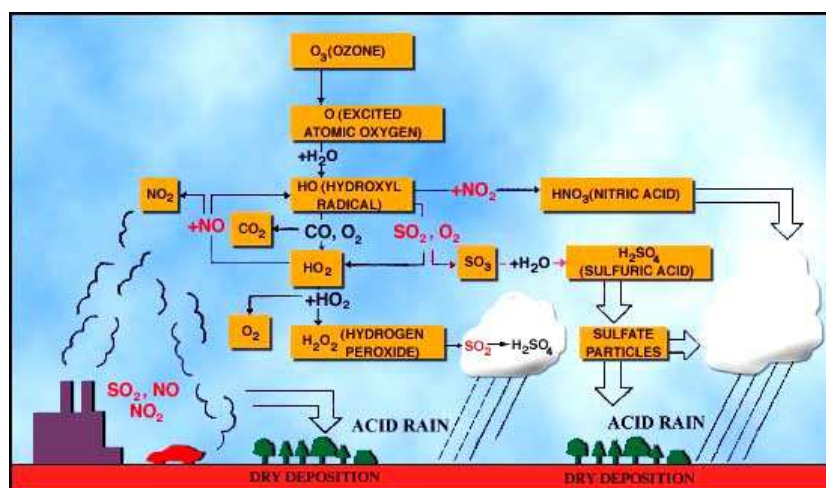
Tabulka č. 1 - Seznam měřících stanic ve městě Sokolov (ČHMÚ 2016)

Seznam měřících stanic ve městě Sokolov						
Měřicí stanice	Měřené imise 2010	Měřené imise 2011	Měřené imise 2012	Měřené imise 2013	Měřené imise 2014	Metoda měření
Sokolov	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	UV-fluorescence
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	Radiometrie - absorpce beta záření
	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	Radiometrie - absorpce beta záření
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Chemiluminiscence
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Chemiluminiscence
	NO	NO	NO	NO	NO	Chemiluminiscence
	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	UV-absorpce
Sokolov I	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>			Oscilační mikrováhy (TEOM)
	NO <sub>x</sub>					Chemiluminiscence
	NO <sub>2</sub>					Chemiluminiscence
	NO					Chemiluminiscence
Vítkov	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		UV-fluorescence
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>		Chemiluminiscence
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>		Chemiluminiscence
	NO	NO	NO	NO		Chemiluminiscence

## 5. Atmosférická depozice

Látky emitované do atmosféry, jsou vlivem meteorologických podmínek přenášeny a rozptylovány do okolí. Během tohoto procesu podléhají vlivem různých chemických reakcí transformaci, které způsobují významný pokles látek z ovzduší (Braniš et al. 2009).

Následný transport na zemský povrch je definován jako atmosférická depozice a podílí se na samočisticím mechanismu atmosféry (Warneck 1999). Látky jsou na zemský povrch z atmosféry vymývány, vynášeny nebo sedimentovány, jak znázorňuje obr. č. 6. Tímto představují pro ostatní složky prostředí podstatný zdroj znečišťujících látek. V důsledku působení aerosolových částic, kyselých srážek či depozice plynů může být způsobena eutrofizace a acidifikace vodních ploch a půdy (Zapletal 2014).



Obr. č. 6 - Procesy transformace a transportu atmosférické depozice (Porteous 2000, UM 2017)

U depozice se sleduje hmotnost látky na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Rozlišuje se na dvě složky, suchou a mokrou. Součtem obou složek je vypočítána celková depozice. Suchá depozice probíhá pomaleji a neustále, než mokrá depozice, která je tzv. epizodickým dějem (Braniš et al. 2009).

Odstraňování kyselých složek z atmosféry komplexními procesy se označuje pojmem kyselá depozice. Na okyselování srážek se podílí především oxid siřičitý a oxidy dusíku. Tyto látky mají většinou původ v antropogenní činnosti, kdy k emisi do ovzduší dochází při nedokonalém spalování fosilních paliv, při vypouštění z různých průmyslových výroby, při uvolňování v zemědělství a velkou částí se podílí i doprava. Oxidací znečišťujících látek dochází k tvorbě kyselin v plynné fázi (kyselina dusičná, kyselina chlorovodíková, kyselina mravenčí, kyselina octová ...), ve formě aerosolu (sírany, dusičnany, chloridy, organické kyseliny ...) a v kapalně fázi (Pandis et Seinfeld 2012).

Vzniklé kyselé srážky acidifikují místo svého dopadu. Tento negativní vliv je regionálním i nadregionálním problémem, protože souvisí s dálkovým přenosem látek znečišťujících ovzduší. Řešení tohoto problému vyžaduje mezinárodní spolupráci s cílem redukovat emise a využívat čistší paliva (EEA 1998).

Další kapitoly této bakalářské práce jsou zaměřené na znečišťující látky přispívající k atmosférické depozici - oxid siřičitý, oxid dusnatý, oxid dusičitý, oxidy dusíku a suspendované částice. Množství těchto látek v ovzduší města Sokolov je měřené stanicemi ČHMÚ, Zdravotního ústavu Ústí nad Labem a společností Orgrez, a. s. Rovněž je popsáno znečištění ovzduší ozonem a vznik smogu.

## 5.1. Suchá depozice

Pokud jsou aerosoly a plyny ukládány do půdy, vegetace či různých materiálů s využitím gravitační sedimentace či adsorpcí plynů, nazývá se proces suchou depozicí (Zapletal et al. 1997). Procesem je řízen přenos toxických i nutričních látek z atmosféry na povrch Země (Krupa 2002). Depozice plynů a částic je ovlivněna několika faktory, jako je turbulence, chemické vlastnosti vypouštěných látek a povrchem, kam se látky deponují (Zapletal et al. 1997).

Pevná část suché depozice se nazývá tuhý spad. Specifickou součástí je polétavý prach s průměrem částic pod 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) a částic o průměru menším než 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ). Částice slouží jako přenašeč perzistentních organických polutantů (POPs) a rizikových prvků v ovzduší (VÚRV 2010).

Pro názornou představu velikosti částic slouží obr. č. 7, kde jsou porovnány velikosti polétavého prachu a lidského vlasu (ČN 2016, EPA 2016).



Obr. č. 7 – Porovnání různých velikostí polétavého prachu s lidským vlasem (ČN 2016, EPA 2016)

Suchá depozice, která probíhá pomaleji a neustále, než mokrá depozice, se stanovuje výpočtem:

$$F = c_a \cdot v_d$$

kde  $F$  je depoziční tok látky,  $c_a$  koncentrace látky naměřená při povrchové vrstvě atmosféry,  $v_d$  depoziční rychlost (Hůnová et Janoušková 2004).

## 5.2. Mokrý depozice

Přenos částic v mokré depozici je uskutečňován srážkovou činností. Vertikální složku depozice tvoří mrholení, déšť, sněžení a ostatní padající srážky s vodou. Horizontální složkou jsou srážky usazené neboli okultní, tvořené ledovkou, námrazou, jinovatkou či rosou. Do prostředí jsou deponovány rozpuštěné i nerozpuštěné látky, prašné a aerosolové částice. Nejsnadněji se provádí měření vertikální složky depozice (Zapletal et al. 1997). Velikost depozice vypočteme podle vzorce:

$$D = c \cdot P$$

kde  $c$  je průměrná koncentrace měřené složky (průměr vážený srážkovým úhrnem),  $P$  je srážkový úhrn za sledované srážkové období (Hůnová et Janoušková 2004).

Značně vysoké hodnoty mokré depozice mohou být naměřeny v relativně čistých oblastech, mezi které lze zařadit horské oblasti. Tento jev způsobuje vysoký roční srážkový úhrn (Braniš et al. 2009).

Veškeré látky obsažené v atmosféře se dostávají do srážek buď vymýváním (washout) nebo vypršením (rainout). Při vymývání se plyny a pevné částice procházející troposférou zachytávají na padajících dešťových kapkách nebo sněhových vločkách. U vypršení tvoří znečišťující látka kondenzační jádro vznikajících atmosférických srážek (Draaijers et Erisman 1995).

## 5.3. Depozice síry

Síra tvoří v atmosféře sloučeniny negativně působící na lidské zdraví, stavby, pedosféru, litosféru, hydrosféru a ovzduší. Čistá atmosféra obsahuje jen stopové množství S ve formě plynné, kapalné a pevné ve třech oxidačních stupních (II, IV, VI). Aerosol obsahuje největší podíl S v atmosféře a skládá se ze síranových aniontů ve formě solí nebo kyseliny sírové v kapalném aerosolu. Sloučeniny síry v plynném skupenství se v atmosféře oxidují na síranové anionty ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), které se rychle deponují k zemskému povrchu (Braniš et al. 2009). Depozice síry je součástí jak mokré, tak i suché depozice.

Zdrojem kyselé depozice je kyselina sírová a její soli. Mezi nejdůležitější soli patří síran amonný ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), který vzniká reakcí plynného amoniaku a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Kyselina sírová vzniká především reakcemi  $\text{SO}_2$  v atmosféře (Hruška et Kopáček 2009). Oxid siřičitý se do atmosféry dostává především vlivem antropogenní činnosti. Vzhledem k tomu, že se jedná o hlavní látku při tvorbě kyseliny sírové v atmosféře, je  $\text{SO}_2$  věnována podkapitola 5.4.

Suchá depozice síry se vytváří při zachycení plynů a aerosolů na povrchu vegetace a následném spláchnutí při dešti do půdy (Hruška et Kopáček 2009).

### 5.3.1. Oxid siřičitý

Zdrojem SO<sub>2</sub> v atmosféře jsou biogenní procesy, při nichž se v redukované formě uvolňují siřné sloučeniny. Vzniklé látky pravděpodobně reagují s hydroxylovým radikálem. Další chemické reakce, které probíhají a vedou ke vzniku SO<sub>2</sub> nejsou dosud probádané. Největším producentem tohoto plynu je antropogenní činnost (Víden 2005), především spalování uhlí (Loučka 2014). Naměřené hodnoty SO<sub>2</sub> jsou průměrovány v hodinovém intervalu s imisním limitem 350 µg/m<sup>3</sup> nebo ve 24 hodinovém intervalu s imisním limitem 125 µg/m<sup>3</sup>. Imisní limity jsou stanoveny pro ochranu zdraví. Pro ochranu vegetace a ekosystémů je stanoven limit 20 µg/m<sup>3</sup>, kdy měření je prováděno v období od 1. 10. do 31. 3. (ČHMÚ 2016).

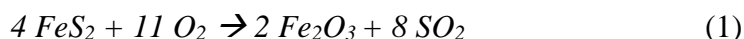
### 5.3.2. Charakteristika

SO<sub>2</sub> je bezbarvý dráždivý plyn s toxickými vlastnostmi, zvaný jako anhydrid kyseliny siřičité (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>). Je rozpustný ve vodě, etheru a alkoholu (Anderson et Craig 1994).

Využívá se například v chemickém, v potravinářském, v energetickém a v metalurgickém průmyslu.

### 5.3.3. Chemismus

Spalováním uhlí s obsahem síry, která se jednou polovinou váže v podobě pyritu (FeS<sub>2</sub>) (1) a druhou v podobě organicky vázané síry (2), se uvolňuje do atmosféry SO<sub>2</sub> (Loučka 2014).



Pokud je při další oxidaci SO<sub>2</sub> využito katalyzátoru, dochází ke vzniku oxidu sírového (SO<sub>3</sub>) (3). Reakce intenzivněji probíhá například v horkých spalinách komína nebo u roštu při spalování uhlí, v atmosféře probíhá reakce velmi pomalu (Víden 2005, Ebbing et Gammon 2013).



Vzniklý SO<sub>3</sub> okamžitě reaguje exotermickou reakcí se vzdušnou vlhkostí za vzniku kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (4) (Víden 2005).



H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se podílí na vzniku kyselých srážek, které mají negativní vliv na půdu a vodu ve formě acidifikace.

Při reakci kyseliny sírové s plynným amoniakem vzniká síran amonný (5), který je další složkou kyselé depozice (Hruška et Kopáček 2009).



V atmosféře dále probíhá intermolekulární reakce mezi SO<sub>2</sub> a hydroxylovým radikálem (HO•) (6), za vzniku kyseliny sírové (7). Oxid siřičitý se při absorpci UV záření o vlnové délce  $\lambda = 218$  nm excituje (8). Vzniklé molekuly mohou oxidovat kyslíkem či jinou oxidační látkou. Výzkumem chemických reakcí probíhajících v atmosféře bylo zjištěno, že inertní látky (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) tlumí tuto oxidaci tím, že od molekul SO<sub>2</sub>\* přebírají část energie bez jakékoliv chemické změny (Víden 2005). Excitovaná molekula SO<sub>2</sub>\* je schopna reagovat s kyslíkem v atmosféře (9), kdy opět vzniklý oxid sírový reaguje se vzdušnou vlhkostí (4) za vzniku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Loučka 2014).



Další reakcí oxidu siřičitého je reakce se vzdušnou vlhkostí za vzniku kyseliny siřičité (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) tvořící součást kyselé depozice (10). Následně může probíhat oxidace kyseliny hydroxylovým radikálem (6) nebo ozonem (11). Uvedené reakce probíhají současně a jejich podíl je závislý na atmosférickém transportu látek, intenzitě působícího světla, vlhkosti a teplotě. Vzniklá kyselina sírová může pak dále reagovat i s jinými látkami např. s uhličitany či plynným amoniakem (Loučka 2014).



Průměrná doba setrvání SO<sub>2</sub> v atmosféře se dle dostupné literatury liší. Doba může být od dvou až do šesti dnů (Holoubek 1990) nebo až do čtrnácti dnů v troposférické části (Kalač et Tříška 1998). Setrvání oxidu siřičitého v ovzduší závisí na míře znečištění. U silně znečištěné atmosféry může oxid siřičitý přetrvat v ovzduší i jeden den (Holoubek 1990). Reakce SO<sub>2</sub> v atmosféře mohou být urychleny přítomností pevných aerosolových částic s katalytickými vlastnostmi (Loučka 2014, Kalač et Tříška 1998).

### 5.3.4. Vliv na lidské zdraví

SO<sub>2</sub> má vliv na funkci horních cest dýchacích, zvyšuje únavu, dráždí oční spojivky a u lidského plodu může vyvolat poruchy vývoje (Loučka 2014). Při čtyřleté klinické studii v Severní Americe na dětech trpících astmatem, bylo zjištěno, že při krátkodobé expozici SO<sub>2</sub>, dochází během několika minut až hodin k obnovení normální funkce plic. Při dlouhodobém působení může dojít ke snížení plicních funkcí a zhoršení astmatu (Boezen et al. 2016).

## 5.4. Depozice dusíku

Dusík (N) se v atmosféře vyskytuje v 78 objemových %. Jedná se o značně stálou molekulu s velmi pevnou kovalentní trojnou vazbou. N může mít ve sloučeninách oxidační číslo v rozmezí od záporné třívalentní hodnoty až po kladnou pětivalentní hodnotu v oxidech či dusičnanech. Další nejběžnější sloučeninou dusíku v atmosféře je oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) tvořící až 97 % hmotnosti ostatních dusíkatých sloučenin. Jedná se o velice stálou netoxickou látku. Zdrojem obou plynů je denitrifikační mikrobiální proces probíhající jak v půdě, tak i ve vodním prostředí. Polutanty oxidu dusnatého a oxidu dusičitého, souhrnně označované jako oxidy dusíku, jsou do ovzduší vypouštěny při vysokoteplotních spalovacích procesech z průmyslu zaměřeného na energetiku, teplárenství či z dopravy (Braniš et al. 2009). Dalším možným zdrojem  $\text{NO}_x$  mohou být blesky (Logan 1983), požáry či používání dusíkatých hnojiv (Hůnová 2016). Studování depozice dusíku je nutné z hlediska jejich negativního vlivu na životní prostředí v podobě změny biodiverzity, eutrofizace a acidifikace (Van Dobben et De Vries 2017, Alkemade et al. 2010).

Kyselá depozice dusíku je tvořena především kyselinou dusičnou a jejími solemi. Mezi nejdůležitější sůl patří dusičnan amonný ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), který vzniká reakcí plynného amoniaku a  $\text{HNO}_3$ . Kyselina dusičná vzniká chemickými reakcemi oxidů dusíku v atmosféře. Oxidy dusíku jsou emitovány do ovzduší zejména antropogenní činností. Na oxidy dusíku, oxid dusnatý a oxid dusičitý jsou zaměřeny podkapitoly 5.5.1. až 5.5.5.

Český hydrometeorologický ústav provádí ve městě Sokolov měření koncentrací látek  $\text{NO}_x$ , NO, a  $\text{NO}_2$  v ovzduší, které se podílejí na depozici dusíku. Depozice dusíku bývá součástí mokré i suché depozice. Samotná depozice není ve městě měřena.

Množství  $\text{NO}_x$  v ovzduší je měřeno pouze pro ochranu vegetace a ekosystémů. Imisní limit stanovuje právní úprava na hodnotu  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Měření je prováděno v období od 1. 10. do 31. 3. Naměřené hodnoty  $\text{NO}_2$  se průměrují v hodinovém intervalu s imisním limitem  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nebo v intervalu kalendářního roku s imisním limitem  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Imisní limity jsou stanoveny pro ochranu zdraví (ČHMÚ 2016).

### 5.4.1. Oxid dusnatý

Oxid dusnatý je dráždivý paramagnetický plyn mírně rozpustný ve vodě. Paramagnetická molekula NO má vysokou reaktivitu a vytváří radikál  $\text{NO}\cdot$  (Kelm 1999).

Pro oxid dusnatý nebyla do současné doby stanovena žádným normativním právním aktem limitní hodnota. Koncentrace tohoto oxidu nám poskytuje informaci o znečištění ovzduší vlivem přímého působení dopravy. Se vzrůstající koncentrací roste i podíl znečištění dopravou (ZÚ 2016). Tento skleníkový plyn katalyzuje ve stratosféře rozpad ozonu (Hůnová 2016) a je méně než 30krát toxický než  $\text{NO}_2$  (Last et al. 1994).

### 5.4.2. Oxid dusičitý

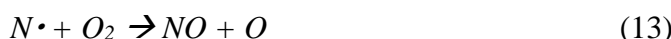
NO<sub>2</sub> je velmi reaktivní a jedovatý červenohnědý plyn s ostrým kyselým zápachem (Horbač 1997). V atmosféře se může nacházet jako dimer (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), který je bezbarvý a nemá charakter radikálu (Beneš et Kupková 2004).

### 5.4.3. Oxidy dusíku

Skupina NO<sub>x</sub> obsahuje dusík ve formě oxidů. Nejčastěji vyskytujícím se oxidem je oxid dusnatý a oxid dusičitý. Ostatní oxidy nejsou významným rizikem pro lidské zdraví a životní prostředí kvůli své nízké koncentraci. Emise oxidů dusíku se emitují do ovzduší při spalování plynu, nafty a biomasy. Jako primární zdroj se uvádí spalovací motory dopravních prostředků. K dalším antropogenním zdrojům lze zařadit průmysl, kde je možný únik při chemických procesech. Mezi přírodní zdroje patří procesy probíhající v půdě na mikrobiální úrovni nebo při oxidaci vzdušného dusíku vlivem elektrických výbojů v atmosféře. NO<sub>x</sub> s oxidy síry okyselují srážky, což má negativní vliv pro vegetaci, stavby a acidifikaci vodních ploch a půdního pokryvu (IRZ 2003).

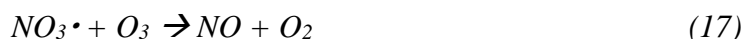
### 5.4.4. Chemismus

Oxid dusnatý vzniká oxidací atmosférického dusíku (12,13) a při spalování uhlí obsahujícího 0,5 až 2 % hm dusíku ve formě heterocyklických sloučenin (Loučka 2014). Ve stratosféře dochází k reakci relativně stálého oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) za vzniku NO (14) (Bernauer 2001).



Následně může dojít k oxidaci NO katalyzované ozonem za vzniku NO<sub>2</sub> (15) (Bernauer 2001). Reakce probíhá především v noci hlavně v místech s průmyslovou činností a vysokou frekvencí dopravy, kdy dochází u spalin v atmosféře k intenzivnímu turbulentnímu promíchání (Horbač 1997). Vzniklý oxid dusičitý reaguje ve vyšší vrstvě stratosféry, kde je vysoká koncentrace excitovaného kyslíku (16).

V nižších částech stratosféry probíhá cyklus řízený ozonem (15, 17, 29) (Braníš et al. 2009).



S kyslíkem vytváří NO oxid dusičitý (18). Poločas reakce závisí na vstupní koncentraci NO, kdy platí, že čím vyšší je koncentrace NO, tím rychleji probíhá reakce s kyslíkem (Beneš et Kupková 2004). Při vysokých koncentracích uhlovodíkových



radikálů a při intenzivním ultrafialovém záření dochází k přeměně NO na NO<sub>2</sub> za využití peroxyradikálu (RO<sub>2</sub>•) (19) (Horbaj 1997).



NO<sub>2</sub> svou vysokou schopností pohlcování v ultrafialové oblasti pohlcuje během dne UV záření (20) (Horbaj 1997).



V atmosféře probíhá i další významná termolekulární reakce oxidací NO atmosférickým kyslíkem (21) (Víden 2005).

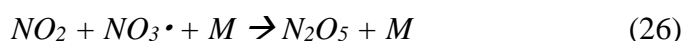


V ionosféře dochází k několika ion-molekulárním reakcím dusíku či dusíkatých sloučenin (22, 23, 24). Ionty zastoupené v reakcích ovlivňují svou energií specifické chování reaktantů. Může dojít k předání náboje (23) nebo k ion-ion rekombinaci (24) (Víden 2005).



V troposféře dochází při noční reaktivitě k tvorbě nitrátového radikálu (NO<sub>3</sub>•) (25). Reakce probíhá za nízké reakční rychlosti. V obydlených oblastech je vysoká koncentrace obou reaktantů. Vzniklý radikál reaguje s NO<sub>2</sub> za vzniku oxidu dusičného (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (26). NO<sub>3</sub>• je v noční době stabilnější a po setmění, obdobně jako HO•, atakuje radikály v ovzduší (28). Nitrátový radikál oxiduje množství uhlovodíků na peroxyradikály, které velmi snadno reagují s kyslíkem. Do ovzduší se uvolňují alkyl peroxy radikály. Během dne pak reagují s dalšími peroxyradikály či NO. V noční době probíhá reakce jen s peroxyradikály pro nedostatek NO v atmosféře. Při těchto reakcích vznikají hydroperoxy nebo aldehydy, které se vážou na vodní kapky v oblacích. Vzniklé peroxy-nitráty setrvávají v ovzduší až do rána, kdy jsou prostřednictvím slunečního záření fotolyzovány (Víden 2005).

Postupnou oxidací NO<sub>x</sub> vzniká kyselina dusičná (27), která reaguje s aerosolovými částicemi za vzniku dusičnanů (Loučka 2014). Mokrou a suchou depozicí HNO<sub>3</sub> jsou z atmosféry odstraňovány oxidy dusíku. Reakce probíhá za využití hydroxylového radikálu ve dne (29) a v noci až po vzniku N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (27) (Hůnová 2016).

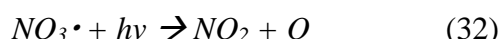
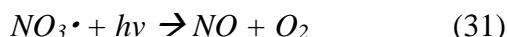




Kyselina dusičná následně může reagovat s plynným amoniakem za vzniku dusičnanu amonného, který tvoří jednu ze složek kyselé depozice (30) (Hruška et Kopáček 2009).



Oproti tomu během dne má  $NO_3\cdot$  životnost odhadem do pěti sekund, protože fotodisociuje na  $NO_2$  při vlnové délce  $\lambda < 580$  nm (32) a  $O_2$  při  $\lambda < 700$  nm (31) (Víden 2005).



### 5.4.5. Vliv na lidské zdraví

Při přímé expozici  $NO_2$  v koncentraci vyšší než  $282 \text{ mg/m}^3$  může dojít k plicnímu edému nebo po několika týdnech k obliterující bronchiolitidě s těžkou fibrózou (Last et al. 1994).

Oxidy dusíku působí ve vyšších dávkách na zdraví člověka, kdy mohou vést k závažným zdravotním problémům a mohou způsobit i smrt. Předpokladem je, že tyto oxidy zhoršují přenos kyslíku z plic do tkání v důsledku navázání na krevní barvivo. Dochází k podráždění dýchacích cest (IRZ 2003).  $NO_x$  mohou vyvolat cyanózu, zhoršení chorob srdce a respiračního aparátu (Loučka 2014). Uvedené poznatky potvrzuje studie popsaná v kapitole 5.5.3.

## 5.5. Ozon

Ozon tvoří ve stratosféře ochrannou vrstvu Země, která pohlcuje ultrafialové záření. Maximální koncentrace ozonu se nachází ve výšce 20 až 25 km. Veřejností je rozlišován „dobrý“ ozon ze stratosféry a „špatný“ ozon z troposféry. Množství ozonu v atmosféře se liší jak v ročních obdobích, tak i v místech různých zeměpisných šířkách. Ozon vytváří i s dalšími složkami emitovanými do ovzduší fotochemický smog (Loučka 2014). Naměřené hodnoty  $O_3$  jsou průměrovány v osmihodinovém intervalu s imisním limitem  $120 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  nebo v intervalu kalendářního roku s imisním limitem  $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Imisní limity jsou stanoveny pro ochranu zdraví (ČHMÚ 2016).

### 5.5.1. Charakteristika

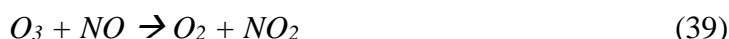
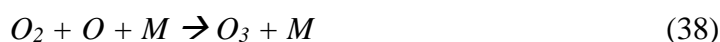
Ozon vzniká při fotochemické reakci  $NO_2$  a uhlovodíků. Je nejsilnějším a nejdůležitějším troposférickým oksyličovadlem (Boezen et al. 2016). Jedná se o silnou reaktivní látku špatně rozpustnou ve vodě. V troposféře má přirozenou koncentraci v hodnotě 300 až 400 Dobsonových jednotek (Loučka 2014).

## 5.5.2. Chemismus

Stratosférický ozon vzniká termolekulární reakcí (33) elementárního kyslíku (Víden 2005). Zánik stratosférického ozonu probíhá při fotodisociaci (34) a následnou bimolekulární reakcí s kyslíkem (35). Další variantou vzniku je při katalyzované disociaci rozložených chlorovaných nebo fluorovaných uhlovodíků (36) (Webb 1997).

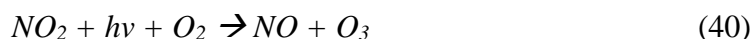


Troposférický ozon vzniká prostřednictvím přítomných prekurzorů a oxidu uhelnatého (CO) (Webb 1997). Nejhlavnějšími prekurzory v atmosféře jsou nemetanické organické těkavé sloučeniny (NMVOC), metan (CH<sub>4</sub>) a oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) (Holoubek 2005). Koncentraci ozonu určují tři reakce mezi ozonem a oxidy dusíku (37, 38, 39) (Guicherit et Roemer 2000).



Při fotolýze s vlnovou délkou záření  $\lambda \leq 400$  nm oxidu dusičitého (37) dochází ke vzniku atomového kyslíku, který má nedostatek energie pro tvorbu hydroxylových radikálů, má ale dostatek energie k vytvoření molekuly ozonu. Při dostatečném množství oxidu dusnatého je obnovován oxid dusičitý (40).

Ozon rovněž vzniká při sekvenci reakcí (40, 41) s hydroperoxylovým radikálem (HO<sub>2</sub>•). Koncentrace ozonu je zvyšována při zvýšení koncentrace NO<sub>x</sub> (Braniš et al. 2009). V ionosféře dochází k asociativnímu odštěpení za vzniku ozonu (41) (Víden 2005).



Troposférický ozon ubývá, především ve venkovském prostředí, vlivem suché depozice (Holoubek 2005). Vzdušným prouděním jsou transportovány molekuly O<sub>3</sub> k zemskému povrchu, kde se prostřednictvím katalyzovaného povrchu termodynamicky rozkládají (43) nebo jsou absorbovány rostlinami (Guicherit et Roemer 2000). U rostlin způsobuje při svém rozkladu poškození buněčných membrán s narušením metabolismu buněk (Horálek 2003).

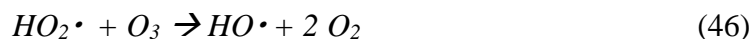


Další možností rozkladu ozonu je fotodisociace zářením o vlnové délce menším než 1 140 nm (44). Vzniklý atomární kyslík se může nacházet v základním

nebo excitovaném stavu a následně rozkládá další molekulu ozonu (45) (Loučka 2014).



Při katalyzovaném destrukčním cyklu (46) prostřednictvím hydroperoxylového radikálu se ozon rozkládá na kyslík a hydroxylový radikál. Hydroxylový radikál pak pokračuje destrukci ozonové molekuly (47) (Jacob 2000).



Pokud se v ovzduší nachází nízká koncentrace  $NO_x$ , dochází k destrukci ozonu nepřímou cestou, která proběhne po reakci  $NO_2$  s hydroperoxylovým radikálem nebo organickými peroxyradikály ( $RO_2$ ). Účinek nepřímých reakcí závisí na schopnosti odebírat radikály ze systému při vzniku ozonu v troposféře (Guicherit et Roemer 2000).

### 5.5.3. Vliv na lidské zdraví

Ozon silně dráždí oční a jiné sliznice. Při vdechnutí poškozují hluboko v dýchacích cestách alveoly a plicní bronchioly. Nízké koncentrace vyvolávají bolest na prsou a hlavy. Vyšší koncentrace způsobují krvácení z nosu, poruchy dýchání, bronchitidu. Uvedené příznaky mohou vést až k otoku plic (Loučka 2014).

Studii provedenou v období od roku 2003 až do roku 2013 v Panama City byl potvrzen vztah mezi suspendovanými částicemi  $PM_{10}$ , ozonem,  $NO_2$  a úmrtím ve vztahu s kardiovaskulárním, respiračním onemocněním a onemocněním diabetes. Při koncentraci částic  $PM_{10}$  nad  $40 \text{ mg/m}^3$  se zvýšila úmrtnost o 9,7 % u kardiovaskulárního onemocnění a o 12,6 % u onemocnění dýchacích cest. U hodnot ozonu nad  $20 \text{ mg/m}^3$  byl nárůst úmrtnosti až o 32,4 % v souvislosti s onemocněním dýchacích cest. U oxidu dusičitého se při hodnotách nad  $20 \text{ mg/m}^3$  zvýšila úmrtnost o 11,2 % s onemocněním dýchacích cest. Při studii byly zkoumány osoby ve věku 65 až 74 let (Gómez et al. 2016).

Z těchto důvodů je sledována přítomnost ozonu a naměřené hodnoty v troposféře.

## 5.6. Pevná část suché depozice

Specifickou součástí pevné části suché depozice tvoří suspendované částice  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ . Tyto částice mohou být rovněž součástí mokré depozice. Protože částice obsahují nebo na sebe vážou nebezpečné látky, které mohou způsobit závažné zdravotní problémy, sleduje se jejich koncentrace v ovzduší. V současnosti tvoří tyto částice jeden z hlavních problémů znečištění ovzduší. Prekurzorem těchto částic může být oxid siřičitý, amoniak či oxidy dusíku. ČHMÚ jsou měřeny imisní hodnoty částic s velikostí dynamického průměru pod  $2,5 \mu m$  a pod  $10 \mu m$ .

Suchá ani mokrá depozice, na které se podílejí částice  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ , není ve městě Sokolov měřena. Z tohoto důvodu jsou kapitoly 5.7.1. a 5.7.2. zaměřeny na charakteristiku a vliv suspendovaných částic na lidské zdraví.

Naměřené hodnoty částic  $PM_{10}$  se průměrují v hodinovém intervalu s imisním limitem  $50 \mu g/m^3$ . Pro částice  $PM_{2,5}$  platí imisní limit  $25 \mu g/m^3$ . Imisní limity jsou stanoveny pro ochranu zdraví (ČHMÚ 1996).

### 5.6.1. Charakteristika suspendovaných částic

Suspendované částice jsou složitou směsí anorganických a organických látek. Frakce menší než  $2,5 \mu m$  obsahují aerosoly vzniklé kondenzací plyných složek, částice vzniklé při spalování a znovu zkondenzované kovové nebo organické páry. Částice větší než  $2,5 \mu m$  jsou obvykle tvořeny materiálem ze zemského povrchu, kdy se jedná o zvířený prach z průmyslových výrob či prach z pozemních komunikací. Frakce s aerodynamickým průměrem do  $10 \mu m$  se skládá z velkého spektra jemně dispergovaných kapalných nebo tuhých látek. Zdrojem této frakce jsou různé přírodní procesy a především antropogenní činnost, mezi které patří například procesy v průmyslovém, energetickém či teplárenském průmyslu. Na vypouštění suspendovaných částic se podílí silniční provoz a lokální topeniště. Větší část těchto zdrojů se soustřeďuje v urbanizovaných oblastech. Jemná frakce obsahuje kyselou složku suspendovaných částic, kdy většina má mutagenní účinek. V hrubé frakci je rovněž část aerosolu kyselin, které jsou obsaženy i v mlze (MŽP 1996).

### 5.6.2. Vliv suspendovaných částic na lidské zdraví

Částice jsou do lidského těla exponovány dýchacím ústrojím. Část vdechnutého aerosolu se deponuje při styku se sliznicí dýchacích cest a zbytek opouští tělo při výdechu. Vliv částic v respiračním traktu je ovlivněn způsobem dýchání a velikostí částic. U kyselých složek s koncentrací  $SO_2$  nad  $10\,000 \mu g/m^3$  dochází k bronchokonstrikci, chemické bronchitidě a tracheitidě. U koncentrace oxidu siřičitého v rozsahu  $2\,600$  až  $2\,700 \mu g/m^3$  způsobuje inhalace u astmatiků klinické změny spojené s bronchospasmy. Kyselina sírová v suspendovaných částicích dráždí dýchací cesty a se sírany ovlivňuje smyslové a dýchací funkce lidského organismu (MŽP 1996).

Při krátkodobém zvýšení denních koncentrací suspendovaných částic  $PM_{10}$  dochází k nárůstu celkové nemocnosti a úmrtnosti osob s onemocněním dýchacích

cest, s onemocněním cév a srdce. U astmatiků se projevuje zhoršené dýchání, kašel a rozvoj zánětu průdušek (SZÚ 2017).

## 5.7. Smog

Jako smog je označována situace, kdy dojde ke kombinaci kouře a mlhy (Loučka 2014). Jedná se o vzájemné působení tuhých částic, vzdušné vlhkosti a chemických sloučenin v plynném stavu při nepříznivých rozptylových podmínkách (Víden 2005). Smog dělíme na fotochemický a kyselý.

### 5.7.1. Fotochemický smog

Fotochemický smog bývá označován jako letní, kyselý nebo losangelský. Vyskytuje se v místech, která jsou nadměrně zatížena dopravou (Víden 2005). Primárně emitované škodliviny výfukových plynů a částic se podílí se sekundárně vznikajícími látkami na vzniku komplexní či komplikované směsi plynů a aerosolů. Mezi primární škodliviny lze zařadit zejména NO, nemetanické uhlovodíky, CO a jemné aerosoly. Chemismus látek ve směsi je poměrně složitý. Sekundární škodliviny mají silnější hygienický, korozivní a biodegradační efekt, než který se projevuje u primárních nečistot. V ranní době, se při zvýšení automobilového provozu zvyšuje koncentrace NO, CO a nemetanických uhlovodíků (Braniš et al. 2009). Sluneční záření fotolyzuje o vlnové délce menší než 400 nm NO<sub>2</sub> (48) a uhlovodíky. Při reakci se vytváří ozon (49) a další sekundární znečišťující látky (IRZ 2003). Vzniklý ozon může reagovat s NO (50), kdy produkce a spotřeba O<sub>3</sub> je v rovnováze. Radikály HO<sub>2</sub>• a RO<sub>2</sub>• oxidují oxid dusnatý na NO<sub>2</sub> (51) (Braniš et al. 2009). Produkty z reakcí látek s ozonem jsou agresivnější než samostatný ozon (Loučka 2014).



Vhodnými podmínkami pro vznik je dostatečné sluneční záření, stagnující vzduchové pole spojené s přítomností uhlovodíků a NO<sub>x</sub> v atmosféře (Loučka 2014).

Dalším zdrojem vzniku fotochemického smogu je resuspenze usazeného prachu. Víření ovlivňuje doprava, meteorologické podmínky a úroveň čištění veřejných prostranství (Jaeger-Voirol et Pelt 2000).

Negativním dopadem smogové situace na lidské zdraví jsou projevy, mezi které patří pálení očí či bolest hlavy. U flóry dochází k poškozování v buněčných membránách v důsledku fototoxicity přízemního ozonu napadajícího nenasycené vazby mastných kyselin. Dalšími oxidanty může být peroxyacetylnitrát (PAN) či aldehydy. Fotochemický smog může obsahovat těžké kovy, které katalyzují další reakce a působí toxicky (Víden 2005).

### 5.7.2. Kyselý smog

Kyselý smog je označován synonymy londýnský, sírový, zimní nebo redukční. Vzniká při spalování nekvalitních tuhých paliv obsahující větší množství síry. Saze a popílek emitovaný z lokálních topenišť či nízkých komínů obsahuje většinou těžké kovy. Ty působí katalyticky při oxidaci  $\text{SO}_2$  na kyselinu sírovou, která se rozpouští v kapičkách mlhy. Kyselina vytváří vysoce agresivní a kyselou depozici (Víden 2005).

Typ tohoto smogu se vyskytuje především v zimních měsících. V současné době je problémem mnoha regionů i měst, především situovaných do údolních poloh. Údolí vytváří ideální podmínky pro rozvoj redukčního smogu (Braníš et al. 2009).

Dalšími vhodnými podmínkami pro vznik smogu je stagnující vzduchové pole spojené se zvýšeným obsahem  $\text{SO}_2$ , sazí a polévatého popílku. Primárním polutantem je oxid siřičitý, který vytváří aerosoly kyseliny sírové a síranové. Toxické působení vytváří vzdušná vlhkost s obsahem  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se sazemi a látkami adsorbované na jejich povrchu (Loučka 2014).



Obr. č. 8 - Foto elektrárny Tisová u Sokolova a smogové situace u města Sokolov (Košář 2013)

Kyselé plyny spolu s nespálenými zbytky organických sloučenin a prachových částic dráždí sliznice a zvyšují riziko vzniku infekčních onemocnění. Náchylnější kategorií obyvatelstva na dopady smogové situace jsou osoby s onemocněním dýchacího ústrojí, děti a starší občané (Horák 2004).

## 6. Legislativa

Ochrana ovzduší hraje důležitou roli při ochraně životního prostředí, neboť kvalita vzduchu ovlivňuje většinu živých organismů a rovněž zdraví člověka. Může mít i velký negativní dopad na ekonomiku zasaženého území. Proto je této problematice věnována celosvětově velká pozornost. Na základě nových vědeckých poznatků a zjištění jsou vypracovávány různé směrnice a Národní programy na snížení emisí a postupně se upravuje i legislativa na evropské a národní úrovni.

Při mezinárodní spolupráci k ochraně ovzduší byly přijaty různé mezinárodní smlouvy, ze strany České republiky došlo k ratifikaci:

- dne 22. 3. 1984 Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států
- dne 1. 10. 1990 Vídeňská úmluva na ochranu ozonové vrstvy
- dne 30. 12. 1990 Montreálský protokol o látkách poškozujících ozonovou vrstvu Země
- dne 7. 10. 1993 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu
- dne 23. 11. 1998 Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu
- dne 22. 6. 1999 Rotterdamská úmluva o postupu předchozího souhlasu pro určité nebezpečné chemické látky a pesticidy v mezinárodním obchodu
- dne 10. 9. 2000 Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států
- dne 8. 10. 2001 Cartangenský protokol o biologické bezpečnosti
- dne 17. 5. 2004 Stockholmská úmluva o persistentních organických polutantech

Dne 10. 11. 2015 byla Radou Evropské unie a dne 7. 10. 2015 Evropským parlamentem přijata směrnice číslo 2013/0442, o omezení emisí některých znečišťujících látek do ovzduší ze středních spalovacích zařízení v platném znění. Směrnice stanovuje limity pro emise SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a pro částice ze spalovacích zařízení (EUR-Lex 2017).

Mezi nejdůležitější předpisy Evropské unie v oblasti ochrany ovzduší lze zařadit směrnice a nařízení Evropského parlamentu a Rady:

- rámcová směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu
- směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích
- nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1005/2009 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu
- nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 517/2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 842/2006

Státní politikou životního prostředí v období od roku 2012 do roku 2020 je zajištění kvalitního a zdravého životního prostředí pro všechny občany žijící v České republice. Jedním z cílů je zlepšení kvality ovzduší a ochrana klimatu.



Česká republika klade důraz na to, aby dodržela svých závazků vůči Evropské unii (EU). Proto jsou naší zákonodárnou mocí implementovány legislativní dokumenty EU do normativních právních aktů státu (MŽP 2017).

Pro ochranu ovzduší a stanovení imisních limitů v období od roku 2010 do roku 2014 byla platná legislativa na národní úrovni (MŽP 2017):

- Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů, který byl zrušen dnem 1. 9. 2012.
- Zákon č. 73/2012 Sb., o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech v platném znění.
- Vyhláška č. 257/2012 Sb., o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů.
- Zákon č. 89/2017, kterým se mění zákon č. 73/2012 Sb., o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech v platném znění.
- Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší v platném znění.
- Nařízení vlády o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 597/2006 Sb. platné do 15. 3. 2011.
- Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 42/2011 Sb. platné do 1. 9. 2012.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší je pasivní degorací zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů a Nařízením vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší č. 42/2011 Sb. V roce 2014 došlo k novelizaci zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší dvěma zákony a to zákonem č. 64/2014 Sb., kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím kontrolního řádu a zákonem č. 87/2014 Sb., kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší.

## 7. Výsledky

Vzhledem k tomu, že ve sledovaném období nebylo prováděno žádnou stanicí Českého hydrometeorologického ústavu měření atmosférické depozice v oblasti města Sokolov, byly k vyhodnocení kvality ovzduší použity data z měření koncentrací látek SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>.

V příloze č. 1 jsou uvedeny imisní limity platné podle platných právních předpisů a pro jednotlivé roky. Červeně jsou označeny hodnoty překročení imisních limitů pro danou látku.

Měření prováděly automatické monitorovací stanice. Sběr dat a vyhodnocení bylo prováděno v místě měření a výsledky byly zasílány do sítě ČHMÚ.

Automatizovaná monitorovací síť je tvořena soustavou měřících přístrojů propojených se sběrnými systémy a systémy předzpracování dat. Data jsou přes komunikační linky odvedeny do center pro vyhodnocení operativních informací varovných a regulačních systémech (Braníš et al. 2009).

Data využitá v této bakalářské práci, byla publikovaná v tabelárních přehledech a jsou výsledkem statistické analýzy imisních údajů systematicky ukládaných do imisní databáze. Informační systém ISKO zpřístupňuje shromážděná data atmosférických srážek a látek znečišťujících ovzduší. Tabelární přehledy obsahují údaje z měření, pokud relativní procento primárních dat převyšovalo 16 % za rok (ČHMÚ 2016).

Měřeními imisí v oblasti města Sokolov v období od roku 2010 do roku 2014 nebylo zjištěno překročení průměrných ročních imisních limitů určených pro ochranu lidí u látek SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> a O<sub>3</sub>, jak znázorňují grafy č. 1 - 6 a tabulky č. 2 - 7. Průměrné roční limity stanovené pro ochranu ekosystémů a vegetace nebyly u oxidu siřičitého a u oxidů dusíku rovněž překročeny.

V průběhu roku 2010 došlo k překročení průměrného měsíčního imisního limitu pro oxidy dusíku v únoru o 0,7 µg/m<sup>3</sup> a v prosinci o 8,3 µg/m<sup>3</sup>. V roce 2011 byla zvýšená koncentrace NO<sub>x</sub> opět v únoru o 0,8 µg/m<sup>3</sup> a v listopadu o 5,8 µg/m<sup>3</sup>. K dalšímu překročení limitu došlo až v listopadu 2013 a v lednu 2014. Listopadová hodnota byla zvýšená o 3,6 µg/m<sup>3</sup> a lednová o 4,9 µg/m<sup>3</sup>. U oxidů dusíku došlo od roku 2010 k mírnému poklesu v počtech dnech v roce, kdy byl překročen imisní limit. Průměrný počet dnů v roce s překročením limitu se pohybuje okolo 53. Většina těchto dnů se vyskytuje v rozmezí měsíců ledna až dubna a od října do prosince.

Další látkou, u níž došlo k překročení průměrných měsíčních imisních limitů, jsou suspendované částice PM<sub>2,5</sub>. U těchto částic došlo k překročení limitu o 5,6 µg/m<sup>3</sup> v únoru a o 2,2 µg/m<sup>3</sup> v listopadu roku 2011. K poslednímu překročení v pětiletém sledovaném období došlo v březnu roku 2014, kdy imisní limit byl překročen o 0,2 µg/m<sup>3</sup>. Počet dnů, kdy dochází k překročení imisního limitu v roce, je 51. Po roce 2010 došlo k výraznému nárůstu dnů s překročeným limitem z 52 dnů na 88. V roce 2012 razantně poklesl počet těchto dnů na 30. Následující roky se počet dnů

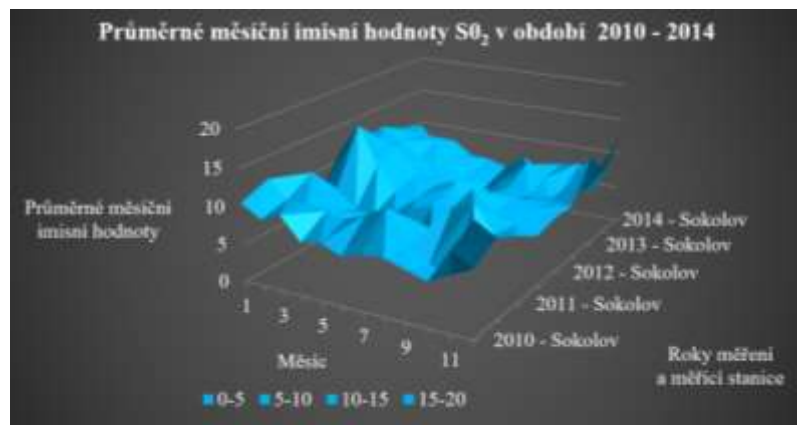
mírně zvyšuje. V rozmezí měsíců leden až duben a říjen až prosinec se nachází největší počet dnů s nadlimitními hodnotami.

U NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> a PM<sub>10</sub> nedošlo k překročení průměrného měsíčního imisního limitu. V průběhu sledovaného období docházelo k překročení denních limitů, kdy množství těchto dnů se postupem let snižuje.

U oxidu dusnatého není legislativně stanoven imisní limit (ZÚ 2016). Na grafu č. 6 je znázorněn vývoj naměřených hodnot v časovém období. Na grafu jsou žlutou barvou zvýrazněny hodnoty překračující 8 µg/m<sup>3</sup>, aby byla zvýšena přehlednost prostorového grafu. Průměrné roční hodnoty NO měřené stanicí Sokolov mají od roku 2010 mírně klesající tendenci a hodnoty oxidu dusnatého měřené stanicí Vítkov mají mírný nárůst.

Tabulka č. 2 - Průměrné měsíční imisní hodnoty SO<sub>2</sub> v období 2010 - 2014

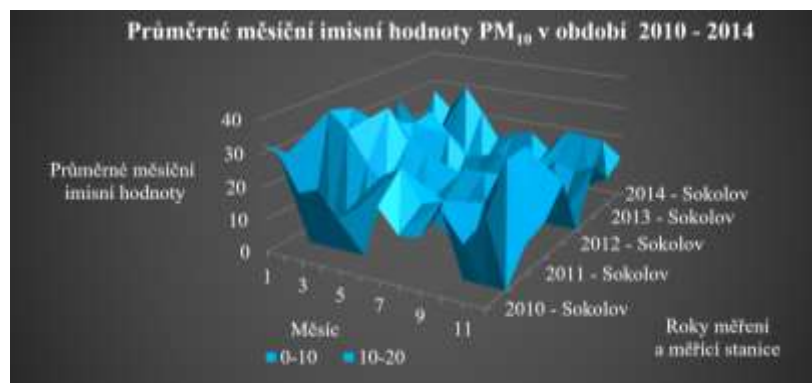
Průměrné měsíční imisní hodnoty SO <sub>2</sub> v období 2010 - 2014									
Měsíc	2010 Sokolov	2010 Vítkov	2011 Sokolov	2011 Vítkov	2012 Sokolov	2012 Vítkov	2013 Sokolov	2013 Vítkov	2014 Sokolov
1	10,5	12	9,8	6,5	11,4	11,7	12	10,4	9,5
2	8,9	9,8	11,8	8	15,3	12	10,2	10	6,3
3	10	9,8	6,8	5,5	10,1	11,1	8,1	9,4	7,9
4	7,1	9,3	5	5,4	6,9	7,7	7,1	7,3	6,1
5	7,6	8,9	4,5	6,1	6,2	6,5	5,7	5,1	5,9
6	6,5	10	5,3	7,2	6,1	7,1	3,4	4,1	5,1
7	7,3	11,4	5,8	7,8	4,9	4,7	5,4	6,2	7,2
8	7,5	7,2	7,5	7,3	6,8	6,9	6,2	8	5,1
9	6,7	5,4	10,7	11,5	6,2	6,6	5,6	6,4	7
10	5,9	4,6	11,8	8,8	9,1	7,2	5,2	5,1	7,6
11	10,4	6	8,5	7,8	8,3	7,4	6,8	5,4	4,6
12	14,5	10,5	8,8	6,9	7,5	7,4	12,4	9,1	12,2
RP	8,6	8,7	8,0	7,4	8,2	8,0	7,3	7,2	7,0



Graf č. 1 - Průměrné měsíční imisní hodnoty SO<sub>2</sub> v období 2010 - 2014

Tabulka č. 3 - Průměrné měsíční imisní hodnoty PM<sub>10</sub> v období 2010 - 2014

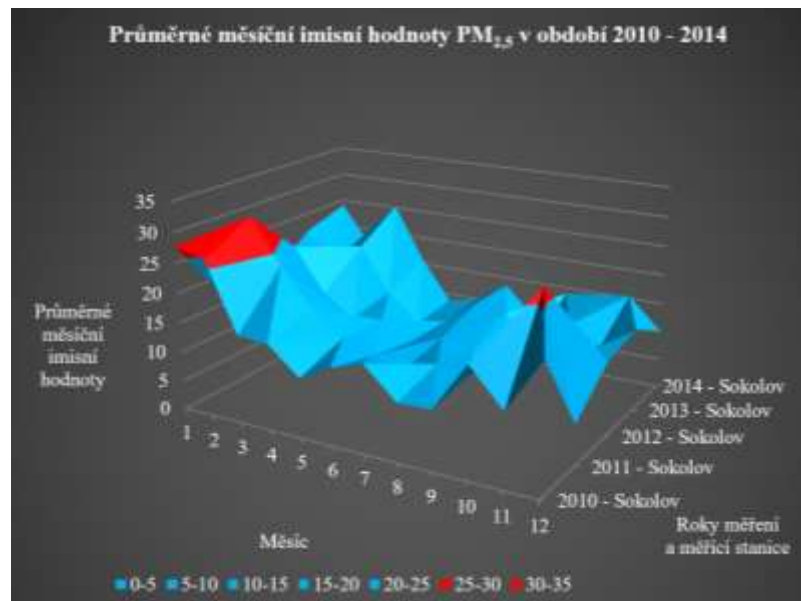
Průměrné měsíční imisní hodnoty PM <sub>10</sub> v období 2010 - 2014								
Měsíc	2010 Sokolov	2010 Sokolov1	2011 Sokolov	2011 Sokolov1	2012 Sokolov	2012 Sokolov1	2013 Sokolov	2014 Sokolov
1	33,1	26,7	20	23	16,4		28,6	26,2
2	31,1		37,7	35,5	28		22,4	20,6
3	20,7		32,5		21	25,2	26,4	29,1
4	23		23,4	37,4	16,2		19,7	21,2
5	15,5		17,6	27,7	18,1		12,7	12,3
6	19,9	25,3	15,1	24,8	14,8		13,9	15
7	21,7	29,2	13,8		16		16,2	16,4
8	14,8	19,8	16,5	22,5	17,2		15,6	11,5
9	15,4	21,8	16,7	22,6	16,8		10,4	18,8
10	24,6		18,7	21,2	18,8		16,5	18,3
11	16,5		32,3	32,8	18,2		13,7	17,6
12	25,3		9,1	11,1	19		17	12,8
RP	21,8	24,6	21,1	25,9	18,4		17,8	18,3



Graf č. 2 - Průměrné měsíční imisní hodnoty PM<sub>10</sub> v období 2010 - 2014

Tabulka č. 4 - Průměrné měsíční imisní hodnoty PM<sub>2,5</sub> v období 2010 - 2014

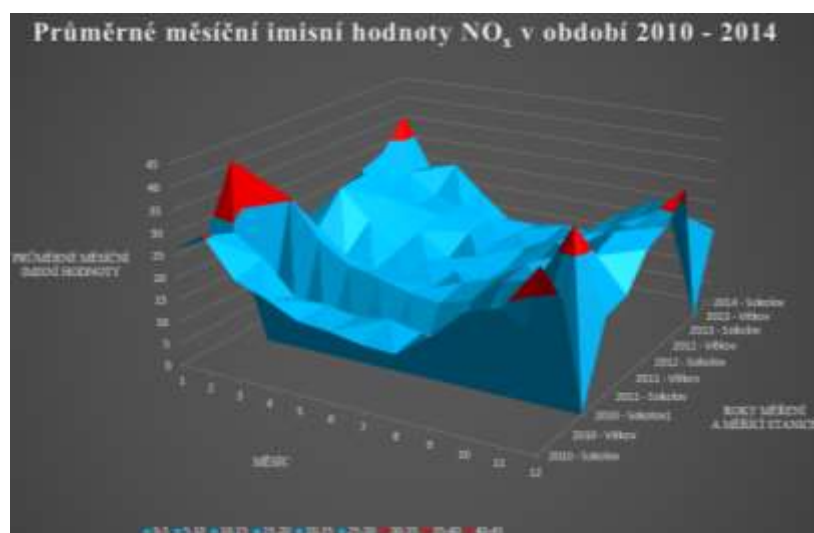
Průměrné roční imisní hodnoty PM <sub>2,5</sub> v období 2010 - 2014					
Měsíc	2010 Sokolov	2011 Sokolov	2012 Sokolov	2013 Sokolov	2014 Sokolov
1	27,8	15,6	13,1	21,7	24
2	26,4	30,6	22,5	16,9	17
3	14,9	23,2	15,1	20,5	25,2
4	14,6	16,9	11,5	12,8	15,9
5	10,1	12,7	12,2	7,9	8,7
6	13	10,9	9,5	9,4	9,9
7	14,8	9,9	11,2	13,6	13,6
8	9,8	11,8	10,4	12,9	8,3
9	10	11,3	8	8,1	13,9
10	18,2	13,6	10,1	12,9	14,7
11	12,3	27,2	11,9	10,4	15,4
12	21,2	6,9	12,7	14,1	10,2
RP	16,1	15,9	12,4	13,4	14,7



Graf č. 3 - Průměrné měsíční imisní hodnoty PM<sub>2,5</sub> v období 2010 - 2014

Tabulka č. 5 - Průměrné měsíční imisní hodnoty NO<sub>x</sub> v období 2010 - 2014

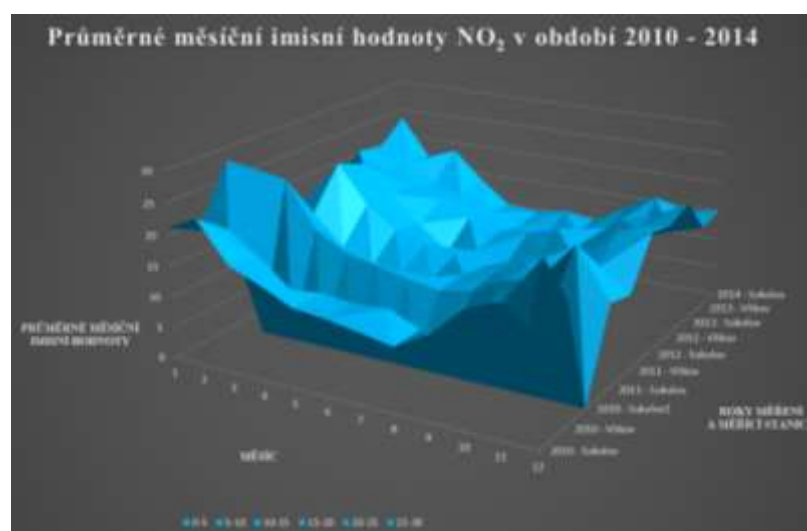
Průměrné měsíční imisní hodnoty NO <sub>x</sub> v období 2010 - 2014										
Měsíc	2010 Sokolov	2010 Vítkov	2010 Sokolov1	2011 Sokolov	2011 Vítkov	2012 Sokolov	2012 Vítkov	2013 Sokolov	2013 Vítkov	2014 Sokolov
1	26,7	25,3	40,8	27,5	17,8	18,5	22,2	25,4	27,7	34,9
2	30,7	28,4		30,8	20,3	27,6	28,3	21,5	23,4	22,7
3	22,4	24,1		22,1	15,3	20,8	23,4	18,8	18,7	24,1
4	19,8	16,8		17,5	12,9	14,8	16,6	17,6	17,3	17,6
5	16,5	16,6		15,9	12,3	13,8	11	14,5	15	12,1
6	15,8	15,5		14	11,8	12,5	12,7	13,3	12,8	11,8
7	14,5	16,5		13	14,4	11,4	11,3	13,5	11,9	13
8	14,2	15		15,2	16,5	14,3	13,4	16,3	14,3	12,3
9	19,4	15,8		20,9	21,6	18,2	18,1	14,4	17,1	18,9
10	26,2	18,3		22,8	20,1	23	22,6	22,9	20,4	23,3
11	28,5	20,3		35,8	26,1	28,3	26,6	22,3	25,1	20,7
12	38,3	28		17,7	18,8	25,8	27,8	33,6	27,5	18,2
RP	22,8	20,1		21,1	17,3	19,1	19,5	19,5	19,3	19,1



Graf č. 4 - Průměrné měsíční imisní hodnoty NO<sub>x</sub> v období 2010 - 2014

Tabulka č. 6 - Průměrné měsíční imisní hodnoty NO<sub>2</sub> v období 2010 - 2014

Průměrné měsíční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> v období 2010 - 2014										
Měsíc	2010 Sokolov	2010 Vítkov	2010 Sokolov 1	2011 Sokolov	2011 Vítkov	2012 Sokolov	2012 Vítkov	2013 Sokolov	2013 Vítkov	2014 Sokolov
1	21,1	18,6	28	20,8	13,7	15,5	16,2	20,5	19,6	23,3
2	23,5	19,7		23,8	16	22,6	20,7	17,4	17,2	16,7
3	17,2	16,1		16,2	11	16,3	16,2	15,5	14,2	18,5
4	15,1	12		13,3	8,8	12,7	11,7	14	12,6	13,7
5	12,7	12,5		12,1	8,6	11,2	7,6	11,6	10,5	9,8
6	12,2	12		11	8,7	10,4	8,8	9,9	8,6	9,5
7	11,3	12,4		10,1	10,3	9,4	7,6	10,7	8,4	10,5
8	10,3	10,2		11,1	11,7	11,6	9,5	12,4	9,7	9,7
9	13,3	9,3		13,9	14	13,2	11,8	11,4	11,2	12,9
10	18,4	12		15,3	13,6	16,4	14,7	15,9	10,5	15,6
11	20,4	14		21,6	15,4	19,2	17,3	17,3	12,5	14,2
12	27,7	19,4		13,6	12,4	19,9	18,9	20,5	14,2	15
RP	16,9	14,0		15,2	12,0	14,9	13,4	14,8	12,4	14,1

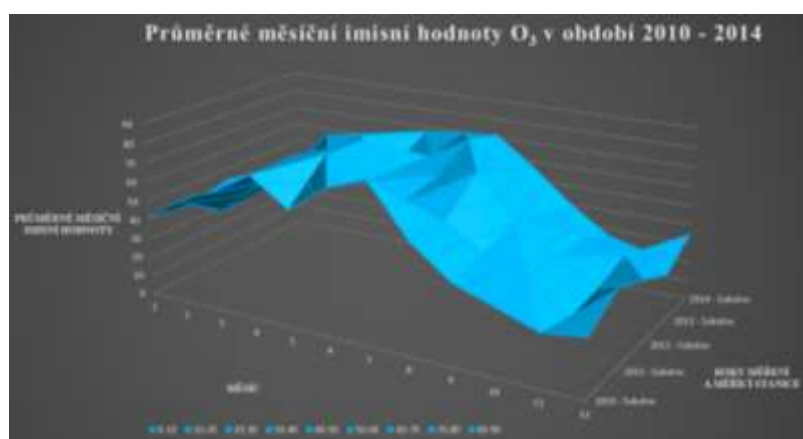


Graf č. 5 - Průměrné měsíční imisní hodnoty NO<sub>2</sub> v období 2010 - 2014



Tabulka č. 7 - Průměrné měsíční imisní hodnoty O<sub>3</sub> v období 2010 - 2014

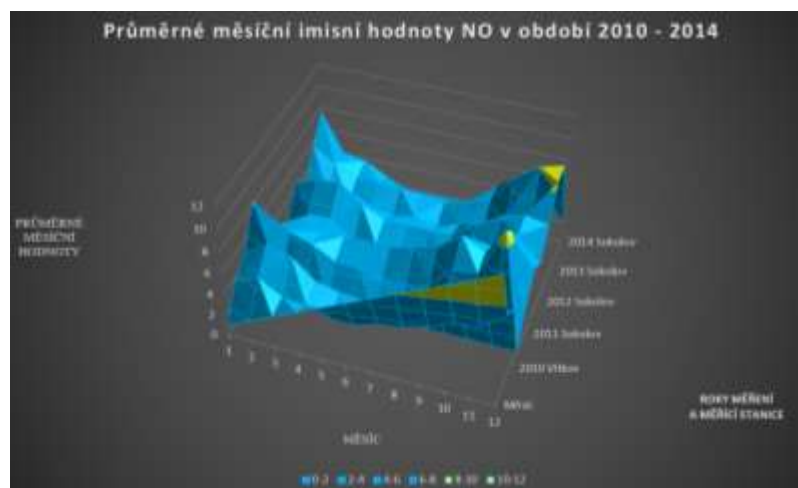
Průměrné měsíční imisní hodnoty O <sub>3</sub> v období 2010 - 2014					
Měsíc	2010 Sokolov	2011 Sokolov	2012 Sokolov	2013 Sokolov	2014 Sokolov
1	41,8	38,5	44	35,8	20,4
2	54,1	38,9	40,7	47,9	40,7
3	62,3	56,2	50	67,3	52,6
4	73,7	74,5	70,3	69,8	64
5	60,3	79,1	78,2	57,1	67,3
6	74,9	68,4	67	64,5	69,7
7	81,7	61,8	66,1	76,7	71,3
8	56,8	56,1	71,2	63,4	56,8
9	41,1	44,4	50,5	43,9	40,1
10	34	36,7	35,9	34,6	26,6
11	26,8	21,7	24,4	30,3	21,2
12	29,6	40,5	33	24,1	35,2
RP	53,1	51,4	52,6	51,3	47,2



Graf č. 6 - Průměrné měsíční imisní hodnoty O<sub>3</sub> v období 2010 - 2014

Tabulka č. 7 - Průměrné měsíční imisní hodnoty O<sub>3</sub> v období 2010 - 2014

Průměrné měsíční imisní hodnoty NO v období 2010 - 2014										
Měsíc	2010 Sokolov	2010 Vítkov	2010 Sokolov	2011 Sokolov	2011 Vítkov	2012 Sokolov	2012 Vítkov	2013 Sokolov	2013 Vítkov	2014 Sokolov
1	3,7	4,9	8,3	4,3	3,2	1,9	4,5	3,2	5,5	7,6
2	4,6	6,2		4,5	3,5	3,3	5,4	2,8	4,3	4
3	3,3	5,6		3,8	3,6	3,4	5,5	2,2	3,3	3,7
4	3	3,8		2,6	3,6	1,7	3,9	2,4	3,4	2,6
5	2,4	3,3		2,5	3,6	1,9	2,9	1,9	3,3	1,6
6	2,3	3,1		1,9	3,6	1,5	2,9	2,3	3	1,7
7	3	3,5		1,8	4,2	1,4	2,9	1,8	2,8	1,7
8	3,3	3,5		2,6	4,7	1,8	3	2,6	3,4	1,9
9	3,9	4,4		4,5	6,4	3,3	4,5	2,1	4,1	4
10	5	4,4		4,8	5,3	4,4	5,5	4,6	6,7	5,1
11	5,2	4,5		9,3	7,8	5,9	6,4	3,3	8,2	4,3
12	6,8	5,7		2,7	4,8	3,8	6	8,6	8,8	2,1
RP	3,9	4,4		3,8	4,5	2,9	4,5	3,2	4,7	3,4



Graf č. 6 - Průměrné měsíční imisní hodnoty NO v období 2010 - 2014

## 8. Diskuse

Měřicími stanicemi Českého hydrometeorologického ústavu, Zdravotního ústavu Ústí nad Labem a společnosti Orgrez, a. s. v oblasti města Sokolov byly měřeny hodnoty imisí deponovaných na území města v období let 2010 až 2014. Získaná data byla zpracována do tabelárních přehledů evidovaných ČHMÚ, ze kterých byla tato data využita pro vyhodnocení stavu ovzduší ve městě Sokolov. Vyhodnocením naměřených dat a průměrných měsíčních a ročních hodnot imisí bylo zjištěno, že největší problém znečištění ovzduší tvoří oxidy dusíku a suspendované částice  $PM_{2.5}$ . U  $NO_x$  dochází k mírnému snižování průměrných ročních hodnot. K mírnému zvyšování průměrných ročních hodnot dochází u  $PM_{2.5}$ . K překročení imisních limitů dochází u obou látek v intervalu mezi měsíci leden až duben a říjen až prosinec.

Dalším problémem je, že do současné doby nebyl vyřešen po legislativní stránce imisní limit pro oxid dusnatý (ZÚ 2016). Průměrné roční hodnoty této látky z dat ze stanice Sokolov mají klesající tendenci. U stanice Vítkov byl zaznamenán nárůst. U ostatních měřených látek byl zaznamenán mírný pokles průměrných ročních hodnot.

Činnost měřící stanice Sokolov1 byla ukončena ke dni 31. 5. 2012 a u stanice Vítkov skončila dne 31. 12. 2013. Ve městě Sokolov zůstala jediná měřící stanice monitorující imisní znečištění v ovzduší v ulici Švabinského (ČHMÚ 2016).

Stanice, které se podílí na měření imisí, neprovádí měření atmosférické depozice ve městě Sokolov. Lze předpokládat, že vyhodnocením depozice, by byly získány obdobné výsledky jako u naměřených hodnot imisí v ovzduší.

## 9. Závěr

V bakalářské práci jsme se věnovali problematice znečištění ovzduší se zaměřením na atmosférickou depozici, jejich možný vznik, chemismus a dopad na lidské zdraví nebo životní prostředí. Byly vybrány látky  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$  a  $\text{PM}_{2,5}$ , které se podílejí na vzniku depozice a jejich koncentrace byly měřeny v oblasti města Sokolov. Pochopení mechanismu transformace látek znečišťujících ovzduší je důležité pro následné plánování opatření na ochranu ovzduší.

V závěrečné části bakalářské práce jsou vyhodnoceny imisní hodnoty naměřené v oblasti města Sokolov v období od roku 2010 do roku 2014. Při analýze získaných dat bylo zjištěno, že problémem na zkoumaném území je především znečištění látkami  $\text{PM}_{2,5}$  a  $\text{NO}_x$ . K překročení denních imisních limitů dochází pravidelně v intervalech u měsíců leden až duben a dále u měsíců říjen až prosinec. U ostatních sledovaných látek byl zaznamenán mírný pokles. Zjištěné skutečnosti lze dále využít při přípravě různých projektů zlepšujících stav ovzduší či omezujících jeho znečištění.

Potřebným aspektem v ochraně ovzduší by měl být zájem stanovit imisní limit pro oxid dusnatý, který se podílí na fotochemickém smogu (Braniš et al. 2009).

## 10. Zdroje

**ALKEMADE R., ASHMORE M., BOBBINK R., BUSTAMANTE M., CINDERBY S., DAVIDSON E., DE VRIES W., DENTENER F., EMMETT B., ERISMAN J. W., FENN M., GALLOWAY J., GILLIAM F., HICKS K., NORDIN A., PARDO L., SPRANGER T.**, 2010: Global Assessment of Nitrogen Deposition Effects on Terrestrial Plant Diversity: a Synthesis. *Ecological Applications* 20 (1): 30 - 59.

**ANDERSON D. S. et CRAIG B. D.**, 1994: Handbook of Corrosion Data. ASM International, Ohio: 998 s.

**BENEŠ L. et KUPKOVÁ Z.**, 2004: Chemické vlastnosti, biologické účinky a metody detekce biologického oxidu dusnatého. *Chemické listy* 98: 116 - 122.

**BERNAUER B., FOTT P., MARKVART M., OBALOVÁ L.**, 2001: Způsoby odstraňování oxidu dusného z odpadních plynů průmyslových a spalovacích procesů. *Chemické listy* 95: 392 - 399.

**BOEZEN H. M., FUHLBRIGGE A. N., GOLD D. R., HALLSTRAND T. S., IERODIAKONOU D., KOENIG J. Q., KOUTRAKIS P., LUMLEY T., MCKONE E. F., MELLY S., POSTMA D. S., SHAPIRO G. G., SCHILDCROUT J. S., SCHWARTZ J., VONK J. M., WEISS S. T., WILLIAMS P. V., ZANOBETTI A.**, 2016: Ambient Air Pollution, Lung Function, and Airway Responsiveness in Asthmatic Children. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 137: 390 - 399.

**BRANIŠ M.**, 1997: Základy ekologie a ochrany životního prostředí. Informatorium, Praha: 143 s.

**BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., BARTOŇOVÁ A., BEDNÁŘ J., BÍZEK V., BRECHLER J., CÍLEK V., FIAL J., FILIP J., HOLOUBEK I., HOVORKA J., KALVOVÁ J., MIKŠOVSKÝ J., MOLDAN B., MOLDANOVÁ J., PŘIBIL R., RAIDL A.**, 2009: Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. UK v Praze, Praha, 351 s.

**CENIA**, 2016: Národní geoportál INSPIRE, Praha, online: <https://geoportal.gov.cz>, cit. 18. 11. 2016.

**ČEJKOVÁ G., HUMPOLCOVÁ S., PAVLÍČEK V., SKYBOVÁ M., TRANTINOVÁ M., VRUBEL J., ZAPLETAL M.**, 1997: Podklady pro hodnocení účinků imisních koncentrací znečišťujících látek (oxidu siřičitého, oxidů dusíku, ozonu, fluoridů, amoniaku a kyselá deponice) na vegetaci, Grant PPŽP/520/7/97, Ekotoxa, Opava, 151 s.

**ČHMÚ**, 2016: Český hydrometeorologický ústav, Praha, online: [portal.chmi.cz](http://portal.chmi.cz), cit. 18. 11. 2016.

**ČN**, 2016: Čisté nebe o. p. s., Ostrava, online: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/13-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10>, cit. 18. 11. 2016.

**ČSÚ**, 2016: Český statistický úřad, Praha, online: <https://www.czso.cz>, cit. 18. 11. 2016.

**ČÚZK**, 2016: Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, online: <https://www.cuzk.cz>, cit. 18. 11. 2016.

**DRAAIJERS G., ERISMAN J. W.**, 1995: Atmospheric deposition in relation to acidification and eutrophication. Elsevier Science, New York: 404 s.

**EBBING D. D. et GAMMON S. D.**, 2013: General chemistry. Brooks/Cole Cengage Learning, International ed. Australia, Australia: 1152 s.

**EPA**, 2016: U. S. Environmental Protection Agency, Washington, online: <http://www.epa.gov>, cit. 18. 11. 2016.

**EUR-Lex**, 2017: The Publications Office European Union, Luxembourg, online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013PC0919&from=CS>, cit. 1. 2. 2017.

**EUROPEAN ENVIROMENT AGENCY**, 1998: Europe's Environment: The Second Assessment. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg: 43 s.

**GÓMEZ B., HERRERA V., MOTTA J., TARAJIA M., URRIOLA W., ZÚÑIGA J.**, 2016: Assessment of the Possible Association of Air Pollutants PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> NO<sub>2</sub> with an Increase in Cardiovascular, Respiratory, and Diabetes Mortality in Panama City: A 2003 to 2013 Data Analysis. *Medicine* 95 (2): e2464.

**GUICHERIT R. et ROEMER M.**, 2000: Tropospheric Ozone Trends. *Chemosphere – Global Change Science* 2: 167 – 183.

**HOLOUBEK I.**, 1990: Chemie a společnost. Chemie životního prostředí. Univerzita J. E. Purkyně, Brno: 160 s.

**HOLOUBEK I.**, 2005: Troposférická chemie. Masarykova Univerzita, Brno: 159 s.

**HORÁK J.**, 2004: Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky. Vydavatelství VŠCHT, Praha: 188 s.

**HORÁLEK J., HŮNOVÁ I., LOMSKÝ B., NOVOTNÝ R., UHLÍŘOVÁ H.**, 2003: Oxidační stres v podmínkách horských smrčín. *Zprávy lesnického výzkumu* 48: 200 - 205.

**HORBAJ P.**, 1997: Vznik oxidov dusíka a ich vplyv na rozpad ozónovej vrstvy. *Chemické listy* 91: 833 - 839.

- HRUŠKA J. et KOPÁČEK J.**, 2009: Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy I. Emise a depozice okyselujících sloučenin. *Živa* 1: 93 - 96.
- HŮNOVÁ I.**, 2016: Atmosférická depozice dusíku. *Chemické listy* 110: 779 - 784.
- HŮNOVÁ I. et JANOUŠKOVÁ S.**, 2004: Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. Karolinum, Praha: 144 s.
- IRZ**, 2003: Integrovaný registr znečištění. Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: [https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy\\_dusiku.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf), cit. 18. 11. 2016.
- JACOB D. J.**, 2000: Heterogeneous Chemistry and Tropospheric Ozone. *Atmospheric Environment* 34: 2131 – 2159.
- JAECKER-VOIROL A. et PELT P.**, 2000: PM<sub>10</sub> Emission Inventory in Ile de France for Transport and Industrial Sources: PM<sub>10</sub> Re-suspension, a Key Factor for Air Quality. *Environmental Modelling & Software* 15 (6-7): 575 - 581.
- KALACH P. et TRÍSKA J.**, 1998: Chemie životního prostředí. Jihočeská Univerzita, České Budějovice: 147 s.
- KELM M.**, 1999: Nitric Oxide Metabolism and Breakdown. *Biochimica et Biophysica Acta* 1411: 273 - 289.
- KRUPA S. V.**, 2002: Sampling and physico-chemical analysis of precipitation: a review. *Environmental Pollution* 120: 565-594.
- KÚKK**, 2016: Krajský úřad Karlovarského kraje, Karlovy Vary, online: [http://www.kr-karlovarsky.cz/region/uzem\\_plan/Stranky/UAP-KK/UAP\\_Karlovarskeho\\_kraje.aspx](http://www.kr-karlovarsky.cz/region/uzem_plan/Stranky/UAP-KK/UAP_Karlovarskeho_kraje.aspx), cit. 18. 11. 2016.
- LAST J. A., SUN W. M., WITSCHI H.**, 1994: Ozone, NO, and NO<sub>2</sub>: Oxidant Air Pollutants and more. *Environmental Health Perspectives* 102 (Suppl 10): 179 - 184.
- LOGAN J. A.**, 1983: Nitrogen Oxydes in the Troposphere: Global and Regional Budgets. *Journal of Geophysical Research* 88: 10785 - 10807.
- LOUČKA T.**, 2014: Chemie životního prostředí. Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem: 164 s.
- MORAVEC D. et VOTÝPKA J.**, 1998: Klimatická regionalizace České Republiky, Karolinum - nakladatelství Univerzity Karlovy, Praha, 87 s.
- MŽP**, 1996: Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha: 444 s.
- MŽP**, 2017: Ministerstvo životního prostředí, Praha, online: <http://www.mzp.cz>, cit. 1. 3. 2017.
- PANDIS S. N. et SEINFELD J. H.**, 2012: Atmospheric Chemistry and Physics: From Air pollution to Climate Change. John Wiley & Sons, Chichester: 1232 s.

**PORTEOUS A.**, 2013: Dictionary of Environmental Science and Technology. John Wiley & Sons, Chichester: 824 s.

**QUITT E.**, 1971: Klimatické oblasti Československa, Geografický ústav Československé akademie věd, Brno, 73 s.

**ŘSD**, 2015: Ředitelství silnic a dálnic ČR, Praha, online: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/map/default.aspx>, cit. 18. 11. 2016.

**SEZNAM**, 2016: Seznam.cz, a. s., Praha, online: <http://mapy.cz>, cit. 18. 11. 2016.

**SZÚ**, 2017: Státní zdravotní ústav, Praha, online: [www.szu.cz](http://www.szu.cz), cit. 1. 2. 2017.

**UM**, 2017: University of Michigan, Michigan, online: [http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/water\\_nitro/pollution2.jpg](http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/water_nitro/pollution2.jpg), cit. 1. 2. 2017

**VAN DOBBEN H. F. et DE VRIES W.**, 2017: The Contribution of Nitrogen Deposition to the Eutrophication Signal in Understorey Plant Communities of European Forests. *Ecology and Evolution* 7(1): 214 - 227.

**VÍDEN I.**, 2005: Chemie ovzduší. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha: 98 s.

**VOSS**, 2016: Vodohospodářská společnost Sokolov, s. r. o., Sokolov, online: <http://www.voss.cz/res/data/110/012094.pdf>, cit. 18. 11. 2016.

**VÚRV**, 2010: Monitoring imisí. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, online: <https://sites.google.com/a/eto.vurv.cz/monitoring-imisi/monitoring-imisi/vyzkumna-zprava/2-atmosfericka-depozice-a-vliv-imisi-na-zemedelskou-vyrobu/2-7-emise-imise-a-depozice>, cit. 18. 11. 2016.

**WARNECK P.**, 1999: Chemistry of the Natural Atmosphere, Academic Press, San Diego: 927 s.

**WEBB A. R.**, 1997: Changes in Stratospheric Ozone Concentrations and Solar UV Levels. *Radiation Protection Dosimetry* 72 (3-4): 207 – 216 s.

**ZAPLETAL M.**, 2014: Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice, Slezská univerzita, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav historických věd, Opava, 2014, 136 s.

**ZÚ**, 2016: Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, online: [www.zuusti.cz](http://www.zuusti.cz), cit. 1. 2. 2017.

## 11. Seznam příloh

**Příloha č. 1** - Imisní limity pro jednotlivé roky období 2010 - 2014 (ČHMÚ 2016)



<b>Přehled imisních limitů podle nařízení vlády č. 597/2006 Sb., ve znění pozdějších předpisů pro rok 2010</b>		
<b>Pro ochranu zdraví</b>		
<b>Znečišťující látka</b>	<b>Doba průměrování</b>	<b>Hodnota imisního limitu [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 hodin	<b>125</b> maximálně 3x za rok
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hodin	<b>50</b> maximálně 35x za rok
<b>NO<sub>2</sub></b>	kalendářní rok	<b>40</b>
<b>Cílové imisní limity</b>		
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	<b>120</b> 25x v průměru za 3 roky
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	<b>25</b>
<b>Pro ochranu ekosystémů a vegetace</b>		
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	<b>20</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok	<b>30</b>

<b>Přehled imisních limitů podle nařízení vlády č. 597/2006 Sb., ve znění pozdějších předpisů pro rok 2011</b>		
<b>Pro ochranu zdraví</b>		
<b>Znečišťující látka</b>	<b>Doba průměrování</b>	<b>Hodnota imisního limitu [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 hodin	<b>125</b> maximálně 3x za rok
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hodin	<b>50</b> maximálně 35x za rok
<b>NO<sub>2</sub></b>	kalendářní rok	<b>40</b>
<b>Cílové imisní limity</b>		
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	<b>120</b> 25x v průměru za 3 roky
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	<b>20</b>
<b>Pro ochranu ekosystémů a vegetace</b>		
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	<b>20</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok	<b>30</b>

<b>Přehled imisních limitů podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a vyhlášky č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění pro rok 2012</b>		
<b>Pro ochranu zdraví</b>		
<b>Znečišťující látka</b>	<b>Doba průměrování</b>	<b>Hodnota imisního limitu [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 hodin	<b>125</b> maximálně 3x za rok
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hodin	<b>50</b> maximálně 35x za rok
<b>NO<sub>2</sub></b>	kalendářní rok	<b>40</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	<b>120</b> 25x v průměru za 3 roky
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	<b>25</b>
<b>Pro ochranu ekosystémů a vegetace</b>		
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	<b>20</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok	<b>30</b>

<b>Přehled imisních limitů podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a vyhlášky č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění pro rok 2013</b>		
<b>Pro ochranu zdraví</b>		
<b>Znečišťující látka</b>	<b>Doba průměrování</b>	<b>Hodnota imisního limitu [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 hodin	<b>125</b> maximálně 3x za rok
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hodin	<b>50</b> maximálně 35x za rok
<b>NO<sub>2</sub></b>	kalendářní rok	<b>40</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	<b>120</b> 25x v průměru za 3 roky
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	<b>25</b>
<b>Pro ochranu ekosystémů a vegetace</b>		
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	<b>20</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok	<b>30</b>

**Příloha č. 1** Imisní limity pro jednotlivé roky období 2010 - 2014 (ČHMÚ 2016)

<b>Přehled imisních limitů podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a vyhlášky č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění pro rok 2014</b>		
<b>Pro ochranu zdraví</b>		
<b>Znečišťující látka</b>	<b>Doba průměrování</b>	<b>Hodnota imisního limitu [µg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 hodin	<b>125</b> maximálně 3x za rok
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hodin	<b>50</b> maximálně 35x za rok
<b>NO<sub>2</sub></b>	kalendářní rok	<b>40</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	maximální denní 8h klouzavý průměr	<b>120</b> 25x v průměru za 3 roky
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	<b>25</b>
<b>Pro ochranu ekosystémů a vegetace</b>		
<b>SO<sub>2</sub></b>	rok a zimní období (1. 10. - 31. 3.)	<b>20</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	kalendářní rok	<b>30</b>