

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Krajinového managementu

Vedoucí katedry: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Atmosférická depozice dusíku a fosforu  
v ČR i ve světě

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický

Autor bakalářské práce: Jitka Suchá

České Budějovice, duben 2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jitka SUCHÁ**  
Osobní číslo: **Z09532**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Atmosférická depozice dusíku a fosforu v ČR i ve světě.**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

Práce bude mít charakter literární rešerše s následujícím rámcovým obsahem:

- typy atmosférické depozice
- hodnoty depozice dusíku a fosforu v ČR a ve světě
- vývoj hodnot depozice v čase v různých regionech

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **35 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:


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

časopisy: Science of the total environment, Physics and chemistry of the earth, Journal of environmental management, Journal of environmental quality, atd.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Bystřický**  
Katedra krajinného managementu


Datum zadání bakalářské práce: **14. března 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2012**

  
prof. Ing. Miloš Soch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

L.S.

  
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 14. března 2011

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne .....

.....

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat především svému vedoucímu Ing. Václavu Bystřickému za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při tvorbě mé bakalářské práce.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá atmosférickou depozicí dusíku a fosforu v České republice a ve světě. Pro snadnější porozumění vzniku atmosférické depozice jsou v práci zkráceně vysvětleny pojmy jako je zdroj znečištění, emise nebo imise, které jsou na sobě závislé a často se navzájem ovlivňují. Jsou zde uvedeny jednotlivé typy atmosférické depozice, jejich podrobnější členění, odebrání a postup při zjišťování velikosti atmosférické depozice. Dále jsou v práci uvedeny současné hodnoty atmosférické depozice v evropských i mimoevropských zemích a hodnoty České republiky, kde je ve zkrácené podobě popsán trend atmosférické depozice od padesátých let do současnosti. V práci jsou uvedeny staniční sítě České republiky, jejich náplň a způsoby sbírání dat, které nadále slouží k vyhodnocování stavu kvality ovzduší v Evropě v programu EMEP, kde je možné najít údaje o dalších evropských zemích. Dále jsou zde uvedeny hodnoty atmosférické depozice dusíku a fosforu v USA, především na východním pobřeží a centrální části Spojených států amerických, a v Číně. V poslední části je práce zaměřena na vývoj hodnot atmosférické depozice dusíku v České republice ve vybraných více i méně postižených oblastech.

**Klíčová slova:** zdroje znečištění, imise, emise, suchá depozice, mokrá depozice, kyselá depozice, atmosférická depozice

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is focused on the atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus in the Czech Republic and round the world. For easier understanding of atmospheric deposition in the thesis there are shortly explained terms such as the source of pollution, emissions and air pollutants, which are interdependent and often interact. There are presented different types of atmospheric deposition, their detailed classification, their collection and the process of determining the size of atmospheric deposition. Furthermore, this thesis gives the current value of atmospheric deposition in European and non European countries and the values in the Czech Republic, where the trend of atmospheric deposition from the fifties to the present is shortly described. The thesis presents the station network in the Czech Republic, its functions and methods of data collection, which are still used to evaluate the air quality situation in Europe in the EMEP programme, where you can find information about other European countries. Then the values of atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus in the U.S., especially on the east coast and central parts of the United States of America, and China are presented. The last part of the thesis is focused on atmospheric nitrogen deposition value development in the Czech Republic selected, more or less affected areas in the Czech republic.

**Keywords:** pollution sources, air pollutions, emissions, dry deposition, wet deposition, acid deposition, atmospheric deposition

## OBSAH:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ÚVOD</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>2. ATMOSFÉRICKÁ DEPOZICE</b> .....                                     | <b>8</b>  |
| 2.1 Význam pojmu atmosférická depozice .....                              | 8         |
| 2.2 Faktory ovlivňující atmosférickou depozici .....                      | 9         |
| 2.2.1 Zdroje znečištění .....   | 9         |
| 2.2.2 Emise .....   | 10        |
| 2.2.3 Imise .....   | 12        |
| 2.3 Historický pohled na atmosférickou depozici .....                     | 12        |
| 2.4 Vznik atmosférické depozice .....                                     | 14        |
| 2.5 Typy atmosférické depozice .....                                      | 16        |
| 2.5.1 Mokrý atmosférická depozice .....                                   | 16        |
| 2.5.1.1 Horizontální mokré depozice .....                                 | 17        |
| 2.5.1.2 Vertikální mokré depozice .....                                   | 19        |
| 2.5.2 Suchá atmosférická depozice .....                                   | 20        |
| 2.5.3 Kyselá atmosférická depozice .....                                  | 21        |
| <b>3. HODNOTY DEPOZICE DUSÍKU A FOSFORU</b> .....                         | <b>24</b> |
| 3.1 Odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti depozice .....       | 25        |
| 3.1.1 Mokrý depozice .....  | 26        |
| 3.1.2 Suchá depozice .....  | 27        |
| 3.2 Atmosférická depozice v Asii .....                                    | 29        |
| 3.3 Atmosférická depozice v Americe .....                                 | 29        |
| 3.4 Atmosférická depozice v Evropě .....                                  | 31        |
| 3.5 Atmosférická depozice v České republice .....                         | 34        |
| 3.6 Staniční sítě sledování atmosférické depozice v České republice ..... | 35        |
| <b>4. VÝVOJ HODNOT DEPOZICE V ČASE V ČESKÉ REPUBLICE</b> .....            | <b>40</b> |
| 4.1 Oblast Černého trojúhelníka .....                                     | 41        |
| 4.2 Českomoravská vrchovina .....   | 43        |
| 4.3 Oblast Český kras ve středních Čechách .....                          | 44        |
| <b>5. ZÁVĚR</b> .....   | <b>47</b> |
| <b>6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....                                 | <b>49</b> |
| <b>7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....                                  | <b>55</b> |
| <b>8. SEZNAM PŘÍLOH</b> .....   | <b>55</b> |



## 1. Úvod

Atmosféra Země, na jejímž spodním okraji žijeme, je náš fyzikální faktor číslo jedna. Živé organismy, lidé i zvířata, potřebují ke svému životu atmosféru ve složení, jaké právě má (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Atmosféru tvoří z 99 procent směs dusíku a kyslíku. Toto pozoruhodně stabilní složení si atmosféra zachovává už miliony let. Koncentrace některých dalších složek se však v průběhu posledních dvou století značně měnila (SKOK, 2003). Na snížení kvality ovzduší se mohou podílet nejen cizorodé látky unikající do ovzduší jako antropogenní artefakty (např. nově syntetizované sloučeniny), ale také v prostředí obvyklé látky v množstvích a koncentracích, které nejsou považovány za přirozené, nebo jejichž přirozený výskyt ve větších množstvích nebo vyšších koncentracích je vázán na ojedinělé případy nebo specifické lokality (sopečné erupce, epizody výronu plynů či aerosolu, prašné bouře apod.) (BRANIŠ, 2009). Atmosférické srážky mají podíl na vymývání atmosféry, ale přímým negativním důsledkem tohoto procesu je vznik tzv. kyselých dešťů. Jejich působením se zvyšuje kyselost půdy (pH faktor), poškozují vegetaci a zamořují povrchová voda (VYSOUDIL, 2002). Znečištění ovzduší je předmětem pozornosti již od dob, kdy člověk začal svou činností vnášet do přírodního složení ovzduší další příměsi (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Atmosférická depozice je jedním z bilančních vstupů dusíku do všech ekosystémů. Nárůst hodnot depozice dusíku v minulém období, zapříčiněný především rozvojem průmyslu a dopravy, se významně podílel na postupné degradaci mnoha přirozených společenstev, na snižování druhové pestrosti a na vytlačování méně konkurence schopných vzácných druhů rostlin a následně i živočichů (ŠIMUNEK, 2003). Atmosférická depozice odstraňuje látky, které jsou do atmosféry emitovány nebo které zde vznikají v důsledku chemických reakcí. Pro ostatní složky prostředí (hydrosféru, pedosféru, kryosféru, biosféru) však představuje často velmi významný zdroj znečišťujících látek (HŮNOVÁ, 2009).

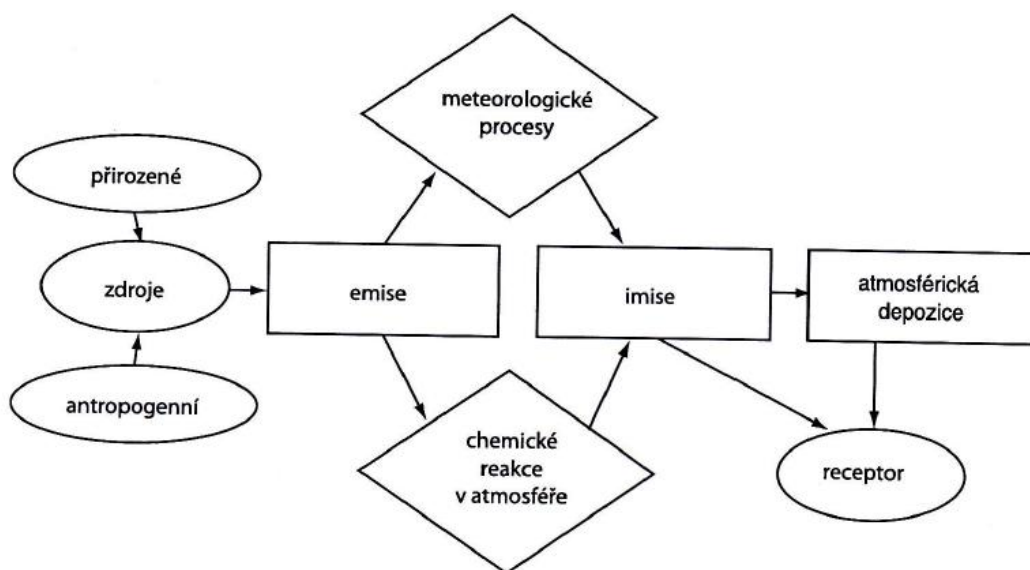
Cílem této práce je objasnit rozčlenění atmosférické depozice na jednotlivé typy, porovnat hodnoty depozice dusíku a fosforu v České republice a v jiných státech světa, a v neposlední řadě ukázat vývoj hodnot depozice dusíku v čase ve vybraných oblastech České republiky.

## 2. ATMOSFÉRICKÁ DEPOZICE

### 2.1 Význam pojmu atmosférická depozice

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

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



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

(Zdroj: HŮNOVÁ, 2009).

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

## 2.2 Faktory ovlivňující atmosférickou depozici

### 2.2.1 Zdroje znečištění

Termín znečištění pochází z latinského slova *polluere* a znamenal zašpinit, umazat. Znečištění může být definováno jako nežádoucí změna ve fyzikálním, chemickém a biologickém charakteru v ovzduší. Primárním zdrojem znečištění je mokrá a suchá atmosférická depozice, doprava a nahromaděné odpady (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Znečištění ovzduší může mít přímý i nepřímý vliv na lidské zdraví, a to jak krátkodobě, tak dlouhodobě (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

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

Zdroje znečištění můžeme rozdělit do dvou skupin na přírodní a antropogenní (NOVOTNY A CHESTERS, 1981).

#### Přírodní zdroje

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

#### Antropogenní zdroje

Vedle těchto příměsí přírodního původu je třeba zmínit se i o příměsích antropogenní povahy, které se do atmosféry dostávají jako přímý nebo nepřímý produkt činnosti člověka a mohou mít plynné, kapalné nebo tuhé skupenství (BEDNÁŘ, 1989). Antropogenními zdroji rozumíme veškeré zdroje související s lidskou činností, tedy výrobu elektřiny, tepla, průmyslovou a zemědělskou výrobu,

dopravu a likvidaci odpadu (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004), výrobu energie a průmysl (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Automobilová doprava představuje jeden z hlavních zdrojů znečišťování atmosféry. Celkově se motorová vozidla podílejí jednou třetinou na veškerých emisích znečišťujících plynů (SKOK, 2003). Hlavní příčina nadměrného znečišťování atmosféry, zejména troposféry, je produkce znečišťujících látek průmyslovou činností. Jejich odstraňování nebo alespoň maximální snižování jejich produkce je klíčovým problémem při ochraně čistoty ovzduší (VYSOUDIL, 2002). Rozvoj průmyslových činností během posledních dvou staletí značně zvýšil koncentraci těchto látek v ovzduší (SKOK, 2003). Plynné příměsi antropogenního původu tvoří nejzávažnější hygienický a ekologický problém, které mají katastrofální dopad (zdevastované lesy...) (VYSOUDIL, 2006).

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

### **2.2.2 Emise**

Znečišťující příměsi, tak jak jsou vypouštěné ze zdrojů, se označují jako emise (VYSOUDIL, 2002). Jsou do ovzduší vypouštěny (emitovány) emisními zdroji nejrůznějších typů (BRANIŠ, 2009). Moderní průmyslově vyspělé společnosti, spotřebují velké množství přírodních zdrojů a energie k výrobě zboží a služeb pro obyvatelstvo. Téměř veškerá tato činnost je spojena s vypouštěním emisí do ovzduší. Spalování paliva při výrobě je největší stacionární zdroj exhalátů v průmyslovém světě. Je to primární zdroj emisí oxidu siřičitého a velký zdroj oxidů dusíku. Mobilní zdroje emisí jsou všechny druhy dopravy (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). A i když při používání automobilů bylo dosaženo výrazného snížení emisí (využití katalyzátorů snižujících výrazně emise NO a CO, a související pokles využívání tetraethylolova), problémem zůstává významný nárůst dopravy ve všech světových regionech (BRANIŠ, 2009). Procesy jako spalování uhlí nebo

doprava vznikají emise oxidu siřičitého a oxidu dusíku, které způsobují fenomén zvaný kyselý déšť (NOVOTNY A CHESTERS, 1981).

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

Přes 70 % Evropanů žije v městských oblastech a ochrana ovzduší ve městech při současném zachování všech nutných činností představuje zásadní problém (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

Mezi emisemi nejzatíženější oblasti České republiky patří stále tradiční oblasti, kterými jsou území hlavního města Prahy, severočeská a severomoravská oblast (VYSOUDIL, 2002). Mezi deseti největšími znečišťovateli je sedm uhelných elektráren – z toho pět provozovaných společnostmi ČEZ, jeden chemický a dva metalurgické provozy. První desítka nese odpovědnost za 44 milionů tun emisí, tedy zhruba třetinu celkového českého znečištění (KOTECKÝ A POLANECKÝ, 2005). Emise síry a dusíku jsou hlavními zdroji kyselé depozice (HOWELLS, 1990). Srovnáme-li emise  $\text{NO}_x$  ze zdrojů přirozených a antropogenních, je překvapující, že se pohybují ve stejném řádu. Emisní koncentrace jsou mnohem vyšší v oblastech s intenzivní lidskou činností než v oblastech odlehlých a od zdrojů vzdálených (BRANIŠ, 2009).

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

Přirozené a antropogenní zdroje dusíku ve světovém měřítku jsou zhruba stejné. Ve středních šířkách severní polokoule činí antropogenní podíl asi 80%

z celkových emisí: v městsko-průmyslových aglomeracích může být antropogenní podíl ještě větší (JONÁŠ, 1985).

### 2.2.3 Imise

Znečišťující příměsi obsažené v atmosféře, které přecházejí na příjemce nebo jsou s ním v kontaktu (příjemcem může být organismus, stavební materiál, půda...), označujeme jako imise (BRANIŠ, 2009). Imise prošly procesem prostorového rozptylu od svých zdrojů do okolí. Při tom u nich obvykle došlo k řadě fyzikálních a chemických změn (VYSOUDIL, 2002).

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

Imisí se stává emise po přenosu, rozptýlení a po fyzikálně-chemických reakcích, do nichž v atmosféře vstupuje. Množství imise (koncentrace) se vyjadřuje v ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) nebo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (BRANIŠ, 2009), popř. hmotností příměsi na 1 kg vzduchu. Často se též setkáváme, zvláště v odborné literatuře, s jednotkami ppm (pars per milion), příp. ppb (pars per billion), které označují poměr objemu znečišťujících příměsí k objemu směsi (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

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

## 2.3 Historický pohled na atmosférickou depozici

Kyselý déšť se často považuje za problém vzniklý v posledních letech (ÚVTIZ, 1986), ale kyselá srážka nejsou novým fenoménem. Tento jev se projevuje přibližně už 3 století (SEINFELD A PANDIS, 1998). Význam kyselé atmosférické

depozice je však možné datovat již v roce 1872 v publikaci Anguse Smithe s názvem *Air and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology* (MOLDAN, 1991). Smith, anglický chemik, který zřejmě jako první analyzoval chemické složení deště v souvislosti s průmyslem v Británii, popsal 3 druhy příměsí ve vzduchu - s uhličitánem amoniaku ve volných oblastech, se síranem amoniaku na předměstích a s kyselinou sírovou ve městech (HOWELLS, 1990). Prof. J. Stoklasa se zabýval složením atmosférických srážek již v roce 1883 až 1884. Upozorňoval, že "kouřové škody budou den ze dne stoupat" a vyzýval vlády jednotlivých zemí, aby daly podnět k zahájení výzkumu znečištění ovzduší a aby byly stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty pro koncentraci škodlivých látek (ÚVTIZ, 1986).

Atmosférická depozice je velmi významným ekologickým činitelem. Švédští vědci Rossby a Egnér zahájili na začátku padesátých let výzkum Air Chemistry Network (ERIKSSON, 1970). Až v roce 1961 švédský chemik Svante založil ve Skandinávii monitorovací síť pro chemismus povrchových vod. Na základě svých měření popsal kyselý déšť jako fenomén regionálního měřítka vyskytující se ve značné části Evropy. Hlavním základem našeho současného poznání kyselého deště a jeho důsledků jsou práce Evilla Gorhama. Prokázal v roce 1955, že acidita srážek v blízkosti průmyslových oblastí je způsobena emisemi ze spalovacích procesů, že zvyšující se acidita povrchových vod je způsobena srážkami (HŮNOVÁ, 2009). Od konce 70. let dvacátého století je acidifikace pokládána za jeden z nejzávažnějších problémů životního prostředí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Švédská případová studie pro konferenci OSN o životním prostředí ve Stockholmu 1972 - Znečištění ovzduší přes hranice států, je považována za zásadní studii kyselé depozice. Za deset let po konferenci ve Stockholmu byla acidifikace považována za jeden ze světových palčivých ekologických problémů (MOLDAN, 1991). V roce 1980 USA a Kanada podepsaly memorandum o záměru zavedení bilaterálních dohod o přenosu znečištění přes hranice států včetně kyselé depozice. Obě země ustavily dlouhodobé programy pro sledování chemického složení srážek (NAPAP, National Acid Precipitation Assessment Program v USA a CANSAP, Canadian Network for Sampling Precipitation v Kanadě) (HŮNOVÁ, 2009), (EMEP, European Monitoring and Evaluation Programme v Evropě) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). V roce 1980 byla uspořádána v Norsku Mezinárodní vědecká konference o kyselých srážkách, v červnu 1982 se konala ve Stockholmu Světová konference o okyselení prostředí, v březnu 1984 v Ottawě (Ontario, Kanada) mezinárodní konference zástupců ministerstev pro životní prostředí o nutnosti ochrany před znečištěním ovzduší (ÚVTIZ, 1986). Další zprávy ukázaly, že kyselou depozici je možné považovat za jeden z nejnebezpečnějších globálních

ekologických problémů, kterému bude lidstvo čelit v blízké budoucnosti (MOLDAN, 1991).

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

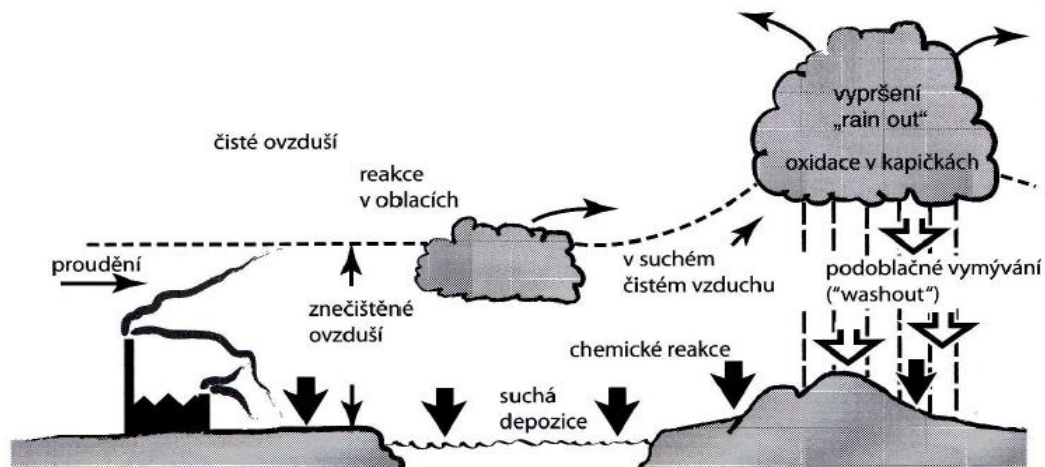
Macdougall (1988) a Waldrop (1988) tvrdili, že kyselá atmosférická depozice dokonce mohla hrát klíčovou roli v zániku dinosaurů a jiných živočichů v době křídové (MOLDAN, 1991).

## 2.4 Vznik atmosférické depozice

Významnou vlastností ovzduší je jeho schopnost účinného samočištění, která je součástí řady stabilizačních mechanismů většinou spojených se systémem zpětných vazeb. Nejdůležitějšími mechanismy obnovy přirozeného složení atmosféry jsou oxidační reakce v ovzduší odbourávající organické sloučeniny v atmosféře v konečné fázi na oxid uhličitý a vodu, a dále srážková činnost, která odstraňuje z ovzduší účinně jak pevné, tak i většinu plyných nečistot (PŘIBIL, 2009).

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





Obr. č. 2: Procesy vedoucí k atmosférické depozici.

(Zdroj: HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2009)

Různé znečišťující příměsi se do srážkové vody dostávají buď již při samotném vzniku srážkových elementů, tj. vodních kapek nebo ledových částic uvnitř oblaků (tzv. znečištění oblačné vody), nebo v průběhu jejich pádu v podoblačné vrstvě vzduchu. Prvý ze dvou uvedených mechanismů se v anglosaské literatuře označuje termínem „rain out“ (česky vypršení, vydeštění), zatímco druhý „wash out“ (česky vymytí) (BEDNÁŘ, 1989). HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ (2004) upravují výraz na washout „vymývání“. Je zřejmé, že jisté znečištění srážek je zcela přirozeným a vlastně nutným jevem. Účinky kondenzačních jader ukazují pozitivní působení některých přirozených složek znečištění přítomných v ovzduší na kondenzační pochody, následkem čehož dochází už při samotném vzniku a v počáteční fázi vývoje zárodků srážkových elementů k jejich infekci těmito znečišťujícími příměsemi (BEDNÁŘ, 2009). Podoblačné vymývání je účinným mechanismem pro rozpustné plyny a aerosoly o průměru větším než 1  $\mu\text{m}$  a je významné, když koncentrace těchto látek jsou v podoblačné vrstvě mnohem vyšší než v oblaku. To se týká např. kouřových vleček v blízkosti emisních zdrojů. Při podoblačném vymývání je, vzhledem k výrazně většímu povrchu sněhových vloček ve srovnání s dešťovými kapičkami a k nižší pádové rychlosti, účinnější sníh než déšť (HŮNOVÁ, 2009).

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

## Jednotky měření atmosférické depozice

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

## 2.5 Typy atmosférické depozice

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

Suchá depozice převládá v blízkosti emisních zdrojů, tedy ve městech, v průmyslových aglomeracích a v jejich blízkosti, zatímco depozice mokrá je významnější v tzv. pozadových/regionálních oblastech (tedy v oblastech bez významných vlastních zdrojů) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Suchá a mokrá depozice mají hlavní podíl na čištění atmosféry (HOWELLS, 1990). Koncentrace jednotlivých složek atmosférické depozice se uvádějí nejčastěji v  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ , obvykle i časovým parametrem (VYSOUDIL, 2002).

### 2.5.1 Mokrá atmosférická depozice

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

Mokrá depozice je pojem vztahující se na proces přenosu plynů, tekutých i plynných látek z atmosféry na zemský povrch během srážkové události (ÚVTIZ, 1986). Mokrá atmosférická depozice je dějem epizodickým (HŮNOVÁ, 2009). Na jeden čtvereční metr povrchu spadne ročně 748 l vody a každý litr srážkové vody obsahuje v průměru zhruba 10 g rozpuštěných látek (MOLDAN, 1991). Mezi

nejhojnější chemické prvky tímto způsobem přenášené patří C, S, N, Ca, Cl, Na, K, Mg, Si, Al, Fe (MOLDAN, 1992).

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

Mokrý depozice se sleduje na základě celkových chemických analýz odebraných vzorků srážek pro vybrané ionty ( $\text{SO}_4^{2-}$  - S,  $\text{NO}_3^-$  - N,  $\text{NH}_4^+$  - N,  $\text{H}^+$  (pH)  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ) v souvislosti s jejich působením na složky životního prostředí. Prostorová depoziční zátěž území České republiky se stanovuje z pole koncentrací iontů ve srážkách a z pole ročních srážkových úhrnů, které bylo vytvořeno na základě údajů ze 750 srážkoměrných stanic se zohledněním vlivu nadmořské výšky na úhrn srážek (VYSOUDIL, 2002).

### 2.5.1.1 Horizontální mokré depozice

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

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

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

Výpočet atmosférické depozice z usazených srážek je nesrovnatelně obtížnější než u vertikálních srážek. Nejobtížnější část výpočtu představuje stanovení úhrnu usazených srážek. První pokusy odhadu velikosti záhytu mlžné vody v lesních porostech byly prováděny již v šedesátých letech 20. století v Japonsku (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006). Koncentrace znečišťujících látek v horizontálních srážkách přitom několikanásobně překračují koncentrace ve srážkové vodě (VYSOUDIL, 2002).

#### Jinovatka

Označujeme tak bílou, kyprou a peříčkovitou usazeninu, lesknoucí se na slunci, tvořenou ledovými krystalky podobných tvarů jako jíní. Jinovatka se tvoří na elektrickém vedení, větvích, jehličí, na hranách a rozích předmětů a budov. Někdy má tvar visících vláken. Trvají-li podmínky příznivé pro její tvorbu delší dobu, jinovatka značně narůstá zvláště proti větru (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Lze ji snadno odstranit poklepem a zpravidla nepůsobí škody (BEDNÁŘ, 1989). Vzniká v kteroukoli denní dobu zpravidla při teplotách nižších než  $-8^{\circ}\text{C}$  při mlze nebo i bez ní, ale v podmínkách, kdy vodní pára obsažená ve vzduchu je velmi blízko stavu nasycení vůči vodě (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

#### Námraza

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

Jinovatka a námraza mohou mít nepříznivé ekologické dopady na horské lesy, kde se může urychlit škodlivé působení znečištěného ovzduší. Zvláště

jinovatka může být velmi nebezpečným jevem, protože se vyskytuje v kritických zimních obdobích (MOLDAN, 1991).

Mlha

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

### **2.5.1.2 Vertikální mokré depozice**

Dosud nejlépe poznanou složkou atmosférické depozice je vertikální mokrá depozice, která se poměrně snadno měří (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). V běžně používaných zařízeních pro odběr vertikálních srážek jsou usazené srážky zachytávány v zanedbatelném a blíže nedefinovatelném množství a při vyhodnocování celkové atmosférické depozice může být právě z důvodu zanedbání depozice usazených srážek celková atmosférická depozice pro dané území významně podhodnocena (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006).

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

Děšť

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

Sníh

Tuhé srážky padající z oblaků a skládající se z ledových krystalků (popř. jejich shluků), jež mají převážně tvar šesticípé hvězdice nebo jejich částí (BEDNÁŘ, 1989), při vyšších teplotách má vzhled chomáčů (VYSOUDIL, 2006).

Kroupy

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

### **2.5.2 Suchá atmosférická depozice**

Suchá depozice představuje tok plynů a částic z atmosféry (MOLDAN, 1991). Depozice suchá se uskutečňuje usazováním tuhých částic a absorpcí plynných složek vegetací a dalšími objekty na zemském povrchu (VYSOUDIL, 2002). Suchá depozice je v porovnání s vymýváním srážkami podstatně pomalejší proces. Na rozdíl od srážek však probíhá neustále. V celkových bilancích za delší časové období suchá depozice v průmyslových oblastech několikanásobně převyšuje mokrou, naopak v odlehlých, čistých, v našich podmínkách nejčastěji horských polohách, už převažuje mokrá depozice (ZÁVODSKÝ, 1985).

Podíl suché depozice na celkové atmosférické depozici vzrůstá v tzv. impaktních oblastech (oblasti pod přímým vlivem emisních zdrojů, průmyslové aglomerace) (HŮNOVÁ, 2009) a městských oblastech. Přímé vstřebávání plynů bylo studováno výhradně pro sloučeniny síry a dusíku ve vztahu ke kyselé depozici (MOLDAN, 1991). Suchá depozice dominuje tedy blíže ke zdroji (HOWELLS, 1990). Údaje o suché depozici v tuhé formě jsou na rozdíl od depozicí plynných a suchých ucelenější (VYSOUDIL, 2002). Suchá depozice spojená se spadem částic se dá měřit pomocí různých jednoduchých i složitých zařízení, která simulují přirozený povrch vegetace na zemském povrchu. Používá se odběrových zařízení nejrůznějších tvarů a z různých materiálů, které mají společné to, že musí být chráněny před vlivem depozice mokré, která je zejména v čistých oblastech podstatně významnější (MOLDAN, 1985).

Gravitační síla je primárním mechanismem, který stanovuje výši suchého spadu z atmosféry, ale i další vlivy jako je elektrostatická přitažlivost, adsorpce a chemické reakce (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Faktory, které ovlivňují suchou depozici plynů a částic, jsou zejména atmosférická turbulence, chemické vlastnosti deponovaných látek a podstata povrchu, na který jsou látky deponovány (HŮNOVÁ,

2009). Mezi nejvíce reaktivní plyny patří např. oxid siřičitý, kyselina dusičná, oxidy dusíku a okysličovadla (MOLDAN, 1991).

### 2.5.3 Kyselá atmosférická depozice

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

Znečištění ovzduší má přímý a nepřímý dopad na životní prostředí. Oxidy síry a dusíku jsou hlavními prekursory kyselého spadu. Ten je spojován s okyselováním půdy a sladkovodních vod, které má zase nepříznivé účinky na vodní a půdní ekosystémy. Vysoké koncentrace  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  a  $\text{O}_3$  také přímo působí ztráty úrody a poškození lesů (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Ke vzniku kyselého deště mohou částečně a lokálně vést i přírodní procesy, jako např. lesní požáry (ÚVTIZ, 1986). Hlavní sloučeniny, které se v této souvislosti sledují, jsou oxidy síry a dusíku, amoniak a amonné ionty ( $\text{NH}_4^+$ ) (BARTOŇOVÁ, 2009). Kyselý déšť je vyvolán přítomností kyselin, vznikajících postupně především z oxidů síry a dusíku – ale i jiných látek – obsažených v průmyslových emisích. Srážky obsahují i některé další znečišťující látky, jako jsou těžké kovy a organické sloučeniny. V současné době se velký zájem věnuje právě těmto dalším složkám srážkových vod. Jsou to zejména sloučeniny čtyřmocné síry,  $\text{H}_2\text{O}_2$  a organické látky (ÚVTIZ, 1986). V důsledku oxidačních reakcí v atmosféře jsou zde přítomny kyseliny v plynné fázi ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , atd.) v aerosolu (sulfáty, nitráty, chloridy, organické kyseliny atd.) a v kapalně fázi (SEINFELD A PANDIS, 1998). Z nich jsou zvláště sledovány silné organické kyseliny, kyselina octová a zejména mravenčí, které se mohou podílet až 30% na celkové aciditě srážkové vody. Chemické složení srážek a koncentrace vodíkových iontů je určena způsobem obhospodařování krajiny a blízkostí emisních zdrojů (ÚVTIZ, 1986).

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

Termín kyselý déšť může být používán pro srážky, které mají hodnotu pH nižší než 5,6 (NOVOTNY A CHESTERS, 1981). Někteří autoři používají místo pojmu "kyselé srážky" nebo "kyselý déšť" pojem "kyselá mokrá depozice". Podle definice Úřadu pro ochranu životního prostředí v USA (EPA) se za kyselou dešť považují srážky, jež mají hodnotu pH nižší než 4,5. Primárním faktorem je znečištění ovzduší, přičemž látky kyselého charakteru přestupují z atmosféry na zemský povrch mokrým i suchým spadem. Rostoucí kyselost srážkové vody je hlavním nepříznivým následkem růstu regionálního znečištění ovzduší (ÚVTIZ, 1986). Masivním používáním fosilních paliv v průmyslu a pro pohon motorových vozidel se do atmosféry uvolňují oxid siřičitý a oxid dusíku. Větrná proudění odnášejí takto znečištěné mraky někdy i tisíce kilometrů daleko. Pak dešťové a sněhové srážky vrátí tyto kyseliny zpět na zemský povrch (SKOK, 2003).

Acidifikace je regionálním problémem souvisejícím s dálkovým přenosem znečišťujících látek přes hranice států a její omezení vyžaduje mezinárodní úsilí pro zavedení opatření k přechodu na čistší paliva a redukcii emisí (HŮNOVÁ, 2009). Kyselá depozice způsobuje celou řadu ekologických problémů a má dalekosáhlé důsledky na naše kulturní dědictví (zvýšení sazeb koroze) a dokonce i na lidské zdraví (MOLDAN, 1991).

Nejnebezpečnější vlastností síry antropogenního původu v atmosféře je její rozpustnost ve vodě. Při vypadávání srážek dochází k vymývání sloučenin síry i



jiných látek z ovzduší, ale na druhé straně kontaminovaná voda znehodnocuje půdu, ničí vegetaci a znečišťuje povrchové vodní zdroje (VYSOUDIL, 2002).

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

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

### 3. HODNOTY DEPOZICE DUSÍKU A FOSFORU

S atmosférickou depozicí úzce souvisí pojem kritická zátěž (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Kritická zátěž je definována jako nejvyšší hodnota acidifikujících sloučenin, která nepůsobí chemické změny. Tyto případné chemické změny mohou vést ke škodlivým účinkům na funkci a strukturu ekosystému (AKSELSSON A KOL., 2003).

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

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

uvažuje lesní ekosystém jako nejzranitelnější součást krajiny s ohledem na účinky kyselé atmosférické depozice (SKOŘEPOVÁ A KOL., 1997).

V České republice jsou aktuální kritické zátěže acidifikujících sloučenin síry a dusíku překročeny na velké většině území. Český ekologický ústav, který se mapováním kritických zátěží u nás zabývá, udává, že v roce 1996 byly kritické zátěže pro S a N překročeny na cca 99% lesních ploch ČR, v roce 2000 na cca 86%. Ještě nepříznivější situace je v případě kritických zátěží nutričního dusíku. V roce 1996 byly kritické zátěže pro nutriční N překročeny na 100% lesních ploch v ČR, v roce 2000 pak na 99% (HŮNOVÁ, 2009).

V České republice a evropských státech nejsou k dispozici hodnoty atmosférické depozice fosforu. ČHMÚ v ČR se měřením fosforu nezabývá.

### 3.1 Odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti depozice

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

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

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

### 3.1.1 Mokr depozice

#### Vertikální mokr depozice

Velikost mokr vertikální depozice se zjiřtuje nsobenm hodnot koncentrace jednotlivých složek ve srzkov vodě a množství vody spadl na jednotku plochy za sledovan období. Toto množství se stanoví jako úhrn za dané období mřen konvenn srzkomrnou metodou (MOLDAN, 1992). Spočte se podle jednoduchého vztahu:

$$D = c_i \cdot P$$

kde

$c_i$  je prmrn koncentrace mřen složky (průměr ven srzkovm úhrnem) a  $P$  je srzkov úhrn za vyslovan časov období (zpravidla rok) (HUNOV A JANOUŐKOV, 2004). Z uvedeného vzorce je zřejm, že i v relativn velmi čistých oblastech mohou být hodnoty mokr depozice znan vysok, což je dáno vysokými ronmi srzkovmi úhrny (platí zejména pro horsk stanice) (HUNOV, 2009).

Odběr srážek musí zajistit záchytů čistých vod nekontaminovaných prařnm spadem. Provádí se jednak manuálním způsobem pomocí nlevk (v letnm období) nebo polyetylénových vder (v zimě) s pokličkami odkrvanmi pozorovatelem v době deřt nebo snen, jednak automatickm zařízením typu pluviokolektor. Toto zařízení má záchytnou plochu ve vřce 160 cm nad zemí. Jeho plocha je 1/10 m<sup>2</sup> (průměr 35,7 cm). Zařízení je otevřeno pouze v době srážek, v bezesrzkovm období je zakryto vkem, mechanicky odklpnm na základě povelu zidla, jež reaguje na první kapky deřt nebo snov vloky (MOLDAN, 1992).

Vzorek vertikálních srážek (deřt, snu) je mon odebírat třemi způsoby. Nejčastěji se pouiv odběru typu „wet-only“, kdy je odbrov zařízení (automatick pluviokolektor) exponováno pouze po dobu srzkov epizody a umožnuje nm odebírat pouze tzv. čist srážky, tedy srážky bez suchého spadu (HUNOV A JANOUŐKOV, 2004). V čistých oblastech s minimln rovn such depozice je možno pouivat pro odběr vzorku srážek k stanoven atmosfrick depozice zařízení otevřen po celou dobu expozičního období (bulk) (ZAPLETAL, 1997). Třetím monm typem odběru je metoda „throughfall“, kter se považuje za nejlepř mon odhad celkov atmosfrick depozice. Odbrov nádoby jsou exponovány pod lesním porostem nepřetrit zpravidla po dobu jednoho mřce. Koruny stromů velmi inn „vyesvaj“ suchou depozici a ta se dostává spolu s depozicí mokrou do odběrových nádob. Jedná se o metodu velmi jednoduchou a finann nenáročnou, a proto v poslední době znan oblíbenou. Pouivj se

zejména pro určování vstupu látek při bilancování látkového oběhu v malých povodích (HŮNOVÁ, 2009).

#### Horizontální mokrá depozice

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

Odběrové metody především využívají gravitační sedimentace srážkových elementů. Zařízení pro odběr mokré depozice jsou většinou založena na odběru atmosférických srážek. V zásadě je můžeme rozdělit na dva typy – trvale exponované nebo otvírané v průběhu srážkových epizod. Prvním typem jsou odebírány vodní srážky popř. sníh společně se suchou depozicí a ve hrubém přiblížení můžeme mluvit o odběru celkové depozice. V počáteční fázi srážek je mineralizace nejvyšší, protože se uplatňuje efekt vymývání částic prachu v podoblačné vrstvě. V další fázi mineralizace klesá až na téměř konstantní hodnotu, popřípadě v poslední fázi nepatrně stoupá (ŠANTROCH, 1985).

Většina lokalit je vybavena odběrem typu „wet-only“, v čistých oblastech s minimální hladinou suché depozice se využívá i odběr typu „bulk“ (HŮNOVÁ, 2009). Při konstrukci map mokré depozice se dává přednost výsledkům analýz čistých srážek před odběry „bulk“ (srážky s prašným spadem) a týdennímu odběru srážek před měsíčním. Hodnoty (mapa) mokré depozice vodíkových iontů se zjistí na základě naměřených pH hodnot ve srážkách (VYSOUDIL, 2002).

#### **3.1.2 Suchá depozice**

Velikost suché depozice částic se zjišťuje z rozdílu velikosti depozice srážek s prašným spadem a mokré depozice padajícími srážkami (tzv. čistými srážkami) (MOLDAN, 1992) nebo se využije informací o toku znečišťujících látek k zemskému povrchu získaných z měření mikrometeorologických parametrů a výškového koncentračního gradientu sledovaných komponent. Přímé metody jsou závislé na

vlastnostech povrchu a na mikrometeorologických podmínkách okolí odběrového místa a ke stanovení suché depozice nejsou běžně používány (ŠANTROCH, 1985). Velikost suché depozice se nemusí měřit přímo, lze ji vypočítat na základě údajů o koncentraci některých plynných složek v ovzduší a na základě analýz celkového prašného spadu, aerosolových částic a srážkové vody, odebraných z trvale otevřených nádob (VYSOUDIL, 2002). Složka suchá představuje depozici tuhých látek a plynů. Suchá depozice plynu může být kvantifikována empiricky definováním depoziční rychlosti pro určitý povrch:

$$v_d = F/c$$

kde

$v_d$  je depoziční rychlost,

F je tok látky k povrchu,

C je střední koncentrace látky v blízkosti povrchu (měřena zpravidla ve výšce 1 m nad povrchem). Suchá depozice se pak zjišťuje většinou výpočtem z naměřené koncentrace sledované látky a její depoziční rychlosti (ta je zjištěna experimentálně a nabývá různé hodnoty pro oblasti s různým vegetačním pokryvem, nejhrubším rozlišením jsou oblasti bezlesé a lesnaté, mění se též v závislosti na ročním období) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

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

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

### 3.2 Atmosférická depozice v Asii

Mnoho studií se zabývala hodnocením časových trendů v oblasti střední a západní Evropy, Severní Ameriky a v posledních letech i jihovýchodní Asie. Práce z Evropy a Severní Ameriky indikují všeobecné snížení koncentrací  $\text{SO}_2$  a zvýšení pH v důsledku razantního snížení emisí  $\text{SO}_2$ , naopak v Číně nebo Indii se ukazuje, že kyselé srážky nabývají na významu (ZHAO A KOL., 1998). Dlouhodobějších studií chemického složení srážek z jihovýchodní Asie je k dispozici jen málo, je zcela zřejmé, že v důsledku rychlého ekonomického rozvoje tohoto regionu došlo k enormnímu nárůstu emisí a tím i imisních koncentrací mnoha atmosférických polutantů. Hodnoty pH v Číně (zejména v jižním regionu) se pohybují zpravidla mezi 4-5 jednotkami pH, někdy jsou však měřeny i hodnoty výrazně nižší než 4. V důsledku změn ve využití různých druhů paliv došlo ke zpomalení nárůstu emisí  $\text{SO}_2$ , emise  $\text{NO}_x$  však nadále podstatně rostou (HÚNOVÁ, 2009).

#### Čína

Atmosférické depozice dusíku a fosforu patří k znečišťovatelům ovzduší, mimo to dochází díky těmto prvkům k eutrofizaci vodních ekosystémů. Díky rychlému nárůstu populace, spalováním fosilních paliv, rozvoji dopravy mezi roky 1980 – 2000 došlo k velkému nárůstu emisí oxidů dusíku až o 280%. Průměrná roční depozice dosahuje hodnoty  $6,84 \text{ kg.N.ha}^{-1}$  (podle oblastí se hodnoty depozice liší od  $1,01$  do  $19,7 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ ) (ZHANG A KOL., 2011). Během roku 2007, v oblasti východní Číny, dosahovala průměrná atmosférická depozice fosforu hodnoty  $2,976 \text{ kg.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$  a  $84 \text{ kg.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$  dusíku. Výsledky ukazují nárůst z 34,4 % na 78,7 % oproti roku 2002-2003 (ZHAI A KOL., 2009). Roční mokré depozice dusíku v jižní Číně jsou rovny hodnotám od  $17,4 \text{ kg.N.ha}^{-1}$  do  $40,47 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ . Hodnoty pH v této oblasti v průměru dosahují 4,8 (HUANG A KOL., 2010). Celková roční depozice dusíku v jižní Číně dosahuje hodnot v rozmezí od  $0,8 \text{ g.N.m}^{-1}$  do  $4,0 \text{ g.N.m}^{-1}$  se značným přispěním suché depozice (CHEN A MULDER, 2007). V severní Číně, kde je intenzivní zemědělství, depozice dusíku dosahuje hodnot  $16,3 \text{ kg.N.ha}^{-1}$  za rok (HUANG A KOL., 2010)

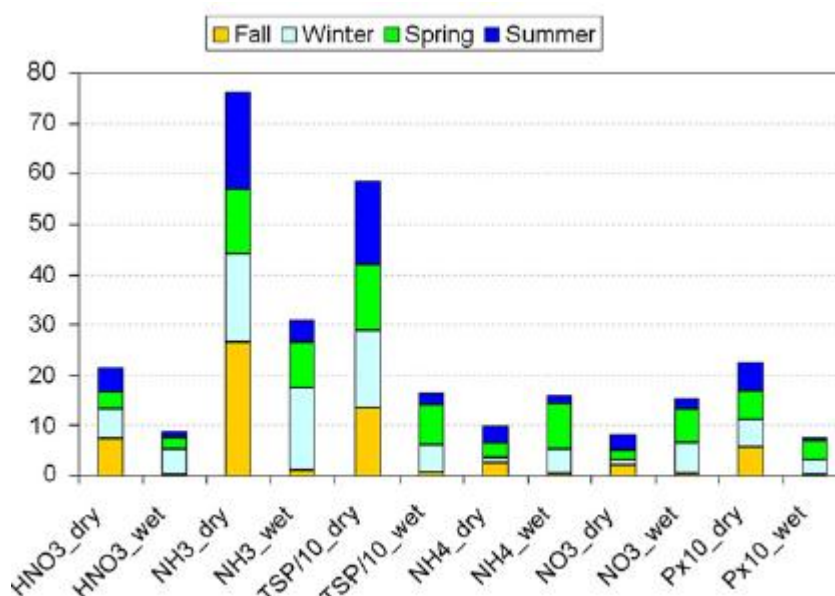
### 3.3 Atmosférická depozice v Americe

NADP a CANSAP jsou monitorovací sítě, které vznikly kvůli potřebě vyvinout informační základnu pro posuzování účinků atmosférické depozice, především

kyselá depozice. V dubnu 1977 se vlivem monitorovacích sítí v Kanadě zjistilo, že kyselý déšť je potenciálním problémem pro celou Severní Ameriku (HICKS, 1984). NEWMAN (1995) uvádí, že většina studií ukázala, že depozice fosforu se nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,1 - 10 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>, hodnoty nižší než 0,1 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> jsou zanedbatelné.

Průměrné roční hodnoty mokré depozice NH<sub>4</sub> jsou 1,38 kg.N.ha<sup>-1</sup>, nejvyšších hodnot dosahuje ve středu USA, a sice 3,27 kg.N.ha<sup>-1</sup>, oproti tomu mokrá depozice NO<sub>3</sub> je nejvyšší v severovýchodní části USA, jeho hodnota je 5 kg.N.ha<sup>-1</sup>, průměrné hodnoty pro USA jsou 1,64 kg.N.ha<sup>-1</sup>. Suchá depozice HNO<sub>3</sub> dosahuje nejvyšších hodnot 5,7 kg.N.ha<sup>-1</sup> a průměrné hodnoty jsou 1,35 kg.N.ha<sup>-1</sup>. Ve středu USA, zejména v severní oblasti, dosahují nejvyšší hodnoty NO<sub>3</sub> 1,85 kg.N.ha<sup>-1</sup>, průměrné hodnoty jsou pak rovny 0,18 kg.N.ha<sup>-1</sup>. Depozice NH<sub>4</sub> dosahuje nejvyšších hodnot 1,9 kg.N.ha<sup>-1</sup> a průměrné roční hodnoty činí 0,34 kg.N.ha<sup>-1</sup> (HOLLAND A KOL., 2005). Celková depozice dusíku v jižní oblasti Colorada dosahuje hodnoty až 7 kg.N.ha<sup>-1</sup>. 25 až 30% z celkové depozice obsahuje depozice suchá (BURNS, 2002).

V severní části Kalifornie se sleduje atmosférická depozice dusíku a fosforu, především kvůli eutrofizaci jezera Tahoe. Na rozdíl od dusíku jsou atmosférické zdroje fosforu limitovány (DOLISLAGER, 2009).



Obr. č. 3: Atmosférická depozice sledovaná v roce 2003 v Kalifornii (zobrazené hodnoty P jsou na ose 10x větší než jsou ve skutečnosti, hodnoty jsou uvedené v metrických tunách).

(Zdroj: DOLISLAGER, 2009).

Iowa se rozkládá v centrální části USA a nachází se v blízkosti jezera Tahoe. Hodnoty depozice fosforu ukazují, že nejvyšších hodnot dosahuje na jaře a klesá během léta. Suchá a mokrá depozice fosforu má nejnižší hodnoty v zimě. Depozice



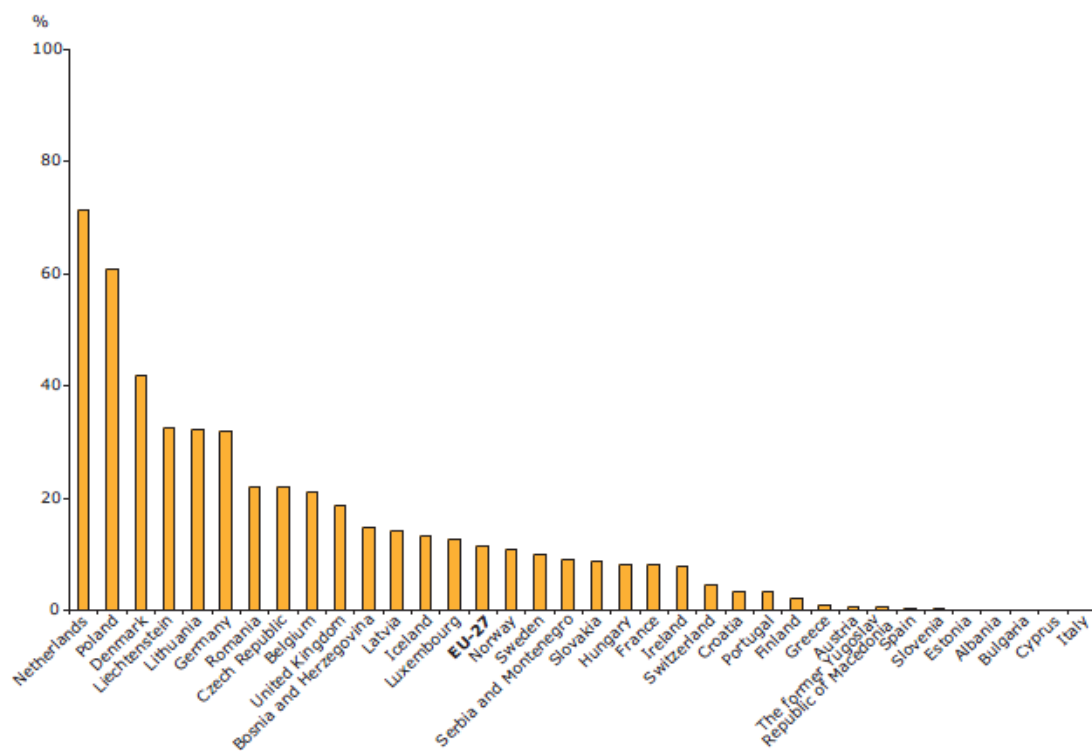
dusíku vykazuje nejvyšších hodnot brzy na jaře (ANDERSON A DOWNING, 2006). Údaje z lowy ukazují hodnotu mokré depozice fosforu  $0,32 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  (JONES, 1974). Depozice fosforu je větší v zemědělských oblastech. Program NADP (National Atmospheric Deposition Program) uvádí hodnoty dusíku pro rok 2003, které jsou nižší než v letech minulých. V lowě dosahují hodnoty  $\text{NH}_x\text{-N}$  (3.0 – 3.5 oproti  $4.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  v roce 1974) a  $\text{NO}_x\text{-N}$  (1.8 – 2 oproti  $3.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  v roce 1976). Hodnota atmosférické depozice fosforu v oblasti jezera Michigan je  $0,17 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Depozice dusíku ve Wisconsinu dosahuje průměrných  $8.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  za rok. Jedná se o stát s významnými bodovými zdroji emisí  $\text{NO}_x$  (ANDERSON A DOWNING, 2006). Odhad celkové atmosférické depozice fosforu v Minnesotě se pohybuje v rozmezí  $0,09 - 0,15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  (MUNGER, 1982).

### 3.4 Atmosférická depozice v Evropě

Od padesátých let minulého století se v nejméně válkou postižené střední Evropě, zejména Polsku, Německu a Československu rychle rozvíjela průmyslová výroba a tomu odpovídající výroba potřebné elektrické energie. Úměrně tomuto trendu se zvyšovalo znečištění ovzduší nad evropským kontinentem. Počátkem sedmdesátých let začaly některé státy, zejména Norsko, kritizovat vzrůstající ohrožení stavu životního prostředí v Evropě, v první řadě znečišťování ovzduší a vod. Za hlavní viníky byly považovány státy ve střední Evropě – Československo, Polsko a Německo – jmenovitě bývalá NDR (MŽP, 2004).

Uvedme některá zásadní fakta vztahující se k atmosférické depozici, která přináší souhrnná zpráva o životním prostředí v Evropě, publikovaná Evropskou agenturou pro životní prostředí se sídlem v Kodani (HŮNOVÁ, 2009). Cílem Evropské agentury životního prostředí (EEA) je poskytovat takové včasné, cílené a spolehlivé informace o životním prostředí, které podpoří udržitelný rozvoj a pomohou dosáhnout významných a měřitelných zlepšení v oblasti životního prostředí v Evropě (EEA, 2010). V současné době je více než 2 300 monitorovacích stanic, které vyhodnocují kvalitu ovzduší a výsledky zasílají EEA. Na přelomu let 1996 a 1997 došlo k rozšíření stanic po celé Evropě, které se takto zapojily do programu EEA. Od roku 2004 poskytují EEA data z 32 členských zemí (EEA, 2007) a šesti spolupracujících zemí na západním Balkáně (EEA, 2010). V důsledku významného snížení emisí již u většiny (více než 90%) evropských ekosystémů nedochází k další acidifikaci, zůstává však řada rizikových oblastí zejména ve střední Evropě (HŮNOVÁ, 2009).

Na základě každoročních hlášení účastnických států programu EMEP o celkových národních emisích oxidů dusíku ve zvolené emisní síti, model umožňuje nejen výpočet pole znečištění v evropském regionu, ale také výpočet depoziční zátěže území evropských států včetně stanovení vlivu jednotlivých zdrojových oblastí. Jedním ze základních podkladů pro mezinárodní jednání o strategii snižování znečišťování ovzduší se staly výstupní sestavy modelu pro výpočet „depozice státu na stát“, které jsou každoročně publikovány (MŽP, 1990). 84% z evropských zemí, které přispívají do programu EMEP, dosahovalo v roce 1990 kritických zátěží, od této doby došlo k poklesu o více než 50%. I přes to můžeme stále v Evropě najít místa, kde nalezneme tzv. hot spots (EEA, 2010).



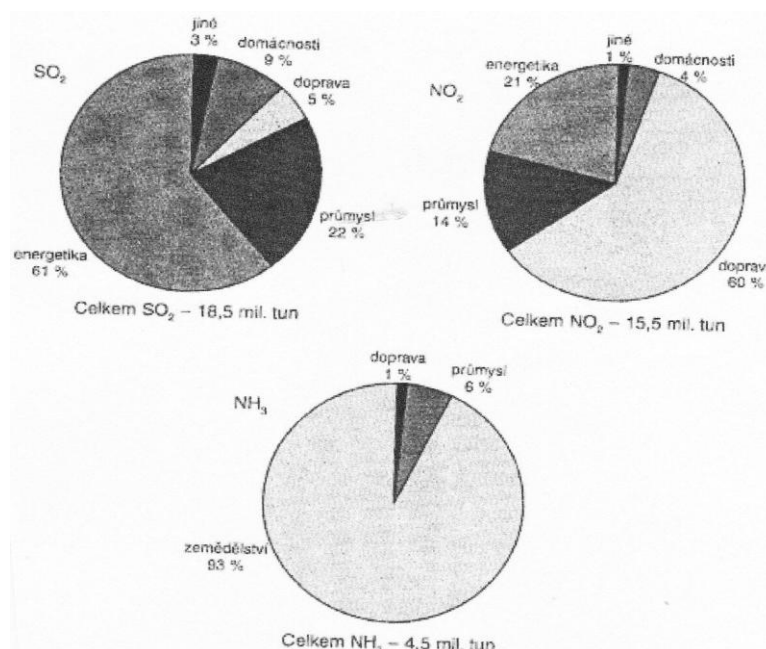
Obr. č. 4: Procentuální ohrožení členských zemí EEA acidifikací.

(Zdroj: EEA, 2010).

Významnou úlohu sehrála atmosférická depozice i při poškození evropských lesů. Zhoršení stavu lesů ve střední Evropě, zejména v České republice, Polsku, Slovenské republice a v Německu, bylo pozorováno již v 60. letech 20. století (HŮNOVÁ, 2009). Emise acidifikujících látek od r. 1990 významně klesly, a to zejména ve střední a východní Evropě z důvodu ekonomické restrukturalizace. Snížení emisí v západní Evropě souvisí především se změnami ve využití paliv, odsířením a denitrifikací spalin a se zavedením třícestných katalyzátorů u aut (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Během uplynulého desetiletí bylo zaznamenáno mnoho povzbudivých trendů v oblasti životního prostředí: došlo ke

snížení evropských emisí skleníkových plynů, zvýšil se podíl obnovitelných zdrojů energie, některé indikátory znečištění ovzduší vykazují značné zlepšení v celé Evropě, i když tato skutečnost ještě nutně neznamená dobrou kvalitu ovzduší. V Evropě došlo k výraznému snížení oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) (EEA, 2010). Pokles emisí v severozápadní Evropě začal o 10 – 15 let dříve než na území bývalé NDR, Polska a České republiky (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Typické hodnoty pH srážek ve střední Evropě se dnes pohybují v širším rozmezí hodnot 4,5 - 5,0 (BEDNÁŘ, 2009). Hlavními anionty, které se podílejí na snížení pH srážek v Evropě, jsou sulfáty a nitráty. Dominantními zdroji pro emise síry v Evropě je energetika, pro emise  $\text{NO}_x$  doprava a pro emise  $\text{NH}_3$  zemědělství (HŮNOVÁ, 2009).



Obr. č. 5: Emise látek, které se v Evropě podílejí na acidifikaci atmosférických srážek podle sektorů.

(Zdroj: HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Mokrý deponice dusíku dosahuje průměrných  $2,56 \text{ kg.N.ha}^{-1}$  a nejvyšší hodnota dosažená ve střední Evropě činí  $8 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ . Z toho deponice  $\text{NH}_4$  dosahuje nejvyšších hodnot ve východní Evropě, a to  $17 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ , průměrná hodnota  $\text{NH}_4$  je pak  $4,2 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ . Suchá deponice  $\text{HNO}_3$  dosahuje průměrných hodnot  $2,34 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ , nejvyšší hodnota pak  $11 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ . Hodnoty  $\text{NO}_3$  dosahují průměrných hodnot  $0,58 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ , nejvyšší hodnota je rovna  $3,1 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ . Suchá deponice  $\text{NO}_2$  dosáhla nejvyšší hodnoty  $11,2 \text{ kg.N.ha}^{-1}$  a průměr tvoří  $1,3 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ .

V Evropě mokrá depozice  $\text{NH}_4$  dosahuje dvojnásobných hodnot než v USA (HOLLAND A KOL., 2005).

Skutečná velikost atmosférické depozice dusíku v Evropě je 2 - 64  $\text{kg.N.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002). HUANG A KOL. (2010) v novější studii tvrdí, že celková atmosférická depozice dusíku v Evropě je od 1 do 75  $\text{kg.N.ha}^{-1}$  oproti Severní Americe, kde se depozice dusíku pohybuje v rozmezí 3 – 32  $\text{kg.N.ha}^{-1}$  za rok.

#### Velká Británie

Atmosférické emise dusíku rapidně vzrostly během zemědělské a průmyslové revoluce v 19. století. Mezi lety 1800 až 1950 nedosahovalo měření velké kvality, proto jsou sledované hodnoty neúplné. Mokrá depozice sleduje především koncentraci  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ . Suchá depozice se zabývá především  $\text{NO}_2$  a  $\text{HNO}_3$  (FOWLER A KOL., 2004). Suchá depozice dusíku dosahuje největších hodnot na jihovýchodě země, což souvisí s koncentrací obyvatelstva v této průmyslové oblasti. Mokrá depozice převažuje v jihovýchodní části Anglie dále ve Walesu a Skotsku (EMEP, 2004).

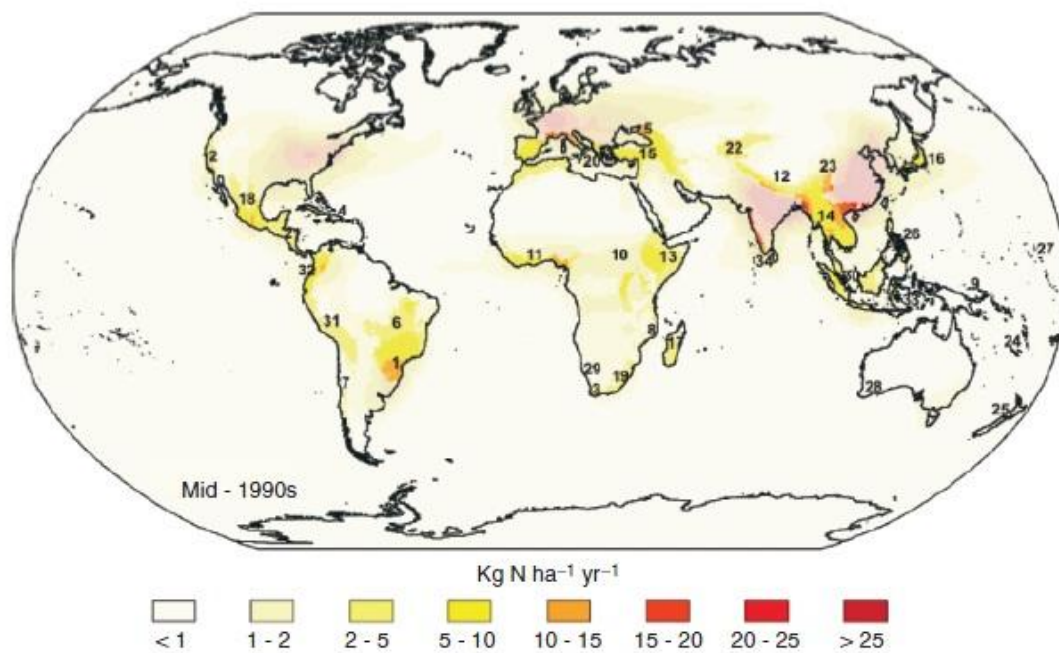
|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| $\text{SO}_x(\text{dry})$  | 73                |
| $\text{SO}_x(\text{wet})$  | 138               |
| $\text{SO}_x$              | 212               |
| $\text{NO}_y(\text{dry})$  | 89 <sup>(*)</sup> |
| $\text{NO}_y(\text{wet})$  | 98                |
| $\text{NO}_y$              | 187               |
| $\text{NH}_x(\text{dry})$  | 53                |
| $\text{NH}_x(\text{wet})$  | 104               |
| $\text{NH}_x$              | 157               |
| $\text{NO}_2(\text{dry})$  | 32                |
| $\text{HNO}_3(\text{dry})$ | 57                |

Tab. č. 1: Depozice dusíku a síry v roce 2000 na území Velké Británie a Severního Irska v kilotunách.

(Zdroj: [www.emep.int](http://www.emep.int))

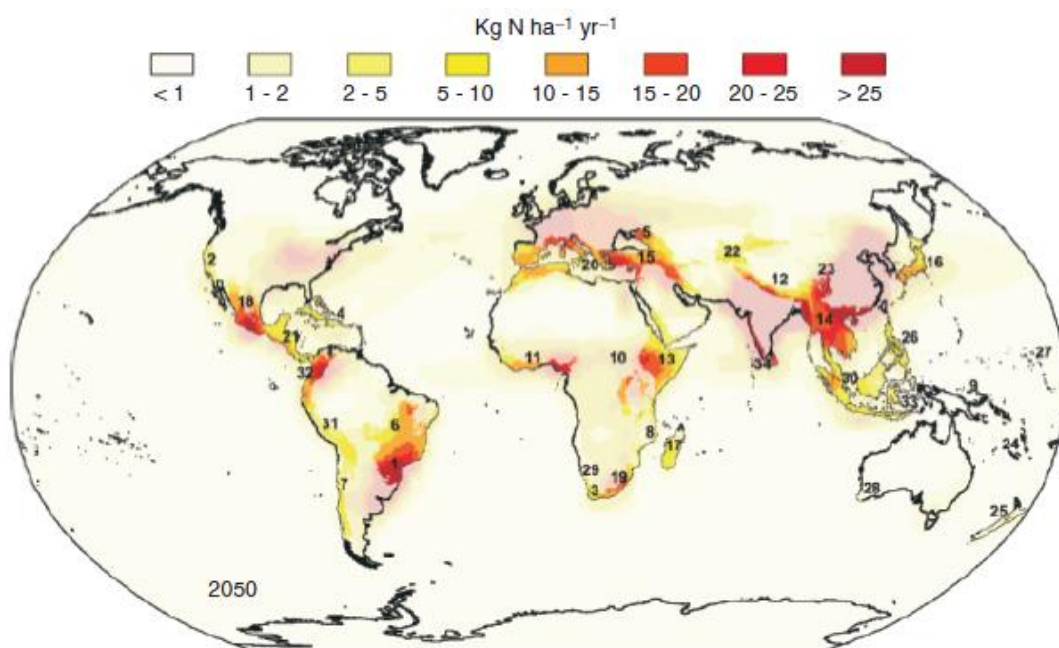
#### Francie

Od roku 1990 – 2001 došlo ke snížení emisí  $\text{NO}_x$  o 30%. K poklesu došlo díky katalyzátorům v automobilech a restrukturalizaci ve vývoji v oblasti energetiky. Emise  $\text{NH}_3$  se příliš v průběhu 20 let nemění (EMEP, 2004). V posledních 10-ti letech díky lidským aktivitám se zvýšilo množství dusíku, který je do atmosféry emitován. Celková atmosférická depozice dusíku ve Francii je odlišná ve venkovských a městských oblastech v okolí Paříže. Rozdíl mezi těmito oblastmi činí 58%. Venkovské oblasti dosahují hodnot 7,8  $\text{kg.ha}^{-1}$  za rok a městské 17,3  $\text{kg.ha}^{-1}$  (GARBAN A KOL., 2004). Ze zdrojů EMEP vyplývá, že celková depozice dusíku ve Francii za rok 2009 činila 588 kilotun.



Obr. č. 6: Atmosférická depozice dusíku v polovině roku 1990 ve světě.

(Zdroj: PHOENIX, 2006)



Obr. č. 7: Předpokládaná atmosférická depozice dusíku v roce 2050.

(Zdroj: PHOENIX, 2006)

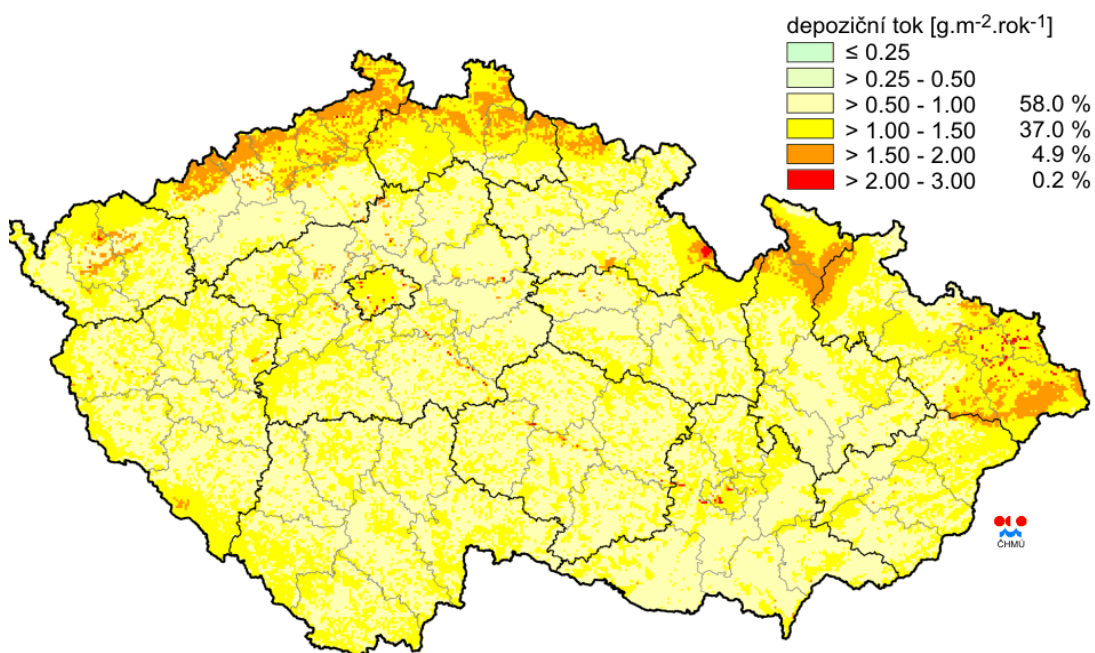
### 3.5 Atmosférická depozice v České republice

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

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

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

V roce 2010 byla celková depozice dusíku rovna hodnotě 78 925 t N (ox+red).rok<sup>-1</sup> na plochu republiky. Nejvyšších hodnot celková depozice dusíku dosahovala na území Orlických hor (HŮNOVÁ A KOL., 2011)



Obr. č. 8: Celková depozice dusíku, 2010.

(Zdroj: ČHMÚ, 2010)

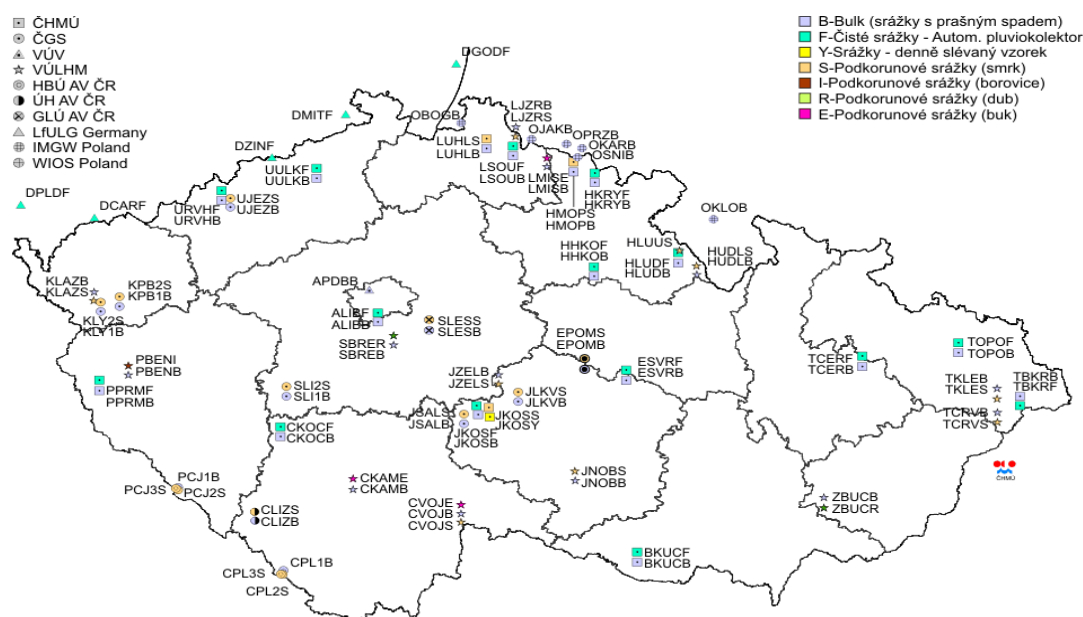
### 3.6 Staniční síť sledování atmosférické depozice v České republice

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

V průběhu let dochází k určitému vývoji staniční sítě, rozšiřují se měření, co do počtu stanic i frekvence odběrů, rozšiřuje se též spektrum měřených látek a zdokonalují se metody odběru vzorků i jejich následné chemické analýzy. Veškeré naměřené údaje jsou shromažďovány v centrální databázi Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) ČHMÚ (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004) a jsou v tabelární formě prezentována v numerických ročenkách ČHMÚ prezentuje rozpětí průměrných ročních koncentrací  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  a hodnoty pH (HŮNOVÁ, 2009). Úsek ochrany čistoty ovzduší Českého hydrometeorologického ústavu sleduje dlouhodobě kvalitu venkovního ovzduší, tedy imisní úroveň a atmosférickou depozici znečišťujících příměsí na celém území České republiky. Měřené hodnoty jsou ukládány v jednotné centrální databázi Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) ČHMÚ. Každoročně je prováděna rozsáhlá datová analýza a výsledky jsou pravidelně publikovány např. v tabelárních ročenkách a publikacích (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001).

Chemické složení atmosférických srážek a atmosférická depozice se sledují na území České republiky dlouhodobě na poměrně značném počtu stanic. V roce

2010 byla do databáze Informačního systému kvality ovzduší ISKO dodána data o chemickém složení atmosférických srážek celkem z 50 lokalit (16 lokalit, na kterých zajišťuje měření ČHMÚ, 15 ČHMÚ, 12 VÚLHM, 1 VÚV TGM a 6 HBÚ AV ČR). Dále byla také dodána data z 5 německých lokalit z příhraničních oblastí (HŮNOVÁ A KOL., 2011). Stanice pokrývají dosti rovnoměrně celé území ČR a reprezentují různá prostředí – relativně čistá (stanice horské a regionální, které nejsou pod bezprostředním vlivem emisních zdrojů, ale jsou samozřejmě ovlivněny dálkovým přenosem znečišťujících příměsí) i antropogenně značně ovlivněná (stanice městské a průmyslové) (HŮNOVÁ, 2009).



Obr. č. 9: Staniční síť sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2010 (vysvětlení zkratk viz příloha č. 1).

(Zdroj: ČHMÚ, 2010)

Vzorek čistých srážek se v souladu s metodikou EMEP provádí na stanicích ČHMÚ jako týdenní od r. 1996. Od roku 1997 (do roku 2010 (HŮNOVÁ A KOL., 2011)) byl na těchto stanicích zaveden speciální týdenní odběr srážek s prašným spadem na těžké kovy, tzv. „bulk srážek“. Tato metoda se používá z důvodů vysoké nákladnosti a složitosti odděleného sběru suché a vlhké depozice z atmosférických srážek. Umožňuje odhadnout celkovou atmosférickou depozici (suchou i vlhkou) v lesních ekosystémech (VYSOUDIL, 2002). Od roku 2011 se budou analýzy těžkých kovů na stanicích ČHMÚ provádět z čistých srážek. Na lokalitách ostatních organizací se měří v měsíčních (popř. nepravidelných) intervalech koncentrace ve srážkách typu „bulk“ na volné ploše (popř. pod korunami



stromů) (HŮNOVÁ A KOL., 2011). Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském TGM v Praze se provádí dlouhodobé sledování atmosférické depozice, které umožňuje sledovat plošné znečištění přírodního prostředí, povrchových vod a půdy. Cílem tohoto sledování je získání podkladů pro hodnocení změn celkové atmosférické depozice a poskytování údajů pro výpočet celoplošného znečištění vodních toků a půdy depozicí síry, nutrientů a těžkých kovů (BUDSKÁ, 1998).

## 4. Vývoj hodnot depozice v čase v České republice

HRUŠKA A KOPÁČEK (2005) uvádějí, že znečišťování atmosféry oxidy dusíku na historickém území Čech a Slovenska kolem roku 1850 bylo nízké (6 kg.N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). Společně s růstem spotřeby energie se počaly emise oxidů N postupně zvyšovat. Tento trend byl až do 2. světové války relativně pomalý a ustálený. K prudkému zvratu došlo s rozvojem těžkého průmyslu v poválečném období, kdy se úroveň emisí NO<sub>x</sub> více než ztrojnásobila během následujících 30 let a dosáhla maximálních hodnot v 80. letech (25 kg.N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). Typ znečištění oxidy dusíku vykazuje v devadesátých letech pozvolný vzestupný trend až do roku 1997. Podílel se na něm převážnou měrou růst silniční dopravy (VYSOUDIL, 2002).

Vlivy politického a ekonomického charakteru ve vývoji České republiky od roku 1990 významně ovlivnily také vývoj emisí znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší, a tím i imisní situaci na území České republiky. Mezi nejvýznamnější faktory působící v tomto období lze zahrnout prudký hospodářský pokles počátkem devadesátých let a následné oživení ekonomiky až do roku 1996 (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). V roce 1998 byl vzestupný trend zastaven vlivem snížení emisí ze stacionárních zdrojů a v roce 1999 byl tento mírně klesající trend potvrzen ve většině okresů ČR, zejména moravských. V severních a středních Čechách převažuje stagnace tohoto typu znečištění. Mokrý a suchý depozice dusíku měly v roce 1999 celkově podobný charakter jako v předchozích letech. V posledních pěti letech lze na základě hodnot depozice oxidovaných forem dusíku pro celou Českou republiku konstatovat její mírný pokles asi o 10-20 % (VYSOUDIL, 2002).

Systematické sledování chemického složení atmosférických srážek, důležité z hlediska odhadu atmosférické depozice látek na území, se provádí v České republice již od roku 1974, kdy bylo měření zahájeno na stanici Hrádek u Pacova (MOLDAN, 1991). Počátkem 70. let tvořilo monitorovací síť více než 100 stanic. Regulace na základě naměřených hodnot se poprvé začaly uplatňovat v 80. letech v severních Čechách a později i na Ostravsku (VYSOUDIL, 2002). Kvalita ovzduší v severozápadních Čechách se blíží hranicím ekologické katastrofy a v řadě dalších průmyslových a sídelních aglomerací, jako je Praha, Ostrava, ale i v menších sídlech není kritická situace znečištění ovzduší o mnoho lepší (MŽP, 1991).

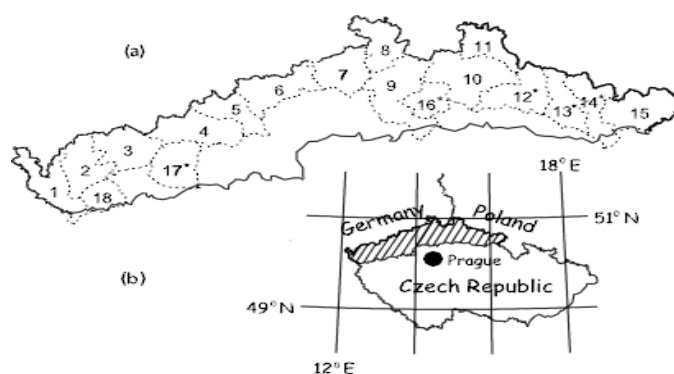
V souvislosti s dlouhodobým vývojem znečištění ovzduší na území České republiky lze konstatovat, že od roku 1988 je pozorován klesající trend ve znečištění oxidem siřičitým a prašným aerosolem a mírně stoupající trend v úrovních oxidů dusíku (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). U celkové depozice NO<sub>y</sub> v roce 1994 můžeme sledovat gradient poklesu hodnot celkové depozice od nejvyšších hodnot

v severozápadních Čechách k nejnižším hodnotám v jižních Čechách a na jižní Moravě. Pokles mokré depozice  $\text{NH}_4^+$  je zanedbatelný a u mokré depozice  $\text{NO}_3$  došlo k mírnému nárůstu (ZAPLETAL, 1997).

Vládními usneseními bylo vymezeno 8 oblastí „postižených“ z hlediska znečištění ovzduší. Jednalo se o následující územní celky: oblast severočeskou, hradecko - pardubickou, mělnicko - neratovickou, Prahu, Brno, Ostravsko, oblast sokolovsko - karlovarskou a Plzeň (HRDÁ, 1982).

#### 4.1 Oblast Černého trojúhelníka

Oblast Černého trojúhelníka se nachází na hranici Polska, Německa a České republiky (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Oblast je situována mezi 3 horskými oblastmi: Krušné hory, Jizerské hory a Krkonoše, nachází se v severní části České republiky a má rozlohu 13 500  $\text{km}^2$  (AKSELSSON A KOL., 2003).



Obr. č. 10: Oblast černého trojúhelníka v ČR (Zdroj: AKSELSSON A KOL., 2003)

Nejvyšších emisí a také depozice bylo na našem území dosaženo v polovině osmdesátých let, pak emise nepatrně poklesly. Odhad depozice dusíku je 40  $\text{kg/ha/rok}$  pro Krkonoše pro 80. léta (HRUŠKA A KOL., 2006). Vysoká kyselost atmosférických srážek je zapříčiněna průmyslovými emisemi. V roce 1987 bylo do ovzduší emitováno 274 000 tun oxidů dusíku, od této doby došlo ke značnému poklesu. V roce 1993 hodnota klesla na 109 000 tun emisí oxidu dusíku. Došlo proto k obnově lesa a výsadbě stromů, které byly odolnější vůči kyselým srážkám. Těmito opatřeními došlo i k poklesu suché depozice (HRKAL A KOL., 2009). Od roku 1989 dochází k výraznému poklesu atmosférické depozice. Nejprve díky poklesu výroby a od roku 1994 díky odsiřování velkých zdrojů dokončenému v roce 1999. V polovině devadesátých let byla celková měřená depozice v průměru 22  $\text{kg/ha/rok N}$  (průměr 1994–1996) (HRUŠKA A KOL., 2006).

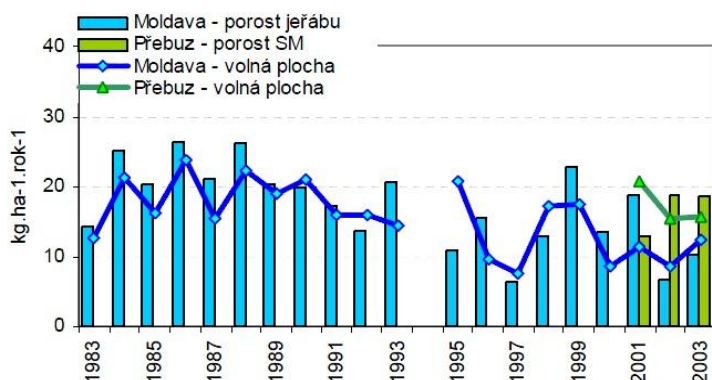
BUDSKÁ (1998) uvádí hodnoty atmosférické depozice dusičnanů z roku 1996 měřených na stanici Hřiběcí boudy a Rýchory, které se nacházejí v Krkonoších. Hodnoty na stanici Hřiběcí boudy dosahují  $0,125 \text{ t/km}^2/\text{rok}$  a na stanici Rýchory  $2,91 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . V letech 2000–2002 klesla dále depozice dusíku na  $18 \text{ kg/ha/rok}$ . Kyselá depozice ovšem neklesla na nulovou hodnotu, její velikost se pouze v současnosti snížila, a to zhruba na polovinu pro dusík. Tato úroveň depozice zůstane pravděpodobně zachována v příštích dvou až třech desetiletích. U dusíku je dokonce mírná tendence k růstu, který je způsoben rostoucí automobilovou dopravou (HRUŠKA A KOL., 2006). Od roku 1996 došlo k podstatnému snížení kyselé depozice. Hodnoty dusíku se postupně od roku 1997-1998 zvyšují (FOTTOVÁ, 2003).

V porovnání s rokem 1998 byl v r. 1999 patrný pokles mokré depozice vodíkových iontů zejména v horských oblastech (Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory). Další plošné snížení pole suché depozice vodíkových iontů odpovídá snížení suché depozice  $\text{NO}_x - \text{N}$ . (VYSOUDIL, 2002). V roce 2005 se celkový vstup dusíku pohyboval v rozmezí  $17\text{--}35 \text{ kg/ha/rok}$ . Stejně tak se nezměnila depozice dusíku, která kolísá mezi  $17$  a  $30 \text{ kg/ha/rok}$  (průměr  $23 \text{ kg/ha/rok}$ ). Také depozice dusíku zde nemá výrazný trend, a jen mírně poklesla z cca  $12 \text{ kg/ha/rok}$  na současných  $9 \text{ kg/ha/rok}$ , což je jedna z nejnižších hodnot měřená v horských oblastech ČR. I přes významný pokles je na území Krkonošského národního parku stále významně překročena souhrnná kritická zátěž dusíku a to zejména vlivem depozice dusíku. Vzhledem ke stagnaci či nárůstu depozice sloučenin N nelze v dalších letech očekávat vývoj příznivým směrem (HOŠEK A KOL., 2007).

Jizerské hory byly v minulých letech silně zasaženy imisemi z Polska, NDR a také z vnitrozemí Čech. Znečištěním ovzduší se zařadily na třetí místo nejvíce zatížených oblastí. Současný trend znečištění je klesající, i když se občasné vyskytují zvýšené hodnoty některých znečišťujících prvků. Atmosférickou depozici sleduje Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M. na Souši ( $772 \text{ m n. m.}$ ) a Jizerce ( $850 \text{ m n. m.}$ ). Maximální depozice  $\text{NO}_3$  bylo dosaženo v roce 1985 a to na obou stanicích při téměř stejných hodnotách (cca  $10 \text{ t.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ ). V dalších letech do roku 2000 hodnoty depozic na Souši klesají (s určitými odchylkami v roce 1988 a 1994). Na Jizerce je patrné zvýšení hodnot kromě roku 1988 též v letech 1993, 1996 až 1999. Oproti Jizerce zaznamenávala stanice Souš až do roku 1995 hodnoty  $\text{NO}_3$  vyšší, v létech 1996-1999 je poměr obrácený. V roce 2000 poklesly hodnoty depozic  $\text{NO}_3$  cca ke  $2\text{--}3 \text{ t.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$  (KULASOVÁ A KOL., 2004).

Oblast Krušných hor patří k těm, u kterých se silně projevuje kyselá atmosférická depozice, což vede ke značnému poškození a odumírání lesních

porostů. První poškození lesů bylo patrné již v roce 1920, avšak až v roce 1978 se začalo spekulovat o ekologické katastrofě (HRKAL A KOL., 2009). MOLDAN (1992) uvádí mokrou atmosférickou depozici dusíku v letech 1984 – 1986 ze stanice Vysoká Pec a Přísečnice, které se nacházejí v Krušnohoří. Mokrú atmosférická depozice dusíku na stanici Vysoká Pec v roce 1984 činila  $2817 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ , v roce 1985 pak  $2964 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$  a v roce 1986 dosáhla hodnoty  $3250 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ . Mokrú depozice dusíku ze stanice Přísečnice dosahovala v letech 1984 a 1985 stejných hodnot, a sice  $3030 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ .



Obr. č.11: Depozice dusíku na plochách Moldava (východní Krušnohoří) a Přebuz (západní Krušnohoří). (Zdroj: ŠRÁMEK A KOL., 2005)

|      | Krušné hory Mts. |             |
|------|------------------|-------------|
|      | Bulk             | Throughfall |
| 1994 | 6.4              | 12.4        |
| 1995 | 6.9              | 12.4        |
| 1996 | 7.3              | 14.2        |
| 1997 | 5.6              | 14.4        |
| 1998 | 5.6              | 9.8         |
| 1999 | 4.0              | 8.9         |
| 2000 | 4.5              | 17.1        |

Tab. č. 2: Depozice dusíku na ploše Jezeří v Krušných horách ( $\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ ). (Zdroj: FOTTOVÁ, 2003)

Nejvyšší atmosférická depozice je ve smrkových lesích. Velikost tohoto jevu se snižuje s čistotou ovzduší. Depozice dusíku se během doby sledování (1991 – 2004) změnila jen velmi málo. Do roku 1999 mírně klesala, od té doby opět mírně roste. Suchá depozice N zde tvoří zhruba 20% celkové depozice. Celkem ale je hodnota okolo  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  na české poměry velmi nízká. Tento příklad je z povodí Jezeří v Krušných horách (HRUŠKA A KOPÁČEK, 2005).

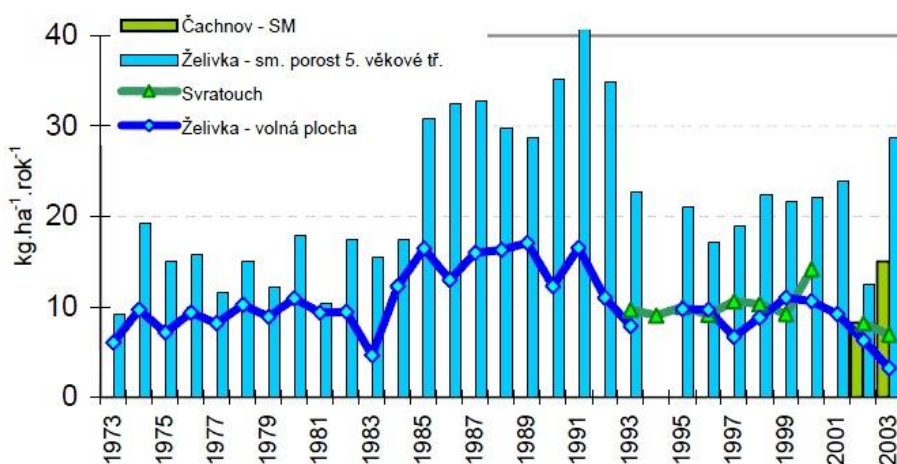
## 4.2 Českomoravská vrchovina

Výsledky měření depozice naznačují, že sloučeniny dusíku se v současné době stávají hlavním zdrojem acidifikace a nahrazují v této roli sloučeniny síry (VÁŇA A DEJMAL, 2004).

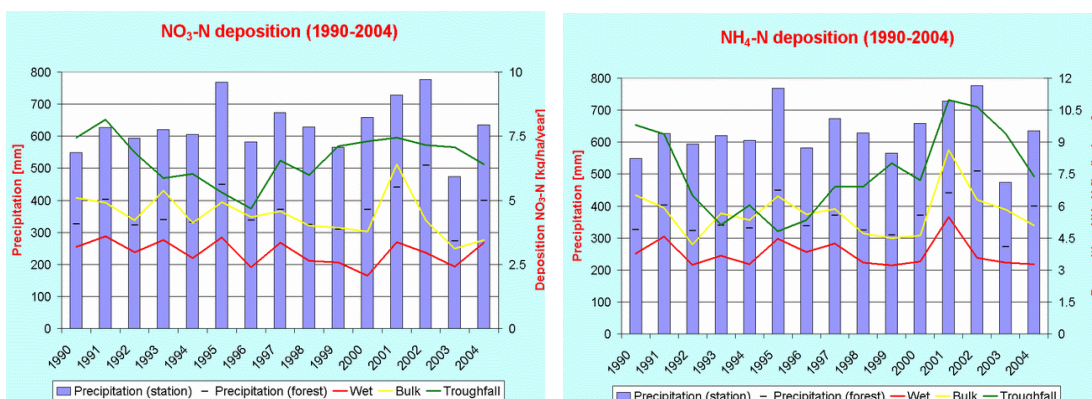
MOLDAN (1992) uvádí hodnoty mokré atmosférické depozice N na stanici Svratouch, v roce 1984 dosahovala  $3090 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ , v roce 1985 činila  $4680 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$  a v roce 1986 byla rovna hodnotě  $2966 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ . Za celé období měření na stanici Svratouch poklesla depozice  $\text{N/NO}_3^-$  z maximální hodnoty  $0,74 \text{ g.m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$

v roce 1985 na  $0,36 \text{ g.m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  v roce 1999, tedy o 50%. V posledních letech je opět patrný mírný nárůst (HŮNOVÁ, 2009).

Podkorunová depozice sloučenin dusíku klesala pouze v první polovině devadesátých let minulého století, ale již od roku 1996 je patrný vzestupný trend jak u depozice  $\text{NO}_3 - \text{N}$ , tak i  $\text{NH}_4 - \text{N}$ . Roční depozice se v posledních třech letech velmi přiblížila hodnotám z počátku 90 let, kdy dosahovala přibližně  $18 \text{ kg}$  dusíku na hektar ( $\text{NO}_3 - \text{N}$   $8 \text{ kg.ha}^{-1}$  ročně,  $\text{NH}_4 - \text{N}$   $10 \text{ kg.ha}^{-1}$  ročně). Příčiny kontinuálního nárůstu podkorunové depozice dusíku nejsou zatím jednoznačně definovány, hlavním důvodem je pravděpodobně nárůst suché depozice v důsledku zvyšujících se emisí dusíků z mobilních zdrojů. Podkorunová depozice sloučenin dusíku klesala pouze v první polovině devadesátých let minulého století, ale po roce 1996 je patrný vzestupný trend jak u depozice  $\text{NO}_3 - \text{N}$ , tak i  $\text{NH}_4 - \text{N}$  (VÁŇA A DEJMAL, 2004).



Obr. č. 12: Depozice dusíku na plochách Čachnov, Želivka a Svatouch na Českomoravské vrchovině. (Zdroj: ŠRÁMEK A KOL., 2005)



Obr. č. 13: Depozice  $\text{NO}_3\text{-N}$  a  $\text{NH}_4\text{-N}$  měřené na stanici Košetice na Českomoravské vrchovině.

(Zdroj: <http://old.chmi.cz/uoco/struct/odd/ook/results.html#aq>)

Patnáct let monitoringu jednoznačně prokázalo správnost výběru observatoře Košetice jako lokality reprezentující regionální úroveň kvality ovzduší a srážek v České republice. Monitoring atmosférické depozice má na observatoři dlouhou tradici (VÁŇA A DEJMAL, 2004).

### 4.3 Oblast Český kras ve středních Čechách

Největší znečištění ze středních Čech bylo zaznamenáno na AMS (automatická meteorologická stanice) ČHMÚ Beroun, kde v roce 1999 došlo k překročení stanovených imisních limitů. Na této stanici dochází vzhledem k její exponované poloze k přímému ovlivnění dopravou. Na jiných měřících místech středních Čech žádná hodnota ročního aritmetického průměru nepřekročila imisní limit a v porovnání s předchozím rokem bylo znečištění ovzduší oxidy dusíku ve středních Čechách přibližně stejné. Ve středočeské oblasti převládá znečištění ovzduší prašným aerosolem a oxidy dusíku (VYSOUDIL, 2002).

MOLDAN (1992) uvádí hodnoty mokré atmosférické depozice dusíku na stanici Praha – Karlov, v roce 1984 hodnota dosahovala  $3140 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ , v roce 1985 byla rovna  $2871 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$  a v roce 1986 činila  $3266 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ . Další stanicí, která se zabývala měřením mokré atmosférické depozice dusíku ve středočeském kraji, byla stanice Praha – Rohanský ostrov. V roce 1984 hodnota dusíku dosáhla  $2016 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ , o rok později  $2060 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$  a v roce 1986 byla hodnota dusíku  $1989 \text{ mg.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ .

|      | Central Bohemia |            |
|------|-----------------|------------|
|      | Bulk            | Througfall |
| 1994 | 9,6             | 11,4       |
| 1995 | 11,3            | 10,8       |
| 1996 | 11,1            | 11         |
| 1997 | 10,1            | 12,1       |
| 1998 | 9,3             | 14,5       |
| 1999 | 7,9             | 13,8       |
| 2000 | 9               | 17,5       |

Tab. č. 3: Sledované hodnoty celkového dusíku za období ve středních Čechách 1994 – 2000 ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) (Zdroj: FOTTOVÁ, 2003).

Český kras se nachází mezi dvěma lokalitami produkující značné množství emisí. Na západě je to město Beroun a zdroje hutního průmyslu a stavebních hmot z Berounské kotliny a na východě je hlavním znečišťovatelem město Praha a jeho

aglomerace (AGENDA 21, 2000). Na sledovanou oblast má největší dopad blízkost Velkolomu Čertovy schody a přidružené vápenky, dále i průmyslová oblast města Beroun. Nadto se zde projevuje vliv dálkového transportu znečištění (ŠPIČKOVÁ A KOL., 2004). Z lokalit ovlivňujících svými emisemi CHKO vystupují 3 zdroje: Velkolom a vápenka Čertovy schody ve Tmani s emisí CO 2500 t/r, Králův Dvůr s více zdroji a emisí SO<sub>2</sub> překračující 1 500 t/r a Radotín se zdrojem emise Pragocement, kde NO<sub>x</sub> dosahuje hodnot více než 1 000 t/r (AGENDA 21, 2000).

Velikost atmosférické depozice N v letech 1994 - 2000 do lesních ekosystémů Českého krasu se odhaduje na 6 – 14 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>. Tento odhad skutečnou depozici N značně podceňuje. Lze očekávat, že v jehličnatých porostech depozice dosahuje nebo i překračuje 40 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> v listnatých lesích se pak pohybuje okolo 30 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>. Na otevřeném prostranství pak v závislosti na kvalitě půdy a vegetačním pokryvu lze očekávat depozici dusíku od 10 – 15 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (skalní stepi), po 20 - 30 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (zemědělské půdy, holiny, paseky, lesní kultury a mlaziny) (ŠIMUNEK, 2003). ŠPIČKOVÁ (2004) uvádí celkovou hodnotu depozice NO<sub>3</sub> na volné ploše a podkorunových srážkách v letech 1997 – 2003 1501,9 mg.m<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>. V celé CHKO byla zjištěna mokrá depozice dusíku v rozsahu 1,2-1,5 gr. dusíku na metr čtvereční za rok, to je 12-16 kg.N ha/r. Suchá depozice byla odhadnuta na 10 kg.N ha/r. a z toho vyplývá, že celková depozice dusíku na celém území Českého krasu dosahuje hodnot 22-26 kg.N ha/r (AGENDA 21, 2000).



## 5. ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na rozdělení na jednotlivé složky atmosférické depozice. První složkou atmosférické depozice je depozice suchá, která převládá blíže ke zdroji znečištění, naopak mokrá depozice je vyšší v oblastech, které se nacházejí dále od zdroje, např. v horských oblastech. Suchá depozice se uskutečňuje usazováním tuhých částic a absorpcí plyných složek vegetací nebo i jinými objekty na zemském povrchu. Mokrá depozice je spojena s hydrologickým cyklem a nejdůležitější roli zde hrají srážky. Tato mokrá depozice tak přenáší mnoho znečišťujících látek, které tímto sice vymývá z atmosféry, ale přenáší je tak na další složky životního prostředí jako pedosféru, biosféru, litosféru a další. Mokrá depozice se nadále dělí podle sběru srážek na vertikální, kdy jsou odebírány padající srážky jako déšť, sníh, kroupy a depozici horizontální, která je odebírána z usazených srážek jako je námraza, jinovatka nebo mlha. S atmosférickou depozicí úzce souvisí zdroje znečištění, emise nebo imise, které ovlivňují nejen atmosférickou depozici, ale i sebe navzájem.

Dále je tato práce zaměřena na hodnoty atmosférické depozice dusíku a fosforu v České republice a ve světě. Jsou zde uvedeny průměrné a nejvyšší hodnoty dusíku v Evropě. Nejvyšších hodnot je dosahováno právě ve střední a východní Evropě. Na evropském kontinentu vznikl program EEA (Evropské agentury pro životní prostředí), do kterého přispívají všechny členské země a země Balkánu. Do programu jsou pak zasílány údaje o všech zemích a jejich dosahovaných hodnotách dusíku a síry. Další zemí, která je zde uvedena, je Čína na asijském kontinentu. Vlivem industrializace zde došlo k velkému rozvoji a tím i ke zvýšení emisí a atmosférické depozice především v jižní části Číny. Na americkém kontinentu je zde uvedena situace v USA, zejména na východním pobřeží, kde je koncentrace průmyslu nejvyšší. Poslední zemí, která je zde uvedena je Česká republika. Jak je uvedeno v literatuře i přes mnohá zlepšení v posledních desetiletích, atmosférická depozice dusíku u nás dosahuje stále vysokých hodnot oproti jiným státům Evropy. Na území České republiky se nachází velké množství staničních sítí, které odebírají vzorky atmosférické depozice a vyhodnocují ji. Údaje ze stanic dosahují poměrně rozdílných hodnot, ať už z důvodu lokality, ve které se nachází nebo z důvodu metody odběru při zjišťování atmosférické depozice.

V poslední části je práce zaměřena na sledování hodnot v České republice v čase. Jsou zde vybrány oblasti, které zastupují nejvíce znečištěná místa, což jsou severozápadní Čechy, které jsou nazvány jako Černý trojúhelník. Další oblastí jsou střední Čechy a Český kras, kde se nachází i CHKO a vlivem blízké pražské

aglomerace jsou zde hodnoty depozice dusíku poměrně vysoké. Poslední oblastí je Českomoravská vrchovina, kde atmosférická depozice nedosahuje příliš vysokých hodnot a z těchto lokalit je tak nejčistší oblastí.

## 6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AGENDA 21 (2000): ČESKÝ KRAS, MŽP, Praha

Web: [http://ceskykras.agenda21.cz/doc/info\\_povaha\\_uzemi.html](http://ceskykras.agenda21.cz/doc/info_povaha_uzemi.html), Staženo dne: 1.4. 2012

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

ANDERSON, K.A., DOWNING, J.A. (2006): Dry and wet atmospheric deposition of nitrogen, phosphorus and silicon in an agricultural region. *Water, Air, and Soil Pollution* 176: 351–374

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

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

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

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

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

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

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

BURNS, D.A. (2002): The effects of atmospheric nitrogen deposition in the rocky mountains of Colorado and southern wyoming: a synthesis and critical assessment of published results. *Water-Resources Investigations Report*, 2: 1-36

ČESKÝ KRAS A AGENDA 21: Web:[http://ceskykras.agenda21.cz/doc/info\\_povaha\\_uzemi.html](http://ceskykras.agenda21.cz/doc/info_povaha_uzemi.html)

ČHMÚ (2010): Český hydrometeorologický ústav.

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

DOLISLAGER, L.J., VANCUREN, R., PEDERSON, J.R., LASHGARI, A., MCCAULEY, E. (2009): A summary of the Lake Tahoe atmospheric deposition Study (LTADS). *Atmospheric Environment* 46: 618–630

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

EEA (2007): EEA environmental statement 2007 with data from 2006, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, str. 13

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

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

EMEP (2004): National total emission trends. Emeep report 1/2004  
Web: [http://emep.int/publ/reports/2004/Status\\_report\\_int\\_del5.pdf](http://emep.int/publ/reports/2004/Status_report_int_del5.pdf),  
Staženo dne: 30.3. 2012

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

FOTTOVÁ, D. (2003): Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the Geomon network, Czech republic, between 1994 and 2000. Water, Air, and Soil Pollution 150: 73–87

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

FOWLER, D., O'DONOGHUE, M., MULLER, J.B.A., SMITH, R.I., DRAGOSITS U., SKIBA, U., SUTTON, M.A., BRIMBLECOMBE, P. (2004): A chronology of nitrogen deposition in the UK between 1900 and 2000. Water, Air, and Soil Pollution 4: 9–23

GARBAN, B., MOTELAY-MASSEI, A., BLANCHOU, H., OLLIVON, D. (2004): A single law to describe atmospheric nitrogen bulk deposition versus rainfall amount: inputs at the Seine river watershed scale. Water, Air, and Soil Pollution 155: 339–354

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

HICKS, B.B. (1974): Deposition both wet and dry, Butterworth Publishers, Las Vegas, str. 197

HOLLAND, E.A., BRASWELL, B.H., SULZMAN, J., LAMARQUE, J.F. (2005): Nitrogen deposition onto the United States and western Europe: Synthesis of observations and models. Ecological Applications, 15: 38–57

HOŠEK, J., SCHWARZ, O., SVOBODA, T. (2007): Výsledky desetiletého měření atmosférické depozice v Krkonoších: Results of ten-year measurements of atmospheric deposition in the Giant Mountain. Opera Corcontica, 44/1: 179–191

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

HRDÁ, J. (1982): Znečištění ovzduší v severočeské oblasti. Výzkumná zpráva za úkol P 16-331-453. ČHMÚ, Praha, str. 78

HRKAL, Z., FOTTOVÁ, D., ROSENDORF, P. (2009): The Relationship between Quality of Ground Waters and Forest Cover in Regions Affected by High Levels of Acid Atmospheric Deposition – a Case Study of the Krušné Hory Mts., Czech Republic. Polish J. of Environment 18/2009, č. 6: 995-1004

HRUŠKA, J., CIENCIALA, E. (2002): Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor lesnictví, MŽP ČR, Praha, str. 160

HRUŠKA, J., KOPÁČEK, J. (2005): Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. Planeta 12, č. 5: 1-24

HRUŠKA, J., MAJER, V., FOTTOVÁ, D. (2006): Vliv kyselé depozice na chemismus povrchových vod v Krkonoších: The influence of acid rain on surface waters in the Giant Mountains. Opera Corcontica, 43: 95–110

HUANG, D., XU, Y., ZHOU, B., ZHANG, H., LAN, J. (2010): Wet deposition of nitrogen and sulfur in Guangzhou, a subtropical area in South China. Environmental Monitoring Assessment 171: 429–439

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

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

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

Staženo: 17.3. 2012

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

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

CHEN, X.Y., MULDER, J., (2007): Atmospheric deposition of nitrogen at five subtropical forested sites in South China. Science of the Total Environment 378: 317–330

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

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

JONES, J.R. (1974): Eutrophication of some northwestern Iowa lakes. Iowa State University, str. 172

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

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

KULASOVÁ, A., HANCVENCL, R., BUBENÍČKOVÁ, L., BUDSKÁ E., HLAVÁČEK, J. (2004): Sledování vybraných složek atmosférické depozice a jakosti povrchových vod v Jizerských horách. In: ŠÍR, M., TESAŘ, M., Atmosférická depozice 2004, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, str. 135

- MOLDAN, B. (1983): Koloběh hmoty v přírodě, Academia, Praha, str. 171
- MOLDAN, B. (1985): Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 1 - 6
- MOLDAN, B. (1991): Atmospheric deposition: A biogeochemical process, Academia, Praha, str. 109
- MOLDAN, B. (1992): Atmosférická depozice na území Československa v letech 1976-1987, Český hydrometeorologický ústav, Praha, str. 44
- MOLDAN, B. (2009): Globální aspekty ochrany atmosféry. In: BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší, 2009, Karolinum, Praha, str. 325-337
- MOLDAN, B., HÁK, T. (2000): Czech Republic 2000, Ten years on: Environment and quality of life after ten years of transition, Charles University, Praha, str. 51
- MOLDAN, B., VAVROUŠEK, J. (1989): Stav a vývoj životního prostředí v Československu, Ekologická sekce Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 146
- MUNGER, J.W. (1982): Chemistry of atmospheric precipitation in the north-central United States: influence of sulfate, nitrate, ammonia and calcareous soil particulates. Atmospheric Environment 16: 1633-1645
- MŽP (1990): Životní prostředí České republiky: Vývoj a stav do konce roku 1989, Academia, Praha, str. 284
- MŽP (1991): Duhový program: Program ozdravení životního prostředí České republiky, Academia, Praha, str. 84
- MŽP (2004): Convention on long-range transboundary air pollution 25 anniversary - 25 let Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší, Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší, Praha, str. 32
- NEWMAN, E.I. (1995): Phosphorus inputs to terrestrial ecosystems. Journal of ecology, 83: 713-726
- NOVOTNY, V., CHESTERS, G. (1981): Handbook of nonpoint pollution: Sources and management, Litton educational publishing, New York, str. 555
- OSTATNICKÁ, J., PROŠKOVÁ, J., DOSTÁLOVÁ, Z., NOVÁK, V., SLÁDEČEK J., TUČEK, R. (2007): Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2006 (Air pollution and atmospheric deposition in data, Czech Republic 2006). ČHMÚ, Praha, str. 130
- PAHL, S. (1996): Fog deposition on spruce forests in high elevation sites (in German), DWD 198, Berlin, str. 137
- PHOENIX, G.K., HICKS, W.K., CINDERBY, S., KUYLENSTIERNA, J.C.I, STOCK, W.D., DENTENER, F.J., GILLER, K.E., AUSTIN, A.T., LEFROY, R.D.B., GIMENO, B. S., ASHMORE, M.R., INESON, P. (2006): Atmospheric nitrogen deposition in

world biodiversity hotspots: the need for a greater global perspective in assessing N deposition impacts. *Global Change Biology* 12: 470–476

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ŠANTROCH, J. (1985): Sledování kvality srážek a mokré depozice. In: ČERNÝ J., *Sborník. Kyselá atmosférická depozice a její důsledky*, 1985, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 11-14

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

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

ŠPIČKOVÁ, J., DOBEŠOVÁ I., VACH, M., BURIAN, M., SKŘIVAN, P. (2004): Atmosférická depozice v okolí Velkolomu Čertovy schody. In: ŠÍR, M., TESAŘ, M., *Atmosférická depozice 2004*, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, str. 135

ŠRÁMEK, V., KULHAVÝ, J., VEJPUSTKOVÁ, M., MAXA, M., FADRHOŇSOVÁ, V., NOVOTNÝ, R., LOMSKÝ, B., ZÁHORA, J. (2005): Vliv současných depozic dusíku na zvyšování přírůstu a kvalitu výživy smrkových porostů. *Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti*, Brno, str. 56

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

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

VÁŇA, M., DEJMAL, K. (2004): Trendy atmosférické depozice na české stanici GAW a EMEP Košetice. In: Atmosférická depozice 2004, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, str. 136

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

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

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

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

ZHANG, Y., SONG, L., LIU, X.J., LI, W.Q., LÜ, S.H., ZHENG, L.X., BAI, Z.C., CAI, G.Y., ZHANG, F.S. (2011): Atmospheric organic nitrogen deposition in China. Atmospheric Environment 46: 195-204

ZHAI, S., YANG, L., HU, W. (2009): Observations of Atmospheric Nitrogen and Phosphorus Deposition During the Period of Algal Bloom Formation in Northern Lake Taihu, China. Environmental Management 44:542–551

ZHAO, D., XIONG, J., XU, Y., CHAN, W. H. (1988): Acid rain in southwestern China. Atmospheric Environment 22: 349-351



## 7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

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

Obr. č. 2: Procesy vedoucí k atmosférické depozici

Obr. č. 3: Atmosférická depozice sledovaná v roce 2003 v Kalifornii (zobrazené hodnoty P jsou na ose 10x větší než jsou ve skutečnosti, hodnoty jsou uvedené v metrických tunách)

Obr. č. 4: Procentuální ohrožení členských zemí EEA acidifikací

Obr. č. 5: Emise látek, které se v Evropě podílejí na acidifikaci atmosférických srážek podle sektorů

Obr. č. 6: Atmosférická depozice dusíku v polovině roku 1990 ve světě

Obr. č. 7: Předpokládaná atmosférická depozice dusíku v roce 2050

Obr. č. 8: Celková depozice dusíku, 2010

Obr. č. 9: Staniční sítě sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2010

Obr. č. 10: Oblast černého trojúhelníka v ČR

Obr. č. 11: Depozice dusíku na plochách Moldava (východní Krušnohoří) a Přebuz (západní Krušnohoří)

Obr. č. 12: Depozice dusíku na plochách Čachnov, Želivka a Svratouch na Českomoravské vrchovině

Obr. č. 13: Depozice  $\text{NO}_3 - \text{N}$  a  $\text{NH}_4 - \text{N}$  měřené na stanici Košetice na Českomoravské vrchovině

Tab. č. 1: Depozice dusíku a síry v roce 2000 na území Velké Británie a Severního Irsku v kilotunách

Tab. č. 2: Depozice dusíku na ploše Jezeří v Krušných horách ( $\text{kg.N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ )

Tab. č. 3: Sledované hodnoty celkového dusíku za období ve středních Čechách 1994 – 2000 ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )

## 8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Staniční sítě sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2010

# PŘÍLOHY

| Kód                    | Stanice                  | Kraj/země       | Okres             | Organizace zajišťující měření | Nadmořská výška [m]                  | Typ odběru   |
|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|
| ALIB                   | Praha 4 - Libuš          | HL.m. Praha     | Praha 4           | ČHMÚ                          | 301                                  | W1, HM   |
| APDB                   | Podbaba                  | HL.m. Praha     | Praha 6           | VÚV                           | 183                                  | M2(HM)   |
| BKUC                   | Kuchařovice              | Jihomoravský    | Znojmo            | ČHMÚ                          | 334                                  | W1, HM   |
| CKAM                   | Kamýk-Všeteč             | Jihočeský       | České Budějovice  | VÚLHM                         | 593                                  | M2(HM), M4(HM)_bu                                  |
| CKOC                   | Kocelovice               | Jihočeský       | Strakonice        | ČHMÚ                          | 519                                  | W1, HM   |
| CLIZ                   | Na lizu                  | Jihočeský       | Prachatice        | ČGS                           | 828                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| CPL1,<br>CPL2,<br>CPL3 | Plešné jezero            | Jihočeský       | Prachatice        | HBÚ AV ČR                     | 1087 (bulk), 1122 (tf),<br>1334 (tf) | F2, F4_sm, F4_sm                                   |
| CVOJ                   | Vojňov-Lásenice          | Jihočeský       | Jindřichův Hradec | VÚLHM                         | 595                                  | M2(HM), M4(HM)_sm,<br>M4(HM)_bu                    |
| DCAR                   | Carlsfeld                | Německo         | Sasko-Chemnitz    | LfULG                         | 896                                  | W1   |
| DGOD                   | Gorlitz DWD              | Německo         | Sasko-Dresden     | LfULG                         | 237                                  | W1   |
| DMIT                   | Mittelndorf              | Německo         | Sasko-Dresden     | LfULG                         | 323                                  | W1   |
| DPLD                   | Plauen DWD               | Německo         | Sasko-Chemnitz    | LfULG                         | 386                                  | W1   |
| DZIN                   | Zinnwald                 | Německo         | Sasko-Dresden     | LfULG                         | 877                                  | W1   |
| EPOM                   | Polomka                  | Pardubický      | Chrudim           | ČGS                           | 512                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| ESVR                   | Svratouch                | Pardubický      | Chrudim           | ČHMÚ                          | 735                                  | W1, HM   |
| HHKO                   | Hr. Král.-<br>observatoř | Královéhradecký | Hradec Králové    | ČHMÚ                          | 276                                  | W1, HM   |
| HKRY                   | Krkonose-Rýchory         | Královéhradecký | Trutnov           | ČHMÚ                          | 1001                                 | W1, HM   |
| HLUD                   | Luisino údolí            | Královéhradecký | Rychnov n. Kn.    | ČHMÚ                          | 875                                  | W1, HM   |
| HLUU                   | Luisino údolí            | Královéhradecký | Rychnov n. Kn.    | VÚLHM                         | 940                                  | M4(HM)_sm  |
| HMOP                   | Modrý potok              | Královéhradecký | Trutnov           | ČGS                           | 1010                                 | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| HUDL                   | U dvou louček            | Královéhradecký | Rychnov n. Kn.    | ČGS                           | 880                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| JKOS                   | Košetice                 | Vysočina        | Pelhřimov         | ČHMÚ                          | 535                                  | D1(HM), HM, M2(HM),<br>M4(HM)_sm,<br>D2(POPS,PAHs) |
| JLKV                   | Loukov                   | Vysočina        | Havlíčkův Brod    | ČGS                           | 500                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| JNOB                   | Nová Brtnice             | Vysočina        | Jihlava           | VÚLHM                         | 640                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| JSAL                   | Salačova Lhota           | Vysočina        | Pelhřimov         | ČGS                           | 557                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| JZEL                   | Želivka                  | Vysočina        | Havlíčkův Brod    | VÚLHM                         | 440                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| KLAZ                   | Lazy                     | Karlovarský     | Cheb              | VÚLHM                         | 875                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| KLY1,<br>KLY2          | Lysina                   | Karlovarský     | Cheb              | ČGS                           | 867 (bulk), 836 (tf)                 | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| KPB1,<br>KPB2          | Pluhův bor               | Karlovarský     | Cheb              | ČGS                           | 753 (bulk), 714 (tf)                 | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| LJZR                   | Jizerka                  | Liberecký       | Jablonec n.N.     | VÚLHM                         | 910                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| LMIS                   | Mísečky                  | Liberecký       | Semily            | VÚLHM                         | 940                                  | M2(HM), M4(HM)_bu                                  |
| LSOU                   | Souš                     | Liberecký       | Jablonec n.N.     | ČHMÚ                          | 771                                  | W1, HM   |
| LUHL                   | Uhlířská                 | Liberecký       | Liberec           | ČGS                           | 780                                  | M2(HM), M4(HM)_sm                                  |
| OBOG                   | Bogatynia                | Polsko          |                   | IMGW                          | 300                                  | M2(HM)   |
| OJAK                   | Jakuszyce                | Polsko          |                   | IMGW                          | 860                                  | M2(HM)   |
| OKAR                   | Karpacz                  | Polsko          |                   | IMGW                          | 575                                  | M2(HM)   |
| OSNI                   | Sniezka                  | Polsko          |                   | IMGW                          | 1603                                 | M2(HM)   |
| OPRZ                   | Przesieka                | Polsko          |                   | IMGW                          | 620                                  | M2(HM)   |
| OKLO                   | Kludzsko                 | Polsko          |                   | IMGW                          | 355                                  | M2(HM)   |
| PBEN                   | Benešovice               | Plzeňský        | Tachov            | VÚLHM                         | 385                                  | M2(HM), M4_bo                                      |

| Kód                    | Stanice           | Kraj/země       | Okres            | Organizace zajišťující měření | Nadmořská výška [m]                  | Typ odběru         |
|------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| PCJ1,<br>PCJ2,<br>PCJ3 | Čertovo jezero    | Plzeňský        | Klatovy          | HBÚ AV ČR                     | 1180 (bulk), 1057 (tf),<br>1330 (tf) | F2, F4_sm, F4_sm   |
| PPRM                   | Přimda            | Plzeňský        | Tachov           | ČHMÚ                          | 740                                  | W1, HM             |
| SBRE                   | Březka            | Středočeský     | Kolín            | VÚLHM                         | 435                                  | M2(HM), M4(HM)_du  |
| SLES                   | Lesní potok       | Středočeský     | Kolín            | ČGS                           | 400                                  | M2(HM), M4(HM)_sm  |
| SLI1<br>SLI2           | Litavka           | Středočeský     | Příbram          | ČGS                           | 700 (bulk), 710 (tf)                 | M2(HM), M4(HM)_sm  |
| TBKR                   | Bílý Kříž         | Moravskoslezský | Frýdek-Místek    | ČHMÚ                          | 890                                  | W1, HM             |
| TCER                   | Červená           | Moravskoslezský | Opava            | ČHMÚ                          | 749                                  | W1, HM             |
| TCRV                   | Červík            | Moravskoslezský | Frýdek-Místek    | ČGS                           | 640                                  | M2(HM), M4(HM)_sm  |
| TKLE                   | Klepačka          | Moravskoslezský | Frýdek-Místek    | VÚLHM                         | 650                                  | M2(HM), M4(HM)_sm  |
| TOPO                   | Ostrava - Poruba  | Moravskoslezský | Ostrava-město    | ČHMÚ                          | 242                                  | W1, HM             |
| UJEZ                   | Jezeří            | Ústecký         | Chomutov         | ČGS                           | 820                                  | M2(HM), M4(HM)_sm, |
| URVH                   | Rudolice v Horách | Ústecký         | Chomutov         | ČHMÚ                          | 840                                  | W1, HM             |
| UULK                   | Ústí n. L.-Kočkov | Ústecký         | Ústí n.L.        | ČHMÚ                          | 367                                  | W1, HM             |
| ZBUC                   | Buchlovice        | Zlínský         | Uherské Hradiště | VÚLHM                         | 350                                  | M2(HM), M4(HM)_du  |

Vysvětlivky:

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

Příloha č. 1: Staniční síť sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2010