

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování**



**Atmosférická depozice sloučenin dusíku  
na území Prahy**

**Bakalářská práce**

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

**Bakalant:** Adéla Petružálková

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adéla Petružálková

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**Atmosférická depozice sloučenin dusíku na území Prahy**

Název anglicky

**Atmospheric deposition of nitrogen compounds in Prague**

---

### Cíle práce

Bakalářská práce se zabývá problematikou atmosférické depozice sloučenin dusíku. Rozděluje depozici na suchou a mokrou, zjišťuje možné zdroje znečištění a zabývá se chemismem těchto látek v atmosféře. Cílem bakalářské práce je zpracování dat atmosférické depozice sloučenin dusíku na území Prahy získaných z výročních zpráv ČHMÚ, popřípadě z dalších společností, které působí v Praze.

### Metodika

Rešeršní část práce se zabývá popisem depozice, jejím vznikem, chemismem. Také jsou představeny sloučeniny a fotochemické procesy, které přispívají ke vzniku depozice. V praktické části jsou pomocí statistiky zpracována data atmosférické depozice získaná z měření ČHMÚ.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran textu

**Klíčová slova**

Dusík, oxidy dusíku, ovzduší, Praha, mokrá depozice, suchá depozice

---

**Doporučené zdroje informací**

BRANIŠ M., HŮNOVÁ I. [eds], 2009: Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší, Praha  
MÖLLER D., 2010: Chemistry of the climate system, Berlin  
SEIGNER C., 2019: Air Pollution: Concepts, theory, and applications, Cambridge  
www.chmi.cz

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2022

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 17. 01. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: Atmosférická depozice sloučenin dusíku na území Prahy vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne . . . . .

.....

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za poskytnutí veškeré zpětné vazby a vedení při psaní této práce, přátelům z oboru a v neposlední řadě své rodině a partnerovi za trpělivost a pochopení při studiu i psaní závěrečné práce.

## **Abstrakt**

Atmosférická depozice označuje proces transportu látek z atmosféry k zemskému povrchu. Můžeme ji rozdělit na mokrou, suchou. Některé zdroje ještě z mokré depozice oddělují depozici kyselou. Faktory ovlivňující atmosférickou depozici mohou být znečišťující látky pocházející hlavně z dopravy a průmyslu, které se dostávají do atmosféry, kde reagují s dalšími látkami. Pro lepší pochopení atmosférické depozice byly vybrány sloučeniny dusíku, sloučeniny síry, ozon a suspendované částice  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ . U těchto látek byl popsán chemismus atmosférické depozice a jejich vliv na lidské zdraví a vegetaci.

Blíže byla zkoumána depozice dusíku v letech 2017-2021 na území ČR a poté konkrétněji mokrá depozice dusíku naměřená v Praze spolu s imisemi  $NO_2$  a  $NO_x$ , které mají vliv na suchou složku z celkové depozice. Hodnoty naměřené v hlavním městě byly poté porovnány s celorepublikovým průměrem. Bylo zjištěno, že složení srážek v Praze neodpovídá průměrnému složení srážek v ČR. Cílem práce bylo prozkoumat, zdali velikost koncentrace  $NO_2$  a  $NO_x$  ovlivňuje kromě suché depozice, také depozici mokrou. Byla provedena lineární regrese pomocí měsíčních průměrných koncentrací nasbíraných v letech 2017-2021. Po vyhodnocení dat můžeme konstatovat, že mokrá depozice není přímo ovlivněna velikostí koncentrací  $NO_2$  a  $NO_x$ , ale spíše chemickými reakcemi, které probíhají v atmosféře.

**Klíčová slova:** Dusík, oxidy dusíku, ovzduší, Praha, mokrá depozice, suchá depozice

## **Abstract**

Atmospheric deposition refers to the process of transporting substances from the atmosphere to the Earth's surface. It can be divided into wet, dry and some sources in addition separate an acid deposition from wet deposition. Factors influencing atmospheric deposition can be pollutants originating mainly from transport and industry, which enter the atmosphere where they react with other substances. To better understand atmospheric deposition, nitrogen compounds, sulfur compounds, ozone, and suspended particulate matter  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  were selected. For these substances, the chemistry of atmospheric deposition and their impact on human health and vegetation were described.

The nitrogen deposition in the years 2017-2021 in the Czech Republic was examined in more detail and then more specifically the wet nitrogen deposition measured in Prague together with  $NO_2$  and  $NO_x$  immissions, which affect the dry component of the total deposition. The values measured in the capital city were then compared with the national average. It was found that the composition of precipitation in Prague did not correspond to the average composition of precipitation in the Czech Republic. The aim of the study was to investigate whether the magnitude of  $NO_2$  and  $NO_x$  concentrations affect wet deposition in addition to dry deposition. A linear regression was performed using monthly average concentrations collected between 2017 and 2021. After evaluating the data, we can conclude that wet deposition is not directly affected by the magnitude of  $NO_2$  and  $NO_x$  concentrations, but rather by chemical reactions taking place in the atmosphere.

**Keywords:** Nitrogen, nitrogen oxides, air, Prague, wet deposition, dry deposition

# Obsah

<b>1 Úvod a cíl práce .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Literární rešerše .....</b>	<b>2</b>
2.1 Atmosférická depozice .....	2
2.1.1 Vznik atmosférické depozice .....	3
2.1.2 Typy atmosférické depozice .....	4
2.1.2.1 Mokrú depozice.....	4
2.1.2.2 Suchá depozice .....	5
2.1.2.3 Kyselá depozice .....	7
2.1.3 Faktory ovlivňující atmosférickou depozici.....	8
2.1.3.1 Zdroje znečištění .....	8
2.1.3.2 Emise .....	9
2.1.3.3 Imise.....	9
2.1.4 Depozice dusíku .....	10
2.1.4.1 Oxid dusný .....	10
2.1.4.2 Oxidy dusíku.....	10
2.1.4.3 Chemismus.....	11
2.1.5 Depozice síry .....	13
2.1.5.1 Oxid siřičitý .....	13
2.1.5.2 Chemismus.....	13
2.1.6 Ozon .....	15
2.1.6.1 Chemismus.....	15
2.1.7 Suspendované částice PM <sub>10</sub> a PM <sub>2,5</sub> .....	16
2.1.8 Vliv na lidské zdraví .....	17
2.1.8.1 Oxidy dusíku.....	17
2.1.8.2 Oxid siřičitý .....	17
2.1.8.3 Ozon.....	17
2.1.8.4 Suspendované částice PM <sub>10</sub> a PM <sub>2,5</sub> .....	18
2.2 Legislativa .....	18
<b>3 Metodika.....</b>	<b>20</b>
3.1 Popis sledovaného území .....	20
3.1.1 Doprava a průmysl .....	20
3.1.2 Klimatologické podmínky.....	21
3.1.3 Ovzduší .....	21
3.2 Měření atmosférické depozice.....	22
3.3 Zpracování dat.....	23



3.3.1	Atmosférická depozice v roce 2017 .....	23
3.3.1.1	Depozice na území Prahy .....	25
3.3.2	Atmosférická depozice v roce 2018 .....	26
3.3.2.1	Depozice na území Prahy .....	28
3.3.3	Atmosférická depozice v roce 2019 .....	29
3.3.3.1	Depozice na území Prahy .....	30
3.3.4	Atmosférická depozice v roce 2020 .....	31
3.3.4.1	Depozice na území Prahy .....	33
3.3.5	Atmosférická depozice v roce 2021 .....	34
3.3.5.1	Depozice na území Prahy .....	35
<b>4</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>37</b>
4.1	Atmosférická depozice v ČR v letech 2017-2021 .....	37
4.2	Atmosférická depozice dusíku v Praze v letech 2017–2021 .....	39
<b>5</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>Zdroje .....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků, tabulek a grafů .....</b>	<b>52</b>

## Seznam zkratek

**ČHMÚ** – Český hydrometeorologický ústav

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

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

**Al** – hliník

**C** – uhlík

**Ca** – vápník

**Cd<sup>2+</sup>** - kadmnatý kationt

**Cl<sup>-</sup>** - chloridový aniont

**CO** – oxid uhelnatý

**CO<sub>2</sub>** – oxid uhličitý

**ČR** – Česká republika

**ES** – Evropská společenství

**EU** – Evropská unie

**F<sup>-</sup>** - fluoridový aniont

**Fe** – železo

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

**FeS<sub>2</sub>** – sulfan železičitý

**H<sup>+</sup>** - vodíkový kationt

**H<sub>2</sub>O** – voda

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** – peroxid vodíku

**H<sub>2</sub>S** – sirovodík

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

**HNO<sub>3</sub>** – kyselina dusičná

**HOO<sup>•</sup>** - hydroperoxylový radikál

**HOSO<sub>2</sub><sup>•</sup>** - hydroxysulfidový radikál

**hν** – světelné kvantum

**K** – draslík

**M** – nspecifikovaná třetí látka

**Mg** – hořčík

**N** – dusík

**N<sub>2</sub>O** – oxid dusný

**N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** – oxid dusitý

**NH<sub>3</sub>** – amoniak

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** - amonný kationt

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

**Ni<sup>2+</sup>** - nikelnatý kationt

**NO** – oxid dusnatý

**NO<sub>2</sub>** – oxid dusičitý

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** - dusičnanový aniont

**NO<sub>x</sub>** – oxidy dusíku

**O<sub>2</sub>** – elementární kyslík

**O<sub>3</sub>** – ozon

**OH<sup>•</sup>** - hydroxylový radikál

**Pb<sup>2+</sup>** - olovnatý kationt

**PM<sub>10</sub>** – suspendované částice o velikosti 10 mikrometrů

**PM<sub>2,5</sub>** – suspendované částice o velikosti 2,5 mikrometru

**ppm** – částice na 1 milion

**RO<sub>2</sub><sup>•</sup>** - peroxyradikál

**S** – síra

**Si** – křemík

**SO<sub>2</sub>** – oxid siřičitý

**SO<sub>3</sub>** – oxid siřičitý

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** - síranový aniont

**UV** – ultrafialové záření

**%** - procento

**°C** – stupeň Celsia

# 1 Úvod a cíl práce

Atmosféra, jinak nazývaná plynný obal Země, je z hlediska složení rozdělena na tři kvalitativní složky. První je suchá a čistá atmosféra tvořená směsí plynů. Ty při běžné teplotě a tlaku považujeme za termodynamicky ideální plyny. Druhou složkou je voda, která se v atmosféře běžně vyskytuje ve všech třech skupenstvích. Poslední součástí atmosféry jsou různé znečišťující látky, které mají zejména aerosolovou povahu. Tyto látky se díky meteorologickým jevům transportují po atmosféře, ve které se pak nadále rozptylují a pomocí chemických reakcí se přeměňují na další chemické látky (Braniš et al. 2009).

K přenosu látek z atmosféry k zemskému povrchu dochází pomocí usazování nebo vymývání. Pod pojmem atmosférická depozice se skrývají všechny tyto procesy (Warneck 1999). Díky těmto dějům mohou být znečišťující látky z atmosféry odstraněny nebo může dojít k transportu látek z ovzduší do ekosystému, díky čemuž může dojít k znečištění.

Pro živé organismy patří atmosféra mezi nejdůležitější složky životního prostředí. Největší částí je směs dusíku a kyslíku, která tvoří 99 % složení atmosféry. Toto složení se miliony let téměř nezměnilo. Na rozdíl od koncentrací dalších složek atmosféry, jejichž poměr se v posledních staletích prudce změnil (Skok 2003).

Narůstající hodnoty depozice dusíku, ke kterým v minulosti došlo v důsledku rozvíjejícího se průmyslu a dopravy se významně projevují v poklesu diverzity ekosystémů, snižování pestrosti druhů a živých organismů (Šimůnek 2003).

Měření koncentrace atmosférické depozice a kvality ovzduší se provádí na mezinárodní a národní úrovni. Sleduje se, jaký vliv má velikost koncentrace znečištění mají vliv na lidské zdraví, vegetaci a ekosystémy. V České republice se měřením atmosférické depozice a úrovně znečištění zabývá Český hydrometeorologický úřad (ČHMÚ). Stav znečištění ovzduší se také věnuje Zdravotní ústav, městské úřady či Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (MŽP 2022).

Bakalářská práce studuje problematiku atmosférické depozice sloučenin dusíku, zejména jeho oxidů a amoniaku. Popisuje možné zdroje znečišťujících látek a zabývá se jejich chemismem v atmosféře a vlivem na lidské zdraví a životní prostředí. Dalším cílem je zpracování dat atmosférické depozice sloučenin dusíku na území Prahy získaných z výročních zpráv ČHMÚ, popřípadě z dalších společností, které působí v Praze.

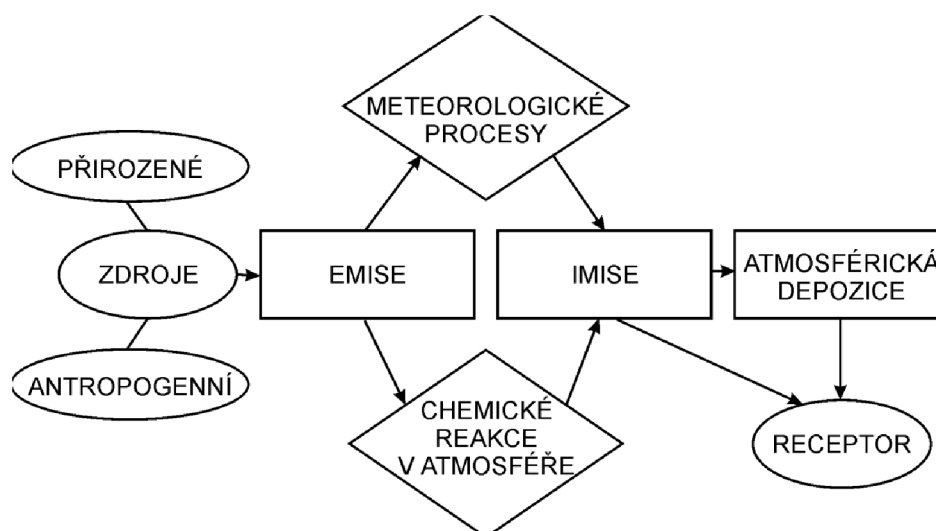
## 2 Literární rešerše

### 2.1 Atmosférická depozice

Pojem atmosférická depozice je definován jako proces transportu látek v plynném, kapalném a tuhém skupenství z atmosféry směrem k zemskému povrchu a do dalších částí ekosystému (Vysoudil 2002). Jedná se o tok, který je definován územím a časem. Jejím opakem je emise, což je proces toku chemických látek z prostředí země do vzduchu (Moller 2010). Velikost depozičního toku látek je možné popsat jako hmotnost sledované látky deponované na jednotku plochy za určitou časovou jednotku. Jednotky, které se nejčastěji používají k vyjádření velikosti atmosférické depozice jsou  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ,  $\text{meq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$  nebo  $\text{eq}\cdot\text{ha}\cdot\text{rok}^{-1}$  (Braniš et al. 2009).

Tyto procesy představují samočisticí schopnost atmosféry, protože v ní nedochází ke kumulaci látek. V průběhu depozičních procesů jsou eliminovány látky, které byly do ovzduší emitovány přirozenými a antropogenními zdroji (např. při nedokonalém spalování fosilních paliv či při vypouštění látek z průmyslové výroby nebo při zemědělské výrobě) a zároveň ty látky, které v atmosféře vznikly jako sekundární produkty chemických reakcí (Warneck 1999).

Atmosférická depozice se rozděluje na dva typy, mokrou a suchou. Suchá depozice na rozdíl od mokré probíhá pomalu a v podstatě neustále. Celková depozice je pak součtem mokré a suché depozice (Braniš et al. 2009).



Obrázek 1 - Schéma procesů, jimiž podléhají látky znečišťující ovzduší (Hůnová 2009)

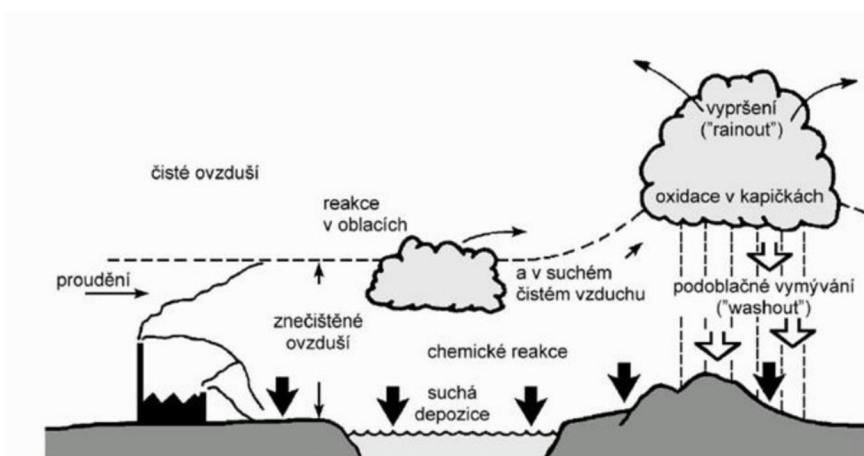
### 2.1.1 Vznik atmosférické depozice

Ovzduší je schopno se účinně samočistit díky řadě stabilizačních mechanismů, které jsou součástí systému zpětných vazeb. Nejvýznamnějšími z těchto mechanismů jsou atmosférické oxidační reakce, které odstraňují organické sloučeniny z ovzduší a které se nakonec přemění na oxid uhličitý a vodu. Dále je důležitá srážková činnost, díky které dochází v atmosféře k eliminaci pevných a zároveň i velké části plyných nečistot (Braniš et al. 2009).

K přechodu látek do dalších sfér (hydrosféry, pedosféry, litosféry, kryosféry a biosféry) dochází právě pomocí atmosférické depozice. Pro tyto složky prostředí mohou nicméně sloučeniny, jež se dostávají z atmosféry na zemský povrch, být důležitým zdrojem znečišťujících látek. Ale bez vlivu procesu atmosférické depozice, představující schopnost samočištění, by se chemické látky kumulovaly v atmosféře a nedostaly by se do stavu dynamické rovnováhy (Hůnová a Janoušková 2004).

Samotnou depozici lze zkoumat jako mechanismus látkového vstupu do určitého geosystému. Pro depozici jsou důležité meteorologické jevy jako sněžení či déšť, protože z ovzduší odstraňují škodliviny jak původně vzniklé v atmosféře, tak antropogenního původu. V minulosti byla atmosférická depozice studována a zkoumána, protože kvůli ní bylo do životního prostředí vnášeno velké množství cizích látek. (Moldan 1992). V dnešní době jsou koncentrace znečišťujících látek mnohem menší kvůli přijatým opatřením proti znečišťování ovzduší, např. odsíření tepelných elektráren.

Následkem účinku aerosolových částic, kyselých srážek nebo depozice plynů může dojít k acidifikaci a eutrofizaci jak vodních ploch, tak půdy (Zapletal 2014).



Obrázek 2 - Průběh procesů, které vedou k atmosférické depozici (Hůnová a Janoušková 2009)

## 2.1.2 Typy atmosférické depozice

Atmosférickou depozici lze rozdělit na tzv. mokrou a suchou. Občas se také setkáváme s pojmem kyselá depozice, kterým je myšlený např. kyselý déšť. Součtem suché a mokré depozice lze spočítat celkovou velikost atmosférické depozice. Zároveň má suchá a mokrá depozice významný podíl na odstraňování znečišťujících látek (Howells 1990).

### 2.1.2.1 Mokrý depozice

V mokré depozici dochází k transportu látek prostřednictvím hydrologického cyklu. Největší význam mají atmosférické srážky, které můžeme rozdělit na vertikální, kam patří déšť, sníh a veškeré padající srážky, které obsahují vodu a na horizontální (jinak nazývané usazené nebo okultní), kam řadíme mlhu, námrazu a např. jinovatku (Hůnová 2009). Do srážek se látky v atmosféře mohou dostat pomocí vymývání, kdy pevné a plynné částičky prostupují troposférou a následně se uchyťávají na kapkách deště, anebo díky vypršení, kdy dochází k vzniku kondenzačního jádra u nově vytvořených atmosférických srážek (Draaijers et Erisman 1995).

Velikost mokré depozice lze spočítat pomocí vzorce:

$$D = c \cdot P$$

$c$  značí průměrnou koncentraci měřené složky, která je dána váženým srážkovým úhrnem a  $P$  označuje srážkový úhrn za zvolené srážkové období (zpravidla se jedná o rok) (Hůnová a Janoušková 2004).

Mokrý depozice se řadí mezi tzv. epizodické děje. V ČR spadne za rok cca 60 l srážek na 1 m<sup>2</sup> a 1 l dešťové vody obsahuje asi 10 g rozpuštěných látek, kdy se takto transportují nejčastěji biogenní prvky (C, S, N, Ca) a kovy (K, Mg, Si, Al, Fe) (Moldan 1992). Na území ČR se prostorová deponiční zátěž určuje pomocí koncentrace iontů ve srážkách a díky statistiky ročních srážkových úhrnů, které každý rok vytváří ČHMÚ díky údajům získaných ze 750 srážkoměrných stanic (Vysoudil 2002).

Srážky se v létě odebírají manuálně pomocí nálevek a zimním obdobím se k odběru používají polyethylenová vědra s pokličkami, které se v případě deště či sněhu odkrývají anebo je možné využít automatická zařízení jako např. pluviokolektor. Jedná se o zařízení, které se otevírá v období deště, jinak je zakryto víčkem, které se automaticky odklopí, jakmile na něj dopadnou dešťové nebo sněhové srážky (Moldan 1992).

Dalším typem odběru vzorku vertikální depozice je metoda „throughfall“, díky které je možné nejlépe odhadnout celkové množství atmosférické depozice. V této metodě jsou odběrové nádoby schované pod hustým porostem po dobu jednoho měsíce. Do odběrových nádob se dostává, jak mokrá depozice, tak i suchá ze vzrostlých korun stromů. Nejčastěji je využívána pro zjišťování bilance látkového oběhu v menších povodích. Metoda je oblíbená, protože je jednoduchá a zároveň poměrně levná (Hůnová 2009). Mezi další zařízení a metody, které se využívají pro odběr vertikálních srážek, patří metoda wet-only, která využívá pluviokolektor a metoda, při níž je zařízení otevřeno po celou dobu expozičního období (Zapletal 1997).

Po odběru vzorků dochází k podrobnému zkoumání a chemické analýze. Během tohoto rozboru se zkoumá vliv meteorologických jevů, působení času, rozložení reliéfu a mnohých jiných. U zvolených iontů jako jsou např.:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  se po provedení všech chemických analýz zkoumá jejich vliv na složky ekosystému (Vysoudil 2002).

Jak již bylo uvedeno výše, nedílnou součástí mokré depozice je depozice horizontální. V oblastech s vyšší nadmořskou výškou je horizontální depozice podstatně více rozšířená než depozice vertikální, a to zejména z důvodu usazování atmosférických srážek. Bylo zjištěno, že ve výškách nad 800 m. n. m. dochází k tomu, že mlha dodává do celkového vstupu depozice do lesních půd více než znečišťující látky (Prošková a Hůnová 2006). Horizontální srážky obsahují podstatně větší množství minerálních látek, a to kvůli menšímu obsahu vody v kapkách. Navíc horizontální srážky se i delší dobu drží na zemském povrchu (Hůnová 2009). I z tohoto důvodu je výpočet atmosférické depozice těžší, protože stanovit úhrn těchto srážek je nesnadné. Nicméně bylo zjištěno, že koncentrace znečišťujících látek v horizontálních srážkách jsou podstatně větší než ve srážkách vertikálních (Vysoudil 2002).

### **2.1.2.2 Suchá depozice**

Suchá depozice je proces, kdy dochází k transportu pevných látek z atmosféry na zemský povrch. Tyto látky pak mohou ulpívat na povrchu rostlin, anebo se dostat do půdy. Suchá depozice se vyskytuje i během srážek a na rozdíl od depozice mokré probíhá neustále, zato však pomaleji (Möller 2010). Součástí jsou také procesy absorpce plynů a zároveň dochází k depozici aerosolových částic. Navíc je suchá depozice tvořena zejména prašným tuhým spadem, což jsou částice větší než 20  $\mu\text{m}$  (Moldan 2015). Samotný pojem suchá depozice popisuje pouze mechanismus transportu pevných látek směrem k povrchu, nevysvětluje povahu přenosu látek přímo do půdy (Pitts 2000).



Největší část z celkové depozice má suchá depozice v průmyslově rozvinutých oblastech a velkých městech. Naopak mokrá depozice má větší podíl v čistém prostředí jako jsou například horské oblasti. K povrchu země se plyny a malé částice znečišťujících látek dostávají na rozdíl od velkých částí pomocí mechanismu turbulentní difuze. U velkých částí hraje nejdůležitější roli proces sedimentace. Látky se poté zachytávají na povrchu kvůli řadě mechanismů, které závisí na konkrétním druhu zemského povrchu (Závodský 1985).

Suchou depozici lze charakterizovat pomocí depoziční rychlosti  $V_g$ . Čistý tok znečišťujících látek ( $F$ ) směrem k povrchu je úměrný koncentraci látek ve vzduchu  $[S]$  v určité výšce  $z$ . Tokem látek jsou myšlené deponované částice vzhledem k území za jednotku času. Depoziční rychlost je pak přímo úměrná konstantě vztahující se k toku a koncentraci látek.

$$V_g = - F/[S]$$

Ze zvyku je depoziční rychlost kladné číslo, tok znečišťujících látek směrem k povrchu země je pak bráno jako záporné číslo.

Depoziční rychlost je také často spojována s rezistencí  $r$ .

$$V_g = 1/r$$

Rezistence je obvykle brána jako součet rezistence povrchu, rezistence mezní vrstvy a rezistence plynné fáze (Pitts 2000).

U suché depozice se dá nejlépe a nejjednodušeji změřit ten typ depozice, který souvisí se spadem suchých částic a která se dá změřit pomocí přístrojů, které modelují podmínky panující na zemském povrchu. Tyto přístroje však musí být ochráněny před působením mokré depozice (Moldan 1985).

Při zjišťování toku znečišťujících látek lze také použít výsledky měření mikrometeorologických parametrů a výškového koncentračního gradientu. Tato přímá metoda není v praxi příliš využívána zejména proto, že jako ostatní přímé metody závisí na mikrometeorologických podmínkách daného místa odběru a na vlastnostech povrchu půdy (Šantroch 1985).

Podrobnější výzkum suché depozice je nezbytný i pro ekologii. Suchá depozice představuje důležitý poměr v látkové bilanci toků mezi atmosférou a ekosystémy, ale v současné době ji nejsme schopni přesněji stanovit (Závodský 1985).

### 2.1.2.3 Kyselá depozice

Kyselá depozice je jinak nazývaná jako kyselý déšť. Jedná se o globální problém, který vzniká z důvodu působení mokré depozice. V přírodě jsou znečišťující látky obsažené buď jako plyny, nebo jako pevné částice, které jsou součástí suché depozice. Pojmem kyselý déšť se pak rozumí součet těchto dvou depozic (Braniš et al. 2009).

Kyselost srážek spočívá v přebytku vodíkového kationtu  $H^+$  ve vodních zdrojích. Kyselost můžeme měřit podle stupnice pH, kde hodnota blízká nule je nejvíce kyselá, hodnota je 7 neutrální a hodnota 14 nejvíce zásaditá. Hodnotu pH lze také získat výpočtem, a to pomocí vzorce:

$$pH = -\log(c(H_3O^+))$$

Mechanismus kyselé depozice spočívá v atmosférických procesech, při kterých jsou z ovzduší eliminovány kyselé složky, které se uplatňují jako silná oxidační činidla a které v atmosféře vznikají jako produkty různých atmosférických reakcí (Hůnová 2009).

V atmosféře dochází ke vzniku kyselých látek přirozeně, například  $CO_2$  ve vodě, nebo obvykle se vyskytující oxidace síry a dusíku. Přirozená kyselost srážek je naměřena jako pH 5,6, což je ideální hodnota pro čistou vodu v rovnováze s koncentrací  $CO_2$  v atmosféře. Nicméně přítomnost dalších přirozeně se vyskytujících látek jako jsou  $SO_2$ , amoniak, organické látky a prachové částice mohou zvýšit pH na hodnotu 3,5 – 5. Za kyselé deště jsou pak považovány srážky mající hodnotu pH nižší než 4,5. Více než polovina kyselých srážek však vzniká kvůli látkám, které se dostaly do atmosféry lidskou činností (National research council 1983).

Kyselá depozice je podnícena přítomností kyselin, které se v atmosféře vytváří z oxidů dusíku a síry a dalších látek, které se do ovzduší dostaly emisemi. Kyselé srážky kromě sloučenin dusíku a síry zahrnují další znečišťující látky, mezi nimiž jsou například organické sloučeniny, těžké kovy,  $H_2O_2$  a v neposlední řadě také sloučeniny čtyřmocné síry. (ÚVTIZ 1986).

Z  $SO_2$ , NO a  $NO_2$ , které se do atmosféry dostaly antropogenní činností v atmosféře pomocí chemických a fotochemických reakcí, vzniká kyselina sírová a kyselina dusičná. Tyto kyseliny jsou hlavním zdrojem kyselosti dešťů. Spolu s nimi na zemský povrch dopadají i jejich solné deriváty. Mezi nejdůležitější soli patří síran a dusičnan amonný. Amoniak hraje velkou roli zejména z toho důvodu, že je schopný vázat  $H^+$  a změnit se na amonný iont  $NH_4^+$ . Přítomnost tohoto iontu snižuje kyselost srážek, nicméně po dopadu na zemský povrch vede ke zvýšené kyselosti vod a půdy. K tomuto

ději dochází, protože  $\text{NH}_4^+$  je důležitou látkou pro vývoj řas a rostlin (proces asimilace) a zároveň tento kationt některé bakterie využívají k oxidaci  $\text{NH}_4^+$  na dusičnany (proces nitrifikace). Při asimilaci dochází k odstranění  $\text{NH}_4^+$  vegetací a nahrazení ionty  $\text{H}^+$  v poměru 1:1 a při nitrifikaci dochází k nahrazení dokonce v poměru 1:2 (Hruška 2005).

Kvůli lidské činnosti se stále zvyšuje koncentrace okyselujících látek. Kyselé deště pak negativně ovlivňují ekosystémy, lesní porosty a půdní povrch po celém světě. Dochází ke snižování počtu živočichů a jejich diverzity a zároveň jsou poškozovány jedinečné přírodní útvary (EEA 1998).

### **2.1.3 Faktory ovlivňující atmosférickou depozici**

#### **2.1.3.1 Zdroje znečištění**

Jedna z definic znečištění je, že se jedná o nežádoucí změnu ve fyzikálním, chemickém nebo biologickém charakteru ovzduší (Nábělková a Nekovářová 2010). V prostředí, ve kterém žijeme, je čistý vzduch pouze ideálním pojmem. Vzduch totiž vždy obsahuje prach, plynné a popřípadě i kapalné znečišťující látky (Holoubek a Komárek 1982). Mezi primární zdroje znečištění patří všechny typy depozice, doprava, průmysl a také nahromaděný odpad (Novotny a Chesters 1981).

Znečišťující látky jsou v ovzduší transportovány od zdrojů k příjemcům a zároveň v ovzduší dochází k transformaci látek na jiné látky. Vliv znečištění ovzduší na lidské zdraví, půdu, faunu a flóru závisí na koncentraci znečišťujících látek v dolních vrstvách atmosféry (Hemerka a Vybíral 2010). V zemích s vyspělým průmyslem patří mezi nejrozšířenější zdroje znečištění: CO, oxidy dusíku,  $\text{SO}_2$ , vodní pára a těžké organické látky (Virtanen a Hämeoski 1989).

Znečišťující látky mohou být přirozeného nebo antropogenního původu. Ochrana životního prostředí se zabývá zejména antropogenními zdroji, protože se jedná o produkty lidské činnosti. Také je můžeme rozdělit podle časového horizontu na zdroje okamžité a kontinuální. Dále se dají znečišťující látky rozdělit z prostorového hlediska na objemové, plošné, liniové a bodové. Znečištění pak může mít globální, regionální nebo lokální rozsah (Nábělková a Nekovářová 2010). Z přirozených zdrojů tvoří znečišťující plyny a částice pouze malou část atmosféry. Mezi přírodní zdroje řadíme například sopečnou činnost, půdní a prachové částice, částice organického původu (pyl, výtrusy, bakterie, semínka rostlin) a také kosmický prach proniklý do ovzduší Země.

Spolu s přirozenými zdroji se v atmosféře vyskytují látky, které mají antropogenní původ. Do atmosféry se dostávají jako produkty činnosti člověka. Tyto látky se vyskytují ve všech třech skupenstvích (Bednář, 1989). Mezi nejdůležitější antropogenní zdroje patří zdroje související s průmyslovou činností, dopravou a zemědělskou výrobou (Hůnová a Janoušková 2004).

### **2.1.3.2 Emise**

Emise označují vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do životního prostředí. Všechna moderní průmyslová činnost souvisí s vypouštěním znečišťujících látek do atmosféry. Největším zdrojem emisí je spalování. Jedná se o primární zdroj emisí SO<sub>2</sub> a oxidů dusíku (Virtanen a Hämeoski 1999). V širším pojetí je součástí pojmu emise celá řada činností, které znečišťují planetu. V užším pojetí se jedná o vypouštění látek tuhého, kapalného nebo plynného skupenství z primárního zdroje do atmosféry. Tyto vypouštěné látky negativně ovlivňují životní prostředí (Holoubek a Komárek 1982).

Do primárního znečišťování řadíme všechnu činnost související se spalováním přírodních zdrojů a výrobou energie. A to hlavně z důvodů, že tyto látky se dostávají přímo do ovzduší. Sekundární znečišťování je také další pojmenování pro chemismus atmosféry. Zařazujeme sem chemické reakce, jako jsou oxidace, změny skupenství a fotochemické reakce (Kurfürst 1982).

### **2.1.3.3 Imise**

Imise je znečištění ovzduší vyjádřené hmotnostní koncentrací znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek. Při procesu imise dochází k prostorovému rozptylu od původních zdrojů do okolí, a přitom dochází k fyzikálním a chemickým změnám (Vysoudil 2002). Imise úzce souvisí s depozicí, protože atmosférické imise jsou prostřednictvím depozice přenášeny do dalších složek prostředí (Braniš et al. 2009).

Přítomnost imisních látek v ovzduší určuje míru znečištění. Imise znečišťujících látek v dolních vrstvách atmosféry, nejbliže povrchu země, se dostávají v menší či větší míře do půdy, vody nebo do organismů a označují se jako depozice (Jonáš 1985).

Emise se stává imisí až po přenosu a fyzikálně-chemických změnách podmíněných fyzikálně-chemickými reakcemi, do kterých látky v atmosféře vstupují. Koncentrace imise je dána v mg/m<sup>3</sup> nebo v µg/m<sup>3</sup> (Braniš et al. 2009).

#### 2.1.4 Depozice dusíku

V atmosféře zaujímá dusík 78 %. Molekula dusíku je stálá a má pevnou kovalentní trojnou vazbu. Díky této vazbě je molekulární dusík velice stabilní a má nízkou reakční schopnost. Oxidační číslo dusíku ve sloučeninách dosahuje hodnot od – III do V, které má v oxidech nebo dusičnanech (Braniš et al. 2009). Na rozdíl od elementárního dusíku jsou jeho sloučeniny chemicky reaktivní. Mezi nejdůležitější sloučeniny patří:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{HNO}_3$  a  $\text{NH}_3$ .

Látky  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$  se souhrnně označují zkratkou  $\text{NO}_x$  a nazývají se oxidy dusíku. Pro chemismus atmosféry jsou velmi podstatné. Z lidské činnosti pochází většina objemu těchto látek v atmosféře, z čehož 45 % pochází z dopravy, cca 35 % z výroby elektřiny a zbylé koncentrace zastupuje průmysl (Lazaridis 2011). Hlavním zdrojem emisí těchto látek je tedy jejich vypouštění látek při vysokoteplotních spalovacích procesech při výrobě energie. Dalším zdrojem může být také používání dusíkatých hnojiv, popřípadě také blesky či požáry (Hůnová 2016).

Kyselina dusičitá a její soli způsobují kyselou depozici. Tato kyselina vzniká z oxidů dusíku chemickými reakcemi. Nejdůležitější soli vznikající z kyseliny dusičité je dusičnan amonný ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Dusík je obvykle součástí mokré i suché depozice. Množství oxidů dusíku je v ovzduší zjišťováno na ochranu vegetace a ekosystémů. Imisní limity jsou stanoveny z důvodu ochrany zdraví na  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ČHMÚ 2022).

##### 2.1.4.1 Oxid dusný

Jednou z nejobvyklejších sloučenin dusíku je  $\text{N}_2\text{O}$ . Jedná se o bezbarvý plyn. 97 % hmotnosti dusíkatých látek tvoří právě oxid dusný, který je velmi stálý a netoxický. Zdrojem tohoto oxidu je denitrifikační mikrobiální proces, který probíhá v půdě či vodním prostředí nebo také emise z přírodních zdrojů (Braniš et al. 2009). Zemské klima oxid dusný ovlivňuje hlavně proto, že má velkou tepelnou kapacitu a po dlouhou dobu zůstává v atmosféře, kde se účastní dalších chemických reakcí (Lazaridis 2011).

##### 2.1.4.2 Oxidy dusíku

Oxidy dusíku se rozumí suma oxidů dusnatého a dusičitého. Tyto oxidy se vyhodnocují dohromady, protože oxid dusnatý je reaktivní, nestálý a v atmosféře se přeměňuje na oxid dusičitý. Do této skupiny můžeme také zařadit  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  a  $\text{N}_2\text{O}_5$  (IRZ 2003).

Důležitou roli v atmosféře mají oxidy dusíku při tvorbě fotochemického ozonu a vzniku dalších oxidů (Fowler, et al. 2013).

Zdroje oxidů dusíku jsou hlavně antropogenního původu. Tyto oxidy jsou jedny z největších a nejvýznamnějších zdrojů nového dusíku na Zemi. Pokud by nebylo antropogenního vlivu, tak by jediným zdrojem oxidů dusíku byly přírodní zdroje (IPPC 2014). Mezi tyto zdroje patří například oxidace vzdušného dusíku při elektrických výbojích vznikajících v atmosféře (blesk), anebo biochemické procesy, které probíhají v půdě. Primárním antropogenním zdrojem jsou hlavně spalovací motory a průmysl, u kterého dochází k úniku při výrobních procesech. (IRZ 2003).

### 2.1.4.3 Chemismus

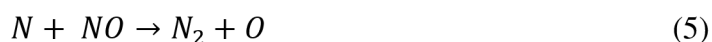
Molekuly dusíku se v ovzduší při vysokých teplotách ( $T > 1000$  °C) mění na NO. Tato reakce probíhá během bouřek s výskytem blesků a také během průmyslového spalování uhlí. Kvůli vysoké disociační energii je iniciací tepelný rozklad kyslíku s následující reakcí atomu kyslíku s  $N_2$  (1,2).



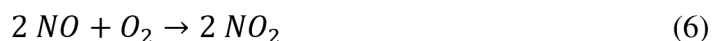
V malém procentu dochází také ke vzniku  $N_2O$ , a to oxidací dusíku (3,4).



V poslední fázi reaguje dusík s oxidem dusnatým za vzniku dusíku a kyslíku (5) (Möller 2010).

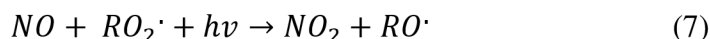


Oxid dusnatý reaguje s kyslíkem za vzniku  $NO_2$  (6). Pro rychlost této rovnice je charakteristické, že čím větší je počáteční koncentrace NO, tím rychlejší je tato reakce (Beneš et Kupková 2004).

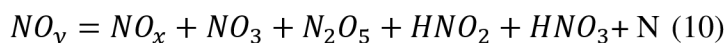


Na reakce  $NO_x$  má velký vliv ultrafialové záření. Při vysokém UV a zároveň při velké koncentraci radikálů uhlovodíkového charakteru reaguje NO a mění se na  $NO_2$  (7). U této reakce dochází k využití peroxyradikálu ( $RO_2\cdot$ ). Pro oxid dusičitý je charakteristická schopnost pohltit ultrafialové záření, které je vyzařováno během dne

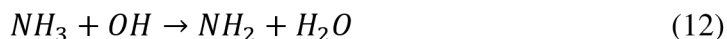
(8). Při této reakci dochází k rozkladu oxidu dusičitého na oxid dusnatý a atom kyslíku (Horbaj 1997).



Je vhodné rozlišovat mezi skupinami oxidů dusíků. Nejvíce *in situ* analýz je založeno na chemiluminescenčním měření součtu NO a NO<sub>2</sub>. Pouze použitím dvoukanálové techniky je možné detekovat NO a NO<sub>2</sub>, kde rozdílem je interpretace detekce NO<sub>2</sub> (9,10). NO<sub>y</sub> reprezentuje součet všech sloučenin dusíku s výjimkou amoniaku, aminů, N<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub> (Möller 2010).

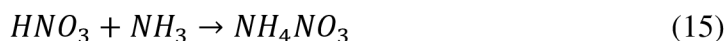


Fotodisociací amoniaku dochází k jeho rozkladu za vzniku amino radikálu (NH<sub>2</sub>) (11). Jediná reakce plynné fáze amoniaku je s hydroxylovým radikálem, kdy vzniká amino radikál a voda (12) (Möller 2010).



Samotná oxidace amoniaku je zanedbatelná v porovnání s hlavním osudem amoniaku v atmosféře, depozicí a tvorbou nových látek (Möller 2010).

Kyselina dusičná vzniká v atmosféře postupnou oxidací oxidů dusíku, které vstupují do reakcí s aerosoly za vzniku solí kyseliny dusičné (13) (Loučka 2014). HNO<sub>3</sub> se účastní, jak suché, tak mokré depozice, kterou jsou z atmosféry eliminovány NO<sub>x</sub>. Tato reakce je vázána na hydroxylový radikál, kdy reakce probíhá ve dne (14) a v noci probíhá reakce ve chvíli, kdy vznikne N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (13) (Hůnová 2016). HNO<sub>3</sub> přispívá k tvorbě kyselé depozice díky své reakci s plynným amoniakem, kdy dochází k vzniku dusičnanu amonného (15) (Hruška et Kopáček 2009).



### 2.1.5 Depozice síry

Síra patří mezi značně se vyskytující prvek v biomase. Vlivem člověka je cyklus síry výrazně narušen v globálním měřítku (Moldan 2018).

V atmosféře můžeme najít síru ve všech fázích, v plynné, pevné a kapalné, a to ve stopové koncentraci. Oxidační číslo síry v atmosféře dosahuje hodnot II, IV a VI. Největší podíl má síra ve formě síranového aniontu ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), který se vyskytuje v plynném aerosolu, popřípadě ve formě kapalného aerosolu kyseliny sírové (Braniš et al. 2009).

Sloučeniny síry způsobují kyselé deště a jsou součástí mokré i suché depozice, při které dochází k ulpění aerosolů síry na povrchu půdy a vegetace. Aerosoly síry se při prvních deštích se smývají a pronikají do půdy. Kyseliny se do srážek dostávají jednoduchou cestou. Největším problémem je kyselina sírová. Ta se do atmosféry dostává z antropogenní činnosti a v ní se pomocí chemických a fotochemických reakcí přeměňuje z  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$ . Spolu s kyselinou sírovou dopadají na zemský povrch i její soli, a to zejména síran amonný ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) (Hruška et Kopáček 2009).

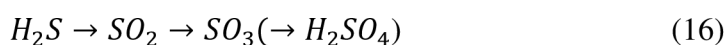
#### 2.1.5.1 Oxid siřičitý

$\text{SO}_2$  je bezbarvý plyn mající výrazný zápach. Při vdechnutí je velmi toxický a může způsobit podráždění očí a sliznice. Používá se v chemickém průmyslu a papírenství. Do ovzduší se dostává především důsledkem spalování uhlí v tepelných elektrárnách. Oxid siřičitý se do atmosféry dostává i přírodní cestou, a to v případě sopečných erupcí (NLM 2022)

Kvůli ochraně ekosystému a vegetačního pokryvu byl v zákoně č.309/1991 Sb. stanoven limit emisí  $\text{SO}_2$  na  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kvůli ochraně zdraví je stanoven limit  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kdy měření probíhá každou hodinu a hodnoty jsou poté zprůměrovány nebo se naměřují hodnoty v intervalu 24 hodin, kde je imisní limit  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Měření emisí má na starost Český hydrometeorologický ústav, který každý rok vydává celkovou zprávu o atmosférické depozici na území ČR (ČHMÚ 2022).

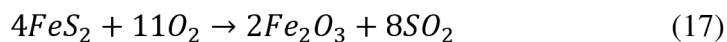
#### 2.1.5.2 Chemismus

Chemie síry je jednodušší než chemie dusíku ze dvou důvodů. Množství stabilních prvků v ovzduší je menší stejně tak, jako a interakcí v atmosféře. Skoro všechny další sloučeniny mohou vznikat postupnou oxidací sulfanu (16) (Möller 2010)

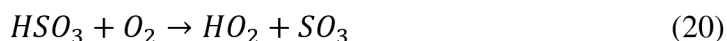
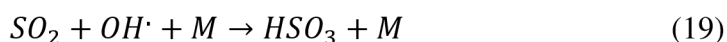




Dominujícími prvky jsou oxid siřičitý, oxid sírový, kyselina sírová a kyselina siřičitá. Kyselina sírová nejčastěji vzniká oxidací  $SO_2$  (20,21), který se do atmosféry dostal kvůli lidské činnosti, nejčastěji spalováním uhlí, které obsahuje z jedné půlky síru ve formě minerálu (pyrit) a z druhé části organickou síru (17,18) (Loučka 2014, Hewitt 2020).



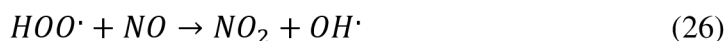
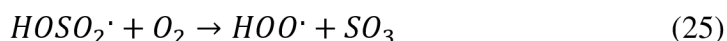
Do oxidace spolu s oxidem siřičitým vstupuje OH radikál, který reakci iniciuje (19) (Hewitt 2020).



Kyselina sírová může také vznikat reakcí oxidu sírového s vodou (23).  $SO_3$  v atmosféře vzniká oxidací  $SO_2$  (22). Tato reakce je velmi pomalá, aby proběhla, je nutné použít katalyzátor, jinak v atmosféře téměř neprobíhá. Taková situace nastává například při spalování fosilních paliv, ve spalinách atd. (Víden 2005).



Nejvýznamnější reakcí oxidu siřičitého v atmosféře je ta s hydroxylovým radikálem, kdy dochází ke vzniku radikálu  $HOSO_2\cdot$  (24). Dalšími reakcemi tohoto radikálu se vytvoří kyselina sírová (25,26,27). Reaktivita této soustavy je dána reakcí oxidu siřičitého s hydroxylovými radikály. Oxid siřičitý zároveň vstřebává UV záření, při kterém dochází k vytvoření excitované molekuly. Tyto molekuly se mohou dále oxidovat. K této reakci v atmosféře téměř vůbec nedochází, protože inertní látky, mezi které řadíme  $N_2$ ,  $O_2$  a  $H_2O$ , přebírají od excitovaných molekul bez jakékoliv chemické změny část energie, a proto k fotooxidaci  $SO_2$  v atmosféře dochází velmi zřídka (Víden 2005).





Sirovodík ( $H_2S$ ) v atmosféře reaguje s hydroxylovým radikálem. Tato reakce probíhá rychle, obvykle 2-3 dny a dochází při ní ke vzniku vody a hydrogensulfidů (28) (Möller 2010).



### 2.1.6 Ozon

Ozon je tříatomová forma molekul kyslíku a existuje ve všech třech skupenstvích. Za normálních podmínek se jedná o bezbarvý plyn s pronikavým zápachem. V malé koncentraci do 0,04 ppm může způsobovat příjemný pocit (Batakliet et al. 2014).

Ozon se v atmosféře vyskytuje v troposféře a stratosféře. Troposférický ozon vzniká přímo v atmosféře fotochemickými procesy. V ovzduší zůstává krátkou dobu, patří mezi skleníkové plyny a je jedním z hlavních znečišťovatelů ovzduší (Braníš et al. 2009).

Ozon ve stratosféře vytváří ochrannou vrstvu, která leží ve výšce mezi 10. a 30. kilometrem. Ozonová vrstva primárně pohlcuje UV záření pocházející ze Slunce. Pohlcená energie je převedena na teplo (Hewitt 2020). V každé části roku je koncentrace ozonu v atmosféře odlišná, zároveň se liší i umístěním nad planetou (zejména se zeměpisnou šířkou) (Loučka 2014).

Hodnoty troposférického ozonu se z důvodu ochrany zdraví měří a průměrují v intervalu osmi hodin, kdy je imisní limit  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , anebo probíhá měření v celém kalendářním roku, pro který je stanoven imisní limit  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ČHMÚ 2022).

#### 2.1.6.1 Chemismus

Troposférický ozon vzniká reakcemi oxidů dusíku s těkavými organickými sloučeninami. Rovnovážná koncentrace ozonu je určena reakcemi oxidů dusíku a může být zvyšována reakcemi za přítomnosti hydroxylových a organických peroxy radikálů (29, 30) (Braníš et al. 2009).



Troposférický ozon se termodynamicky rozkládá u zemského povrchu, ke kterému se dostane díky proudění vzduchu v atmosféře (31) (Guicherit et Roemer 2000).



Ozon se v atmosféře rychle rozkládá na kyslík, který reaguje s dalšími látkami, které se v atmosféře nachází (32, 33, 34) (Möller 2010).



Rozpuštěný ozon může opakovaně reagovat s  $O_2^-$ , který je získáván z vodního roztoku  $HO_2$  za vzniku  $O_3^-$ , kdy dochází k rozkladu a následnou reakcí s vodíkovým kationtem ( $H^+$ ), kdy vzniká hydroxylový radikál  $OH$  (35, 36, 37) (Hewitt 2020).



### 2.1.7 Suspendované částice $PM_{10}$ a $PM_{2,5}$

Suspendované částice  $PM_{10}$  jsou částice o průměru menším než 10  $\mu m$ , kdežto suspendované částice  $PM_{2,5}$  mají průměr menší než 2,5  $\mu m$  (EEA 2022). Tyto částice mají mnoho tvarů a mohou být tvořeny stovkami různých chemických látek. Některé jsou emitované přímo ze zdroje jako, jsou stavební místa, prašné cesty, pole, dým a požáry. Těmto zdrojům se říká zdroje primární. Velká část těchto částic se formuje v atmosféře jako výsledek komplexních reakcí sloučenin jako jsou například  $SO_2$  nebo  $NO_x$ , což jsou zdroje sekundární (EPA 2022).

Protože suspendované částice mohou mít negativní vliv na lidské zdraví, probíhá měření jejich emisí. Měření částic  $PM_{10}$  má dva výstupy: 24hodinový průměr, kdy je imisní limit 50  $\mu g/m^3$  a tento limit smí být překročen maximálně 35x za jeden kalendářní rok a roční průměr, který je 40  $\mu g/m^3$ . Tento průměr nesmí být překročen (ČHMÚ 2022). Imisní limit částic  $PM_{2,5}$  byl roku 2020 snížen z 25  $\mu g/m^3$  na 20  $\mu g/m^3$  a tento limit nesmí být překročen (MŽP 2015).

Suspendované částice jsou tvořeny ze směsi jak organických, tak anorganických látek. Částice mající velikost větší než 2,5  $\mu m$  jsou obvykle tvořeny látkami, které se do atmosféry dostávají ze Země. Nejčastěji se jedná o prach jak z průmyslu, tak z prašných cest. Pokud mají částice průměr do 10  $\mu m$ , pak obsahují značné

množství rozptýlených kapalných či pevných látek, které mají zdroj zejména v energetickém a teplárenském průmyslu a méně v přírodních procesech. PM<sub>2,5</sub> jsou složeny hlavně aerosoly, které vznikly kondenzací plyných látek (CHMI Brno 2018).

## **2.1.8 Vliv na lidské zdraví**

### **2.1.8.1 Oxidy dusíku**

Podle světové zdravotnické organizace jsou důkazy, že oxid dusičitý má přímý dopad na lidské zdraví. Toto tvrzení je založeno na opakujících se studiích. V těchto studiích byly zkoumány koncentrace NO<sub>2</sub> a jejich důsledek na hospitalizace s respiračními onemocněními. Zároveň byly použity epidemiologické studie, které popisovaly vztah zvýšeného zdravotního rizika se zvyšující se koncentrací NO<sub>2</sub> (Gowers et al. 2020). Vysoká koncentrace oxidů dusíku prodlužuje a zhoršuje běžné virové infekce a zapříčiňuje těžké poškození plic (Spannhake et al. 2002).

Oxidy dusíky mají vliv na lidské zdraví, protože NO<sub>x</sub> mají schopnost zhoršovat přenos kyslíku z plic do dalších částí lidského těla, protože dochází k navázání na hemoglobin (IRZ 2003).

### **2.1.8.2 Oxid siřičitý**

Oxid siřičitý negativně ovlivňuje dýchací soustavu, zejména funkce plic, může způsobovat podráždění očí a dýchacího traktu, čímž dochází ke zvýšenému riziku infekce dýchacích cest jako je kašel a zahlenění, anebo chronické nemoci typu astma (Queensland Government 2022).

Riziko také zvyšuje těžká fyzická aktivita. Mezi symptomy patří bolest při hlubokém nádechu, kašláním, podráždění krku a obtíže při nádechu. Obzvláště citlivým jedincům může zhoršovat již existující srdeční onemocnění. SO<sub>2</sub> může také reagovat s dalšími sloučeninami ve vzduchu a měnit malé částice, které se mohou dostat do plic a způsobovat zdravotní potíže (NPS 2022).

### **2.1.8.3 Ozon**

V závislosti na množství vdechnutí může ozon způsobovat bolestivý kašel, škrábání v krku, ztěžovat dýchání. Také může dojít k zanícení a poškození dýchacích cest. Kvůli ozonu jsou plíce náchylnější k infekcím a zároveň může v těle způsobit chronické záněty jako je astma nebo chronická bronchitida (EPA 2022).

Ozónová vrstva pohlcuje UV záření. UV záření má nepříznivý efekt zejména na oči a kůži. Při záření UV jsou pro oči rozpoznána rizika šedého zákalu a pterygia, méně

závažná jsou rizika očního melanomu. Pro kůži je největším rizikem rakovina kůže zahrnující zhoubné i nezhoubné nádory kůže (Norval et al. 2011).

#### **2.1.8.4 Suspendované částice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>**

Suspendované částice se do lidského těla dostávají dýcháním. Částice PM<sub>10</sub> mohou dráždit oči, nos a hrdlo. Částice PM<sub>2,5</sub> jsou nebezpečnější, protože se kvůli své velikosti mohou dostat do nejzazších částí plic nebo dokonce i do krve (CDC 2022).

Několik studií prokázalo, že tyto částice mohou způsobovat vrozené srdeční vady, riziko předčasného porodu, mutagenitu a poškození DNA, riziko vzniku rakoviny a zánětlivá onemocnění. Také se ukázalo, že vlivem působení těchto PM částic se zkracuje doba života o několik let (Mukherjee 2017).

## **2.2 Legislativa**

Ochraně ovzduší je v legislativě ČR věnována značná pozornost na národní, evropské i mezinárodní úrovni z důvodu působení znečišťujících látek na lidské zdraví.

Ochranou ovzduší je myšleno jak snižování již existujícího znečištění, tak snaha o zabránění vytváření dalšího znečištění, aby došlo ke snížení zátěže poškozující lidské zdraví, rostliny, živočichy a ekosystémy (MŽP 2022).

V ČR je základní právní normou, která upravuje hodnocení a řízení kvality ovzduší a případný provoz zdrojů znečišťování, zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Tomuto zákonu předcházela zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů, který byl zrušen k 1.9.2012. Zákon 201/2012 Sb. bude od 1.7.2023 změněn novelou zákona 284/2021 Sb., Zákonem, kterým se změní některé zákony v souvislosti s přijetím stavebního zákona. (MŽP 2022).

Dalším důležitým zákonem v oblasti ochrany ovzduší je zejména zákon č. 73/2012 Sb., zákon o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech spolu s vyhláškou č. 257/2012 Sb., Vyhláška o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech. Tento zákon spolu s vyhláškou byl změněn zákonem č. 89/2017 Sb.

Ochranu ovzduší řeší i předpisy Evropská unie svými směrnicemi a nařízeními Evropského parlamentu a Rady. Jednou z nich je i směrnice č. 2013/0442, o omezení emisí některých znečišťujících látek do ovzduší ze středních spalovacích zařízení v platném znění. Tato směrnice je významná z důvodu určení limitů pro emise SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a pro částice ze spalovacích zařízení. Dalšími směrnicemi jsou rámcová směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu, která byla 28. 5.

2015 pozměněna směrnicí 2015/1480/EU a směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích. Nařízení Evropského parlamentu zahrnující ochranu ovzduší jsou nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1005/2009 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu (pozměněno 19.4.2017) a nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 517/2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení (ES) č. 842/2006. V rámci tohoto nařízení přijala Komise Plán přechodu na nízkouhlíkové hospodářství do roku 2050 a zároveň se zavázala snížit emise skleníkových plynů o 80–95 % a omezit nárůst teploty o 2 °C, aby se zabránilo dopadům souvisejících se změnou klimatu (EUR- Lex 2022). Vzhledem k tomu, že je ČR členským státem EU musí legislativní dokumenty EU pomocí moci zákonodárné implementovat do zákonů ČR (MŽP 2022).

V rámci mezinárodní spolupráce v otázce ochrany ovzduší bylo vytvořeno mnoho mezinárodních smluv. ČR ratifikovala několik mezinárodních smluv. V roce 1979 byla sjednána Úmluva o dálkovém znečišťování, která byla podepsána 22. 3. 1984. ČR ratifikovala tuto úmluvu při svém vzniku 1. 1. 1993. Z roku 1985 pochází Vídeňská úmluva na ochranu ozonové vrstvy, ke které se ČR připojila svým podpisem 1. 10. 1993 a z roku 1987 je Montrealský protokol o látkách poškozujících ozonovou vrstvu Země, který pro ČR platí od 30. 12. 1990. Od 21. 3. 1994 je v platnosti Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, která byla ratifikována 7. 10. 1993. S touto úmluvou souvisí Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN (rok 1997) o změně klimatu a Pařížská dohoda z roku 2015. Rámcová úmluva tvoří právní podklad pro snížení emisí skleníkových plynů na úroveň, která nebyla z hlediska vzájemné interakce s klimatickým systémem nebezpečná pro další vývoj. V rámci programu OSN pro životní prostředí vstoupila 17. 5. 2004 v platnost Stockholmská úmluva o persistentních organických polutantech (MŽP 2022).

## 3 Metodika

V praktické části je nejprve popsáno sledované území pro lepší pochopení vnitřních vlivů, které na znečišťující látky působí. Dále jsou zpracována data atmosférické depozice se zaměřením na mokrou depozici iontů  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ .

### 3.1 Popis sledovaného území

Sledovaným územím je hlavní město Praha. Jedná se o největší české město, které leží zhruba ve středu České republiky a zároveň je z geografického pohledu i středem Evropy.

Praha se nachází ve středu České vysočiny v oblasti Poberounské soustavy. Malá část na severovýchodě tvoří součást České tabule. Významným krajinným prvkem je řeka Vltava, v jejímž údolí se nachází historické centrum města a která svou erozní a akumulací činností ovlivnila povrch Prahy. Nejčlenitější reliéf je na levém břehu Vltavy (ČSÚ 2023), kde můžeme najít velké množství protáhlých výběžků, které jsou často zakončeny prudkými svahy. Tyto svahy jsou kontrastem pro větší část území, kde je reliéf plochý až mírně zvlněný (ÚAPP 2008).

#### 3.1.1 Doprava a průmysl

Vzhledem k poloze Prahy a jejího významu jako hlavního města republiky a středu Evropy je vytvořena rozsáhlá dopravní síť. Ta je využívána při dojížděcí za prací a také za kulturou či rekreací (ČSÚ 2023).

Praha patří mezi významné místo, kde dochází ke křížení důležitých tranzitních cest ve směru západ-východ a sever-jih a díky tomu patří mezi největší dopravní uzel, který mezi sebou spojuje jednotlivé kraje (ČSÚ 2023).

Prahou prochází tři dálniční sítě: D1, která spojuje Prahu s Brnem a Bratislavou, rozestavěná D5 vedoucí do Norimberku a D8 ve směru na Berlín. Do budoucna se plánuje výstavba dalších dálničních tras. Na dálniční síť jsou napojeny rychlostní komunikace. V hlavním městě je významný železniční koridor a díky přítomnosti Vltavy je zde také důležitá vodní nákladní doprava. V Praze najdeme tři přístavy: Holešovice, Smíchov a Radotín. Letecká doprava je realizována hlavně na letišti Praha – Ruzyně. Probíhá zde jak osobní, tak i nákladní letecká doprava.

Praha má dobře fungující síť městské hromadné dopravy, kde hraje důležitou roli metro a tramvajové sítě. Z důvodu odlehčení dopravní infrastruktury v centru Prahy

se klade důraz na zvýšení atraktivity městské hromadné dopravy, která je provozována až za hranice hlavního města (ČSÚ 2023).

Průmysl v Praze má menší význam než v jiných částech republiky. Nejdůležitějším odvětvím je zde zpracovatelský průmysl a jeho význam stále roste. Dále zde roste objem stavebních prací a z tohoto důvodu se zvyšuje počet velkých stavebních firem (ČSÚ 2023).

### **3.1.2 Klimatologické podmínky**

Podle Quittovy klasifikace klimatu se hlavní město rozkládá na rozhraní teplé a mírně teplé klimatické oblasti (Quitt 1971). Tato klasifikace vychází z dat z let 1901–1950, a proto odpovídá spíše klimatu v minulosti.

Průměrné roční teploty se za posledních téměř 60 let v Praze pohybovaly od 8,5 °C na peripetiích a 10,5 °C ve středu města. Průměrných letních dnů bylo na území města mezi 38–57. Naopak mrazových dní bylo na okrajích města 104 a v centru 64. Teplota na okraji města byla měřena na měřicí stanici v Ruzyni. O měření teploty v centru města se stará stanice v Klementinu (ČHMÚ 2018).

V letech 1961–2018 byl průměrný roční srážkový úhrn 515 mm. Ve sledovaných letech je možné vidět velké meziroční kolísání, kdy například rok 2002 byl srážkově mimořádně bohatý a došlo k extrémním povodním a následující rok 2003 se naopak ukázal jako jeden z nejsušších v historii (ÚAP 2022).

Velké rozdíly jak teplot, tak srážkových úhrnů mezi okrajem a středem města je dán výskytem efektu tepelného městského ostrova. Tento efekt je viditelný hlavně v letní polovině roku.

### **3.1.3 Ovzduší**

Kvalita ovzduší v Praze je hodnocena jako špatná a hlavní město je hodnoceno jako nevyhovující, i přestože jsou v posledních letech snahy o zlepšení kvality ovzduší.

Byl zaznamenán výrazný pokles znečištění oxidem siřičitým a dnes již nedochází k překračování daných limitních hodnot. Stejně tak klesá znečištění ovzduší olovem. Naopak limitní hodnoty znečištění oxidy dusíku jsou překračovány zejména ve středu města z důvodu intenzity automobilové dopravy. Rozvoj automobilové dopravy také úzce souvisí s menším nárůstem koncentrace přízemního ozonu. K tomuto nárůstu dochází hlavně v letní části roku. Jednou z nejvýznamnějších znečišťujících látek je poléťavý prach i přesto, že jeho koncentrace dlouhodobě klesá (ČSÚ 2023).

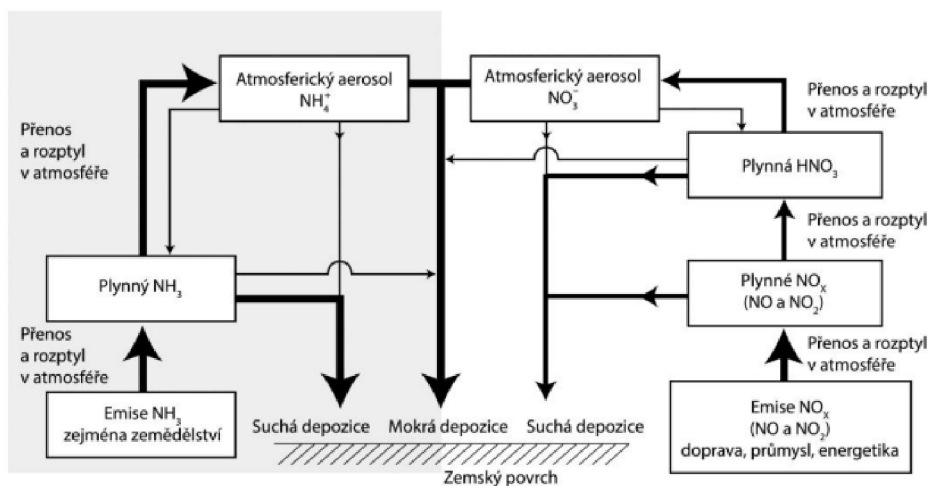


Na kvalitu ovzduší ve sledovaném území má tedy zásadní vliv jeho hustá dopravní síť, vysoká koncentrace populace a v posledních letech také značná stavební činnost. Koncentraci znečišťujících látek ovlivňují i meteorologické a rozptylové podmínky, a to teplotní inverze v zimě a v létě nadnormálně vysoké teploty. Tento jev souvisí se změnou klimatu a také efektem pražského tepelného ostrova. To v budoucnu s velkou pravděpodobností způsobí narůstající četnost, délku, a i intenzitu vln vysokých teplot (ÚAP 2023). Všechny vlivy, které působí na ovzduší a jeho kvalitu souvisí hlavně s antropogenní činností.

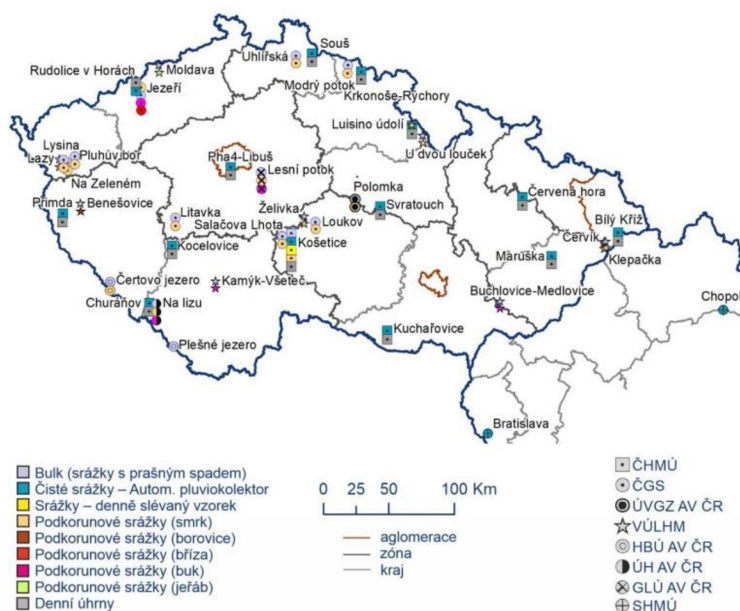
### **3.2 Měření atmosférické depozice**

Velikost vertikální mokré depozice zjišťuje v ČR několik institucí, z nichž nejdůležitější je ČHMÚ. Stanice patřící Českému hydrometeorologickému ústavu měří čisté srážky (wet-only) v týdenním intervalu. V Praze se na vertikální mokrou depozici specializuje pouze 1 měřicí síť z celkových 15, které se v hlavní město nacházejí a to Praha 4 – Libuš. Pro zjištění dusičnanových iontů ze získaných srážek je na stanici Praha 4 - Libuš použita metoda iontové chromatografie. Amonné kationty jsou na této lokalitě analyzovány pomocí spektrofotometrie (ČHMÚ 2021). Obtížněji kvantifikovatelnou složkou mokré depozice je její horizontální složka. Přímé odběry jsou velmi obtížné, a proto se horizontální mokrá depozice měří výjimečně a z tohoto důvodu bývají její hodnoty podhodnocené.

Další částí atmosférické depozice je suchá depozice. Metoda pro její přímé měření neexistuje a velikost této složky se odhaduje za použití různých komplikovaných přístupů. ČHMÚ pro odhad suché depozice používá inferenční metody, kdy se tato složka pro určitou látku počítá jako součin její průměrné imisní koncentrace a relevantní depoziční rychlosti (Vlasáková L., Škáchová H. 2021). Depoziční rychlost pro  $\text{NO}_x$  se používá pro zalesněná území  $0,4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  a pro nezalesněné plochy  $0,1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tyto hodnoty byly stanoveny roku 1995 a od té doby nedošlo k jejich úpravě.



Obrázek 3 - Schéma atmosférické deponice dusíku (Hůnová et al. 2019)



Obrázek 4 - Mapa měřících stanic atmosférické deponice v ČR (ČHMÚ 2020)

### 3.3 Zpracování dat

#### 3.3.1 Atmosférická deponice v roce 2017

Rok 2017 patřil mezi teplotně nadprůměrný. Největší rozdíl teplot se projevil v březnu a dubnu. Tyto měsíce byly oproti předchozím rokům velmi teplé. I léto bylo horké, ale srážky dosahovaly průměrných hodnot. Nepříznivé rozptylové podmínky se projevily výrazně v březnu, v ostatních měsících byly tyto podmínky srovnatelné s průměrem v posledních deseti let. Srážkově patřil rok 2017 mezi normální, na území ČR spadlo 680 mm srážek (ČHMÚ 2017).

Mokr depozice oxidovaných forem dusíku ( $N/NO_3^-$ ) podle zjištění ČHMÚ v tomto roce poklesla, naopak depozice redukovaných forem dusíku ( $N/NH_4^+$ ) oproti loňskému roku vzrostla (viz tabulka č. 1). Největších hodnot dosahovala depozice hlavn v horských oblastech a to, jak mokr slozka, tak i celkov depozice. Such depozice oxidovaných forem dusíku do roku 2002 vznamn klesala a od té doby není v této oblasti znm zdn vrazn trend.

Such slozka depozice primo souvisí s imisními koncentracemi  $NO_x$  v troposfére, nejvyššch hodnoty proto oxidy dusíku dosahují hlavn na území velkých měst a významných komunikací. Největší imise  $NO_x$  pocházejí z dopravy, a proto celkov depozice dusíku dosahuje největších hodnot v blízkosti horských masivů, velkých měst a vytižench komunikací (ČHMÚ 2017).

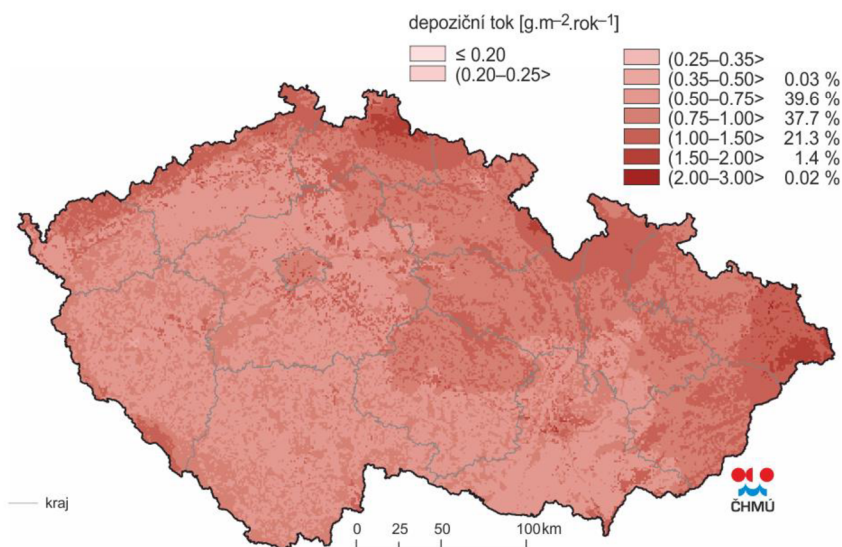
V tabulce č. 2 je vyobrazeno celkov množství atmosférick depozice dusíku na území R v tunách. Lze pozorovat, že největší podíl m mokr slozka atmosférick depozice, kter in 74 % z depozice celkov. Rozložen atmosférick depozice na území R lze pozorovat na obrázku č. 4.

<b>Prmrn hodnoty depozičního toku dusíku v R za rok 2017</b>		
látka	typ depozice	velikost depozice ( $g \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$ )
<b>N (<math>NO_3^-</math>)</b>	mokr	0,263
<b>N (<math>NH_4^+</math>)</b>	mokr	0,367
<b>N (<math>NO_x</math>)</b>	such	0,220
<b>N</b>	celkov	0,850

Tabulka 1 - Depoziční tok dusíku v R za rok 2017

<b>Atmosférick depozice v R v roce 2017 v tunách</b>			
	<b>N(ox)</b>	<b>N(red)</b>	<b>N(ox + red)</b>
<b>mokr depozice</b>	20 760	28 906	49 666
<b>such depozice</b>	17 318		17 318
<b>celkov depozice</b>	38 078	28 906	<b>66 984</b>

Tabulka 2 - Atmosférick depozice dusíku v R za rok 2017



Obrázek 5 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2017 (ČHMÚ 2017)

### 3.3.1.1 Depozice na území Prahy

Stanice Praha 4 – Libuš, která měří a dále vyhodnocuje atmosférické srážky a jejich složení, zjistila, že oproti celorepublikovému průměru se v Praze objevil opačný trend, kdy ve složení srážek převažovaly oxidované formy dusíku ( $\text{N}/\text{NO}_3^-$ ) nad těmi redukovanými. Mokrú depozice dusičnanových aniontů byla tedy více než 2x větší. Zároveň v Praze spadlo 604,3 mm srážek, což je mírně pod republikovým průměrem v daném roce (viz tabulka č. 3).

Suchá depozice dusíku je ovlivněna imisemi oxidu dusičitého a oxidů dusíku. Pro  $\text{NO}_2$  je zákonem určen imisní limit pro ochranu lidského zdraví. Roční imisní limit je  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a hodinový imisní limit u oxidu dusičitého byl stanoven na  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  s povoleným počtem 18 překročení za rok. U oxidů dusíku zákon udává imisní limit  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pouze na ochranu ekosystémů a vegetace. Tato hodnota musí být splněna na tzv. venkovských lokalitách, které se nacházejí v blízkosti chráněných oblastí. Pro aglomerace a větší města se s imisním limitem pro  $\text{NO}_x$  nijak neparuje.

Tabulka č. 4 znázorňuje průměrné roční imisní hodnoty oxidu dusičitého a oxidů dusíku na vybraných měřicích stanicích rozmístěných po celé Praze. Z této tabulky lze vyčíst, že u dvou stanic (Praha 2 – Legerova a Praha 5 – Smíchov) došlo k překročení ročního imisního limitu  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tyto stanice se nacházejí na dopravně exponovaných lokalitách s hustou zástavbou, takže nedochází k větrání a koncentrace znečišťujících látek se zvyšují. Nejmenší koncentrace jak  $\text{NO}_2$ , tak  $\text{NO}_x$  byly zjištěny stanicemi Praha 4 – Libuš, Praha 6 – Břevnov a Praha 6 – Letiště Praha (viz tabulka č. 4). Velikost koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  naměřených v hlavním městě

koresponduje se zjištěním ČHMÚ o celkové suché depozici dusíku na území ČR, kdy největší podíl suché složky atmosférické depozice je ve velkých městech a u významných dopravních koridorů.

Roční mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze za rok 2017			
látka	typ depozice	velikost depozice (mg/m <sup>2</sup> )	srážky (mm)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mokrá	1099	604,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mokrá	440	

Tabulka 3 - Mokrá depozice dusíku v Praze v roce 2017

Průměrné roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) v roce 2017									
	Praha 1 n. Republiky	Praha 2 Legerova	Praha 4 Libuš	Praha 5 Smíchov	Praha 6 Břevnov	Praha 6 Letiště Praha	Praha 8 Karlín	Praha 9 Vysočany	Praha 10 Průmyslová
NO <sub>2</sub>	31,1	48,2	17,5	42,8	23,5	19,9	31,6	35,5	32,4
NO <sub>x</sub>	56	112	24	104	34	29	53	68	71

Tabulka 4 - Roční imisní hodnoty NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v Praze za rok 2017

### 3.3.2 Atmosférická depozice v roce 2018

Rok 2018 patřil mezi silně podprůměrné v oblasti srážek, spadlo 518 mm srážek, což je 78 % dlouhodobého normálu. Díky snížení srážek došlo k poklesu mokré depozice. Zároveň tento rok překonal rok 2016 a stal se nejteplejším od roku 1961. Nejchladnějšími měsíci byly únor a březen. Ve všech ostatních měsících byla teplota buď průměrná, nebo vyšší než průměr. Mimořádně teplé měsíce byly leden, duben, červen a srpen (ČHMÚ 2018).

Pro vyhodnocení atmosférické depozice v roce 2018 byla pro určení mokré složky atmosférické depozice použita data získaná měřením 37 stanicemi, z nichž 14 vlastní Český hydrometeorologický úřad. ČHMÚ provádí měření v týdenním intervalu metodou „wet-only“. Na lokalitách ostatních organizací probíhá měření v měsíčním časovém úseku nebo nepravidelně. Suchá část depozice dusíku je počítána na základě průměrných ročních koncentrací NO<sub>x</sub> a depoziční rychlosti pro NO<sub>x</sub>. Depoziční rychlost se udává 0,4 cm·s<sup>-1</sup> pro území s lesními porosty a 0,1 cm·s<sup>-1</sup> pro bezlesé území. Sečtením těchto dvou složek byly získány hodnoty celkové atmosférické depozice sloučenin dusíku na území ČR

Mokrá depozice jak oxidovaných (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), tak redukovaných forem dusíku (N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se oproti minulému roku snížila, zřejmě v důsledku menšího srážkového úhrnu

(viz tabulka č. 5). Vývoj suché depozice úzce souvisí s imisními koncentracemi  $\text{NO}_x$  v troposféře, proto bylo nejvyšších hodnot dosaženo na území velkých měst a podél silniční sítě. Suchá depozice v roce 2018 dosahovala podobných hodnot jako v roce 2017. Se sledováním vývoje depozice dusíku spolu s depozicí síry je možno pozorovat vývoj poměru těchto prvků v atmosférických srážkách, které mají souvislost s emisemi těchto látek. Od konce 90. let je pozorován mírný nárůst poměru dusičnanů a síranů.

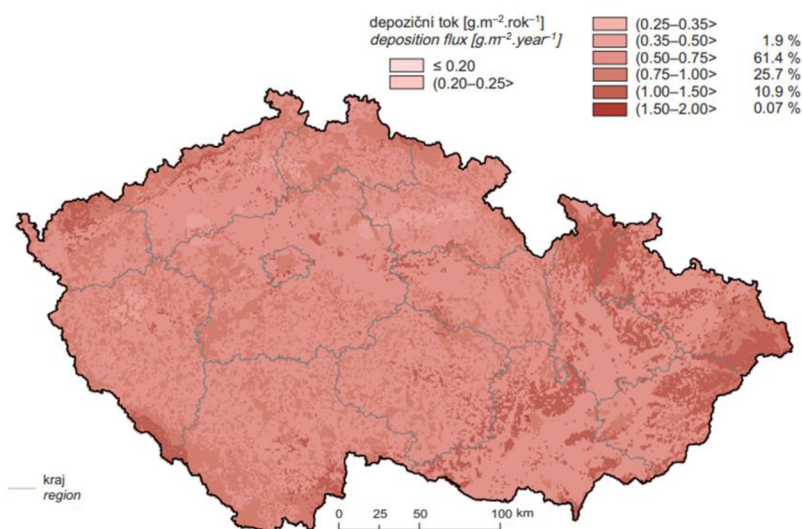
V tabulce č. 5 jsou uvedeny hodnoty depozičního toku za rok 2018. Z této tabulky můžeme vyčíst, že největšího depozičního toku dosahovala mokrá depozice redukovaných forem dusíku ( $\text{N}/\text{NH}_4^+$ ). Mokrá složka oxidovaných forem ( $\text{N}/\text{NO}_3^-$ ) dosahovala jen o něco málo menších hodnot oproti složce suché depozice  $\text{NO}_x$ . Atmosférická depozice dusíku v tunách je uvedena v tabulce č. 6. Oproti loňskému roku se snížil poměr mokré depozice o 5 % na 69 %. Došlo zároveň ke snížení celkové hodnoty depozice o 9 310 t. Na obrázku č. 5 je vidět, že se oproti loňskému roku proměnilo rozložení celkové depozice dusíku, kdy v roce 2017 byla nejvíce koncentrována v oblasti Krkonoš, Jeseníků a Beskyd a v roce 2018 byla depozice nejvýraznější pouze v oblasti Beskyd a Jeseníků.

Průměrné hodnoty depozičního toku dusíku v ČR za rok 2018		
látka	typ depozice	velikost depozice ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ )
$\text{N}(\text{NO}_3^-)$	mokrá	0,204
$\text{N}(\text{NH}_4^+)$	mokrá	0,303
$\text{N}(\text{NO}_x)$	suchá	0,225
<b>N</b>	<b>celková</b>	<b>0,732</b>

Tabulka 5 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2018

Atmosférická depozice v ČR v roce 2018 v tunách			
	<b>N(ox)</b>	<b>N(red)</b>	<b>N(ox + red)</b>
<b>mokrá depozice</b>	16 073	23 892	39 965
<b>suchá depozice</b>	17 709		17 709
<b>celková depozice</b>	33 782	28 892	<b>57 674</b>

Tabulka 6 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2018



Obrázek 6 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2018 (ČHMÚ 2018)

### 3.3.2.1 Depozice na území Prahy

V roce 2018 stanice Praha 4 – Libuš měřila v atmosférických srážkách pouze oxidovanou formu dusíku (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (viz tabulka č. 7), proto nemůžeme porovnat, jak koresponduje mokrá depozice na území Prahy s celorepublikovým průměrem. Depozice oxidovaných forem dusíku (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) byla v tomto roce podstatně menší než v roce 2017. Tato skutečnost má zřejmě přímou souvislost s podprůměrným srážkovým úhrnem, který byl o 38 % menší. Podle tabulky č. 7 lze konstatovat, že roční srážkový úhrn zaznamenaný stanicí na Libuši je výrazně pod úhrnem, který v roce 2018 spadl na území ČR.

Imisní hodnoty NO<sub>x</sub> a NO<sub>2</sub>, které úzce souvisí se suchou složkou depozice dusíku jsou zjišťovány stanicemi rozmístěnými po celém městě. Výrazný nárůst oxidu dusičitého byl měřen v lokalitě Praha 2 – Legerova, kdy jeho koncentrace dosáhla 54,5 μg/m<sup>3</sup>. V této stanici došlo také k nárůstu NO<sub>x</sub> o 9 % v porovnání s minulým rokem (viz tabulka č. 8). Na stanici Praha 5 – Smíchov došlo v tomto roce k technickému výpadku, a proto z této lokality, která patří mezi významný dopravní uzel, nemáme potřebná data. V tabulce č. 8 lze vyčíst, že nejmenší hodnoty jak NO<sub>2</sub>, tak NO<sub>x</sub> byly naměřeny v lokalitě Praha 4 – Libuš, která se jako jediná pražská stanice specializuje také na mokrou atmosférickou depozici.

Roční mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze za rok 2018			
látka	typ depozice	velikost depozice (mg/m <sup>2</sup> )	srážky (mm)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mokrá	727	379,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mokrá	nebylo měřeno	

Tabulka 7 - Mokrá depozice dusíku v Praze v roce 2018

Průměrné roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) v roce 2018								
	Praha 1 n. Republiky	Praha 2 Legerova	Praha 4 Libuš	Praha 6 Břevnov	Praha 6 Letiště Praha	Praha 8 Karlín	Praha 9 Vysočany	Praha 10 Průmyslová
NO <sub>2</sub>	33	54,5	18,6	23,8	23,2	30,4	35,1	30,4
NO <sub>x</sub>	62	123	25	32	32	50	66	64

Tabulka 8 - Roční imisní hodnoty NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v Praze za rok 2018

### 3.3.3 Atmosférická depozice v roce 2019

Rok 2019 byl teplotně nadprůměrný, ale srážkově naprosto průměrný. Spadlo 634 mm srážek, což je podstatně více než loni a z toho důvodu v roce 2019 dochází ke zvýšení poměru mokré depozice redukováných forem dusíku. Bylo zaznamenáno méně topných dnů a zlepšené rozptylové podmínky. Díky těmto faktorům došlo ke vzniku menšího množství emisí z vytápění a zároveň k lepšímu rozptylu emisí pocházejících i z jiných zdrojů (ČHMÚ 2019).

Data atmosférické depozice v roce 2019 byla získána z 38 lokalit nacházejících se po celé ČR díky zkoumání chemického složení srážek. V České republice patří mezi nejvýznamnější vlastníky Český hydrometeorologický úřad, který spravuje 14 lokalit, Česká geologická služba, která má ve správě 10 lokalit a Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, který se stará o 9 měřicích stanic.

Celková atmosférická depozice dusíku oproti roku 2018 poklesla. V mokré depozici byl větší poměr redukováných forem dusíku (N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) oproti oxidovaným formám (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Celková mokrá depozice dusíku se pak v důsledku větších srážek v roce 2019 zvýšila. Suchá složka depozice byla menší než v roce 2018. To souvisí s menším množstvím emisím, které byly v tomto roce vypuštěny do atmosféry (viz tabulka č. 9).

I v tomto roce došlo k poklesu celkové atmosférické depozice dusíku na celém území ČR oproti předchozím dvěma letům. Toto snížení je viditelně znázorněno na obrázku č. 6. Byl zjištěn větší poměr mokré složky oproti suché, pravděpodobně z důvodu většího srážkového úhrnu (viz tabulka č. 10). Tok suché depozice byl také oproti roku 2017 a 2018 menší a dosáhl hodnoty 0,184 g·m<sup>-2</sup>·rok<sup>-1</sup>. Naopak byl



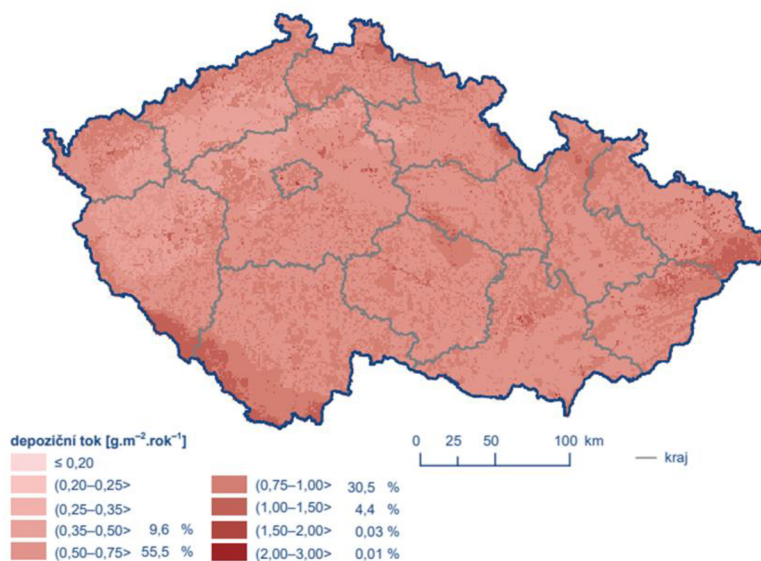
zaznamenám mírný nárůst toku redukovaných forem dusíku (N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Celkový depoziční tok se pak snížil o necelých 6 % (viz tabulka č. 9).

Průměrné hodnoty depozičního toku dusíku v ČR za rok 2019		
látka	typ depozice	velikost depozice (g·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )
N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mokrá	0,201
N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mokrá	0,310
N (NO <sub>x</sub> )	suchá	0,184
<b>N</b>	<b>celková</b>	<b>0,694</b>

Tabulka 9 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2019

Atmosférická depozice v ČR v roce 2019 v tunách			
	N(ox)	N(red)	N(ox + red)
<b>mokrá depozice</b>	15 815	24 437	40 252
<b>suchá depozice</b>	14 497		14 497
<b>celková depozice</b>	33 032	24 437	<b>54 749</b>

Tabulka 10 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2019



Obrázek 7 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2019 (ČHMÚ 2019)

### 3.3.3.1 Depozice na území Prahy

V roce 2019 stanice Praha 4 – Libuš měřila v atmosférických srážkách, jak koncentraci oxidovaných forem (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), tak i redukovaných forem (N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Depozice dusičnanového aniontu klesla o 18 % v porovnání s rokem 2018. Depozice amonného kationtu dosáhla v tomto roce 376 mg/m<sup>2</sup>. Podle pražské stanice byl poměr

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> opačný, než byl celorepublikový trend (viz tabulka č. 11). Srážkový úhrn v hlavním městě byl pod celorepublikovým průměrem.

Koncentrace NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v tomto roce nepatrně poklesly. Imise NO<sub>x</sub> a NO<sub>2</sub> přímo ovlivňují suchou depozici, a proto se koncentrace těchto látek sleduje. Již tradičně jsou největší koncentrace zjištěny na lokalitě Praha 2 – Legerova. Oproti loňskému roku na této stanici poklesly koncentrace NO<sub>2</sub> a i NO<sub>x</sub> (viz tabulka č. 12). Koncentrace NO<sub>2</sub> na všech ostatních stanicích se pohybuje v rozmezí 16–35 µg/m<sup>3</sup> (viz tabulka č. 12). Hodnoty oxidů dusíku jsou nejvyšší na lokalitách Praha 2 – Legerova, Praha 9 – Vysočany a Praha 10 – Průmyslová, kde je koncentrace NO<sub>x</sub> 65–110 µg/m<sup>3</sup>. Menší, přesto stále vyšší koncentrace byly zjištěny na stanicích Praha 1 – n. Republiky a Praha 8 – Karlín. Nejnižší koncentrace NO<sub>x</sub> jsou pak v lokalitách nacházejících se mimo centrum města (Praha 4 – Libuš, Praha 6 – Břevnov, Praha 6 – Letiště Praha) (viz tabulka č. 12).

Roční mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze za rok 2019			
látka	typ depozice	velikost depozice (mg/m <sup>2</sup> )	srážky (mm)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mokrá	597	433,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mokrá	376	

Tabulka 11 - Mokrá depozice dusíku v Praze v roce 2019

Průměrné roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) v roce 2019								
	Praha 1 n. Republiky	Praha 2 Legerova	Praha 4 Libuš	Praha 6 Břevnov	Praha 6 Letiště Praha	Praha 8 Karlín	Praha 9 Vysočany	Praha 10 Průmyslová
NO <sub>2</sub>	28,8	48,1	16,2	23,1	19	29,4	33,1	31,2
NO <sub>x</sub>	50	110	24	32	28	49	66	68

Tabulka 12 - Roční imisní hodnoty NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v Praze za rok 2019

### 3.3.4 Atmosférická depozice v roce 2020

Rok 2020 byl teplotně nadnormální a zároveň i srážkově nadprůměrný (766 mm srážek). To vedlo ke snížení potřeby vytápění a díky srážkám došlo k vymývání polutantů z povrchu Země. Neobvyklý byl v tomto roce měsíc únor, kdy byly celorepublikově naměřeny velmi nízké koncentrace znečišťujících látek. V únoru převažovaly vyšší teploty, dobré rozptylové podmínky a zároveň byly časté výskyty srážek. Tato kombinace celkově snižuje koncentrace znečišťujících látek v ovzduší.

Rok 2020 se stal také prvním rokem koronavirové pandemie, která propukla v České republice v březnu. Vyhlášený nouzový stav vedl ke snížení pohybu osob a průmyslové výroby, což se nejvíce projevilo na snížení koncentracích  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  (ČHMÚ 2020).

V tomto roce byla atmosférická depozice vyhodnocena pomocí dat získaných ze 39 stanic ležících v ČR a 6 stanic, které leží v Polsku na hranicích s ČR. Stanice v ČR spravuje několik vlastníků, z nichž nejdůležitější jsou Český hydrometeorologický úřad (14 stanic), Česká geologická služba (10 lokalit) a Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (10 stanic). V Praze se nachází jedna stanice, která měří mokrou atmosférickou depozici a to Praha 4 – Libuš.

Kvůli většímu srážkovému úhrnu se zvýšila mokrá depozice dusíku. Depozice oxidovaných forem se oproti loňskému roku ještě snížila. Naopak mokrá depozice redukovaných forem dusíku v roce 2020 vzrostla. Průměrná hodnota depozičního toku dusíku v roce 2020 vzrostla o 3 %, zároveň došlo ke zvýšení celkové depozice dusíku. U suché složky depozice došlo ke snížení, vzhledem k úzké souvislosti suché složky depozice s imisemi, se dá předpokládat, že ke zmenšení této složky došlo z důvodů snižování imisí oxidů dusíku díky omezení pohybu osob v koronavirové pandemii (ČHMÚ 2020).

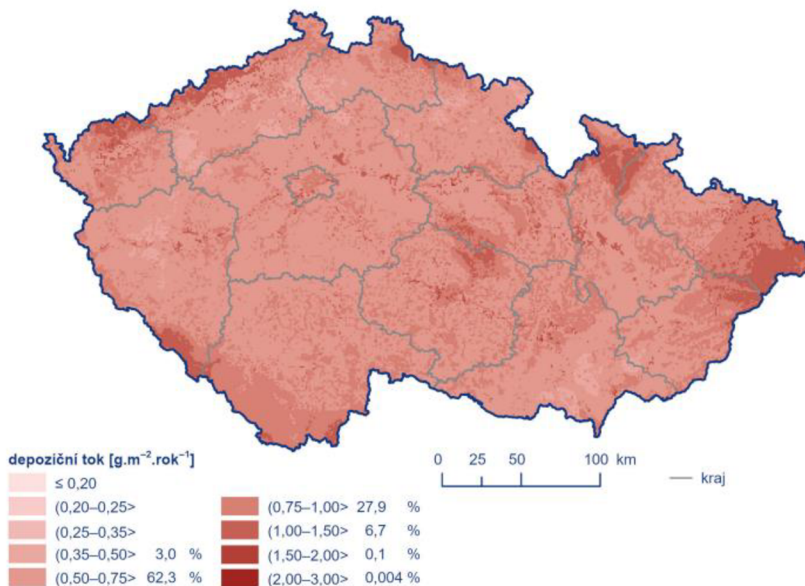
Celková depozice sloučenin dusíku v tomto roce vzrostla na celkových 56 396 t a její rozložení je možné pozorovat na obrázku č. 7. Suchá depozice se snížila o 900 tun. Mokrá složka byla naopak o cca 2 500 tun větší v porovnání s rokem 2019 (viz tabulka č. 14). U depozičního toku se zvýšil poměr amonného kationtu oproti dusičnanového aniontu a byl zaznamenán mírný pokles suchého depozičního toku (tabulka č. 13).

<b>Průměrné hodnoty depozičního toku dusíku v ČR za rok 2020</b>		
látka	typ depozice	velikost depozice ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ )
<b>N</b> ( $\text{NO}_3^-$ )	mokrá	0,182
<b>N</b> ( $\text{NH}_4^+$ )	mokrá	0,363
<b>N</b> ( $\text{NO}_x$ )	suchá	0,170
<b>N</b>	celková	0,715

Tabulka 13 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2020

Atmosférická depozice v ČR v roce 2020 v tunách			
	N(ox)	N(red)	N(ox + red)
mokrá depozice	14 382	28 617	42 999
suchá depozice	13 397		13 397
<b>celková depozice</b>	<b>27 779</b>	<b>28 617</b>	<b>56 396</b>

Tabulka 14 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2020



Obrázek 8 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2020 (ČHMÚ 2020)

### 3.3.4.1 Depozice na území Prahy

Srážky spadlé na území Prahy byly sice mírně pod průměrem ČR, ale v porovnání s minulým rokem byl srážkový úhrn o 42 % větší. Hodnocením srážek a tím pádem mokré atmosférické depozice se v Praze i v roce 2021 zabývá měřicí stanice Praha 4 – Libuš. Podle dostupných dat z této stanice, které jsou znázorněny v tabulce č. 15 lze konstatovat, že v mokré depozici byly více zastoupeny dusičnanové anionty oproti amonným kationtům.

U imisí NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v tomto roce poprvé došlo ke splnění ročního imisního limitu 40 µg/m<sup>3</sup> a celkovému poklesu koncentrací znečišťujících látek, z důvodu omezení pohybu osob během nouzového stavu. Menší množství imisí vedlo ke snížení suché depozice, protože oxid dusičitý a oxidy dusíku vypouštěné do ovzduší mají přímý vliv na velikost suché atmosférické depozice. Tento pokles potvrzuje celkové zmenšení poměru suché složky na celkové atmosférické depozici.

Roční mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze za rok 2020			
látko	typ depozice	velikost depozice (mg/m <sup>2</sup> )	srážky (mm)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mokrá	679	616,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mokrá	432	

Tabulka 15 - Mokrá depozice dusíku v Praze v roce 2020

Průměrné roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> (μg/m <sup>3</sup> ) v roce 2020								
	Praha 1 n. Republiky	Praha 2 Legerova	Praha 4 Libuš	Praha 6 Břevnov	Praha 6 Letiště Praha	Praha 8 Karlín	Praha 9 Vysočany	Praha 10 Průmyslová
NO <sub>2</sub>	24,3	38,7	13,8	19,6	13,8	24	29	25,8
NO <sub>x</sub>	41	86	19	26	18	39	51	55

Tabulka 16 - Roční imisní hodnoty NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> v Praze za rok 2020

### 3.3.5 Atmosférická depozice v roce 2021

V roce 2021 spadlo 638 mm, což je průměrný roční úhrn, ale nižší než v roce 2020. Zároveň byl rok 2021 z hlediska kvality ovzduší hodnocen jako příznivý. V tomto roce byly naměřeny jedny z nejnižších hodnot koncentrací znečišťujících látek. Na klesajícím se trendu se podílí průběžně realizovaná opatření typu výměna starých kotlů nebo obměna vozového parku významných dopravců.

Stejně jako v roce 2020 byl z důvodu globální pandemie koronaviru omezen pohyb osob a vyhlášen nouzový stav. V březnu dokonce došlo k zákazu pohybu mezi okresy, což vedlo k omezení mobility obyvatel a tím pádem se snížili emise pocházející z dopravy, zejména NO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>. Dá se předpokládat, že bez tohoto opatření by hodnoty byly větší. Na rozdíl od minulého roku však na většině míst nedošlo k omezení či úplnému zastavení průmyslové výroby (ČHMÚ 2021).

Hodnoty atmosférické depozice byly stejně jako v loňském roce získány ze 39 lokalit v ČR, z nichž v Praze leží jedna a to Praha 4 – Libuš. Místo hodnot z polských stanic byla pro příhraniční oblast použita data ze dvou slovenských stanic.

Depoziční tok poklesl o 2 % v porovnání s rokem 2020, zároveň také poklesla celková atmosférická depozice dusíku taktéž o 2 %. U mokré depozice došlo ke změně poměru oxidovaných a redukovaných forem dusíku. V roce 2021 došlo k navýšení oxidovaných forem (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o 20 % a celková složka oxidovaných forem se zvýšila o 31 %. Redukované formy dusíku zaznamenaly snížení o 23 % (viz tabulka č. 17). Celková mokrá depozice však v porovnání s rokem 2020 byla menší o 5 %. Suchá depozice v roce 2021 vzrostla o 9 % oproti roku minulému (viz tabulka č. 18).

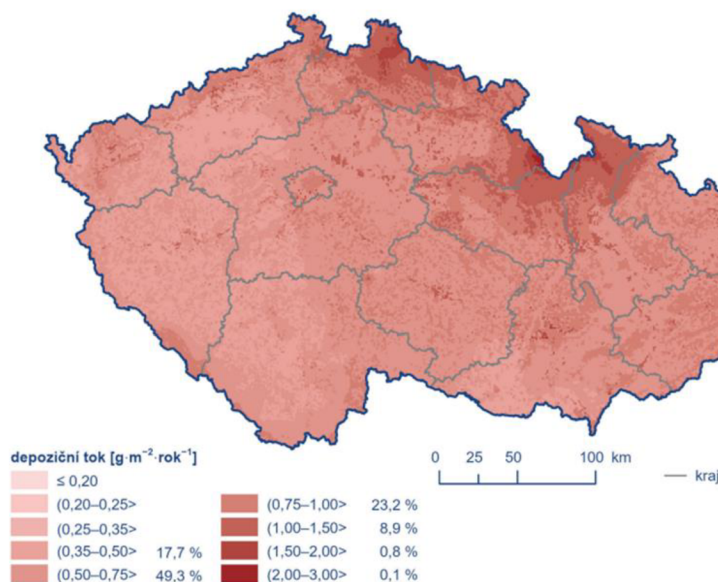
I v tomto roce se pravděpodobně projevila opatření v boji s koronavirem, kdy došlo k razantnímu zmenšení vlivu dopravy, ale nezastavila se průmyslová výroba, jako to bylo v minulém roce. Suchá depozice dusíku byla pozorována kontinuálně v celé ČR, kdy nebyly pozorovány větší rozdíly u velkých měst a vytížených dopravních komunikací (viz obrázek č. 8) (ČHMÚ 2021).

Průměrné hodnoty depozičního toku dusíku v ČR za rok 2021		
látko	typ depozice	velikost depozice (g·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )
N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mokrá	0,239
N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mokrá	0,278
N (NO <sub>x</sub> )	suchá	0,185
N	celková	0,702

Tabulka 17 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2021

Atmosférická depozice v ČR v roce 2021 v tunách			
	N(ox)	N(red)	N(ox + red)
<b>mokrá depozice</b>	18 876	21 932	40 808
<b>suchá depozice</b>	14 575		14 575
<b>celková depozice</b>	33 451	21 932	<b>55 383</b>

Tabulka 18 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2021



Obrázek 9 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2021 (ČHMÚ 2021)

### 3.3.5.1 Depozice na území Prahy

Stanice Praha 4 – Libuš zjistila, že poměr dusičnanových aniontů oproti amonným kationtům se v roce 2021 zvýšil. Dusičnanové anionty dosáhly hodnoty 818 mg/m<sup>2</sup> a amonné kationty 398 mg/m<sup>2</sup> (viz tabulka č. 19). V Praze tedy na rozdíl od průměru

celého státu bylo ve srážkách výrazně větší množství  $\text{NO}_3^-$ . Srážky na území Prahy byly těsně pod průměrem, který byl naměřen na území ČR.

I v letošním roce byly splněny všechny stanovené imisní limity na ochranu zdraví. Pokles  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  zaznamenala i stanice Praha 2 – Legerova, ve které dlouhodobě docházelo k překračování stanoveného limitu (viz tabulka č. 20). Suchá depozice dusíku v roce 2021 se z důvodu poklesu koncentrace znečišťujících látek pocházejících z antropogenních zdrojů ve velkých městech a podél významných dopravních tras zmenšila, avšak toto zmenšení nebylo tak velké jako v roce předchozím, přestože omezení pohybu osob bylo v roce 2021 přísnější. Nejnižší hodnoty  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  byly zaznamenány na lokalitě Praha 4 – Libuš. Koncentrace oxidu dusičitého se pohybovala v rozmezí 13–38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a koncentrace oxidů dusíku byla mezi 18–82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (viz tabulka č. 20).

<b>Roční mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze za rok 2021</b>			
látka	typ depozice	velikost depozice ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )	srážky (mm)
$\text{NO}_3^-$	mokrá	818	601,9
$\text{NH}_4^+$	mokrá	398	

Tabulka 19- Mokrá depozice dusíku v Praze v roce 2021

<b>Průměrné roční imisní hodnoty <math>\text{NO}_2</math> a <math>\text{NO}_x</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) v roce 2017</b>								
	Praha 1 n. Republiky	Praha 2 Legerova	Praha 4 Libuš	Praha 6 Břevnov	Praha 6 Letiště Praha	Praha 8 Karlín	Praha 9 Vysočany	Praha 10 Průmyslová
$\text{NO}_2$	23,5	37,6	14	20,2	13,9	23,9	29,8	27,4
$\text{NO}_x$	39	82	18	29	18	39	57	61

Tabulka 20 - Roční imisní hodnoty  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  v Praze za rok 2021

## 4 Výsledky

Praktická část této práce se zabývala konkrétními daty atmosférické depozice dusíku v letech 2017–2021. Nejprve byla podrobně popsána depozice na území celé České republiky. Poté byla zpracována data získaná stanicí Praha 4 – Libuš, jedinou stanicí, která se měřením depozice, konkrétně její mokré složky, na území hlavního města, zabývá. Suchá depozice dusíku přímo souvisí s imisemi  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , proto jsou vyhodnoceny i koncentrace těchto látek.

### 4.1 Atmosférická depozice v ČR v letech 2017-2021

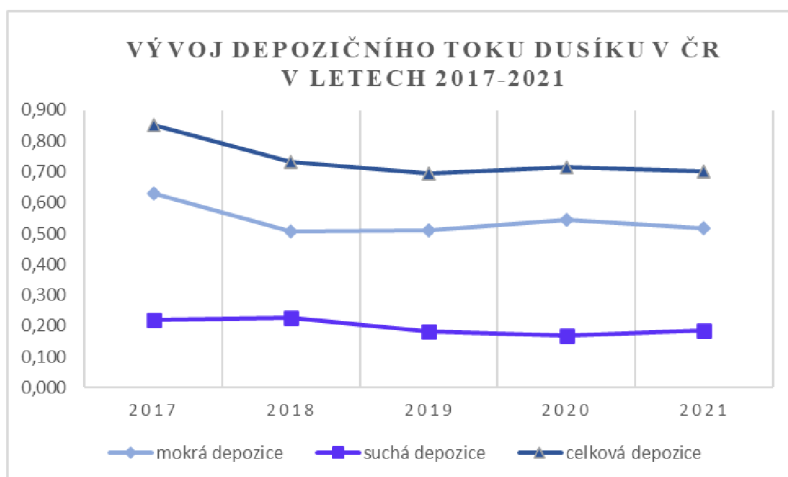
Graf č. 1 znázorňuje vývoj depozičního toku dusíku v letech 2017–2021. Sledován byl jak celkový depoziční tok, tak i jeho mokrá a suchá složka. V tabulce č. 21 můžeme pozorovat vývoj hodnot depozičního toku ve sledovaných letech. Největší tok byl zaznamenán v roce 2017, kdy dosáhl  $0,850 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ . V tomto roce byl také naměřen největší tok mokré depozice, který činil  $0,630 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Naopak nejmenší depoziční tok byl zjištěn v roce 2019 (viz tabulka č. 21). Od roku 2019 došlo k poklesu suché depozice. Nejnižší suchá depozice byla v roce 2020, kdy došlo k celkovému snížení znečišťujících látek.

Atmosférická depozice vyčíslená v tunách je uvedena v tabulce č. 22. Rozdíl mezi největší depozicí v roce 2017 a tou nejmenší, která byla naměřena v roce 2019, je 12 253 t. Mokrá depozice se kromě roku 2017, ve kterém dosáhla hodnoty téměř 50 000 tun, po zbylé čtyři roky držela okolo 40 000 tun. Větší rozdíly byly zjištěny u depozice suché, která měla v letech 2017-2018 přes 17 000 tun. Poté byl zaznamenán pokles na cca 14 000 tun. Znázornění atmosférické depozice v tunách můžeme pozorovat na grafu č. 2. Na tomto grafu lze dobře vidět poměr mezi suchou a mokrou složkou depozice. Zároveň si na tomto zobrazení můžeme všimnout, jak se v jednotlivých letech měnil poměr mezi suchou a mokrou složkou depozice. Také je patrné, že nejmenší hodnoty dosáhla suchá depozice v roce 2020. V tomto roce došlo k výraznému snížení koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ . Tyto znečišťující látky mají na suchou depozici dusíku přímý vliv.



Vývoj depozičního toku dusíku v ČR v letech 2017-2021					
	2017	2018	2019	2020	2021
mokrá depozice (g·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	0,630	0,507	0,511	0,545	0,517
suchá depozice (g·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	0,220	0,225	0,184	0,170	0,185
celková depozice (g·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	0,850	0,732	0,695	0,715	0,702

Tabulka 21 - Vývoj depozičního toku dusíku v ČR v letech 2017-2021



Graf 1 - Vývoj depozičního toku dusíku v ČR v letech 2017-2021

Atmosférická depozice dusíku v ČR v letech 2017 -2021 v tunách					
	2017	2018	2019	2020	2021
mokrá depozice	49 666	39 965	40 252	42 999	40 808
suchá depozice	17 318	17 709	14 479	13 397	14 575
celková depozice	66 984	57 674	54 731	56 396	55 383

Tabulka 22 - Atmosférická depozice dusíku v ČR v letech 2017-2021



Graf 2 - Atmosférická depozice dusíku v ČR v letech 2017-2021

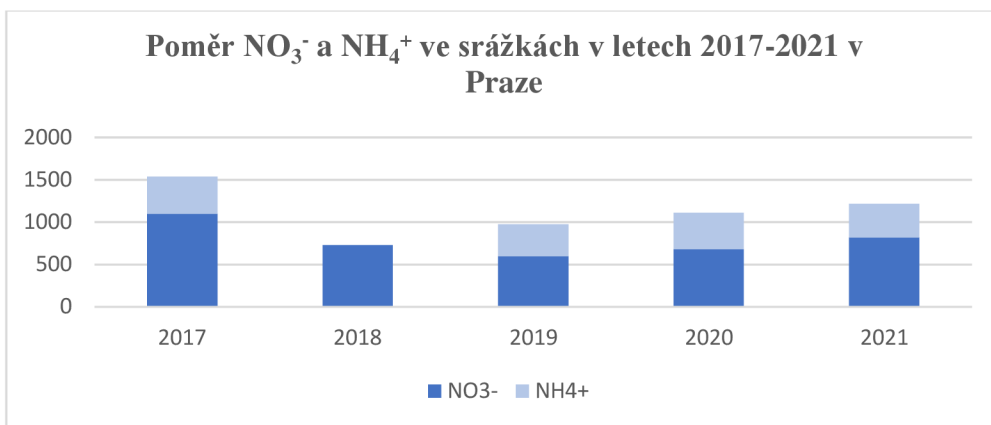
## 4.2 Atmosférická depozice dusíku v Praze v letech 2017–2021

Tato práce byla na území Prahy zaměřena na mokrou depozici, která byla měřena na lokalitě Praha 4 – Libuš. Její hodnoty v letech 2017-2021 zobrazuje tabulka č. 23. Na grafu č. 3 lze dále pozorovat, jak se v jednotlivých letech měnil poměr dusičnanových aniontů a amonných kationtů v letech 2017-2021.

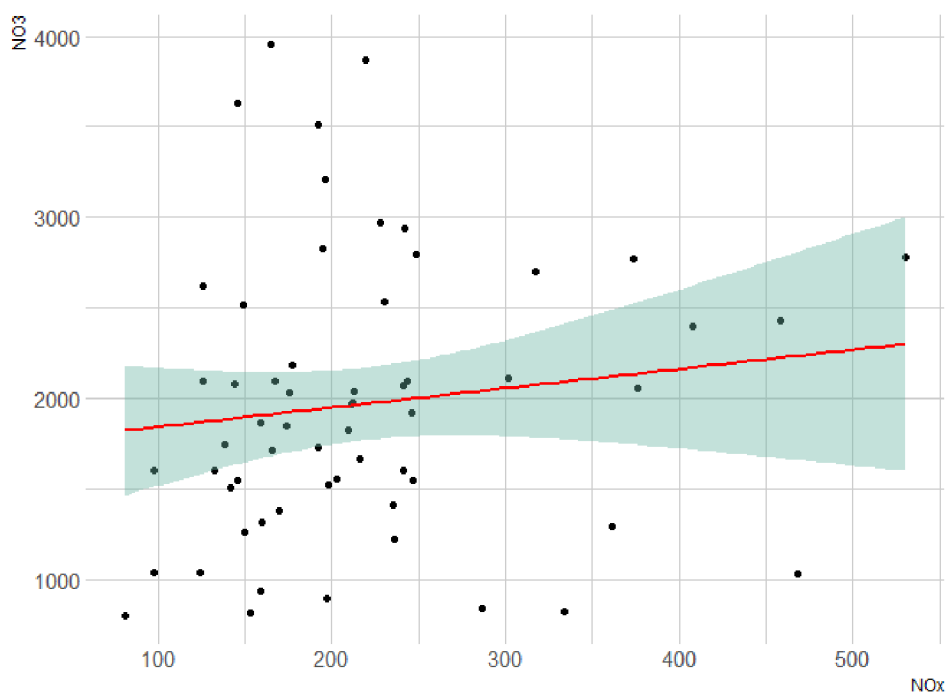
V současné době je známo působení koncentrací znečišťujících látek  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  na suchou depozici dusíku, i proto jsou v předchozích kapitolách změny koncentrací těchto látek popsány. Vzhledem ke složitosti měření suché depozice se tato práce zaměřila na depozici mokrou, a to především na to, zdali je stejně jako depozice suchá ovlivňována koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$ . Pomocí lineární regrese bylo zjišťováno, zdali na velikost dusičnanových aniontů či amonných kationtů má změna koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  v ovzduší nějaký vliv. K posouzení možné závislosti byly použity měsíční průměrné hodnoty všech zkoumaných látek z let 2017-2021 naměřené na stanici Praha 4 – Libuš. Na grafu č. 4 můžeme pozorovat výsledek zkoumané závislosti dusičnanových aniontů na velikosti koncentrace oxidu dusíku. Závislost  $\text{NO}_3^-$  na koncentraci  $\text{NO}_x$  je znázorněná na grafu č. 5. V obou případech můžeme konstatovat, že mezi mokrou depozicí  $\text{NO}_3^-$  a velikostí koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  není žádná přímá souvislost. Stejným způsobem bylo zjišťováno spojení mezi amonnými kationty, oxidu dusičitého a oxidů dusíku. Možná souvislost mezi depozicí  $\text{NH}_4^+$  a velikostí koncentrací  $\text{NO}_x$  je vidět na grafu č. 6. Zkoumání vlivu  $\text{NO}_2$  na amonné kationty znázorňuje graf č. 7. Ani u amonných kationtů nebylo zjištěno, že by existovalo přímé spojení s velikostí koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ . Po prozkoumání všech těchto možných souvislostí lze konstatovat, že velikost koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  nemá přímý vliv na obsah dusičnanových a amonných kationtů v mokré depozici. Tato část celkové atmosférické depozice má pravděpodobně souvislost s chemickými reakcemi, které v atmosféře probíhají a které nejsou podrobně prozkoumány.

<b>Mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze v letech 2017-2021</b>					
	2017	2018	2019	2020	2021
$\text{NO}_3^-$	1099	727	597	679	818
$\text{NH}_4^+$	440		376	432	398
<b>srážky (mm)</b>	604,3	379,3	433,3	616,5	601,9

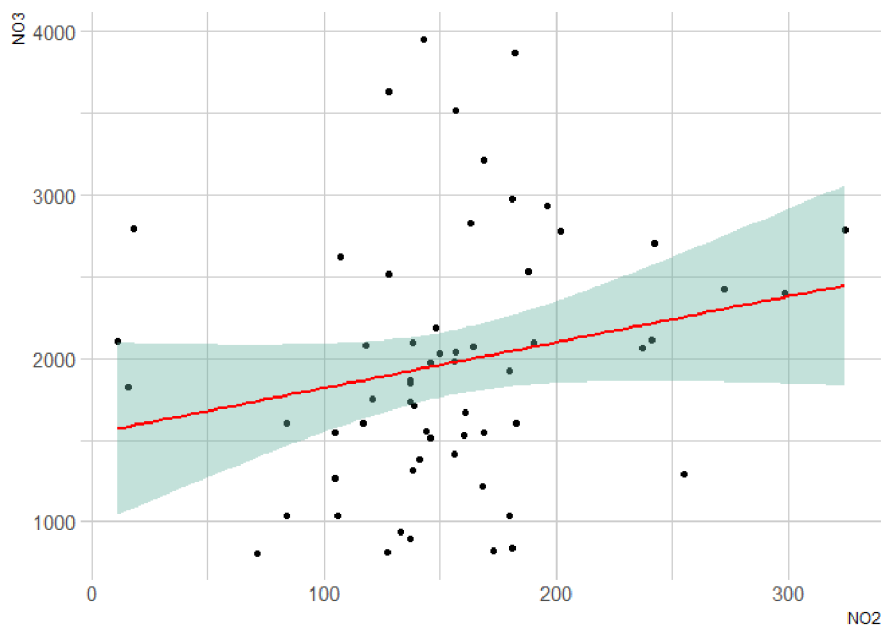
Tabulka 23 - Mokrá depozice sloučenin dusíku v Praze v letech 2017-2021



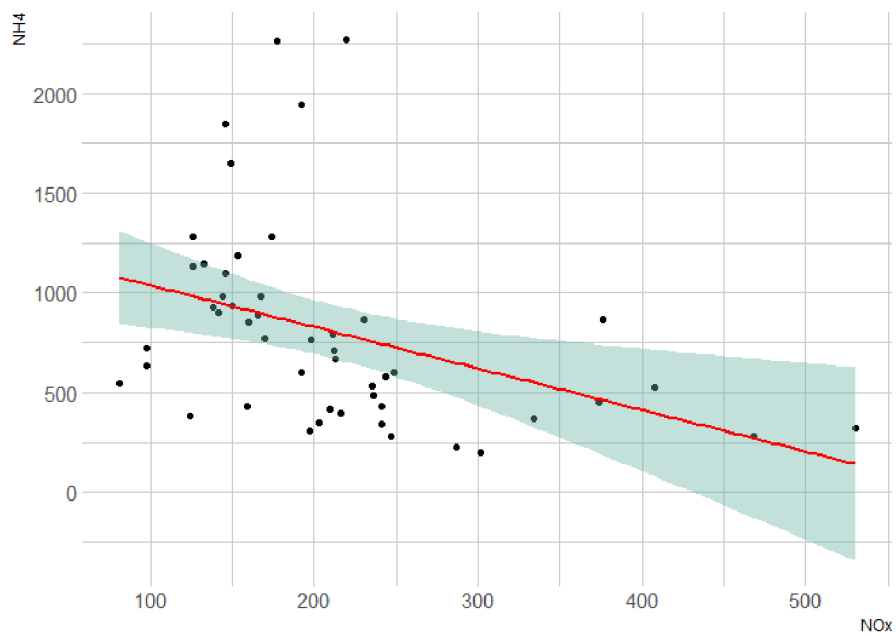
Graf 3 - Poměr  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  ve srážkách v letech 2017-2021



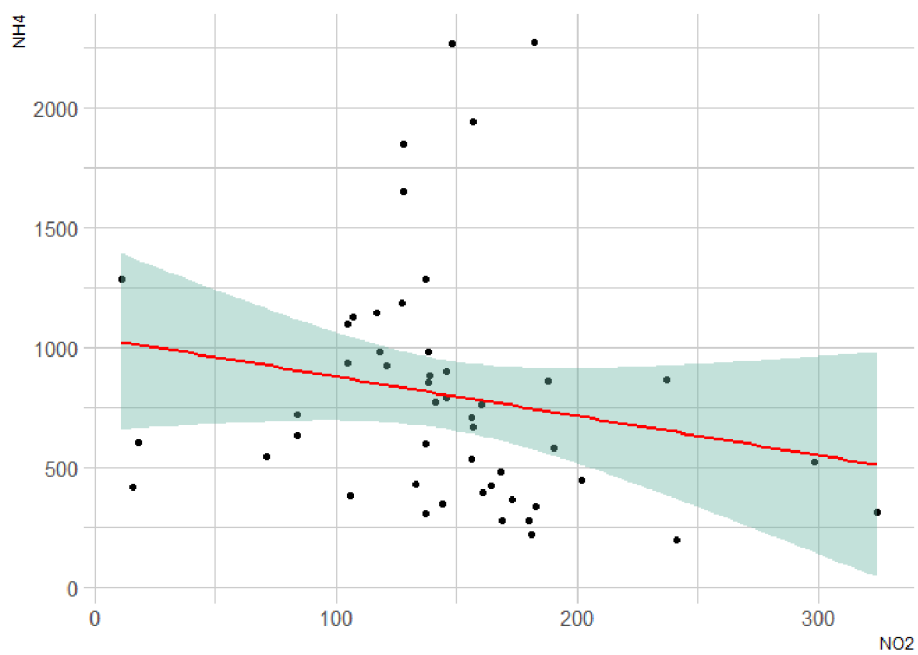
Graf 4 - Znáznornění možné závislosti  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_x$



Graf 5 - Znázornění možné závislosti mezi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NO<sub>2</sub>



Graf 6 - Znázornění možné závislosti mezi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>x</sub>



Graf 7 - Znáornění možné závislosti mezi  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2$

## 5 Diskuse

Tato práce se věnuje atmosférické depozici sloučenin dusíku na území ČR se zaměřením na území Prahy. Bylo zkoumáno, zdali na složení mokré depozice má vliv velikost koncentrace  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$ . Data použitá v této práci byla získána z volně dostupných publikací každoročně vydávaných ČHMÚ.

Předpokladem pro relevantnost výsledků je dostatek a kvalita dat získaných z jednotlivých měřicích stanic. Měřením mokré atmosférické depozice se v Praze zabývá pouze jedna stanice. Po celé České republice je těchto stanic 39 s různými vlastníky. Suchá depozice se počítá z koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$ . K lepšímu pochopení mokré složky atmosférické depozice by pomohlo rozšířit stávající síť měřicích stanic.

Faktorem, který negativně ovlivňuje suchou depozici, je vývoj koncentrací oxidu dusičitého a oxidů dusíku, které pocházejí zejména z dopravy a v menší míře také z vytápění domácností a průmyslu. Pozitivním důsledkem pandemie koronaviru bylo přijetí opatření, která vedla k celorepublikové snížení dopravy a průmyslu. V tuto dobu došlo k největšímu snížení koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , a tím pádem i ke zmenšení suché složky atmosférické depozice.

Dlouhodobému měření mokré depozice dusíku se ve své práci věnoval Huang a spol. (2012), kteří svůj výzkum prováděli v letech 1986–2006 v Šenzenu v Číně. Po vyhodnocení dat nasbíraných za dvacet let, došli k závěru, že se v této oblasti významně zvýšil depoziční tok dusičnanových aniontů a došlo k poklesu amonných kationtů. Autoři studie také zjistili, že velikost depozičního toku byla ovlivněna ročním obdobím, protože největší srážky byly zaznamenány v době od května do září.

Souvislost mezi  $\text{NO}_x$  a suchou depozicí dusíku zkoumal tým Elliota a spol. (2009). Suchá depozice dusíku je jedním ze zdrojů biologicky dostupného dusíku pro ekosystémy. Autoři se zaměřili na suchou depozici, protože na rozdíl od depozice mokré, je o zdrojích a prostorové variabilitě suché složky známo méně. Studie byla zaměřena na dva typy odběrů vzorků – pasivní a aktivní. Po vyhodnocení se vědci shodli na tom, že jsou nepatrné rozdíly ve složení odebraných vzorků. Tyto rozdíly pak bude nutné více prozkoumat. Závěrem pak bylo prokázáno, že pasivní odběr představuje významnou úsporu v nákladech oproti aktivnímu odběru. Díky tomu by do budoucna mohlo dojít k rozšíření pasivních odběrných zařízení a tím pádem k většímu množství dat, která by mohla přispět k rozsáhlejší znalosti suché depozice a zdrojů dusíku uloženého v přírodě.

Ve Spojených státech amerických vznikl Národní program atmosférické depozice (NADP), který ve svém článku popisují Lamb a Bowersox (2000). Tento program vznikl v roce 1978 a monitoruje atmosférickou depozici na území Spojených států, zejména na východním pobřeží, a části střední Ameriky. V době svého vzniku vycházel tento program z dat 22 stanic, kterých je v současné době několik set. Svou činnost NADP soustřeďuje na fenomén atmosférické depozice a její účinky na zemědělské plodiny, lesy, pastviny a další přírodní a kulturní zdroje. NADP také získala podporu několika státních agentur, univerzit, soukromých společností a devíti federálních agentur a zároveň je tento program podporován kanadskou organizací Environment Canada.

Na území ČR neexistuje žádná specializovaná agentura či úřad, který by se atmosférické depozici, jejímu vzniku a vlivu na krajinu věnoval. Atmosférická depozice je vyhodnocována pouze v grafických ročenkách, které každoročně vydává Český hydrometeorologický úřad. Měřicí stanice, které vyhodnocují atmosférickou depozici, pak patří kromě ČHMÚ několika dalším subjektům jako je např. Česká geologická služba, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti a několik dalších. Tyto stanice se zabývají pouze mokrou složkou depozice, protože její měření je oproti složce suché jednodušší. Suchá depozice je každoročně vypočítávána z koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$  a depoziční rychlosti pro celou ČR. Suchou depozici dusíku jsme schopni ovlivnit přijetím opatření k dlouhodobému snižování koncentrací znečišťujících látek. V oblasti energetiky už několik let probíhá vyměňování kotlů pomocí tzv. „kotlinových dotací“. Problematika dopravy je složitější. Jak ukázala pandemie koronaviru, pokud do budoucna chceme významně snížit koncentrace  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , které přispívají k atmosférické depozici a následně znečišťují ovzduší, je potřeba udělat výrazné změny v oblasti dopravy. Jednou z možností je výměna vozového parku za modernější automobily. Tato možnost je pak limitována ekonomickou situací obyvatelstva. Proto je do budoucna nutné zabývat se zlepšením dopravní situace v aglomeraci Praha. Nejúčinnějším řešením by bylo zavedení obchvatů a odvedení dopravy mimo centrum města, kde je zároveň největší zástavba, která brání přirozenému odvětrávání a zvýšit atraktivitu pražské MHD.

K celkovému pochopení principu vzniku atmosférické depozice by bylo zapotřebí rozšířit současné lokality, které měří mokrou depozici a vytvořit měřicí síť, která by se zabývala suchou depozicí, a to hlavně ve velkých městech a kolem významných dopravních cest, kde jsou koncentrace  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  největší. Díky přesnějšímu měření by pravděpodobně došlo k lepšímu pochopení mechanismu vzniku atmosférické depozice.

## 6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá problematikou atmosférické depozice, jejím vznikem, chemismem a dopadem na lidské zdraví a ekosystémy. Blíže zkoumána byla depozice dusíku v letech 2017-2021 na území ČR a blíže byla prozkoumána mokrá depozice dusíku spolu s vývojem koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , které ovlivňují suchou depozici, v Praze.

Vyhodnocení depozice v jednotlivých letech vycházelo z grafických ročenek, které každý rok vydává Český hydrometeorologický ústav. Z těchto ročenek bylo zjištěno, že depozice dusíku od roku 2017 výrazně klesla. Nejnižší hodnoty atmosférické depozice byly naměřeny v roce 2019. U mokré depozice bylo vyzkoumáno, že větší poměr zaujímaly amonné kationty oproti dusičnanovým aniontům. Od roku 2019 také došlo k poklesu suché depozice dusíku, kdy nejmenší hodnoty byly zjištěny v roce 2020. Tento jev lze vysvětlit snižujícími se koncentracemi  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , které suchou depozici ovlivňují.

Data mokré depozice byla na území Prahy měřena stanicí Praha 4 – Libuš, která se jako jediná na mokrou depozici specializuje. Vzhledem k přímé souvislosti mezi znečišťujícími látkami a suchou depozicí se práce zaměřila také na velikost koncentrací  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}_x$  v letech 2017-2021. Nakonec bylo pomocí lineární regrese prozkoumáno, zdali existuje souvislost mezi velikostí koncentrací  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a mokrou depozicí, konkrétně dusičnanovými a amonnými ionty. Po vyhodnocení lineární regrese nebyla zjištěna přímá spojitost mezi velikostí koncentrací  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a intenzitou depozice dusičnanových a amonných iontů. Předpokládá se, že mokrá depozice dusíku je více ovlivněna chemickými reakcemi, které probíhají v atmosféře než imisemi, jako to je u depozice suché.



## 7 Zdroje

**Batakiev, T., Georgiev, V., Anachkov, M., Rakovsky, S., Zaikov, E., G.,** (2014): Ozone decomposition. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2). 47-59.

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

**Beneš L. et Kupková Z.** (2004): Chemické vlastnosti, biologické účinky a metody detekce biologického oxidu dusnatého. *Chemické listy*, 98. 116–122.

**Braniš M. et al.,** (2009): Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. Karolinum, Praha, 352 s.

**Bruckdorfer R.** (2005): The basics about nitric oxide. *Molecular Aspects of Medicine*. 26, 3-31.

**CDC** (2022): Centers for Disease Control and Prevention, Air Quality (online) [cit. 2022.11.28], dostupné z <[https://www.cdc.gov/air/particulate\\_matter.html](https://www.cdc.gov/air/particulate_matter.html)>

**CHMI Brno** (2018): Blog o meteorologii, hydrologii a kvalitě ovzduší: Suspendované částice (PM) – otázky a odpovědi. (online), [cit. 2022.11.27], dostupné z <<https://chmibrno.org/blog/2018/12/01/suspendovane-castice-pm-otazky-a-odpovedi/>>

**ČHMÚ** (2017): Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2017 (online) [cit. 2023.02.18], dostupné z <[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/Obsah_CZ.html)>

**ČHMÚ** (2018): Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2018, Praha, (online) [cit. 2023.01.20.], dostupné z <[www.portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/Obsah\\_CZ.html](http://www.portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/Obsah_CZ.html)>

**ČHMÚ** (2019): Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2019, Praha, (online) [cit. 2023.02.20.], dostupné z <[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/Obsah\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/19groc/gr19cz/Obsah_CZ.html)>

**ČHMÚ** (2020): Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2020, Praha, (online) [cit.2023.02.22.], dostupné z <[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html)>

**ČHMÚ** (2021): Český hydrometeorologický ústav. Grafická ročenka 2018, Praha, (online) [cit.2023.02.25.], dostupné z <[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/21groc/gr21cz/Obsah\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/21groc/gr21cz/Obsah_CZ.html)>

**ČHMÚ** (2022): Český hydrometeorologický ústav (online) [cit. 2022.11.05.], dostupné z <[portal.chmi.cz](https://portal.chmi.cz)>

**ČSÚ** (2023): Český statistický úřad, Praha (online) [cit. 2023.01.15.], dostupné z <[https://www.czso.cz/csu/czso/13-1131-05-casova\\_rada-2\\_1\\_charakteristika\\_hlavniho\\_mesta\\_prahy](https://www.czso.cz/csu/czso/13-1131-05-casova_rada-2_1_charakteristika_hlavniho_mesta_prahy)>

**Draaijers G., Erisman J. W.** (1995): Atmospheric deposition in relation to acidification and eutrophication. Elsevier Science, New York: 404 s.

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

**EEA** (2022): Europe's environment agency, Air pollution: how it affects our health. (online) [cit. 2022.11.25.], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution>>

**Elliott E.M., Kendall C., Boyer E.W., Burns D.A., Lear G.G. et al.** (2009): Dual nitrate isotopes in dry deposition: Utility for partitioning NO<sub>x</sub> source contributions to landscape nitrogen deposition. J. Geophys. Res. 114

**EPA** (2022): United States Environmental Protection Agency: Health Effects of Ozone Pollution (online) [cit. 2022.11.23.], dostupné z <<https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>>

**EPA** (2022): United States Environmental Protection Agency: Particulate Matter (PM) Basics (online) [cit. 2022.11.27.], dostupné z <<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>>

**EUR-Lex** (2022): The Publication Office European Union, Luxembourg (online) [cit. 2022.11.23.], dostupné z <<https://eur-lex.europa.eu/content/summaries/summary-20-expanded-content.html>>

**Finlayson-Pitts, B. a Pitts, J.** (2000): Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, experiments and applications, 1. San Diego: Academic Press, 969 s.

**Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M. a Cape, N.** (2013): The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Biological Sciences*. London: Phil. Trans. R. Soc. B, (368). 1-13.

**Gowers, A., Walton H. a Exley, K.** (2020): Using epidemiology to estimate the impact and burden of exposure to air pollutants. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. **378**(2020). 1- 19 s.

**Guicherit R. et Roemer M.** (2000): Tropospheric Ozone Trends. *Chemosphere – Global Change Science* 2. 167–183.

**Hemerka, J., Vybíral, P.** (2010): Ochrana ovzduší, ČVUT, Praha, 148 s.

**Hewitt, N., C.,** (2020): Atmospheric science for environmental scientists, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, 189 s., ISBN 978-1-119-51522-7

**Holoubek, I. a Komárek, J.** (1982): Chemie životního prostředí. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 162 s.

**Howells, G.** (1990): Acid rain and acid waters, Ellis Horwood Limited, Cambridge, 215 s.

**Hruška, J. et Kopáček, J.** (2005): Kyselý déšť mezi námi: zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. *Planeta* 5. 3-5.

**Hruška J. et Kopáček J.** (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy I. Emise a depozice okyselujících sloučenin. *Živa*. 93–96.

**Huang, Y., Lu, X., Chen, K.** (2012): Wet atmospheric deposition of nitrogen: 20 years measurement in Shenzhen City, China, *Environmental Monitoring and Assessment* volume 185, 113–122.

**Hůnová, I., Janoušková, S.** (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší, Karolinum, Praha, 143 s.

**Hůnová I.** (2016): Atmosférická depozice dusíku. *Chemické listy* 110. 779–784.

**Hůnová, I. et al.** (2019): Zpřesnění kvantifikace suché atmosférické depozice dusíku: výzkumná zpráva, technický dokument ČHMÚ, 1-14.

**Intergovernmental panel on climate change** (2014): Climate change. Cambridge University Press, Cambridge, 1552 s.

**IRZ** (2003): Integrovaný registr znečištění. Ministerstvo životního prostředí (online) [cit. 2022.11.05.], dostupné z <[https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy\\_dusiku.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf)>

**Kelm M.** (1999): Nitric Oxide Metabolism and Breakdown. *Biochimica et Biophysica Acta* 1411. 273–289.

**Kurfürst, J.** (1982): Zdroje znečišťování ovzduší. Státní zemědělské nakladatelství, Praha 152 s.

**Lamb, D., Bowersox, V.** (2000): The national atmospheric deposition program: an overview, *Atmospheric Environment*, 34 (11), 1661-1663.

**Lazaridis, M.** (2011): First Principles of Meteorology and Air Pollution. Dordrecht: Springer, Ontario, 362 s., ISBN 978-94-007-0161-8.

**Loučka T.** (2014): Chemie životního prostředí. Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem: 164 s.

**Moldan, B.** (1985): Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, 52 s.

**Moldan, B.** (1992): Atmosférická depozice na území Československa v letech 1976-1987, Český hydrometeorologický ústav, Praha, 44 s.

**Moldan, B.** (2015): Podmaněná planeta, karolinum, Praha, 512 s., ISBN 978-80-246-3012-0.

**Moldan, B.** (2018): Civilizace na planetě Zemi, karolinum, Praha, 182 s., ISBN 978-80-246-4601-5.

**Möller, D.** (2015): Chemistry of the climate system, Walter de Gruyter, Berlin, 517 s., ISBN 978-3-11-019791-4.

**Mukherjee, A., Agrawal, M.** (2017): World air particulate matter: sources, distribution and health effects, *Environmental Chemistry Letters*. 15. 283-309.

**MŽP** (2015): Ministerstvo životního prostředí: Vláda schválila novelu zákona o ochraně ovzduší a podpořila kontroly provozu kotlů přímo v domácnostech (online) [cit. 2022.11.27.], dostupné z <[http://www.mzp.cz/cz/news\\_151214\\_ZOOO](http://www.mzp.cz/cz/news_151214_ZOOO)>

**MŽP** (2022): Ministerstvo životního prostředí (online) [cit. 2022.11.22.], dostupné z <<http://www.mzp.cz>>

**Nábělková, J. a Nekovářová, J.** (2010): Chemie životního prostředí. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 197 s.

**National Library of Medicine** (2022): Sulfur dioxide (online) [cit. 2022.11.13.], dostupné z <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sulfur-dioxide#section=Information-Sources>>

**National Research Council** (1983): Acid Deposition: Atmospheric Processes in Eastern North America, National Academies Press, Washington, 391 s., ISBN 9780309557511

**Norval, M., Lucas, M., R., Cullen, P., A., Gruijl, R., F., Longstreth, J., Takizawa, Y., van der Leun, C., J.**, (2011): The human health effects of ozone depletion and interactions with climate change, Photochemical & Photobiological Sciences, 10, 199 - 225.

**NPS** (2022): National Park Service. Sulfur Dioxide effects on Health (online) [cit. 2022.11.22.], dostupné z <<https://www.nps.gov/subjects/air/humanhealth-sulfur.htm>>

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

**Queensland Government**, (2022): Queensland Government, Air pollutants: Sulphur dioxide (online) [cit. 2022.11.20.], dostupné z <<https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-pollution/pollutants/sulfur-dioxide>>

**Quitt, E.**, (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, Brno, 73 s.

**Spanhake E., W., Reddy, S.P.M., Jacoby, D.B., Saatian X.-Y. Yu, B., Tian, J.** (2002): Synergism between rhinovirus infection and oxidant pollutant exposure enhances airway epithelial cell cytokine production, Environ Health Persp, 110 (2002), 665-670.

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

**Šantroch, J.** (1985): Sledování kvality srážek a mokré depozice. In: ČERNÝ J., Sborník. Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, 57 s.

**Šimunek, O.** (2003): Stanovení systémové chyby měření a odhad celkové atmosférické depozice dusíku v letech 1994–2000 v centrální části CHKO Český kras. Bohemia centralit, 26. 73-84.

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

**ÚAPP** (2008): Územně analytické podklady hl. m. Prahy: přírodní podmínky, krajina, (online) [cit.2023.01.19.], dostupné z <[https://iprpraha.cz/uploads/assets/soubory/data/UAP2008/2\\_2\\_prirodni\\_podminky\\_krajina.pdf](https://iprpraha.cz/uploads/assets/soubory/data/UAP2008/2_2_prirodni_podminky_krajina.pdf)>

**ÚAP** (2020): Územně analytické podklady (online) [cit. 2023.01.20.], dostupné z <<https://uap.iprpraha.cz/#/texty/314025/314396>>

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

**Virtanen, K. a Häme Koski, T.** (1989): Ochrana ovzduší (14). ICLEI: Centrum environmentálních analýz.

**Virtanen, T., Häme Koski, K.** (1999): Ochrana ovzduší – Svazek 14, Centrum environmentálních analýz, ICLEI, 31 s.

**Vlasáková L., Škáchová H.** (2021): Systém sběru, zpracování a hodnocení dat v roce 2021: Znečišťování a kvalita ovzduší, Atmosférická depozice, Skleníkové plyny, ČHMÚ, Praha: 48 s.

**Vysoudil, M.** (2002): Ochrana ovzduší, Univerzita Palackého, Olomouc, 114 s.

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

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

**Závodský, D.** (1985): Meranie kyselých depozícií. In: ČERNÝ J., Sborník. Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, 1985, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, 7-10.

**ZÚ** (2022): Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, online: [www.zuusti.cz](http://www.zuusti.cz), cit. 5. 11. 2022.

## **8 Seznam obrázků, tabulek a grafů**

### **Seznam obrázků**

Obrázek 1 - Schéma procesů, jimž podléhají látky znečišťující ovzduší (Hůnová 2009)	2
Obrázek 2 - Průběh procesů, které vedou k atmosférické depozici (Hůnová a Janoušková 2009)	3
Obrázek 3 - Schéma atmosférické depozice dusíku (Hůnová et al. 2019)	23
Obrázek 4 - Mapa měřících stanic atmosférické depozice v ČR (ČHMÚ 2020)	23
Obrázek 5 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2017 (ČHMÚ 2017)	25
Obrázek 6 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2018 (ČHMÚ 2018)	28
Obrázek 7 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2019 (ČHMÚ 2019)	30
Obrázek 8 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2020 (ČHMÚ 2020)	33
Obrázek 9 - Atmosférická depozice dusíku na území ČR v roce 2021 (ČHMÚ 2021)	35

### **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2017	24
Tabulka 2 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2017	24
Tabulka 3 - Mokrý depozice dusíku v Praze v roce 2017	26
Tabulka 4 - Roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v Praze za rok 2017	26
Tabulka 5 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2018	27
Tabulka 6 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2018	27
Tabulka 7 - Mokrý depozice dusíku v Praze v roce 2018	29
Tabulka 8 - Roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v Praze za rok 2018	29
Tabulka 9 - Depoziční tok dusíku v ČR za rok 2019	30
Tabulka 10 - Atmosférická depozice dusíku v ČR za rok 2019	30

Tabulka 11 - Mokr depozice dusíku v Praze v roce 2019 .....	31
Tabulka 12 - Roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v Praze za rok 2019 .....	31
Tabulka 13 - Depoziční tok dusíku v R za rok 2020 .....	32
Tabulka 14 - Atmosfrick depozice dusíku v R za rok 2020 .....	33
Tabulka 15 - Mokr depozice dusíku v Praze v roce 2020 .....	34
Tabulka 16 - Roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v Praze za rok 2020 .....	34
Tabulka 17 - Depoziční tok dusíku v R za rok 2021 .....	35
Tabulka 18 - Atmosfrick depozice dusíku v R za rok 2021 .....	35
Tabulka 19- Mokr depozice dusíku v Praze v roce 2021 .....	36
Tabulka 20 - Roční imisní hodnoty NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v Praze za rok 2021 .....	36
Tabulka 21 - Vývoj depozičního toku dusíku v R v letech 2017-2021 .....	38
Tabulka 22 - Atmosfrick depozice dusíku v R v letech 2017-2021 .....	38
Tabulka 23 - Mokr depozice sloučenin dusíku v Praze v letech 2017-2021 .....	39

### **Seznam grafů**

Graf 1 - Vývoj depozičního toku dusíku v R v letech 2017-2021 .....	38
Graf 2 - Atmosfrick depozice dusíku v R v letech 2017-2021 .....	38
Graf 3 - Poměr NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> a NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ve srzkch v letech 2017-2021 .....	40
Graf 4 - Znzornn mone závislosti NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> a NO <sub>x</sub> .....	40
Graf 5 - Znzornn mone závislosti mezi NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> a NO <sub>2</sub> .....	41
Graf 6 - Znzornn mone závislosti mezi NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> a NO <sub>x</sub> .....	41
Graf 7 - Znzornn mone závislosti mezi NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> a NO <sub>2</sub> .....	42