

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Atmosférická depozice látek v ČR i ve světě

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

Autor bakalářské práce: Ondřej Bartůšek

České Budějovice 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej BARTUŠEK**
Osobní číslo: **Z12005**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Atmosférická depozice látek v ČR i ve světě**
Zadávající 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 týkající se atmosférické depozice, tj. přestupu látek v plynném, kapalném i tuhém skupenství z atmosféry na zemský povrch (do další části ekosystému). Rešerše bude zpracována tak, aby sloužila jako podklad pro případné zpracování diplomové práce zabývající se touto problematikou.

Rámcový obsah literární rešerše:

Typy atmosférické depozice.

Faktory ovlivňující atmosférickou depozici.

Hodnoty depozice látek v ČR a ve světě.


Vývoj hodnot depozice v čase v různých regionech.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran textu**
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 BYSTRICKÝ, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **17. března 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**


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

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

L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2014

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích dne 15. 4. 2015

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Václavu Bystřickému Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při tvorbě mé bakalářské práce.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na atmosférickou depozici látek v České republice i ve světě. V práci jsou krátce vysvětleny i pojmy, jako je zdroj znečištění, emise a imise, které jsou na sobě závislé a které jsou s atmosférickou depozicí úzce spojeny. Je zde vysvětlen také proces vzniku atmosférické depozice. Dále jsou zde podrobněji popsány typy atmosférické depozice, jejich členění, odebírání a postup při zjišťování velikosti atmosférické depozice. Pro představu jsou v práci uvedeny hodnoty atmosférické depozice v Evropě, v Číně, v Severní Americe a v poslední řadě také v České republice, kde je krátce popsán i její trend. Dále jsou zde uvedeny staniční síť České republiky. V poslední části se práce zabývá vývojem hodnot atmosférické depozice síry, dusíku a vodíkových iontů na území České republiky a na určitých stanicích.

Klíčová slova: atmosférická depozice, zdroje znečištění, emise, imise, srážky, kyselá depozice

ABSTRACT

This thesis is focused on atmospheric deposition of substances in the Czech Republic and abroad. There are also briefly explained concepts such as source pollution emissions and air pollutants, which are depended on each other and which are closely linked with atmospheric deposition. There is also explained the process of formation of atmospheric deposition. There are also described in detail the types of atmospheric deposition, their structure, removing a procedure for estimating the size of atmospheric deposition. To get an idea of the work the values of atmospheric deposition in Europe, China, North America and in the last row in the Czech Republic, where is briefly described the trend of atmospheric deposition. Furthermore, there are station network in the Czech Republic. The last part of the thesis deals with the development of the atmospheric deposition of sulfur, nitrogen and hydrogen ions in the Czech Republic and at certain stations.

Keywords: atmospheric deposition, pollution sources, emissions, air pollutions, precipitation, acid deposition

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. ATMOSFÉRICKÁ DEPOZICE	11
2.1 Význam pojmu atmosférické depozice	11
2.2 Historický pohled na atmosférickou depozici	12
2.3 Vznik atmosférické depozice	14
2.4 Typy atmosférické depozice.....	16
2.4.1 Mokrý atmosférická depozice.....	17
2.4.2 Suchá atmosférická depozice.....	25
2.4.3 Kyselá atmosférická depozice	26
3. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ATMOSFÉRICKOU DEPOZICI	30
3.1 Zdroje znečištění	30
3.2 Emise.....	33
3.3 Imise.....	35
4. HODNOTY DEPOZICE LÁTEK V ČR A VE SVĚTĚ.....	38
4.1 Odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti depozice	39
4.1.1 Mokrý depozice.....	40
4.1.2 Suchá depozice.....	43
4.2 Atmosférická depozice v České republice.....	45
4.3 Atmosférická depozice v Evropě.....	48
4.4 Atmosférická depozice v Americe.....	52
4.5 Atmosférická depozice v Asii	53
5. VÝVOJ DEPOZICE V ČASE V RŮZNÝCH REGIONECH.....	56
6. ZÁVĚR.....	68
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
8. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	75
9. SEZNAM PŘÍLOH.....	76

1. ÚVOD

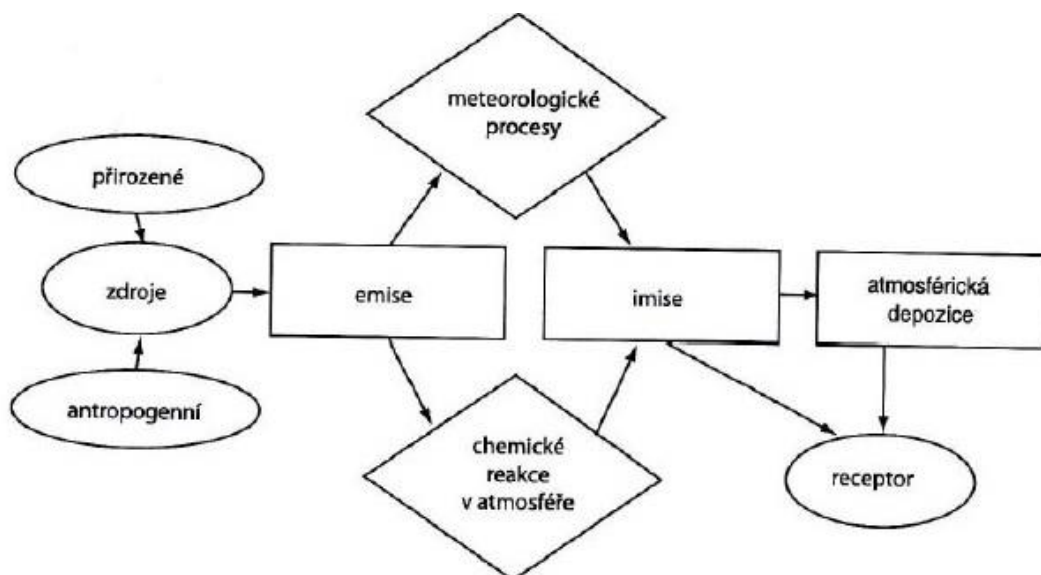
Všechny planety sluneční soustavy mají svou atmosféru, tvořenou převážně plynnými složkami, jež se vytvořila a proměňovala v průběhu jejich geologického vývoje (MOLDAN, 2009). Atmosféra je veškerá hmota vzduchu obklopující zemi (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Je tvořena plyny, vodní párou a znečišťujícími příměsi. Z plynů zde má největší zastoupení dusík (78%), potom kyslík (21%), argon (1%), oxid uhličitý (0,035%) a další plyny. Příměsi zastupuje prach, půdní částičky, pylová zrna a krystalky mořských solí. Na složení atmosféry má vliv i hospodářská činnost člověka (amoniak, oxid siřičitý, oxidy dusíku, sirovodík a další). Obsah těchto látek je ale velmi nepatrný (PIVNIČKA A BRANIŠ, 1998). Zemské ovzduší je unikátní díky vysoké koncentraci kyslíku a přítomnosti vodní páry. Kyslík má v atmosféře biogenní původ. Díky aktivitě živých organismů je hladina tohoto velmi reaktivního plynu na konstantní úrovni (MOLDAN, 2009). Mezi ovzduším, hydrosférou, zemským povrchem a biosférou dochází ke stálým dynamickým změnám, díky kterým se v přírodě čistý vzduch, neobsahující žádný prach ani plynné znečišťující látky, nevyskytuje. Vzhledem k neustálým změnám není ani přirozené složení vzduchu stálým pojmem (KURFÜRST, 1982). Podle odhadů pochází kolem 90% veškerých látek znečišťujících ovzduší z přírodních zdrojů (eroze půdy, požáry, činnost sopek, rozprašování mořské vody). Zbytek znečištění způsobuje člověk. Jeho podíl na znečištění však stále narůstá a to především díky dopravě, energetice, průmyslu, technologiím a spalovacím procesům (PIVNIČKA A BRANIŠ, 1998). Nejvíce diskutované problémy spojené se znečišťováním atmosféry můžeme dle měřítka rozdělit na jevy globální, regionální a lokální. Jako problém globálního rázu je bráno zesilování skleníkového efektu a narušování ozonoféry. Regionálním problémem je dálkový přenos znečišťujících látek a kyselá dešť a jimi vyvolaná acidifikace prostředí a fotochemický smog. Problémy způsobené průmyslovými a zemědělskými zdroji patří k lokálním problémům, kam spadá i problematika redukčního smogu (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Znečišťující příměsi se dostávají do padajících srážkových elementů. V tomto ohledu představují srážky důležitý mechanismus, který významně napomáhá očistě ovzduší. Srážky tedy působí příznivě na vlastní čistotu atmosféry, ale na druhé straně tyto nečistoty odstraněné ze vzduchu přecházejí do srážkové vody a mohou pak negativně působit na vegetaci, zamořovat půdu i povrchové vody a

poškozovat stavby (BEDNÁŘ, 1989). Atmosférická depozice je důležitým procesem samočištění atmosféry, pokud by neexistovala, docházelo by ke kumulaci mnoha látek v ovzduší. Také ale slouží jako zdroj znečišťujících látek pro ostatní složky prostředí jako je hydrosféra, litosféra, pedosféra, kryosféra a biosféra (MOLDAN, 1991).

2. ATMOSFÉRICKÁ DEPOZICE

2.1 Význam pojmu atmosférické depozice

Látky podléhají v atmosféře mnoha dějům od počáteční emise látky ze zdroje přes dálkový přenos a rozptyl, které mají na starost meteorologické jevy a transformace v důsledku chemických reakcí. Atmosférická depozice představuje významný propad (anglicky „sink“) látek z ovzduší (HŮNOVÁ, 2009). Atmosférická depozice představuje proces přestupu látek z atmosféry do různých částí ekosystému. Její studium má velký význam pro pozorování škod, které způsobuje znečištění atmosféry na ekosystémech (VYSOUDIL, 1997). Atmosférická depozice je bezesporu významným ekologickým činitelem (MOLDAN, 1989).



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

(Zdroj: HŮNOVÁ, 2009).

Atmosférickou depozicí rozumíme přestup či tok látek z atmosféry k zemskému povrchu, přičemž na jedné straně je depozice důležitým procesem samočištění atmosféry a pokud by zde nebyla, docházelo by v ovzduší ke kumulaci řady látek, na straně druhé však představuje významný zdroj znečišťujících látek pro další složky prostředí. Depoziční tok se vyjadřuje v hmotnostních jednotkách látky uložené za určité období (zpravidla 1 rok) na jednotku plochy zemského povrchu (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Látky, které jsou přenášeny, mohou být v pevném, plynném a kapalném skupenství. Turbulence a proudění v atmosféře přivánou k povrchu plynné molekuly, ale také částice aerosolů a pevných látek, které jsou navíc přenášeny i působením gravitace (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006).

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

2.2 Historický pohled na atmosférickou depozici

První známé příklady „řízení“ ochrany ovzduší sahají do 13. století. V této době bylo v Anglii zakázáno spalovat určitý typ uhlí (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Kyselý déšť není fenomén, který by se objevil až v současné době, ale tento proces se projevuje už alespoň 3 století (SEINFELD A PANDIS, 1998). Robert Boyle v roce 1692 publikoval knihu *Obecná historie vzduchu* (*A General History of the Air*), kde zmiňuje přítomnost sloučenin síry a kyselin v ovzduší a dešti (HŮNOVÁ, 2009). První práce, která upozorňovala na problém dnes populárně označovaný jako kyselý déšť, byla publikována již v roce 1872 pod názvem *Vzduch a déšť – počátky chemické klimatologie* (*Air and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology*) (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jejím autorem byl anglický chemik Robert Angus Smith, který jako první použil termín kyselý déšť. V této práci podává zprávu o chemickém složení deště v Manchesteru a jeho okolí (SEIFERT, 1994). V roce 1883 až 1884 se složením atmosférických srážek zabýval profesor J. Stoklasa. Upozorňoval na možné hrozící riziko z vypouštění škodlivých látek do ovzduší a snažil se o to, aby vlády jednotlivých zemí zahájily výzkum znečištění ovzduší a aby se stanovily nejvyšší přípustné hodnoty pro koncentraci škodlivin (ÚVTIZ, 1986).

Stále větší pozornost se ve světě věnovala studiu atmosférické depozice, protože je bezesporu významným ekologickým činitelem. Na začátku padesátých let zahájili rozsáhlý a široce zaměřený výzkum švédští vědci Rossby a Egnér, kteří založili tzv. *European Air Chemistry Network* (ERIKSSON, 1970). V roce 1961 založil ve Skandinávii monitorovací síť pro chemismus povrchových vod švédský chemik Svante Odín. Výsledky jeho měření naznačovaly, že kyselý déšť je hlavní z hlediska regionálního měřítka a že se vyskytuje ve značné části Evropy. Poukázal

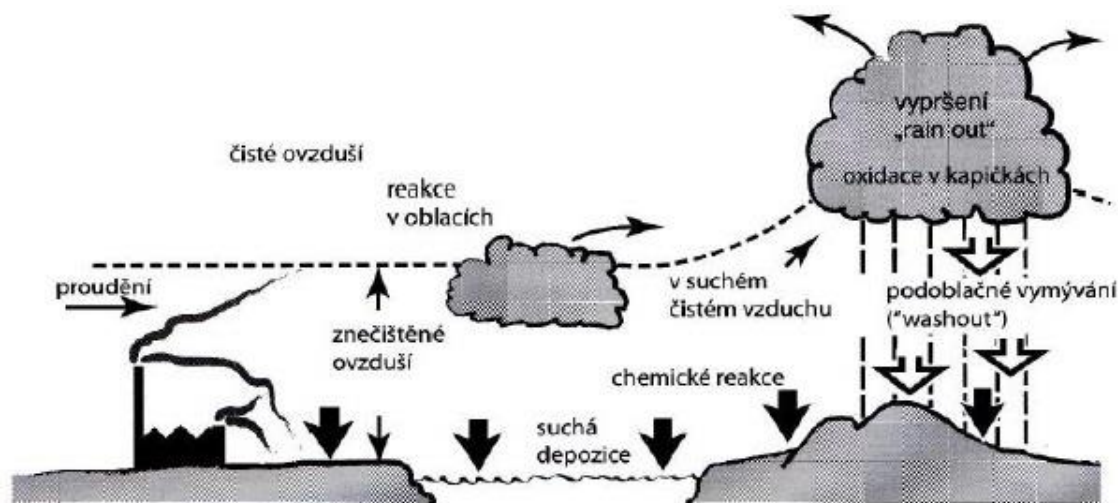
na oblasti zdrojové a postižené. Prokázal, že acidita atmosférických srážek a povrchových vod roste. Také vyslovil hypotézu o dlouhodobých ekologických účincích kyselých dešťů, které zahrnují snížení rybí populace, vyplavování toxických kovů z půd do povrchových vod a snížení růstu lesa. Práce Evilla Gorhama jsou hlavním základem našeho současného poznání kyselého deště a jeho důsledků. Na základě výzkumů v Anglii a Kanadě prokázal již v roce 1955, že acidita srážek, které jsou v blízkosti průmyslových oblastí, je způsobena emisemi ze spalovacích dějů, že srážky způsobují zvyšující se aciditu povrchových vod a že volná acidita v půdách pod vlivem kyselých srážek pochází primárně z H_2SO_4 (HŮNOVÁ, 2009). Acidifikace je od 70. let 20. století považována za velký problém životního prostředí. Důsledkem je rozsáhlý výzkum celého řetězce dějů od emisí acidifikujících složek až po jejich účinky a nalezení nových nápravných opatření (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

V severní Americe se studie různých badatelů zabývajících se kyselými dešti datuje již od roku 1923. Zájem se projevil nejprve v Kanadě, později i v USA, skutečný význam tohoto jevu byl však doceněn o něco déle. V roce 1978 zřídily USA a Kanada bilaterální výzkumnou skupinu pro dálkový přenos znečišťujících látek a v roce 1980 podepsaly memorandum o záměru zavedení bilaterálních dohod o přenosu těchto látek přes hranice států, kam spadala i kyselá depozice. Obě tyto země ustanovily programy, které sledovaly chemické složení srážek (NAPAP v USA a CANSAP v Kanadě) (HŮNOVÁ, 2009). V Evropě byl tento program nazýván EMEP (kooperativní program pro sledování a hodnocení dálkového přenosu znečišťování ovzduší přes hranice států v Evropě). Na tomto velkorysém programu se podílejí téměř všechny evropské státy. V rámci tohoto programu systematicky pracuje rozsáhlá síť stanic a tři koordinační centra (Oslo, Moskva, Lilleström) (MOLDAN, 1985).

Kyselá depozice a jejím účinkům byla věnována řada významných mezinárodních konferencí. První z nich se konala v roce 1975 v USA (Columbus), další např. ve švédském Göteborgu a v japonské Tsukubě. V červnu 2005 byla uspořádána v Praze již 7. mezinárodní konference s názvem „Acid Rain 2005“. Na organizaci se spolupodílely ČHMÚ, Ministerstvo životního prostředí ČR, Česká geologická služba a Centrum pro otázky životního prostředí UK (HŮNOVÁ, 2009).

2.3 Vznik 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 (nejčastěji 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, 2009).



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

(Zdroj: HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Jde o velice důležitý proces samočištění atmosféry, který umožňuje látkám v ovzduší dostávat se do dalších složek prostředí (biosféry, pedosféry, litosféry, kryosféry, hydrosféry). Pro tyto složky prostředí může ovšem představovat podstatný vstup látek znečišťujícího charakteru a tím je tedy naopak zdrojem znečištění. Kdyby atmosférická depozice neexistovala, docházelo by ke kumulaci látek v atmosféře (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Proces atmosférické depozice se studuje ze dvou hledisek. Především má vliv na chemické složení atmosféry, protože déšť, sníh a další meteorologické procesy zbavují ovzduší plyných a pevných částic včetně antropogenních škodlivin. Za druhé představuje atmosférická depozice látkový vstup do geosystémů všech měřítek. Představuje důležitý biochemický proces, který je podstatně ovlivněn antropogenní činností. Projevují se na něm zejména spalovací procesy, při kterých jsou do ovzduší emitovány tuhé částice, jako jsou např. plynné složky síry a dusíku a popílek (VYSOUDIL, 2002).

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

Při „vypršení“ dochází k tomu, že znečišťující látky působí jako kondenzační jádra přímo při vzniku atmosférických srážek (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Vypršení aerosolů se děje jednak pohlcováním kondenzačních jader, jednak zachycováním částic Brownovým pohybem a gradientem napětí vodní páry. Pro nejrozsáhlejší skupinu částic je rozhodující první mechanismus. Účinnost pohlcování kondenzačních jader je tím větší, čím je menší četnost aerosolových částic a čím obsahují větší podíl rozpustných částic (MOLDAN, 1977).

Při „vymývání“ jsou plyny a pevné částice zachycovány již padajícími dešťovými kapkami či sněhovými vločkami pod oblaky při průchodu troposférou (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Účinnost zachycování je v jistých mezích úměrná velikosti částic. Platí to však prakticky jen pro obří částice. Vymývání je tedy důležité zejména pro nízké vrstvy ovzduší s vysokou koncentrací obřích částic, tj. zejména pro ovzduší antropogenně znečištěné (MOLDAN, 1977). Podoblačné vymývání je účinným mechanismem pro rozpustné plyny a aerosoly. Je významné, když jsou koncentrace těchto látek v podoblačné vrstvě mnohem vyšší než v oblaku. To se týká třeba kouřových vleček, které jsou v blízkosti emisních zdrojů. Vzhledem k výrazně většímu povrchu sněhových vloček ve srovnání s dešťovými kapičkami a k nižší pádové rychlosti, je při podoblačném vymývání účinnější sníh než déšť (HŮNOVÁ, 2009). Je také zvláště účinné při dešti trvajícím krátkou dobu nebo v první fázi deště (při prvních 5 mm srážek). Vymývání je tedy důležitým mechanismem odstraňování plynných substancí zejména ze silně znečištěné atmosféry (MOLDAN, 1983).

MOLDAN (1977) používá pro známý výraz vypršení i termín vypírání a říká, že rozdíly v mechanismech vymývání a vypírání plynných a pevných součástí atmosféry je dán značný rozdíl v koncentracích jednotlivých iontů ve srážkových vodách, naměřených různými autory v různých místech na světě. Vyloučíme-li antropogenní vlivy, jež jsou pro místa s hustším osídlením a intenzivní průmyslovou nebo zemědělskou činností rozhodující, má na složení srážkových vod hlavní vliv množství, frekvence a typ srážek, teplota a vlhkost vzduchu a původ vzduchové hmoty, z které se vytvořila oblaka: nejznámější rozdíly jsou mezi hmotami mořskými a kontinentálními.

Jisté znečištění oblačné vody a srážek je přirozeným jevem a podle výskytu určitých látek ve srážkové vodě lze mnohdy nepřímou usuzovat na kvalitu a původ kondenzačních jader. Příklady účinků kondenzačních jader ilustrují pozitivní působení některých příměsí v atmosféře na kondenzační pochody, následkem čehož dochází už při samotném vzniku a v počáteční fázi vývoje srážkových elementů k jejich infekci znečišťujícími látkami (BEDNÁŘ, 1989).

2.4 Typy atmosférické depozice

Celková atmosférická depozice je dána součtem mokré a suché depozice. Mokrú depozice je spojena se srážkami, a to jak s vertikálními (déšť, mrholení, sníh atd.), tak horizontálními (např. jinovatka, námraza, mlha). Déšť je tedy jedním z činitelů atmosférické depozice (MOLDAN, 1985). Srážky odstraňují z atmosféry plynné látky i částice. Můžeme se setkat i s pojmem kyselá depozice, čili kyselý déšť (HŮNOVÁ, 2009). Srážková činnost je vůbec nejúčinnějším a nejuniverzálnějším mechanismem odstraňování látek z ovzduší. Voda zachycuje všechny látky plynné, které se buď ve vodě prostě rozpouštějí, nebo navíc chemicky reagují, i látky pevné, a to jak složky rozpustné, tak i nerozpustné (MOLDAN, 1983).

Suchá depozice představuje spadá tuhých látek a plynů. Při ní dochází k přímému přestupu látek z ovzduší na vegetaci, oceány a zemský povrch. Suchá depozice je daleko pomalejší než depozice mokrá, ale zato probíhá neustále. Oblasti pod přímým vlivem emisních zdrojů, zejména města a průmyslové aglomerace se nazývají impaktní oblasti. Zde podíl suché depozice na celkové atmosférické depozici vzrůstá (HŮNOVÁ, 2009).

2.4.1 Mokr atmosfrick depozice

Celkov atmosfrick depozice se skládá z depozice mokr a such. Mokr depozice je spojena se srzkovou činností (MOLDAN, 1985) a je dějem epizodickm (HUNOV, 2009). Mokr depozice prin na zem látky obsažené ve vodě deště, sněhu, ale i mlh a námrazy (horizontální srzky). Srzkov voda inn odstrnuje z ovzdu aerosolov částice i rozpouští a zachycuje atmosfrick plyny, jde o dležit samočisticí proces. Koncentrace rozpuštěných látek i rozptýlených mikrostic bývají nzk, ale pokud se de, snhov krupice či námrazy vytvoří v inverzn vrstvě nízko nad zemí pln různých nestot, může být jejich obsah ve vodě znan (MOLDAN, 2009). Vývoj srzkovch částic, jehož výsledkem je de, snížení nebo například vypadávání krup, je jednou ze základních otázek fyziky oblaků a srzek (ŘEZÁČOVÁ A KOL., 2007). Obecn je odstrnovn aerosolů vodními srzkami zejména v nižších vrstvách troposféry velmi inn, takže doba setrvání částic ve vzduchu není o mnoho delší (o 10-50%) než pro vodní páru samotnou (MOLDAN, 1977).

Voda, kter vypadává z atmosféry jako srzky, zachycuje v prbhu kondenzace v oblacích i p cestě z oblaků na zem plynné i pevn součastí atmosféry. Chemick složení srzkov vody se liší podle chemického složení ovzdu v oblasti tvorby oblaků a v menší míře i podle lokln situace, kde prv de pad (MOLDAN, 1983). Chemick složení srzkovch vod je promnliv jak v delším asovm období, tak i v prbhu jedn srzkov události. V poaten fázi srzek je mineralizace nejv, protože se uplatnuje efekt vymývání částic prachu v podoblačné vrstvě. V další fázi mineralizace klesá až na téměř konstantní hodnotu, popřípadě v poslední fázi nepatrn stoupá. Znan proměnlivost mineralizace srzkovch vod během srzkov události je i piinou specifických požadavků na zařízení pro odběr jednotlivých fází srzek nebo dokonce jednotlivých srzkovch částic a již kapalných nebo pevných (ŠANTROCH, 1985). Vrazn se liší srzkov voda mořskho původu, kter obsahuje v koncentrace iontů chlóru a sodíku, od vody původu kontinentálního se zvyenm obsahem dusičnanů, síranů, amonných iontů, vápníku a draslíku (MOLDAN, 1983).

O mokr depozici, kter m výraznou vertikální složku, jsou nejkompaktn udaje. Uvádí se, že na plochu 1 m² povrchu pevnn spadne roční prmrn 748 litr

vody. Každý litr srážkové vody obsahuje cca 10 g rozpuštěných látek. Takto se významně přenáší celá řada chemických prvků, z nichž nejdůležitější jsou C, S, N, Ca, Cl, Na, K, Mg, Si, Al a Fe. Mokrá depozice se podrobně zkoumá na základě odběrů vzorků srážek, které se chemicky analyzují. Mokrá depozice je zkoumána na základě celkových chemických analýz ze srážkových vzorků pro vybrané ionty (SO_4^{2-} - S, NO_3^- - N, NH_4^+ - N, H^+ (pH) Cl^- , F^- , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+}) v souvislosti s jejich dopadem na složky životního prostředí. Prostorová depoziční zátěž území České republiky se určuje z pole koncentrací iontů ve srážkách a z pole ročních srážkových úhrnů. To bylo vytvořeno na základě údajů ze 750 srážkoměrných stanic se zohledněním vlivu nadmořské výšky na úhrn srážek (VYSOUDIL, 2002).

Srážky představují důležitý mechanismus, který výrazně napomáhá očistě ovzduší tím, že padající srážkové elementy zachycují částice nečistot a absorbují plynné složky znečištění. Pozorování ukazuje, že bezprostředně po spadnutí významnějších srážek nebo ještě v jejich průběhu vzduch často obsahuje podstatně méně znečišťujících příměsí, než jak bylo 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 velmi negativně působit na vegetaci, zamořovat půdu i povrchové vody a poškozovat stavby (BEDNÁŘ, 2003).

Nejcharakterističtějšími složkami srážkových vod jsou ionty Na^+ a Cl^- , které jsou nejhojnější v mořské vodě. Oba tyto prvky však mohou být vnášeny do atmosféry i průmyslovou (Cl) nebo zemědělskou činností (Na) a při zvětrávání hornin a zachycení větrem (Na). Ačkoliv lze obecně říci, že relativní obsah těchto prvků ve srážkové vodě klesá se vzdáleností od moře, tak mohou být lokální hodnoty poněkud ovlivněny také místní situací. To ovšem platí i pro další složky ovzduší. Koncentrace většiny iontů ve srážkové vodě vykazuje periodické změny s výrazným jarním maximem. Jedním z důležitých údajů o srážkové vodě je hodnota pH. Dešťová voda má nejčastěji mírně kyselou reakci, danou vysokým obsahem CO_2 . Hodnota pH se pohybuje mezi 4-6, může však výjimečně klesnout pod 3 nebo vystoupit nad 7. Na hodnotu pH má rozhodující vliv mnoho činitelů (MOLDAN, 1977).

Mokrý vertikální depozice

Mokrý depozice je spojena se srážkovou činností. Obsahuje zejména složku vertikálních srážek (kapalné dešťové srážky, sníh, kroupy, mrholení a ostatní padající srážky) a složku usazených srážek (depozice z větrem hnané nízké oblačnosti a mlhy, námraza, jíní, jinovatka, rosa a zmrzlá rosa, ledovka) (MOLDAN, 1991). Největší zkušenosti a nejvíce dat je o chemickém složení vertikálních srážek a o mokré depozici s těmito srážkami spojené (MOLDAN, 1985). Termínem atmosférické srážky rozumíme částice, které vznikly v atmosféře následkem kondenzace vodní páry a které se vyskytují v atmosféře, na zemském povrchu nebo na předmětech v kapalném nebo pevném skupenství. Atmosférické srážky jsou jedním z meteorologických faktorů, které ovlivňují celkové množství nežádoucích příměsí v atmosféře. Jejich vliv na kvalitu ovzduší a životního prostředí nelze vůbec posuzovat jednoznačně. Pozitivně lze hodnotit vymývání atmosféry, ale přímým negativním důsledkem tohoto procesu jsou kyselá deště. Jejich působením se zvyšuje kyselost půdy, poškozují vegetaci, zamořuje povrchová voda a urychluje korozi různých materiálů (VYSOUDIL, 1997).

Složení srážkové vody je proměnlivé podle typu srážek i podle míst, kudy prošla vzduchová hmota, která srážky přináší. Průměrná hodnota koncentrací rozpuštěných látek je charakteristickým ukazatelem chemického klimatu daného místa. Je jen málo závislá na existenci místních zdrojů a příliš se neliší v měřících desítek a stovek kilometrů (MOLDAN, 1983).

Děšť

Vodní srážky, které vypadávají z oblaků v podobě kapek. Jejich průměr je větší než 0,5 mm, ale pokud vypadávají velmi hustě, může být jejich průměr i menší (BEDNÁŘ, 1989). Při větších přeháňkách jsou dešťové kapky větší, ale při pádu se odporem vzduchu rozpadají na menší. Jejich průměr může být maximálně 7 mm (VYSOUDIL, 1997).

Mrznoucí déšť

Déšť, jehož kapky mrznou po dopadu na prochlazený zemský povrch nebo na předmětech, které však nesmí být uměle ochlazovány ani zahřívány. Na povrchu půdy, na stromech, elektrických vedeních apod. vytváří beztvárovou usazeninu ledu, tzv. ledovku. Vyskytuje se v zimě při postupu relativně teplých a vlhkých vzduchových hmot do oblastí zemského povrchu prochlazených během předcházejícího mrazového období, například při přechodu teplých front (BEDNÁŘ, 1989).

Mrholení

Vodní srážky vypadávající z oblaků, tvořené drobnými kapičkami o průměru menším než 0,5 mm, pokud nemají takovou intenzitu, aby byly považovány za déšť (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Obvykle můžeme rozlišit jednotlivé kapky (VYSOUDIL, 1997).

Zmrzlý déšť

Padající průhledné nebo průsvitné ledové částice, většinou kulového, popř. i nepravidelného tvaru, zpravidla o velikosti do 5 mm. Při dopadu na tvrdý povrch odskakují a vytvářejí šum. Zmrzlý déšť vzniká zmrznutím dešťových kapek (nebo již dříve značně roztátých ledových částic) v blízkosti zemského povrchu. Jestliže je tvořen ledovými částicemi s neprůhledným jádrem, bývá označován jako krupky (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

Ledové jehličky

Jednoduché ledové krystalky ve tvaru jehlic vznášející se ve vzduchu nebo klesající malou pádovou rychlostí k zemi. Pokud jsou velmi nízké teploty, mohou se vyskytovat i při jasné obloze a jsou pozorovány především v polárních oblastech (při ozáření slunečními paprsky označovány jako tzv. diamantový prach), pouze v období silných mrazů ve středních zeměpisných šířkách (BEDNÁŘ, 1989).

Sníh

Tuhé srážky, které padají z oblaků a skládají se z ledových krystalků (popř. z jejich shluků). Tyto ledové krystalky mají většinou tvar šesticípé hvězdice

(BEDNÁŘ, 1989). Při vyšších teplotách má sníh podobu velkých chumáčů, naopak při teplotách nižších než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou sněhové vločky menší (VYSOUDIL, 1997). KOPÁČEK A BEDNÁŘ (2005) uvádějí, že sníh padající v zimním období v mírných a vysokých zeměpisných šířkách vytváří zpravidla sněhovou pokrývku. Ta chrání půdu před silným ochlazováním v důsledku její malé tepelné vodivosti. Současně však v důsledku velké schopnosti odrazet krátkovlnné sluneční záření a schopnosti vyzařovat dlouhovlnnou radiaci téměř jako dokonale černé těleso se povrch samotného sněhu silně ochlazuje a tím klesá i teplota přilehlých vrstev vzduchu.

Základními veličinami, které charakterizují sněhovou pokrývku, je výška sněhové pokrývky udávaná v cm a hustota sněhu. S hustotou sněhu souvisí jeho tepelná vodivost. Čím je sníh kypřejší, tedy čím má menší hustotu, tím je jeho tepelná vodivost menší. Sníh se může rozpouštět následkem advekčního přenosu teplých vzduchových hmot, účinkem přímého slunečního záření a záření difuzního a v důsledku deště při teplotě nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

Sněhové krupky

Tuhé srážky složené z bílých neprůhledných ledových částic o velikosti obvykle 2 - 5 mm a většinou kulového tvaru. Při dopadu na tvrdý povrch odskakují a často se tříští. Vypadávají v přeháňkách při teplotách kolem $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, často spolu se sněhovými vločkami nebo s dešťovými kapkami (BEDNÁŘ, 1989).

Sněhová zrna (dříve označována jako krupice)

Tuhé srážky skládající se z malých zrněk ledu, neprůhledných, obvykle zploštělého nebo podlouhlého tvaru a velikosti menší než 1 mm. Při dopadu neodskakují, ani se netříští a nejčastěji vypadávají pouze v malých množstvích z oblaků druhu stratus nebo z mlhy, nikdy však v přeháňkách (VYSOUDIL, 1997).

Kroupy

Jde o větší padající kusy ledu různého tvaru, které mají průměr větší než 5 mm. Pokud je rozřízneme, můžeme velmi často identifikovat několik průzračných a neprůzračných vrstev. Kroupy výhradně vypadávají z bouřkových mraků typu –

cumulonimbus. V extrémních případech jejich váha dosahuje i 500 g, jsou známy i ještě těžší kroupy (BEDNÁŘ, 1989).

Horizontální mokré depozice

Horizontální depozice je kvantitativně méně významná a uskutečňuje se usazováním horizontálních srážek (mlhy, námrazy, atd.). Jevy s tím spojené jsou neucelené a málo poznané. Znečišťující látky v horizontálních srážkách mají několikanásobně větší koncentraci než ve srážkové vodě (VYSOUDIL, 2002). Znečištění spojené s horizontálními srážkami a jeho ekologické důsledky se dnes řadí mezi velice málo prozkoumané problémy. Nemůžeme ovšem pochybovat o tom, že například výskyt námrazy nebo rosy může v určitých případech výrazně ovlivnit sedimentaci některých znečišťujících příměsí, které jsou na zemském povrchu a jeho vegetaci (BEDNÁŘ, 2003). Horizontální srážky jsou zdrojem vysokých depozic škodlivin. Mlha (ať v kapalném nebo v tuhém skupenství - námraza) přesahuje svou koncentrací škodlivin hodnoty naměřené na vertikálních srážkách často 7 až 10krát (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

Horizontální depozice se v některých regionech může velkou měrou hydrologicky podílet na celkové atmosférické depozici. Odborné studie zpravidla udávají jako rozhodující hranici nadmořskou výšku 800 m n. m. Ve výšce nad 1000 m n. m. může mlha dokonce napomáhat k celkovému vstupu srážek do lesních ekosystémů větším podílem než samotný déšť (HŮNOVÁ, 2009). Ovšem HŮNOVÁ a JANOUŠKOVÁ (2004) uvádějí, že v těchto nadmořských výškách se horizontální depozice měří pouze výjimečně.

Obsah vody v kapičkách mlhy je výrazně nižší než v dešťových kapkách, což ukazuje, že horizontální srážky jsou mnohem více mineralizované než srážky vertikální. Horizontální srážky bývají i výrazně déle v kontaktu s vegetací. Kapka mlhy vydrží na listech 4x déle než odpadne. Tato voda zachycená intercepcí se poté vypařuje a vede ke vzniku velmi kyselých roztoků na povrchu vegetace (HŮNOVÁ, 2009).

Jinovatka

Křehká usazenina ledu ve tvaru jemných jehel nebo šupin (BEDNÁŘ, 1989), sloupků nebo trsů (VYSOUDIL, 1997). Má bílou barvu, kyprou strukturu a leskne se

na slunci. Na rozdíl od jíní se tvoří na elektrickém vedení, větvích, jehličí, na hranách a rozích některých předmětů nebo budov. Může mít tvar i visících vláken. Pokud jsou podmínky pro její tvorbu příznivé po delší dobu, tak narůstá proti větru. Při poklepu na předměty, na nichž se usazovala, nebo při zesilujícím větru, jinozatka snadno po částech odpadá. Vzniká po celý den, pokud je teplota pod $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ při mlze nebo i bez ní, ale jen pokud je vodní pára ve vzduchu velmi blízko stavu nasycení vůči vodě. Jinozatka se také označuje jako krystalická námraza (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

Námraza

Je to bělavá až šedá, neprůhledná, někdy kalná, kompaktní sněhová či ledová hmota. Má vláknitou nebo zrnitou, často však spíše amorfní než krystalickou strukturu (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Vzniká především za mlhy při teplotách $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (VYSOUDIL, 1997). Vzniká ukládáním přechlazených vodních kapek na zemi, na předmětech, které jsou na zemi, na stromech, elektrických vedeních, ale i na letadlech za letu (BEDNÁŘ, 1989). Může způsobit dopravní kalamity, ale i škody na lesních porostech (VYSOUDIL, 1997). Narůstá proti větru, tvoří husté skupiny, a pokud se usazuje delší dobu, dokáže odolat i dost silnému větru a svou tíhou lámat větve a přetrhávat dráty elektrického vedení. Proto je velmi nebezpečná v letecké dopravě (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

Rosa

Jemné, někdy vzájemně splývající vodní kapičky, které se při teplotě rosného bodu nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ srážejí především na vodorovných plochách předmětů při povrchu země, např. na trávě, listech a střeších. Rosa se vytváří někdy již z večera, ale hlavně v noci. Příznivými podmínkami pro vznik a její vydatnost, je jasné počasí, průzračný vzduch a slabý vítr. Za těchto podmínek se zemský povrch snadno ochlazuje vyzařováním a rosa pak vzniká téměř vždy. Samozřejmostí je i dostatečná vlhkost vzduchu (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Pokud dodatečně zamrzne, vzniká zmrzlá rosa, která je charakterizována jako zmrzlé usazené kapičky obvykle bez patrné krystalické struktury (BEDNÁŘ, 1989).

Jíní

Usazené tuhé srážky vznikající při teplotách pod 0 °C přímým ukládáním molekul vodní páry. Má dobře patrnou velmi jemnou krystalickou strukturu (BEDNÁŘ, 1989). Je tvořeno jemnými, bílými a lesklými krystalky ledu, které mají tvary jehliček, peříček, šupinek nebo vějířků. Vzniká za podobných podmínek jako rosa (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Tvoří se na stéblech trav, vodorovných plochách, ne však na stromech a drátech (VYSOUDIL, 1997).

Mlha

Mlha je zakalení spodních vrstev atmosféry přímo nad zemským povrchem vzniklá kondenzací vodní páry, takže je tvořena vodními kapičkami nebo ledovými částicemi, přičemž dohlednost je menší než 1 km (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005). Mlha v podstatě představuje atmosférický aerosol, který je tvořen velmi malými kapičkami nebo drobnými ledovými krystalky rozptýlenými ve vzduchu. Mlhy se začínají tvořit v atmosféře díky vždy přítomným hygroskopickým kondenzačním jádrům při poměrné vlhkosti vzduchu 90-95%, kdy ještě teplota vzduchu nedosahuje stavu nasycení (rosného bodu). Platí to při kladných i záporných teplotách (VYSOUDIL, 1997). Má bělavé zabarvení, v průmyslových oblastech mívá špinavě našedlou nebo nažloutlou až nahnědlou barvu. Mlhu tvoří většinou velmi malé vodní kapičky o průměru 0,005 až 0,05 mm, které mohou být i přechlazené. Při velmi silných mrazech vzniká mlha složená z drobných ledových krystalků ve tvaru jehliček. Základní podmínky pro vznik mlh jsou tyto: dostatečná absolutní vlhkost, relativní vlhkost 100%, malá rychlost větru a stabilní zvrstvení atmosféry. Mezi mlhou a oblakem není vlastně žádný rozdíl, pokud se týká jejich vlastností. Nahromadění kondenzačních produktů při zemi nazýváme jako mlhu, nad zemí ve výšce jako oblak. V některých případech se mlha vytváří vypařováním teplejší vody do chladnějšího vzduchu, případně adiabatickým ochlazením vlhkého vzduchu, které vzniká následkem prudkého poklesu atmosférického tlaku (KOPÁČEK A BEDNÁŘ, 2005).

V klimatologii se rozlišují čtyři stupně intenzity mlh podle dohlednosti:

1. slabá (dohlednost 500-1000 m),
2. mírná (dohlednost 200-500 m),
3. silná (dohlednost 50-200 m),
4. velmi silná (dohlednost pod 50 m) (VYSOUDIL, 1997).

2.4.2 Suchá atmosférická depozice

Suchá depozice je souborem procesů absorpce plynů a depozice aerosolových částic. Suchou depozici tvoří především prašný spad, to znamená gravitační sedimentace větších částic, který je velký ve znečištěných a suchých oblastech (kde se „hodně prší“). Zemský povrch, ať už pokrytý vegetací či holý, absorbuje plyny z atmosféry, zejména reaktivní SO_2 , NO_x nebo NH_3 (MOLDAN, 2009). Suché usazování je v porovnání s vymýváním srážkami podstatně pomalejší proces. Na rozdíl od mokré depozice však probíhá neustále. V celkových bilancích za delší časové období suchá depozice v průmyslových oblastech převyšuje mokrou, ve vesnické krajině je efekt obou procesů přibližně stejný, naopak v odlehlejších, čistých, horských polohách, už převyšuje mokrá depozice (ZÁVODSKÝ, 1985). V oblastech se silně zaprášeným ovzduším, jako je například naše hlavní město Praha, může suchý spad částic převýšit spad mokrý až několikanásobně (MOLDAN, 1985).

Hlavním mechanismem přenosu plynů a malých částic k povrchu je turbulentní difúze. U velkých částic je důležitá i sedimentace. Vlastní záchyt se realizuje přes tenkou vrstvu (méně než 1 mm) přiléhající k povrchu, v které je laminární proudění a přenos je řízený molekulárními procesy. Záchyt na povrchu zprostředkovává řada mechanismů na různých druzích povrchu. Vegetační záchyt hlavně přes průduchy rostlin (ZÁVODSKÝ, 1985).

Její velikost se nemusí měřit přímo, lze ji vypočítat na základě údajů o koncentraci některých plynných složek v ovzduší a na základě analýz celkového prašného spadu, aerosolových částic a srážkové vody, které se odebírají z trvale otevřených nádob. Údaje o suché depozici v tuhé formě jsou na rozdíl od depozicí plynných a suchých ucelenější. Dostatek informací je zejména o absorpci SO_2 a NO_x (VYSOUDIL, 2002). Jsou důležité v oblastech z geografického hlediska

nesourodých (VYSOUDIL, 1997). Se zjišťováním suché depozice jsou potíže obdobné jako s horizontální mokrou depozicí. Suchá depozice, která je spojena se spadem částic, se dá měřit pomocí několika jednoduchých i složitých zařízení, která simulují přirozený povrch vegetace jiných útvarů na zemském povrchu. K tomu se využívá odběrových zařízení různých tvarů a z různých materiálů. Tyto zařízení mají společné to, že se musí chránit před vlivem depozice mokré, která je velmi významná zejména v čistých oblastech (MOLDAN, 1985).

Výzkum procesů suché depozice je z ekologického hlediska velmi významný. V bilanci látkových toků mezi atmosférou a ostatními složkami přírodního prostředí představuje suchá depozice jeden z rozhodujících členů, přičemž přesnost jejího stanovení je zatím nedostatečná (ZÁVODSKÝ, 1985).

2.4.3 Kyselá atmosférická depozice

Procesy spojené s depozicí mají za následek čištění atmosféry, ale také velkou měrou napomáhají chemickým vstupům znečišťujících látek do suchozemských a vodních ekosystémů. Tyto chemické látky, které se do ekosystémů dostávají pomocí depozice, mají zásadní dopad na životní prostředí a funkci ekosystémů. Chemické vstupy související s mokrou depozicí jsou často označovány jako kyselá depozice nebo kyselé deště (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2009). Kyselá atmosférická depozice znamená přestup okyselujících látek na zemský povrch. Děje se jednak mechanismem mokrým, což znamená kyselými dešťovými a sněhovými srážkami, potom suchým způsobem, to je absorpcí okyselujících plynných složek a také depozicí aerosolových částic a to zejména gravitačním spadem (MOLDAN, 1995). Atmosférická depozice má vliv na chemické složení atmosféry, protože dešť, sněžení a další atmosférické procesy zbavují ovzduší plynných a tuhých částic včetně škodlivin antropogenního původu formou kyselých dešťů (VYSOUDIL, 2002).

Kyselá depozice je soubor procesů, při kterých jsou z atmosféry odstraňovány kyselé složky, které vznikají jako produkt při mnoha reakcích v atmosféře a poté působí jako silné oxidační médium (HŮNOVÁ, 2009). Díky oxidačním reakcím v atmosféře jsou zde přítomny kyseliny v plynné fázi (HNO_3 , HCl , HCOOH , CH_3COOH , atd.), v aerosolu (sulfáty, nitráty, chloridy, organické kyseliny atd.) a v kapalné fázi (SEINFELD A PANDIS, 1998). Kyselý dešť ovlivňuje všechny složky přírodního prostředí, zejména lesní ekosystémy. Má negativní vliv na půdu,

poškozuje vegetaci, okyseluje povrchové vody a tím ovlivňuje činnost vodních organismů. Také se podílí na urychlení koroze různých materiálů a narušování staveb (MOLDAN, 1985). Především SO_2 a O_3 poškozují běžné stavební materiály. Jsou hlášeny případy poškození budov, uměleckých děl, pryže atd. Tím vyvolané ekonomické ztráty způsobené rozrušením materiálu mohou být velmi značné (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Zdravotní stav porostů je značně narušen přetrvávající zátěží ze znečištění ovzduší i jím vyvolaných změn v okyselení půdy (KALVOVÁ A MOLDAN, 1996). Kyselá depozice narušuje také sorpční komplex půdy a tím i její vzdušný i vodní režim, strukturu a další fyzikální vlastnosti (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

Vznik kyselých dešťů je způsoben spalováním ropy a uhlí, protože obsahují síru a další prvky, které k tomu napomáhají. Spálením 1 kg hnědého uhlí se uvolní 2 až 15 gramů síry. Podobný proces nastává při topení olejem, nebo když jezdíme na motorovou naftu. Uvolněná síra ve vzduchu reaguje s kyslíkem a vytváří oxid siřičitý SO_2 (SEIFERT, 1994). Z něho vznikají oxidací sulfáty. Ty se spolu s nitráty hlavní měrou podílejí na okyselení srážek (HŮNOVÁ, 2009). Tyto sloučeniny jsou unášeny větrem, stoupají ve výstupných vzduchových proudech a dostávají se až do oblaků. Sloučeniny síry jsou rozpustitelné ve vodě a tak se v oblacích slučují s drobnými oblačnými nebo s většími dešťovými kapkami a vytvářejí kyselý déšť (SEIFERT, 1994). Hlavní sloučeniny, které jsou v tomto směru sledovány, jsou oxidy dusíku a síry, amonné ionty (NH_4^+) a amoniak (BARTOŇOVÁ, 2009). Emise SO_2 a NO_x mohou být přirozeného i antropogenního původu. Podíl antropogenních zdrojů se u SO_2 odhaduje na více než 50%, u NO_x na více než 30% (HŮNOVÁ, 2009). V současné době je poměr antropogenních a přirozených emisí obou látek do ovzduší přibližně 1:1. To znamená, že lidmi způsobené emise se v globálním měřítku vyrovnají emisím přirozeným. V industrializovaných oblastech výrazně převyšují antropogenní zdroje emise přirozené, například v evropském ovzduší je asi 90 % síry antropogenního původu (MOLDAN, 1995). Mezi hlavní antropogenní zdroje patří spalování fosilních paliv ve stacionárních zdrojích velkého i malého typu, doprava (automobilová, lodní a letecká) a průmyslová výroba (HŮNOVÁ, 2009). Ke vzniku kyselého deště mohou vést i přírodní procesy, např. lesní požáry (ÚVTIZ, 1986).



Obr. č. 3: Vznik kyselého deště.

(Zdroj: SEIFERT, 1994).

Stupeň kyselosti se vyjadřuje pomocí pH stupnice. Silná kyselina se označuje pH 1, silná zásada naopak pH 14. Pokud je pH 7, což je uprostřed stupnice, znamená to, že je látka neutrální. Přírozená kyselost dešťových srážek způsobená oxidem uhličitým dosahuje hodnot pH 5,6 až 6, zatímco u kyselého deště může být pH sníženo až na 3 nebo 4, výjimečně i méně (SEIFERT, 1994). Kyselý deště mají tedy velký vliv na změnu pH půdy. Snížení pH půdy způsobuje nárůst mobility některých toxických kovů (Pb, Cd, Hg, Al, apod.) a mění mikrobiální složení půdy a snižuje tak její mikrobiální aktivitu (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Dešťová voda by v případech neovlivněných antropogenním znečištěním měla slabou kyselost (ve stupnici pH zhruba 5,6) vytvořenou rozpuštěným oxidem uhličitým. Antropogenním znečištěním atmosféry však dochází k výraznému zvýšení kyselosti srážek (BEDNÁŘ, 2003). V silně znečištěných oblastech zásaditá složka suchého spadu neutralizuje kyselost srážek a způsobuje, že pH vzorků celkového spadu, získaných v nepřetržitě exponovaných nádobách, je výrazně vyšší než u čistých srážek, zachycených pouze v průběhu deště (ČERVENÝ A KOL., 1984). Hodnota pH v 80. letech dvacátého století regionálně (Evropa, Severní Amerika) i globálně klesala díky zvyšujícím exhalacím oxidu siřičitého při spalování uhlí a nafty i exhalacím vyšších oxidů dusíku, jež vznikají při všech spalovacích procesech oxidací vzdušného

dusíku. Zvýšená kyselost srážek má negativní vliv na přírodní ekosystémy i na součásti umělého prostředí, jako jsou třeba stavby a jiná zařízení, jejichž koroze se urychluje (MOLDAN, 1983). Značná kyselost srážek může mít i toxické účinky na živé organismy. S okyselováním srážek je spojováno vymírání některých druhů sladkovodních ryb (ČERVENÝ A KOL., 1984).

BEDNÁŘ (1989) uvádí, že dnes vedle dobře rozpustných sloučenin síry, jež vznikají ve značných množstvích při spalování sirnatých paliv, představují vážné ekologické nebezpečí oxidy dusíku. V Evropě to může demonstrovat na příkladu Skandinávie, kde při jihozápadních a jižních prouděních, která přinášejí obvykle silně znečištěný vzduch z oblasti Velké Británie a z evropského kontinentu, bývá pozorována značná kyselost srážek. Ke vzniku kyselých srážek zde významnou měrou napomáhá tvar reliéfu skandinávského poloostrova, který je typický pro své návětrné efekty. Pro severské země, jako je Norsko a Švédsko se tím vytváří velké ekologické ohrožení, neboť jsou zde půdy na kyselost srážek většinou velmi citlivé. Povrchové vody mají v této geografické oblasti často skalnatý, ke kyselině rezistentní podklad, a spadnou-li do nich kyselé srážky, existují minimální možnosti pro rychlou neutralizaci kyselého roztoku, což působí hromadné úhyny ryb i ve vodách, které se nacházejí v krajinách dosud jiným způsobem nedotčených negativními civilizačními vlivy.

V současné době je nadměrnou kyselou depozicí postižena zejména oblast střední, severní a západní Evropy a severovýchodu Severní Ameriky. Nové významné ohnisko se vytvořilo v jižní Číně. V budoucnu však lze očekávat další zasažená území. V naší republice je tímto jevem způsobeno odumírání jehličnatých lesů, protože Česká republika patří mezi státy s velmi znečištěným ovzduším způsobeným zejména vysokými emisemi oxidů síry, dusíku a dalších škodlivin (MOLDAN, 1995).

3. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ATMOSFÉRICKOU DEPOZICI

3.1 Zdroje znečištění

Lidské aktivity nejrůznějšího typu ovlivňují kvalitativní i kvantitativní charakteristiky všech složek prostředí. Na snížení kvality ovzduší se mohou podílet nejen cizorodé látky unikající do atmosféry jako antropogenní artefakty (např. nově syntetizované sloučeniny), ale také v prostředí běžné 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, prашné bouře apod.) (BRANIŠ, 2009). Velký vliv na lidské zdraví může mít znečištění ovzduší, a to jak krátkodobě, tak dlouhodobě. Může to být přímo nebo nepřímo, přičemž nepřímé působení spočívá v kontaminaci pitné vody a potravin a pronikání kůží (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

Obecně se do pojmu znečištění ovzduší zahrnuje celá řada činností, které zamořují zemskou atmosféru, od vypouštění hmotných látek přes emise škodlivého elektromagnetického záření až po hluk, teplo a další (KURFÜRST, 1982). V ovzduší průmyslově vyspělých zemí jsou nejdůležitějším zdrojem znečištění tyto skupiny primárních škodlivin: oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, ozón, poletavý prach, neboli aerosolové částice (MOLDAN, 1995). VIRTANEN A HÄMEKOSKI (1999) uvádějí ještě těkavé organické sloučeniny.

V užším slova smyslu se znečišťováním ovzduší rozumí vypouštění hmotných látek tuhého, kapalného nebo plynného skupenství ze zdrojů do ovzduší, které buď přímo nebo po chemických změnách v atmosféře, nebo v působení spolu s jinou látkou negativně ovlivňující životní prostředí. V širším slova smyslu se za znečišťování ovzduší považuje přímé nebo nepřímé vnášení látek nebo energie lidskou činností do ovzduší v množství, které ovlivní kvalitu a složení venkovního ovzduší a má za následek nepříznivé účinky na lidi, živou i neživou přírodu, ekosystémy, hmotný majetek, zdroje surovin a využívání životního prostředí (KURFÜRST, 1982).

Znečišťující příměsi jsou do ovzduší vypouštěny emisními zdroji nejrůznějších typů. Charakteristiky zdroje jsou velmi důležité z hlediska dalšího

osudu látek do ovzduší emitovaných (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Zdroje znečišťování ovzduší jsou značně různorodé a velmi početné (KURFÜRST, 1982). Emisní zdroje lze rozdělit podle řady kritérií. Podle původu se dělí zdroje na přirozené a antropogenní (BRANIŠ, 2009).

Přirozené zdroje

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

Antropogenní zdroje

V poslední době se v souvislosti s ekologickou problematikou věnuje velká pozornost aerosolům antropogenního původu, které vznikají jako přímé nebo nepřímé produkty lidské aktivity. Jsou to například důlní nebo průmyslové činnosti, doprava, zemědělství, důsledek vytápění budov (BEDNÁŘ, 2003), výroba elektřiny, tepla a likvidace odpadu (BRANIŠ, 2009). Antropogenní příměsi, které se do atmosféry dostávají, mohou mít plynné, kapalné nebo tuhé skupenství (BEDNÁŘ, 1989). Antropogenní emise se zpravidla ve svém důsledku projevují daleko více než emise z přirozených zdrojů, protože mají vyšší specifické emisní toky. Tím pádem jsou emisní koncentrace mnohem vyšší v oblastech s intenzivní lidskou činností než v oblastech odlehlých a od zdrojů vzdálených (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Podle BRANIŠE (2009) se zdroje dále dělí podle umístění na přízemní, vyvýšené a výškové. Mezi příklady přízemních zdrojů emitujících látky v bezprostřední blízkosti zemského povrchu (leckdy přímo do tzv. dýchací zóny) uvádí zemědělskou činnost, skládky, lomy, lokální topeniště nebo automobilovou dopravu. Zdroje vyvýšené emitují škodlivé látky v určité výšce nad zemským povrchem. Sem patří typicky vysoké komíny elektráren, tepláren a průmyslových závodů. Tyto vysoké komíny zlepšují situaci lokální, ale značnou měrou přispívají

k dálkovému přenosu znečišťujících látek, a tím napomáhají ke zvyšování acidifikace prostředí i v oblastech relativně čistých, bez vlastních významných znečišťujících zdrojů. Výškovým zdrojem je zejména letecká doprava.

Zdroje dělíme také podle uspořádání na bodové, liniové, plošné a objemové (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Bodové zdroje jsou ty, které uvolňují emise z jasně definovatelného místa, jako je kouřovod nebo komín. Sledování, měření a kontrola těchto emisí je podstatně snazší a většinou méně cenově náročná než u jiných typů zdrojů emisí. Typické bodové zdroje emisí jsou výsledkem spalování paliva při výrobě energie a průmyslových procesů, jako je tavení rud, výroba celulózy atd., které vypouští emise z jasně definovatelných komínů nebo kouřovodů (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Lineárním zdrojem může být doprava na dálnici či řece. Plošným zdrojem je město jako celek, průmyslová aglomerace, povrchový důl či lom nebo skládka (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Dalším příkladem jsou také průmyslové procesy na rafinériích ropy a vytápění domácností malými topeništi, které jsou rozptýlené po velké ploše. Zjištění skladby těchto emisí bývá velmi obtížné, jejich přesné měření je téměř nemožné a ochrana je velmi nákladná (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). V souvislosti s katastrofami jako je například jaderný výbuch, můžeme hovořit o objemovém zdroji (BRANIŠ, 2009).

Podle stálosti povahy dělíme zdroje na stacionární a mobilní. Stacionární zdroj nemění svou polohu v prostoru a čase, zato zdroj mobilní ano. Rozlišení těchto kategorií samozřejmě závisí na časovém a prostorovém měřítku, které bereme v úvahu. Jednotlivé auto na dálnici je bodovým mobilním zdrojem, ale je-li souvislá kolona aut na dálnici v čase více méně konstantní, můžeme dálnici se všemi auty na ní pokládat za stacionární lineární zdroj (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Mobilní zdroje obecně mohou být motorová vozidla a stroje sloužící k dopravě i jiným účelům, pohybující se po zemi, vodě i ve vzduchu. Pozemní vozidla jsou např. motorová vozidla silniční a kolejové dopravy, stavební, zemědělské a vojenské stroje a další. U silničních vozidel se z hlediska tvorby, množství a druhů emisí znečišťujících látek rozlišují spalovací motory zážehové (benzínové), a to zvlášť čtyřdobé a dvoudobé a spalovací motory vznětové (naftové neboli dieselmotory). U kolejových vozidel jsou to lokomotivy parní a dieselmotorové (KURFÜRST, 1982). Mobilní zdroje emisí jsou tedy všechny druhy dopravy. Množství emisí z mobilních zdrojů v rámci určité oblasti je velmi různé podle objemu a rychlosti dopravy. Odhad

těchto emisí není zdaleka snadný. Doprava představuje největší kategorii emisí oxidu uhelnatého a významně se podílí na emisích oxidů dusíku, těkavých organických sloučenin a rozptýlených tuhých částic. Největším stacionárním zdrojem exhalátů v průmyslovém světě je spalování paliva při výrobě energie (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999).

Z hlediska doby trvání lze emisní zdroje rozdělit na zdroje kontinuální, které jsou nepřetržité a diskontinuální, které se vyznačují svou přetržitostí. Elektrárny jsou typickými kontinuálními zdroji CO₂, NO_x a SO₂. Čištění elektrostatických filtrů pro odlučování tuhých částic dvakrát do týdne je příčinou, proč lze pro tuhé částice pokládat stejnou elektrárnu za zdroj diskontinuální. Proto je pro rozlišení těchto zdrojů důležité uvažované časové měřítko. Např. zdroje s určitým pevným denním chodem by pro účely studie o akutních, krátkodobých účincích neměly být pokládány za konstantní, pro účely studií o chronických, dlouhodobých účincích však za kontinuální být pokládány mohou (BRANIŠ, 2009).

3.2 Emise

Znečišťování ovzduší je pojem, který znamená vypouštění neboli emise znečišťujících látek do atmosféry. Mírou znečišťování ovzduší je množství emisí. Jedná se tedy o činnost nebo děj (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010). Emisemi rozumíme vypouštění nebo únik příměsí do atmosféry, což se také nazývá primární znečišťování ovzduší (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Jsou to tedy příměsí, které jsou vypouštěny rovnou ze zdrojů (VYSOUDIL, 2002). Množství příměsí, zpravidla její hmotnost, vstupující za jednotku času ze zdroje znečišťování do ovzduší, nazýváme emisním tokem (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Dopravou nebo spalováním uhlí vznikají emise oxidu dusíku a oxidu siřičitého, které se podílejí na vzniku kyselého deště (NOVOTNY A CHESTERS, 1981).

Ve dnešní vyspělé průmyslové době se spotřebuje velké množství přírodních zdrojů a energie, které slouží k výrobě zboží nebo služeb pro veškeré obyvatelstvo. Všechna tato činnost je spojena s vypouštěním látek do atmosféry. Těmito emisím tedy říkáme primární škodliviny, neboť látky jako je třeba oxid siřičitý se do vzduchu dostávají přímo v důsledku lidské činnosti. Sekundární škodliviny jako je ozón vznikají v ovzduší v důsledku chemických reakcí mezi primárními škodlivinami a jednou nebo několika primárními škodlivinami nebo přirozenými

složkami vzduchu (VIRTANEN A HÄMEKOSKI, 1999). Sekundárním znečišťováním se rozumějí chemické změny, jimiž prochází většina znečišťujících látek během šíření exhalací v atmosféře. Pro sekundární znečišťování se někdy používá pojem chemismus atmosféry. Pod tento pojem patří základní chemické reakce, např. oxidace, jimiž nastávají změny plynných látek v atmosféře, dále změny skupenství neboli konverze některých plynných látek na jemně disperzní částicovou tuhou látku, setrvávající potom trvale v horních vrstvách atmosféry a změny fotochemické, kde emise některých látek znečišťujících ovzduší ve spolupůsobení s ozónem, s dalšími složkami přirozené atmosféry a se slunečním zářením vytváří v atmosféře tzv. smogy, které jsou rozlišovány na několik typů (KURFÜRST, 1982).

Emise ze zdrojů se zjišťují výpočtem nebo měřením. Měření specifických emisí je všeobecně nejlepším a nejpresnějším způsobem pro kvantifikaci emisí. Ale protože je velmi nákladné a technicky obtížné, neprovádí se příliš často. Alternativní metodou je častěji využívaný výpočet emisí, který se provádí pomocí tzv. emisních faktorů, kdy se na základě známého množství a druhu paliva spočítají emise jednotlivých látek (BRANIŠ, 2009). Emisní faktor popisuje množství polutantu, který je uvolňován ze zdroje činnosti do atmosféry. Jde například o spalování, skladování, manipulaci, výrobní procesy, úniky ze zařízení apod. Emisní faktory jsou zpravidla vyjádřeny v jednotkách hmotnosti polutantu emitovaného na jednotku hmotnosti, objemu, tepelného výstupu, vzdálenosti nebo trvání děje emise polutantu. Emisní faktory jsou odvozovány různými způsoby od měření zdrojů, přes teoretické výpočty až po kombinace měření a výpočtů. Emisní faktory se mohou měnit vlivem času, lokality a znalostí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

V oblasti ochrany ovzduší funguje v současné době Informační systém ochrany čistoty ovzduší (ISOČO), který pokrývá celou naši republiku. Jeho podsystémy jsou Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) a Emisní informační systém (IIS) a další (VAVROUŠEK A MOLDAN, 1989). Podrobné údaje o emisích podle druhu zdrojů, charakteru znečišťujících látek a podle území lze zjistit přímo z Registru emisí a znečišťování ovzduší (REZZO) a v souborných tabelárních přehledech vydávaných Českým hydrometeorologickým ústavem. Na mnoha místech České republiky, např. v severních Čechách, Praze nebo na Ostravsku pracují poměrně dokonalé monitorovací systémy čistoty ovzduší. V poslední době navíc vznikly automatizované městské monitorovací systémy i

v řadě regionů včetně střední Moravy. Mezi emisemi nejzatíženější oblasti České republiky patří tradiční oblasti jako je hlavní město Praha, severomoravská a severočeská pánev (VYSOUDIL, 2002).

Pokud jde o emise SO₂, patří Česká republika mezi významné znečišťovatele v Evropě. Od roku 1950 do roku 1980 vzrostly tyto emise zhruba 3krát. Od roku 1989 do roku 1994 byl zaznamenán pokles o téměř 30% a tyto emise činily necelých 1,5 mil. tun/rok (PIVNIČKA A BRANIŠ, 1995).

Ochrana čistoty ovzduší je souhrnný název pro praktické a výzkumné činnosti zabývající se studiem znečištění ovzduší a jeho ochranou před znečišťováním. Za škodliviny ohrožující stav, složení i vlastnosti zemské atmosféry se považují důsledky všech negativních jevů lidské činnosti, i když mají odlišnou fyzikálně-chemickou podstatu. Za znečišťování ovzduší nepovažujeme jen přítomnost hmotných částic v atmosféře. Na znečišťování ovzduší se podílí elektromagnetické vlnění, hluk a vibrace, vysokofrekvenční výboje a dosti zásadně tepelné a radioaktivní znečišťování (VYSOUDIL, 2002).

3.3 Imise

Imise jsou definovány jako množství znečišťujících příměsí, které přecházejí z ovzduší na příjemce neboli receptor. Jejich mírou je koncentrace cizorodé látky v ovzduší, vyjádřená hmotností sledované látky na objem vzduchu, popř. hmotností příměsí na 1 kg vzduchu. Často se také setkáváme s jednotkami ppm (pars per million), popřípadě ppb (pers per billion), které jsou označovány jako poměr objemu znečišťujících příměsí k objemu směsi. Receptor je ovlivňován buď přímo imisemi nebo prostřednictvím atmosférické depozice (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Imisí se stává emise po přenosu, rozptýlení a po fyzikálně-chemických reakcích, do kterých vstupuje v atmosféře. Kromě chemických látek ve všech skupenstvích jsou za imise v širším slova smyslu považovány také hluk, radioaktivita a změny teploty vyvolané lidskou činností (BRANIŠ, 2009). V důsledku chemických reakcí a rozptylu jsou látky naředěny, a proto jsou imise znečišťujících příměsí vždy méně koncentrované než emise (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Pokud se přítomnost imisí v atmosféře projevuje v takové míře a době trvání, že má nepříznivý vliv na životní prostředí, jde o znečištění ovzduší. Znečištění nám tedy ukazuje stav, který je důsledkem původního děje nebo činnosti. Množství imisí

jednotlivých látek v určitém místě nebo oblasti je mírou znečištění (HEMERKA A VYBÍRAL, 2010).

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

Vliv emisí s následnou acidifikací a eutrofizací půd představuje jeden ze základních antropogenních faktorů negativně působících na stav lesů. Poškození lesů v důsledku imisní zátěže je na území České republiky známo již od 50. let (oblast Krušných hor). Rapidní nárůst velkoplošného poškození se objevil po extrémním teplotním výkyvu v prosinci roku 1978. Poškození se následně viditelně projevilo na vrcholových částech všech pohoří v severní části České republiky. Podle některých údajů dosáhl podíl imisně poškozených lesů v polovině 90. let kolem 60% z celkové rozlohy lesů (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002).

Imise a depozice některých imisních látek, především CO₂, oxidů síry a dusíku, mohou při nízkých koncentracích a omezené době působení obecně přispívat k výživě lesních dřevin. Nelze vyloučit, že tyto vlivy pravděpodobně umožnily vyšší přírůstky dřevní hmoty v průběhu padesátých let a v některých oblastech i počátkem šedesátých let. Postupně však zcela převládly negativní vlivy imisí prakticky na celém území České republiky (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

Pokud jde o znečištění ovzduší oxidy dusíku, které představují jednu z nejběžnějších znečišťujících příměsí ve většině urbanizovaných oblastí, tak je u nás nejzatíženější oblast opět hlavní město Praha, kde dochází prakticky na všech stanicích k překročení denního imisního limitu. Dále byly tyto limity překračovány na některých stanicích v severních Čechách, v Berouně, Chebu, Plzni, Brně,

Šumperku, Hodoníně a Zlíně. Rozhodující podíl na vyšších koncentracích oxidů dusíku na městských stanicích má původ v dopravě (VYSOUDIL, 2002).

Problematika znečišťování ovzduší již dávno přestala mít úzce národní charakter a stala se problémem mezinárodním. Proto současný výzkum je v národním měřítku zaměřen na rozvoj kontroly emisí a imisí a v mezinárodní sféře se sleduje dálkový přenos škodlivin a regionální a globální úroveň znečištění ovzduší (ČERVENÝ A KOL., 1984).

4. HODNOTY DEPOZICE LÁTEK V ČR A VE SVĚTĚ

Atmosférická depozice je spojena s kritickou zátěží (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Ta je definována jako nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nepůsobí chemické změny vedoucí k dlouhodobým škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystémů (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002). Definice se vztahuje na ekosystémy terestrické i vodní. Znečišťujícími látkami se rozumí sloučeniny dusíku a síry. Kromě acidifikace může vstup dusíku a síry ovlivnit také eutrofizaci a látkovou rovnováhu ekosystémů (HŮNOVÁ, 2009). Stanovení kritických zátěží je zaměřeno na ochranu přírodního prostředí před účinky kyselé atmosférické depozice a kvantifikaci nezbytného snížení emisí kyselinotvorných sloučenin do ovzduší (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002).

Principem vyhodnocení kritických zátěží je výpočet neutralizační kapacity přírodního prostředí, především půd a vegetace, které umožňuje eliminovat přebytečné vodíkové ionty vznikající při atmosférické depozici oxidů síry a dusíku (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Kritické zátěže lze považovat za indikátor setrvalého rozvoje ekosystémů, neboť stanovují maximální přípustné množství škodlivin, které může ekosystém přijmout a při jejichž dodržování se snižuje riziko poškození všech jeho složek. Kritické zátěže také umožňují sledovat změny v překročení každý rok a vymezit tak oblasti, kde se může očekávat zhoršení stavu nebo zlepšení. Ekosystémy zpravidla nereagují okamžitě na změny v aktuálním zatížení, ale jejich odezva je zpožděna (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002).

Koncepce kritických zátěží byla poprvé formulována ve druhé polovině osmdesátých let v Norsku a týkala se zátěží okyselujících látek z atmosféry (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Konvence o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejících hranice států (CLRTAP) byla prvním mezinárodním právním nástrojem, který se týkal problémů znečištění ovzduší v širších regionálních souvislostech. Konvence byla podepsána v roce 1979 a vstoupila v platnost v březnu 1983. Významnou část v rámci CLRTAP tvoří aktivity věnované účinkům znečištění ovzduší na přírodní prostředí a lidské zdraví. Koncept kritických zátěží umožňuje, jako dosud jediný, kvantifikovat potřebné snížení emisí tak, aby bylo možné dostatečně chránit přirozené ekosystémy, půdy a vody před acidifikací. V České republice bylo mapování kritických zátěží zahájeno až v roce 1990 a výsledky zpracování Českým národním centrem pro účinky (NFC) byly prezentovány

v zahraničních publikacích, na mezinárodních seminářích a v odborných časopisech. Na mezinárodní úrovni byly mapovací aktivity orientovány především na účinky znečištění ovzduší sloučeninami síry a dusíku a vypracovány podrobné metodiky a scénáře na ochranu ekosystémů před acidifikací a eutrofizací (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002).

Dnes jsou kritické zátěže acidifikujících sloučenin dusíku a síry v České republice překročeny na velké většině území. U nás se mapováním kritických zátěží zabývá Český ekologický ústav. Ten uvádí, že v roce 1996 byly kritické zátěže pro síru a dusík překročeny na přibližně 99% lesních ploch v ČR a v roce 2000 na cca 86%. Kritické zátěže nutričního dusíku jsou v tomto ohledu ještě daleko horší. Kritické zátěže pro nutriční dusík byly v roce 1996 překročeny na 100% ploch lesního charakteru v ČR, v roce 2000 pak na 99% (HŮNOVÁ, 2009).

4.1 Odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti depozice

Vzrůstající zájem o sledování přenosu znečišťujících látek mezi jednotlivými složkami přírodního prostředí rozšířilo požadavky na získávání informací o přenosu znečišťujících látek z ovzduší na zemský povrch (ŠANTROCH, 1985). Měření chemického složení srážek je celosvětově věnována značná pozornost zejména ve spojitosti s acidifikací suchozemských i vodních ekosystémů (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Práce se vzorky atmosférických srážek je velmi náročná na čistotu. Jedná se totiž o velmi slabě mineralizované roztoky, které mohou být snadno kontaminovány. Reprezentativní odběr vzorku představuje nejnáročnější část celého řetězce procesů vedoucích od odebrání vzorku a končících výsledky, a odběr též může být, a zpravidla bývá hlavním zdrojem chyb výsledků analýz (HŮNOVÁ, 2009).

Srážky jsou odebírány jako denní, týdenní či měsíční kumulativní vzorky. Vzorek se shromažďuje po dobu odběrové periody v odběrovém zařízení a následně se chemicky analyzuje. Stanoví se vodivost srážek a pH a také koncentrace SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cd^{2+} a Ni^{2+} . Velmi důležitá je acidita srážek, která je vyjádřena jako pH roztoku. Jako přirozená hodnota se bere hodnota 5,6 a pokud má vzorek pH nižší, je pokládán za kyselý. V České republice se nyní průměrné pH srážek pohybuje v intervalu 4,4 – 4,6 jednotek pH (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Geografická poloha místa, kde se odebírají srážkové vody, určuje chemické klima pro danou oblast, pro něž je charakteristické i průměrné dlouhodobé složení srážkových vod (MOLDAN A VAVROUŠEK, 1989).

Podkorunová depozice síry je zjištěna pro lokality s porosty z pole koncentrací síry v podkorunových srážkách a z verifikovaného pole srážek procentuálně modifikovaného množstvím srážek naměřeným pod porosty na jednotlivých stanicích. Podkorunová depozice obecně zahrnuje mokrou vertikální a horizontální depozici a suchou depozici částic a plynů v porostech a pro síru, pro kterou je vnitřní koloběh porosty zanedbatelný, by měla být podkorunová depozice dobrým odhadem depozice celkové (VYSOUDIL, 2002).

V roce 2013 došlo k úpravě škál v legendách depozičních map z důvodu velmi nízkých depozic většiny hodnotících látek, pro které již byla původní škála nevyhovující (ČHMÚ, 2013).

4.1.1 Mokrý depozice

ŠANTROCH (1985) poukazuje na některé základní požadavky, které musí splňovat zařízení pro odběr atmosférických srážek:

- musí být zaručeno, že nedojde ke kontaminaci vzorku při odběru ani při další manipulaci se vzorkem,
- zvláštní pozornost musí být věnována výběru materiálu, se kterým přijde vzorek do styku. Většinou se doporučují chemicky odolné materiály jako např. polyethylén, teflon, křemenné sklo nebo v krajním případě nerez,
- údržba zařízení, především čištění, sterilizace a konzervace musí být snadno a dokonale realizovatelná,
- po odběru musí být vzorek uchováván tak, aby se zamezilo jakýmkoli chemickým změnám ve vzorku, jakými je například odpar vzorku, ohřívání v letním období nebo zamrznutí v zimním období,
- zařízení musí být dostatečně účinné pro všechny druhy srážek, např. plochá nálevka není vhodná k odběru sněhu nebo otevřené vědro pro velký odpar není vhodné k odběru srážek v letním období,
- odběrová plocha musí zajišťovat dostatečné množství vzorku pro analýzu. Velikost plochy je závislá na periodě odběru, pro delší odběrové období a

vyšší intenzitu srážek vyhovují zařízení s menší odběrovou plochou, pro krátkodobé odběry je nutná plocha větší,

- zařízení musí být konstruováno tak, aby nekvalifikovaná osoba prováděla minimum operací se vzorkem, při kterých by mohla ovlivnit jeho kvalitu. Většina operací, kdy se obsluha dostává do styku se vzorkem, se musí provádět v laboratoři.

Vertikální mokrá depozice

Největší zkušenosti a nejvíce dat je o chemickém složení vertikálních srážek a o mokré depozici s těmito látkami spojené (MOLDAN, 1985). Metodika odběru mokré depozice, především založená na odběru atmosférických srážek, je v současnosti dobře propracovaná na slušné odborné úrovni. Odběrové metody především využívají gravitační sedimentace srážkových elementů. Značná proměnlivost mineralizace srážkových vod během srážkové události je příčinou specifických požadavků na zařízení pro odběr jednotlivých fází srážek nebo dokonce jednotlivých srážkových částic ať již kapalných nebo pevných (ŠANTROCH, 1985).

Vertikální mokrá depozice je dosud nejlépe poznanou složkou atmosférické depozice a poměrně snadno se měří. Vypočítá se podle jednoduchého vztahu

$$D = c_i \cdot P$$

kde c_i znamená průměrnou koncentraci měřené složky (průměr vážený srážkovým úhrnem) a P uvádí srážkový úhrn za vyčíslované období, většinou rok (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Z tohoto vzorce je patrné, že i v poměrně velmi čistých oblastech může být mokrá depozice dosti vysoká, což je dáno vysokými srážkovými úhrny. To platí hlavně pro horské stanice (HŮNOVÁ, 2009).

Zařízení pro odběr mokré depozice můžeme v zásadě rozdělit na dva typy – trvale exponované nebo otvírané v průběhu srážkových epizod. Prvním typem jsou odebírány mokré srážky popř. sníh společně se suchou depozicí, a tak můžeme mluvit o odběru celkové depozice. Tyto trvale exponované zařízení mohou být velice jednoduchá. Pro letní období se osvědčila skleněná nálevka, která je pro odběr čistých srážek manuálně zakrývána poklicí a ke stopce nálevky je za uzávěr připevněna polyethylenová láhev vhodného objemu. Pro zimní období jsou ideální polyethylenová vědra. Automatická zařízení pro odběr čistých srážek jsou vybavena čidlem zajišťujícím otevření již při prvních kapkách deště. Víko, které uzavírá

odběrovou nádobu po skončení deště, musí dokonale přiléhat, aby se zabránilo vnikání prachových částic do vzorku (ŠANTROCH, 1985).

HŮNOVÁ (2009) uvádí, že vzorek vertikálních srážek, jako je déšť a sníh, je možné získávat třemi způsoby. Nejčastěji je využívána metoda typu „wet-only“. Zde se používá automatický pluviokolektor, který je exponován pouze po dobu srážkové činnosti a tím nám umožňuje odebírat pouze tzv. čisté srážky, srážky bez suchého spadu. Pokud není k dispozici automatický pluviokolektor, můžeme srážky odebírat metodou „bulk“, kdy je odběrové zařízení exponováno stále a odebraný vzorek tedy představuje vertikální srážky spolu s nedefinovanou částí suché depozice. Třetí metodu popisuje HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ (2004) a je to metoda „throughfall“. Ta se považuje za nejlepší možný odhad celkové atmosférické depozice. Zde jdou odběrová zařízení exponována pod lesním porostem nepřetržitě. Většinou to bývá po dobu jednoho měsíce. Suchá depozice je velmi účinně „vyčesávána“ korunami stromů a dostává se spolu s depozicí mokrou do odběrových zařízení. Tato metoda je velmi jednoduchá, finančně nenáročná, a tak je v poslední době dosti oblíbená a poměrně značně využívaná. Je používána především pro určování vstupu látek při bilancování látkového oběhu v malých povodích.

Od roku 1997 byl 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 mokrou) v lesních ekosystémech. Na stanicích v tzv. „Černém trojúhelníku“ organizuje německá strana prostřednictvím Landesamt für Umwelt und Geologie (LfGU) také měření čistých srážek v týdenním intervalu. Na stanicích ČGÚ a VÚV jsou odebírány „bulk srážky“ v měsíčním intervalu (VYSOUDIL, 2002).

Maximální pozornost je nutno věnovat výběru lokality pro umístění odběrového zařízení. Vzhledem k regionálnímu plošnému rozložení kvality srážek musí odběrové místo reprezentovat celou oblast, být dostatečně vzdálené od lokálních zdrojů znečištění nejen spalovacích procesů, ale i zdrojů prachu například ze zemědělských nebo stavebních prací. Umístění vlastního odběrového zařízení se řídí zásadami pro umístování srážkoměrů pro klimatologická pozorování. Při interpretaci výsledků měření atmosférické depozice se musí rozlišovat celková depozice, získaná nepřetržitou expozicí, od čistých srážek (ŠANTROCH, 1985).

Horizontální mokrá depozice

Horizontální depozice nabývá značného významu zejména ve vyšších nadmořských výškách (udává se zhruba 800 m n. m.) a měří se pouze výjimečně (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Její velikost se odhaduje od zanedbatelného množství až po stovky procent depozice z vertikálních srážek. To také závisí na lokalitě a typu iontu. Variabilita může být i v rámci jedné lesní plochy, poněvadž stromy na kraji lesa zadrží v průměru 3 – 15 krát více iontů atmosférické depozice vyvolané usazenými srážkami než stromy, které jsou uvnitř porostu. V nějakých případech může pH vody z mlhy poklesnout až pod hodnotu 2 (PROŠKOVÁ A HŮNOVÁ, 2006).

Odběry jsou poměrně komplikované. Provádějí se pasivními nebo aktivními (aktivní nasávání vzduchu čerpadlem) odběrovými zařízeními. Odběrové zařízení je opatřeny strunami, na které se zachytávají mlžné kapičky a stékají do kolektorové nádoby. Pasivní odběráky zpravidla odeberou vzorek tak malý, že není možné jej využít pro chemickou analýzu jednotlivých epizod (HŮNOVÁ, 2009). Když se konstruuje mapy mokré depozice, dává se přednost výsledkům, které jsou zjištěny z analýz čistých srážek před odběry typu „bulk“, což jsou srážky s prašným spadem, a také týdennímu odběru před měsíčním (VYSOUDIL, 2002).

4.1.2 Suchá depozice

Suchá depozice představuje usazování tuhých látek a plynů (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Při suchých periodách je depozice plynných a pevných částic na zemský povrch zajišťována jak gravitační sedimentací, tak i difúzí, impakcí, absorpcí nebo chemickými reakcemi (ŠANTROCH, 1985). Převládá v blízkosti emisních zdrojů, čili ve městech a v průmyslových aglomeracích a v jejich blízkosti (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Značná složitost procesu suché depozice způsobila, že odběry nejsou dosud metodicky dostatečně prověřeny ani standardizovány. Ke stanovení suché depozice jsou především využívány metody nepřímé, ať již založené na výpočtu rozdílu celkové a mokré depozice nebo na využití informací o toku znečišťujících látek k zemskému povrchu, které jsou získány z měření mikrometeorologických parametrů a výškového koncentračního gradientu. Přímé metody závisí na vlastnostech povrchu a na mikrometeorologických

podmínkách, které jsou v okolí odběrového místa a běžně se nepoužívají (ŠANTROCH, 1985).

Suchá depozice spojená se spadem částic se v minulosti měřila pomocí různých jednoduchých i složitých zařízení, která simulovala přirozený povrch vegetace jiných útvarů na zemském povrchu. Tyto zařízení musela být chráněna před vlivem depozice mokré, která je zejména v čistých oblastech podstatně významnější (MOLDAN, 1985). Dnes už se suchá depozice přímo neměří, ale její hodnota se získává výpočtem. Velikost suché depozice určité složky v ovzduší je obecně dána součinem její koncentrace a příslušné depoziční rychlosti podle vztahu:

$$F = c_a \cdot v_d ,$$

kde F znamená depoziční tok látky, c_a koncentrace látky v připovrchové vrstvě atmosféry a v_d depoziční rychlost (HŮNOVÁ, 2009).

ZÁVODSKÝ (1985) uvádí několik metod experimentálního stanovení rychlosti suché depozice. Každá z nich má své přednosti a nevýhody. Tyto metody rozděluje do pěti skupin:

- aerodynamická-gradientová metoda
- korelační metoda
- metoda hmotnostní bilance v ovzduší
- metoda hmotnostní bilance na povrchu
- metoda využívající značkovací látky

Díky provedené rešerši z odborné literatury byla sestavena následující tabulka s hodnotami, které jsou používány v České republice při tvorbě map atmosférické depozice (HŮNOVÁ, 2009). Sečtením hodnot (map) mokré a suché depozice síry a dusíku se získávají hodnoty (mapy) celkové depozice (VYSOUDIL, 2002).

	lesní porosty	bezlesé oblasti
SO ₂	0,7	0,35
NO _x	0,4	0,1
SO ₄ ²⁻ - aerosol	0,25	0,08
Pb	0,25	0,08
Cd	0,3	0,1

Tab. č. 1: Depoziční rychlosti plynů a aerosolových částic v cm.s⁻¹.

(Zdroj: HŮNOVÁ, 2009).

Rychlost suché depozice je proměnlivou veličinou, která je závislá na komplexu činitelů. Kvantifikace suchého usazování za delší časové období nad reálným povrchem zůstává ještě otevřeným problémem (ZÁVODSKÝ, 1985) a v předpovídání hodnot suché depozice v daných podmínkách existuje značná nejistota (HŮNOVÁ, 2009).

4.2 Atmosférická depozice v České republice

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

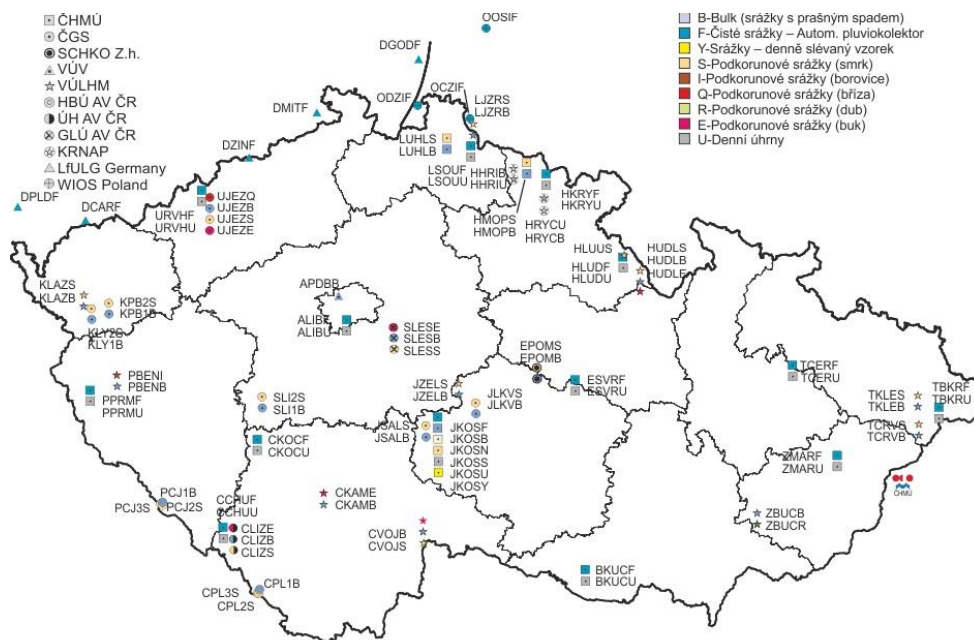
Při sledování čistoty ovzduší a jeho ochrany byla zaměřena pozornost na monitorování kvality ovzduší. Tato získaná data jako jediná mohou posloužit k zavádění technologických opatření na zdrojích znečištění vedoucích ke snížení znečištění ovzduší (VYSOUDIL, 2002). Z hlediska odhadu atmosférické depozice látek je důležité systematické sledování chemického složení atmosférických srážek. To se v ČR provádí již od roku 1974 a bylo zahájeno na stanici Hrádek u Pacova (MOLDAN, 1991). V roce 1982-1984 byla u nás vytvořena Národní síť pro sledování kvality srážek pokrývající rovnoměrně celé území státu. Spravoval jí Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) ve spolupráci s Ústředním ústavem geologickým (ÚÚG). Kromě měření v pravidelné síti se provádělo i měření při

účelových výzkumech. Kromě ÚÚG a ČHMÚ se měřením zabýval i Ústav krajinné ekologie (ÚKE) ČSAV, Ústav fyziky atmosféry (ÚFA) ČSAV a Výzkumný ústav vodohospodářský (VÚV) (HŮNOVÁ, 2009). Analyzovaly se především kumulativní měsíční vzorky čistých srážek („wet-only“), odebírané pouze po dobu trvání srážkové epizody, a to buď automaticky, automatickým pluviokolektorem, nebo manuálně obsluhovaným zařízením, nebo vzorky typu „bulk“, tedy srážky s nedefinovatelnou příměsí suché depozice odebírané do nádob exponovaných nepřetržitě po dobu celého měsíce (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Po reorganizaci ČHMÚ počátkem 80. let se činnost v oblasti ochrany čistoty ovzduší rozmělnila do řady různých útvarů. To přineslo zhoršení kvality poskytovaných dat v oblasti monitoringu, zpracování i vyhodnocování. Zlepšení stavu nastalo v 90. letech vytvořením úseku ochrany čistoty ovzduší v ČHMÚ, který dnes hraje v této oblasti rozhodující úlohu (VYSOUDIL, 2002). 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 (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). V současnosti má za úkol získávat objektivní a všestranné informace o vývoji, současném stavu a prognóze znečištění ovzduší na území ČR. Informace mají sloužit jako podklad pro navrhování, realizaci, kontrolu a hodnocení krátkodobých i koncepčních opatření k ochraně ovzduší (VYSOUDIL, 2002). 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 „Znečištění ovzduší na území České republiky“. Řada informací je prezentována i na internetové adrese ČHMÚ (www.chmi.cz) (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001).

Současná síť pro monitorování chemického složení srážek je prezentována na Obr. č. 4. Stanice rovnoměrně pokrývají celé území ČR a představují různá prostředí. Na jedné straně relativně čistá prostředí jako jsou stanice horské a regionální, které se nevyskytují pod bezprostředním vlivem emisních zdrojů, a na straně druhé i prostředí výrazně antropogenně ovlivněná – stanice průmyslové a městské (HŮNOVÁ, 2009). Postupem času dochází k vývoji staniční sítě, její měření se rozšiřují, zvětšuje se počet stanic i frekvence odběrů a zlepšují se metody odběru vzorků i jejich následné chemické analýzy (HŮNOVÁ A JANOUŠOVÁ, 2004). Do

databáze ISKO byla v roce 2013 dodána data o chemickém složení atmosférických srážek celkem ze 42 lokalit (13 lokalit, na kterých zajišťuje měření ČGS, 14 ČHMÚ, 8 VÚLHM A 6 HBÚ AV ČR). V příhraničních oblastech byla také dodána data z 5 německých lokalit (LfULG) (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 4: Staniční síť pro sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2013 (vysvětlení zkratk viz příloha č. 1).

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Stanice ČHMÚ měří ve většině případů čisté srážky v týdenním intervalu. Z měsíčního intervalu přešla v roce 1996 v souladu s mezinárodní metodikou EMEP. Od roku 1997 do roku 2010 byly prováděny týdenní odběry srážek typu „bulk“ na analýzu těžkých kovů. Od roku 2011 se analýzy těžkých kovů provádějí na stanicích ČHMÚ z čistých srážek, odběry typu „bulk“ byly zrušeny. Ostatní organizace měří na lokalitách v měsíčních, někdy i nepravidelných intervalech, koncentrace ve srážkách typu „bulk“ na volné ploše nebo pod korunami stromů (HŮNOVÁ A KOL., 2014).

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 prachným aerosolem a mírně stoupající trend v úrovních oxidů dusíku (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001).

	Depozice [t]		
	mokrá	suchá	celková
S	22 136	27 178	49 314
N (ox)	21 190	21 236	42 426
N (red)	27 267		
N (ox + red)	48 457		69 693
H ⁺	680	3 215	3 895
Pb	63	32	
Cd	5,8	2,3	

Tab. č. 2: Odhad celkové roční depozice uvedených složek na plochu české republiky (78 841 km²) v tunách, 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

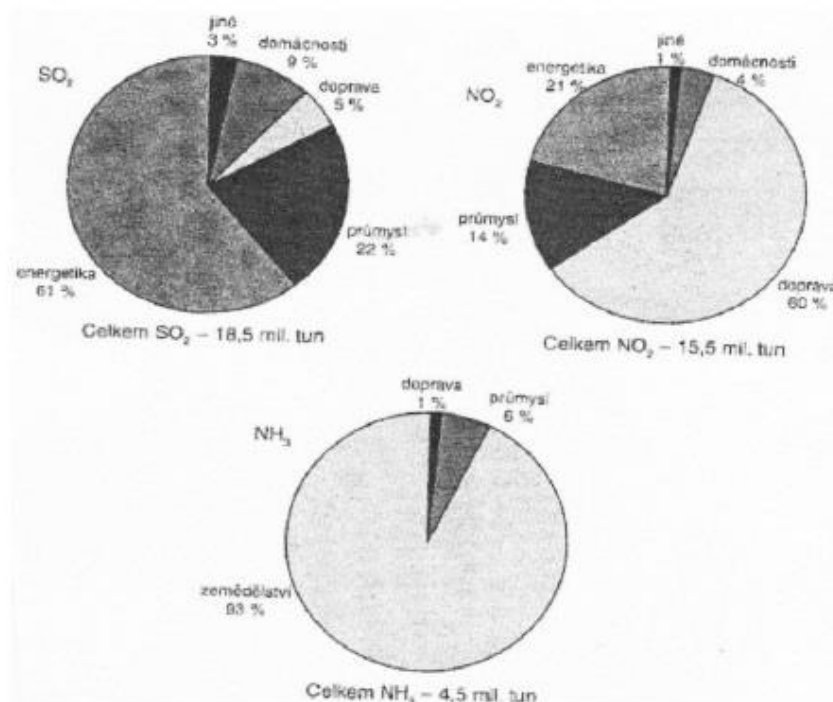
4.3 Atmosférická depozice v Evropě

Ve střední Evropě, hlavně v Německu, Polsku a Československu – v zemích, které byly nejvíce postiženy válkou, se v padesátých letech minulého století začala rozvíjet průmyslová výroba a tím pádem se zvyšovala i výroba elektrické energie. S tím bylo spojené znečišťování ovzduší nad evropským kontinentem. Některé státy si počátkem sedmdesátých let začaly stěžovat a kritizovat možné ohrožení životního prostředí v Evropě. Šlo zejména o Norsko a týkalo se to nejprve znečištění ovzduší a vod. Za hlavní viníky znečišťování byly považovány státy ve střední Evropě, ke kterým patřilo v té době i Československo (MŽP, 2004).

V roce 1979 byla v Ženevě uzavřena Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (Convention on Long – range Transboundary Air Pollution – CLRTAP). Ta byla důkazem politického snížení napětí mezi oběma stranami studené války díky tzv. helsinskému procesu, dvouletému vyjednávání o bezpečnosti a spolupráci v Evropě (1972-1975), mj. také v oblasti životního prostředí. Ženevská úmluva patří mezi mimořádně úspěšné nástroje mezinárodního práva. Její protokoly jsou v zásadě dodržovány a výrazně přispěly ke zlepšení kvality evropského ovzduší (MOLDAN, 2009).

Kyselá depozice, na níž se značnou měrou podílí antropogenní emise SO₂, NO_x a NH₃, poškozují už několik desetiletí citlivé sladkovodní ekosystémy, půdy, lesy a přirozené ekosystémy ve značné části Evropy (HŮNOVÁ, 2009). Hlavním

zdrojem emisí síry v Evropě je energetika, emisí NO_x doprava a emisí NH_3 zemědělství (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

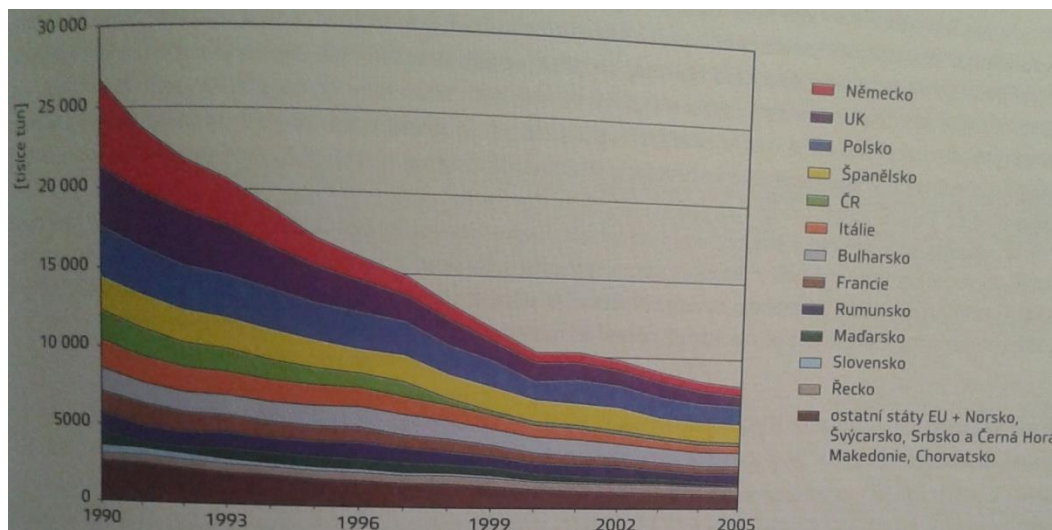


Obr. č. 5: Emise látek podílejících se na acidifikaci srážek v Evropě rozdělených podle sektorů.

(Zdroj: HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004)

Dešťová voda by v případech neovlivněných antropogenním znečištěním měla slabou kyselost – ve stupnici pH cca 5,6 – vytvořenou zejména rozpuštěným oxidem uhličitým. Vlivem antropogenního znečištění ovzduší dochází k výraznému zvýšení kyselosti srážek, proto jsou dnes ve střední Evropě typické hodnoty pH srážek v rozmezí 4,5 – 5,0. Omezováním emisí kyselinotvorných znečišťujících příměsí (zejména poklesu emisí SO_2) do ovzduší došlo v poslední době k zastavení dlouhodobého nárůstu kyselosti srážek a dokonce i k určitému zlepšení, avšak situace zůstává ekologicky vážnou (BEDNÁŘ, 2009). V souvislosti s výrazným poklesem emisí SO_2 u nás i v celé Evropě a s daleko nižším poklesem emisí NO_x je zhruba v poslední dekádě pozorována změna poměrů sulfátů a nitrátů a tedy i jejich změněný podíl na acidifikaci atmosférických srážek. Zatímco dříve naprosto dominovaly sulfáty, dnes se stávají důležitějšími nitráty. Tato změna se může projevit i v rozdílném působení kyselé atmosférické depozice na vegetaci.

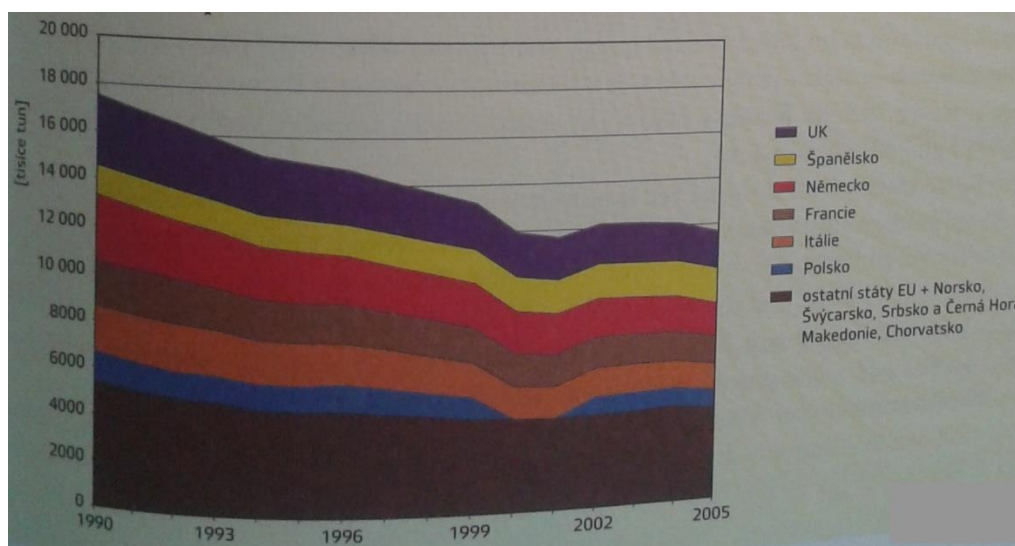
Srážky obsahující větší podíl sulfátů jsou toxičtější než srážky o stejném pH, které však obsahují vyšší podíl nitrátů (HŮNOVÁ, 2009).



Obr. č. 6: Emise SO₂ v Evropě.

(Zdroj: MOLDAN, 2009)

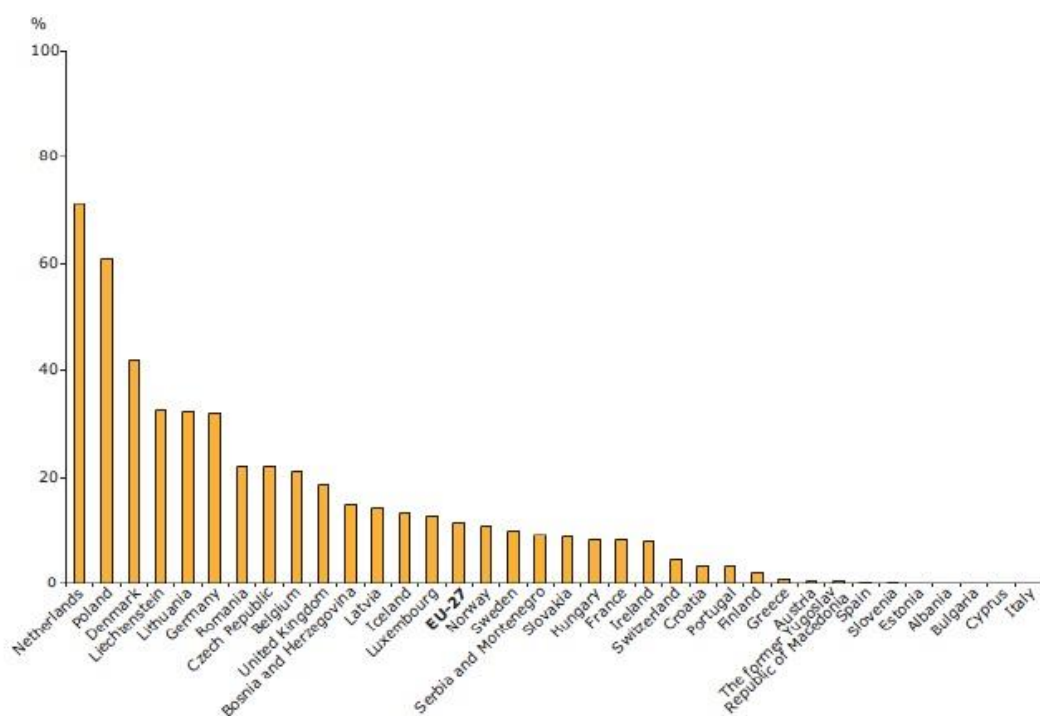
V souvislosti se snížením emisí hlavních znečišťujících látek nejen v České republice, ale v celé Evropě, došlo i výraznému snížení depozice, zejména síry (HŮNOVÁ, 2009).



Obr. č. 7: Emise NO_x v Evropě.

(Zdroj: MOLDAN, 2009)

Fakta, která se vztahují k atmosférické depozici, přináší souhrnná zpráva o životním prostředí v Evropě a je publikována Evropskou agenturou životního prostředí (EEA), která má sídlo v Kodani (HŮNOVÁ, 2009). Jejím cílem je poskytovat včasné, spolehlivé a cílené informace týkající se životního prostředí, které budou podporovat udržitelný rozvoj a pomůžou dosáhnout významných zlepšení životního prostředí v Evropě (EEA, 2010). Nyní je více než 2 300 stanic, které monitorují a vyhodnocují kvalitu ovzduší a získané výsledky předávají EEA. Data jsou poskytována od roku 2004 z 32 členských zemí (EEA, 2007) a šesti zemí, které spolupracují z oblasti západního Balkánu (EEA, 2010). Díky výraznému snížení emisí u většiny (více než 90%) ekosystémů, které se vyskytují v Evropě, nedochází již k další acidifikaci. Ve střední Evropě však zůstává řada rizikových (hot-spot) oblastí (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004). Účinky acidifikace mohou být prohloubeny v důsledku klimatické změny. Zvýšení půdní teploty může vést ke zvýšené mineralizaci látek a tím ke zvýšení vyplavování dusíku a síry z půdy. Experimentální důkazy o velikosti a relativní důležitosti však zatím nejsou k dispozici (HŮNOVÁ, 2009).



Obr. č. 8: Procentuální ohrožení acidifikací členských zemí.

(Zdroj: EEA, 2010)

Atmosférická depozice sehrála důležitou roli i při poškození evropských lesů. Zhoršení stavu lesů bylo pozorováno již v šedesátých letech 20. století. A to zejména ve střední Evropě, konkrétně v České republice, Slovenské republice, Polsku a Německu (HŮNOVÁ, 2009). Od roku 1990 emise acidifikujících látek významně klesly. Hlavně ve východní a střední Evropě díky ekonomické restrukturalizace. V západní Evropě souvisí snížení emisí především s využitím paliv a jejich změnou, odsířením a denitrifikací spalin a zavedení nových třicestných katalyzátorů u aut (HŮNOVÁ A JANOUŠKOVÁ, 2004).

Velikost atmosférické depozice sloučenin dusíku v přirozeném člověkem neovlivněném prostředí je na základě provedených měření odhadována na 0,1 až 0,7 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹, přičemž 40% z toho připadá na NH₄⁺ a 60% na NO₃⁻ (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002). V Evropě činí mokrá depozice dusíku průměrných 2,56 kg.N.ha⁻¹ a nejvyšší hodnota naměřená ve střední Evropě dosahuje 8 kg.N.ha⁻¹. Průměrná hodnota NH₄ je rovna 4,2 kg.N.ha⁻¹ a nejvyšší hodnota činí 17 kg.N.ha⁻¹ a to ve východní Evropě. Suchá depozice NHO₃ dosahuje 2,34 kg.N.ha⁻¹ průměrně a 11 kg.N.ha⁻¹ nejvýše. Nejvyšší hodnota NO₃ činí 3,1 kg.N.ha⁻¹, v průměru potom 0,58 kg.N.ha⁻¹. Průměr suché depozice NO₂ tvoří 1,3 kg.N.ha⁻¹ a nejvyšší hodnota dosahuje 11,2 kg.N.ha⁻¹. Mokrá depozice NH₄ dosahuje v Evropě dvojnásobných hodnot než v Severní Americe (HOLLAND A KOL., 2005). Měření atmosférické depozice sloučenin dusíku uskutečněná v rámci celoevropských projektů v lesních porostech většiny zemí západní a střední Evropy stanovila velikost vstupu dusíku od 2 do 64 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹ (projekt ECOFEE), či od 13 do 59 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹ (projekt NITREX), přičemž Holandsko, Belgie, Německo, Polsko, Česká republika a Slovensko jsou obecně považovány za oblasti s nejvyšší atmosférickou depozicí sloučenin dusíku. Zvýšení depozice dusíku na velké části evropských lesních porostů je v posledních desetiletích velmi výrazné (HRUŠKA A CIENCIALA, 2002).

V Evropě jsou dopady emisí SO₂, hrubých prachových částic a kyselé atmosférické depozice dobře známy. Většinou jsou úspěšně řešeny a jejich význam klesá (MOLDAN, 2009).

4.4 Atmosférická depozice v Americe

V USA existuje monitorovací síť NADP (National Acid Precipitation Assessment Program) a v Kanadě CANSAP (Canadian Network for Sampling

Precipitation). Tyto monitorovací sítě vznikly proto, aby se zde vyvinula informační základna pro posuzování účinků atmosférické depozice, zejména kyselá depozice (HŮNOVÁ, 2009). V Kanadě se v roce 1977 díky těmto monitorovacím sítím zjistilo, že by kyselý déšť mohl být velký problém pro celou Severní Ameriku (HICKS, 1984).

Celková depozice NH_4 dosahuje průměrné roční hodnoty $0,34 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ a nevyšší $1,9 \text{ kg.N.ha}^{-1}$. Z toho mokrá depozice NH_4 v průměru $1,38 \text{ kg.N.ha}^{-1}$, nejvyšší hodnoty jsou sledovány ve středu USA a činí $3,27 \text{ kg.N.ha}^{-1}$. Průměrné roční hodnoty mokré depozice NO_3 jsou v USA $1,64 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ a nejvyšší hodnoty se vyskytují na severovýchodě USA a jejich hodnota je 5 kg.N.ha^{-1} . Suchá depozice HNO_3 má nejvyšší hodnoty až $5,7 \text{ kg.N.ha}^{-1}$. V průměru však dosahuje $1,35 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ (HOLLAND A KOL., 2005). Na jihu Colorada dosahuje celková depozice dusíku hodnoty až 7 kg.N.ha^{-1} . Z celkové depozice obsahuje 25 až 30% depozice suchá (BURNS, 2002).

Na severu Kalifornie se nachází jezero Tahoe. Díky němu se sleduje atmosférická depozice kvůli jejím účinkům na eutrofizaci jezera (DOLISLAGER, 2009). V blízkosti jezera Tahoe se nachází Iowa. Depozice fosforu zde dosahuje nejvyšších hodnot na jaře, naopak v létě hodnoty klesají. Nejnižší hodnoty jsou zde zaznamenávány v zimě. Fosfor se díky depozici více vyskytuje v zemědělských regionech. Jeho hodnota mokré depozice činí $0,32 \text{ kg.N.ha}^{-1}$. Hodnota atmosférické depozice dusíku je zde pro $\text{NH}_x\text{-N}$ $3,0 - 3,5 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ a pro $\text{NO}_x\text{-N}$ $1,8 - 2 \text{ kg.N.ha}^{-1}$ (ANDERSON A DOWNING, 2006).

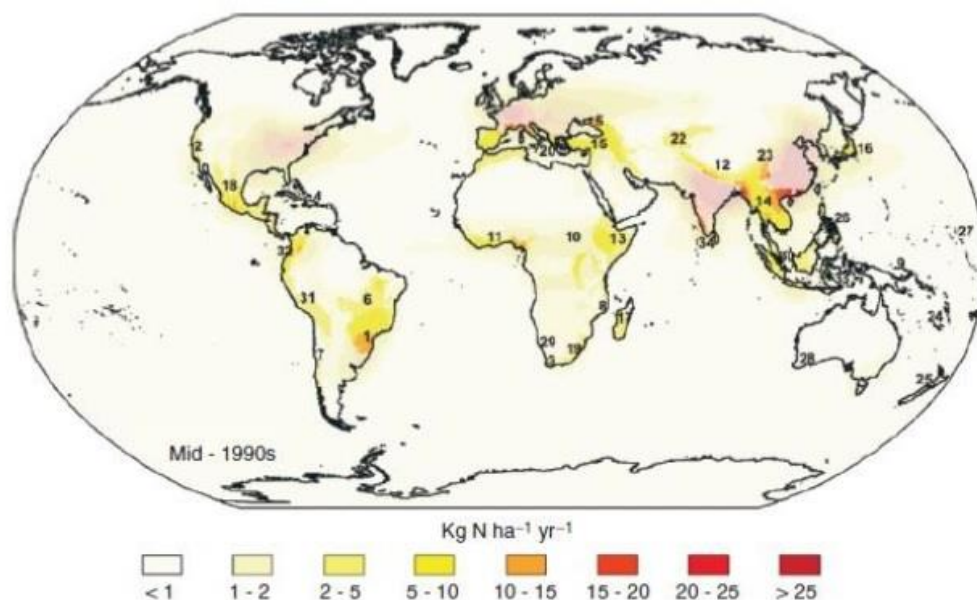
V Severní Americe jsou dopady emisí SO_2 , hrubých prachových částic a kyselá atmosférická depozice, především depozice reaktivního dusíku, dobře známy a z velké části úspěšně řešeny, poněvadž jejich význam klesá (MOLDAN, 2009).

4.5 Atmosférická depozice v Asii

Celá řada studií se zabývala sledováním časových trendů atmosférické depozice ve střední a západní Evropě, Severní Americe a v poslední době i v jihovýchodní Asii. V Evropě a Severní Americe se ukazuje všeobecné snížení koncentrací SO_2 . Důsledkem razantního snížení emisí SO_2 se zde zvyšuje pH. Naopak v Indii a Číně kyselá depozice nabývá na významu. Bohužel z jihovýchodní Asie je studií, které by poukazyvaly na chemické složení srážek, velmi málo. Protože

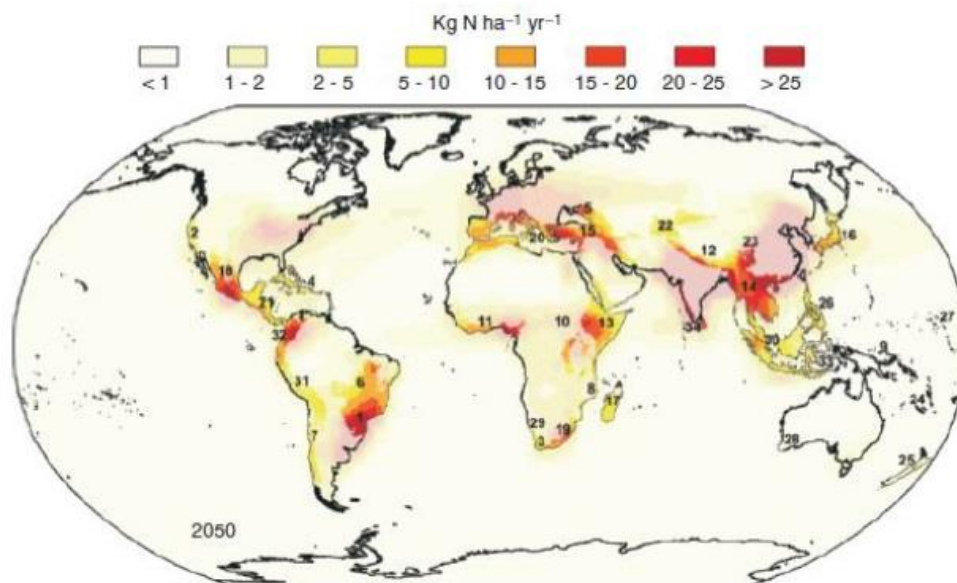
tyto země prošly rychlým ekonomickým rozvojem, došlo k velmi silnému nárůstu emisí, s kterými jsou spojeny imisní koncentrace mnoha atmosférických částic (ZHAO A KOL., 1998). Díky změnám ve využití různých druhů paliv se zpomalil nárůst emisí SO₂. Emise NO_x ovšem stále podstatně rostou (HŮNOVÁ, 2009).

V Číně, zejména v jejím jižním regionu, se pH průměrně pohybuje mezi 4-5 jednotkami, někdy se naměří hodnoty i podstatně nižší než 4 (ZHAO A KOL., 1998). Díky atmosférické depozici dusíku a fosforu se zde znečišťuje ovzduší a dochází k eutrofizaci vodních ekosystémů. V důsledku spalování velkého množství fosilních paliv, silné dopravy a velmi rychlému nárůstu počtu obyvatel v letech 1980-2000 došlo k nárůstu emisí NO_x až o 280%. V Číně dosahuje v průměru roční depozice hodnoty 6,84 kg.N.ha⁻¹. Tato hodnota se samozřejmě díky velké rozloze tohoto státu liší podle oblastí od 1,01 do 19,7 kg.N.ha⁻¹ (ZHANG A KOL., 2011). Od roku 2002-2003 do roku 2007 atmosférická depozice fosforu vzrostla z 34,4% na 78,7% (ZHAI A KOL., 2009). Díky značnému přispění suché depozice dosahuje v jižní Číně celková roční depozice dusíku hodnot v rozmezí od 0,8 g.N.m⁻¹ do 4,0 g.N.ha⁻¹ (CHEN A MULDER, 2007). Naopak v severní Číně, kde je provozováno intenzivní zemědělství, dosahuje depozice dusíku hodnot 16,3 kg.N.ha⁻¹ za rok (HUANG A KOL., 2010).



Obr. č. 9: Atmosférická depozice dusíku ve světě v polovině roku 1990.

(Zdroj: PHOENIX, 2006)



Obr. č. 10: Potenciální atmosférická depozice dusíku předpokládaná v roce 2050.

(Zdroj: PHOENIX, 2006)

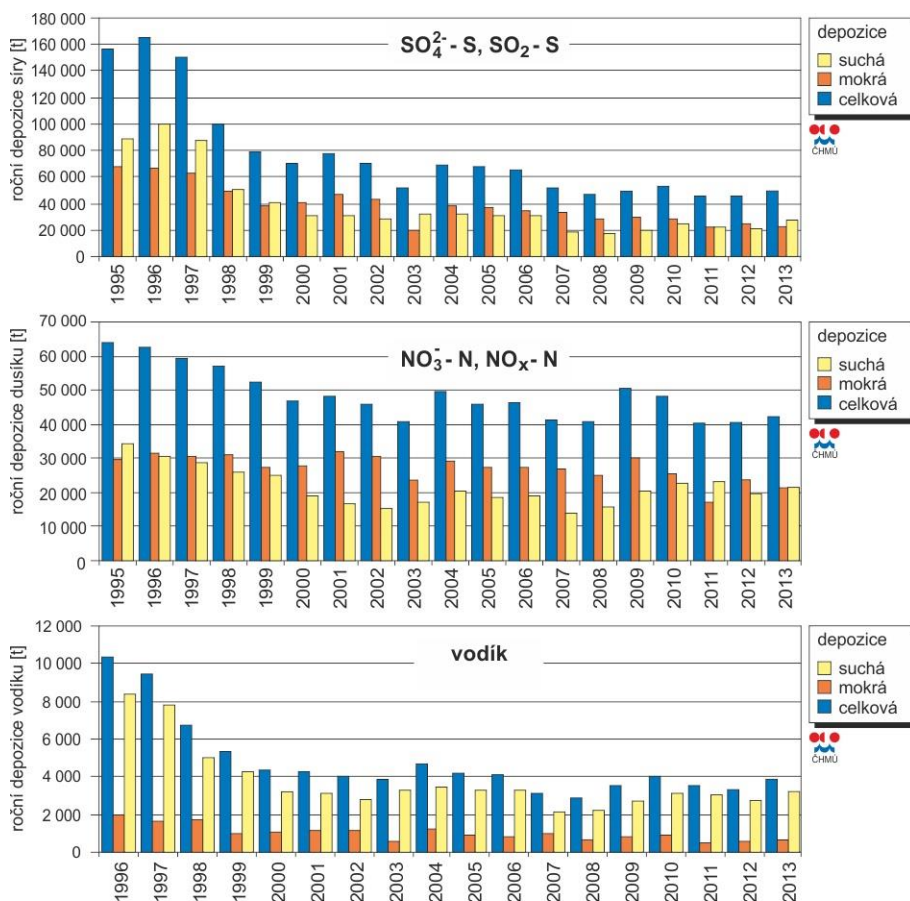
5. VÝVOJ DEPOZICE V ČASE V RŮZNÝCH REGIONECH

Kolem roku 1850 bylo znečištění ovzduší oxidy dusíku v oblasti Čech a Slovenska velmi nízké a dosahovalo hodnoty $6 \text{ kg.N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$. Díky růstu spotřeby energie se začaly emise oxidů dusíku zvyšovat. Toto postupné zvyšování bylo až do 2. světové války vcelku pomalé. K zvratu došlo po 2. světové válce díky rozvoji těžkého průmyslu. Zde se emise dusíku v průběhu třiceti let více než ztrojnásobily a v osmdesátých letech dosáhly maximálních hodnot ($25 \text{ kg.N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$) (HRUŠKA A KOPÁČEK, 2005). V devadesátých letech vykazovalo znečištění ovzduší oxidy dusíku v České republice mírně vzestupný trend vlivem stále hustší silniční dopravy (VYSOUDIL, 2002).

U nás byla v devadesátých letech věnována značná pozornost oxidu siřičitému a prašnému aerosolu, látkám emitovaným do ovzduší v důsledku spalování nekvalitního hnědého uhlí s vysokým podílem popelovin (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). Oxidy dusíku vznikají ve větším množství přirozeně bakteriální činností, sopečnou činností a při bouřkách než jako lidský produkt. Jsou však rozptýleny po celém povrchu Země a tak výsledná koncentrace přirozeného pozadí je velmi malá a více nás zatěžují oxidy dusíku antropogenního původu (VYSOUDIL, 2002). Politické a ekonomické vlivy ve vývoji České republiky po roce 1990 výrazně ovlivnily také vývoj emisí znečišťujících látek, které jsou vypouštěny do ovzduší. Tím ovlivnily i imisní situaci na území České republiky. Mezi hlavní faktory, které působily v tomto období lze jmenovat prudký hospodářský pokles na počátku devadesátých let, následné oživení ekonomiky až do roku 1996, restrukturalizaci průmyslu, významné investice do ochrany životního prostředí, půjčky a vstup zahraničního kapitálu a zavedení povinnosti měření emisí pro specifikované kategorie zdrojů vyhláškou č. 270/93 Sb. dávající provozovatelům možnost optimalizovat chod spalovacích a technologických procesů s cílem snížit produkci emisí a uspořít spotřebu paliv a surovin (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001). V roce 1998 byl rostoucí trend pozastaven díky snížení emisí ze stacionárních zdrojů a v roce 1999 byl tento trend potvrzen ve většině okresů v České republice, zejména na Moravě (VYSOUDIL, 2002).

Vláda vymezila 8 oblastí z hlediska znečištění ovzduší „postižených“. Šlo o tyto územní celky: Praha, Brno, Ostravsko, oblast severočeská, mělnicko – neratovická, hradecko – pardubická, sokolosso – karlovarská a Plzeň (HRDÁ, 1982).

V druhé polovině 90. let minulého století došlo ke snížení mokré i suché depozice vodíkových iontů na plochu celé České republiky o 50%, snížení hodnot suché depozice vodíkových iontů odpovídalo snížení suché depozice $\text{SO}_2 - \text{S}$ a $\text{NO}_x - \text{N}$ (HŮNOVÁ A KOL., 2014).

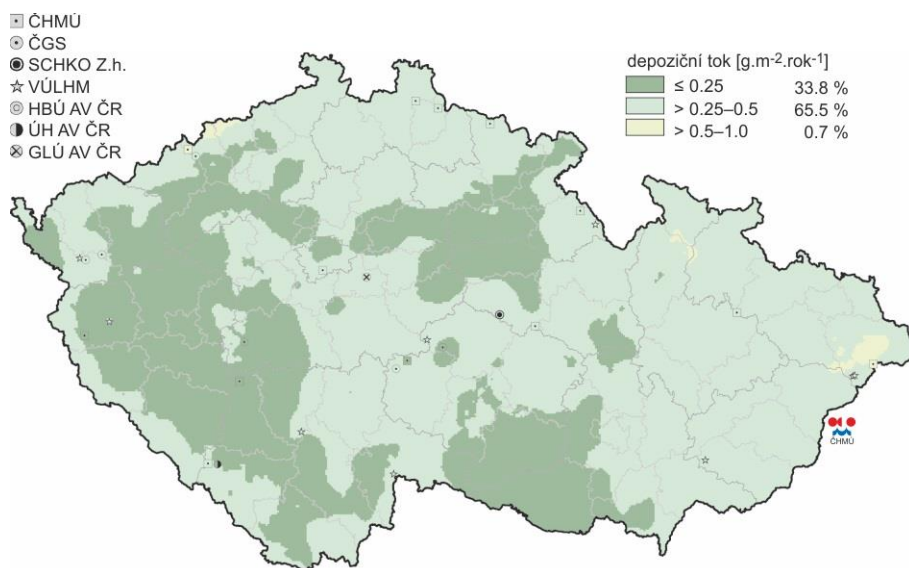


Obr. č. 11: Vývoj roční depozice síry ($\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$, $\text{SO}_2 - \text{S}$), oxidovaných forem dusíku ($\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NO}_x - \text{N}$) a vodíku na plochu České republiky, 1995-2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Analýza dat ze 14 regionálních stanic ČHMÚ ukázala, že mokrá depozice síry ($\text{S}/\text{SO}_4^{2-}$) poklesla v období 1993-2001 cca o 30%, emise SO_2 za stejné období poklesly asi o 80% (HŮNOVÁ, 2009). Na celém území ČR poklesla mokrá depozice síry po roce 1997 ve srovnání s úrovní depozice z let 1994-1997 o 40% (VYSOUDIL, 2002). V letech 1999-2005 hodnoty zůstávaly víceméně na úrovni roku 1999 s výjimkou nižších depozic v roce 2003, ve kterém byl zaznamenán výrazně podnormální srážkový úhrn (HŮNOVÁ A KOL., 2014). Od roku 2005

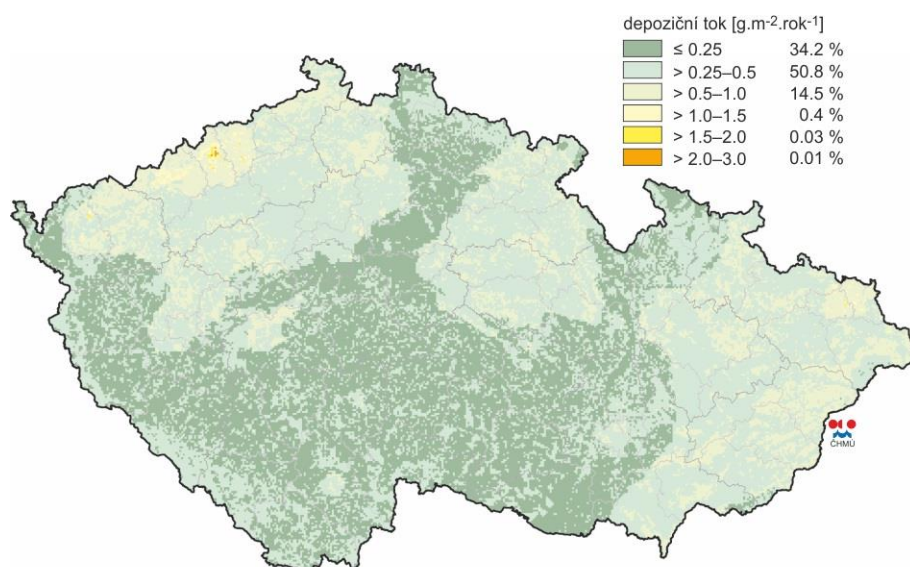
pokračoval sestupný trend, v roce 2011 hodnota mokré depozice na území ČR dosáhla, hned po roce 2003, druhé nejnižší hodnoty z důvodu nižších koncentrací síranů měřených na většině lokalit a nižšího srážkového úhrnu. Nejvyšších hodnot mokré depozice síry bylo dosaženo v horských oblastech (Jizerské hory, Krkonoše, Hrubý Jeseník a Moravskoslezské Beskydy) (HŮNOVÁ A KOL., 2012). V roce 2013 byla hodnota mokré roční depozice na území ČR 22 136 tun a nejvyšších hodnot bylo dosaženo opět v horských oblastech (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 12: Pole mokré roční depozice síry ($\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$) v roce 2013.

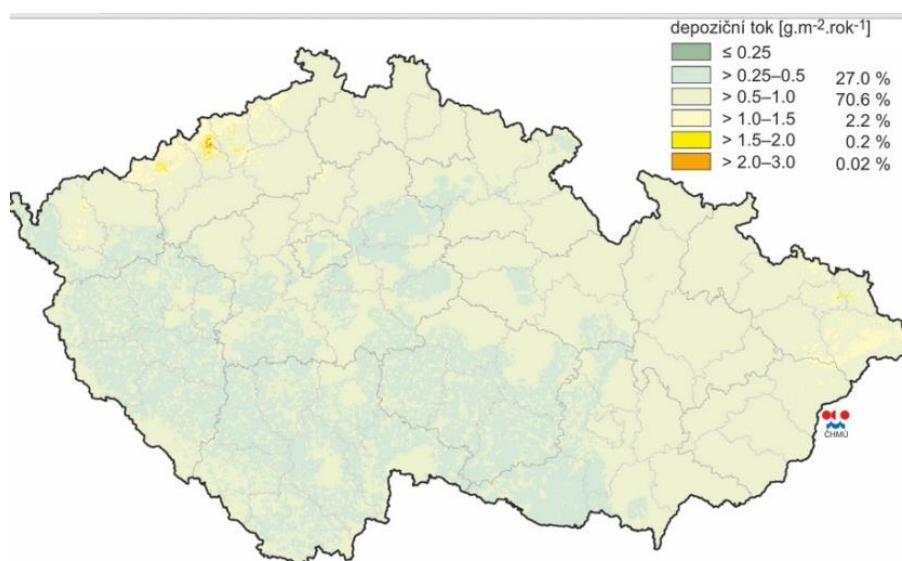
(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Suchá depozice síry poklesla dokonce o 60%. Výrazný pokles suché depozice síry odpovídá nižším koncentracím oxidu siřičitého v přízemní atmosféře (VYSOUDIL, 2002). Tento výrazný pokles zaznamenala mezi lety 1997 a 2000 (HŮNOVÁ A KOL., 2014). V letech 2000-2006 již pole depozice zůstávalo na podobné úrovni. V roce 2007 suchá depozice síry dále poklesla, a to z důvodu snížení imisních koncentrací vlivem příznivějších meteorologických a rozptylových podmínek. Od roku 2008 zůstávala suchá depozice na úrovni z roku 2007, mírné zvýšení v roce 2010 souviselo s nárůstem měřených imisních koncentrací SO_2 . V roce 2011 suchá depozice síry opět mírně poklesla z důvodu nižších koncentrací SO_2 (HŮNOVÁ A KOL., 2012). V roce 2013 dosáhla na území České republiky hodnoty 27 178 tun a nejvyšších hodnot dosáhla na území Krušných hor (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 13: Pole suché roční deponice síry (SO₂ - S) v roce 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)



Obr. č. 14: Pole celkové roční deponice síry, 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Pole celkové deponice síry vzniká součtem mokré a suché deponice síry. Po předchozím poklesu z hodnot výrazně vyšších než 100 000 tun síry deponice v letech 2000-2006 setrvala v rozsahu cca 65 000-75 000 tun síry ročně s výjimkou roku 2003, který byl výrazně srážkově podnormální. Od roku 2007 se hodnota celkové deponice síry pohybuje kolem 50 000 tun síry (HŮNOVÁ A KOL., 2012). Pro rok 2013 odpovídá celková deponice síry hodnotě 49 314 tun na plochu České republiky.

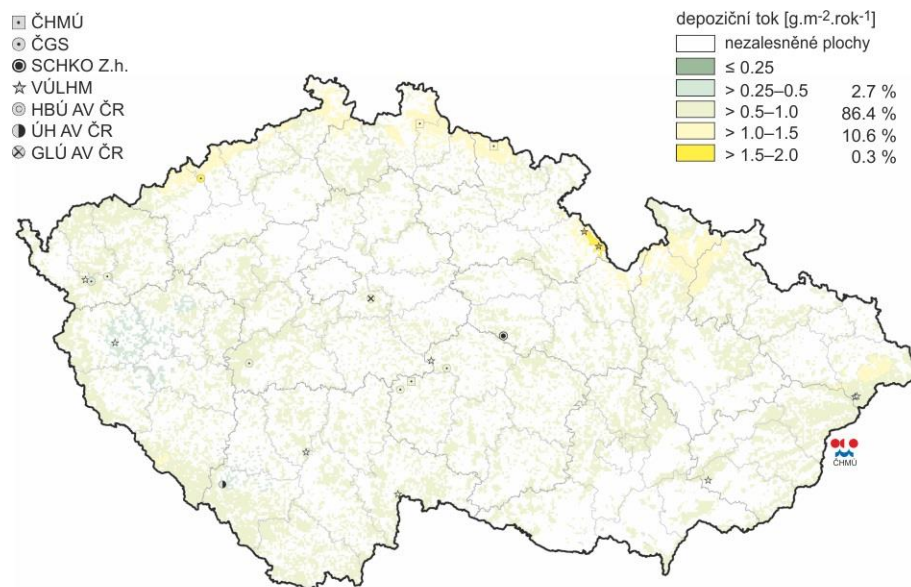
Celková depozice síry vykazuje maxima v oblasti Krušných hor a Ostravska (HŮNOVÁ A KOL., 2014).

	Depozice [t]	
	celková (sumární)	podkorunová
2001	27 894	36 899
2002	25 984	31 011
2003	21 306	26 818
2004	23 247	32 835
2005	22 855	26 461
2006	21 975	25 660
2007	17 445	29 279
2008	15 528	30 197
2009	16 590	26 193
2010	17 621	27 944
2011	15 118	18 691
2012	15 311	19 079
2013	16 530	19 723

Tab. č. 3: Odhad celkové roční depozice síry na zalesněný povrch České republiky (26 428 km²) v tunách, 2001-2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Pole podkorunové depozice vytváří výrazné maximum v širší oblasti Orlických hor, ale i zde je zaznamenán výrazný pokles podkorunové depozice síry v roce 1999 v porovnání s minulými roky. Vyšší hodnoty dosahuje podkorunová depozice ve srovnání s depozicí celkovou v horských oblastech (VYSOUDIL, 2002). To lze přičíst příspěvku depozice z mlhy, nízké oblačnosti a námraz (horizontální depozici), která není vzhledem k neurčitostem do celkové depozice zahrnuta. Námrazy a mlhy bývají vysoce koncentrované a v horských polohách a oblastech s častým výskytem mlh (údolní mlhy, mlhy v blízkosti vodních toků, jezer) mohou výrazně přispívat k depozici síry i jiných prvků (HŮNOVÁ A KOL., 2012). Pro sírany je uváděna pro horské oblasti depozice z mlh a námraz v rozmezí 50-90% depozice typu „bulk“ v průměru za delší časové období trvající několik let. V některých samostatně hodnocených letech překročil poměr depozice síranů z mlhy a námrazy a depozice typu „bulk“ i 100%. Podkorunová depozice síry na zalesněný povrch naší republiky dosáhla v roce 2013 hodnoty 19 723 tun (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



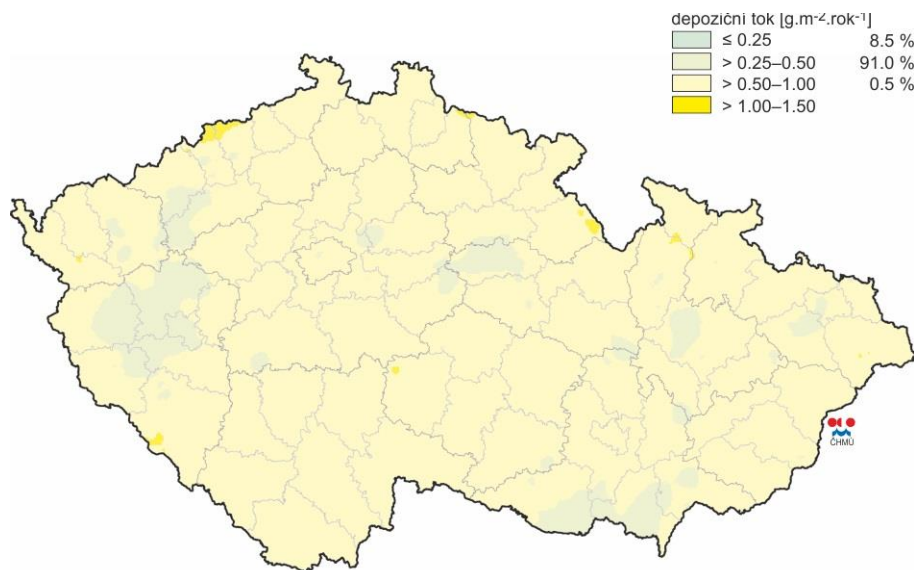
Obr. č. 15: Pole podkorunové roční depozice síry v roce 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Pole mokré a suché depozice dusíku měly v roce 1999 celkově podobný charakter jako v předchozích letech. Od roku 1994-1999 lze na základě hodnot depozice oxidovaných forem dusíku pro celou Českou republiku konstatovat její mírný pokles asi o 10-20% (VYSOUDIL, 2002). V případě oxidů dusíku není vývoj zdaleka tak optimistický jako u oxidu siřičitého. V roce 1998 došlo k mírnému poklesu koncentrací oxidů dusíku vlivem snížení emisí ze stacionárních zdrojů (HŮNOVÁ A OSTATNICKÁ, 2001).

Mokré depozice redukovaných (N/NH_4^+) a především oxidovaných (N/NO_3^-) forem dusíku v roce 2011 mírně poklesly v porovnání s rokem 2010 díky nižšímu srážkovému úhrnu. Mokrá depozice oxidovaných forem vykazovala v roce 2011 maximálních hodnot na území Orlických hor (lokalita U dvou louček), mokrá depozice redukovaných forem dosáhla svých maxim také na území Orlických hor (Luisino údolí). Nejvyšší hodnoty celkové mokré depozice dusíku byly zaznamenány v oblasti Orlických hor a dále na území Jizerských hor, Hrubého Jeseníku a Šumavy (HŮNOVÁ A KOL., 2012). V roce 2013 mokrá depozice redukovaných i oxidovaných forem dusíku v porovnání s rokem 2012 poklesla. Mokrá depozice oxidovaných forem vykazovala maximálních hodnot opět na území Orlických hor, zatímco mokrá depozice redukovaných forem dosáhla svých maxim na území Vysočiny, Krušných hor a Krkonoš. Nejvyšší hodnoty celkové mokré depozice

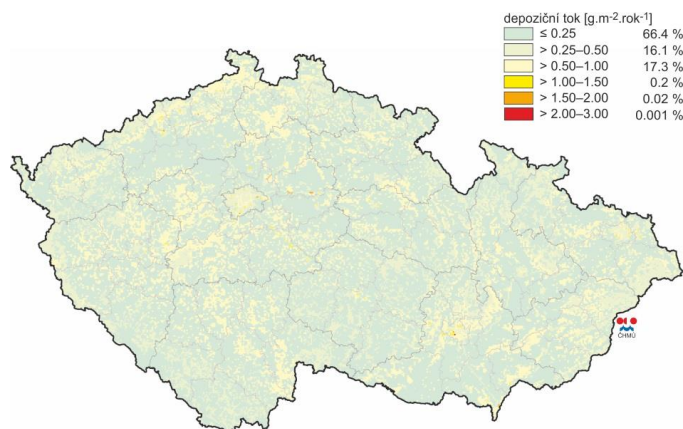
dusíku byly v roce 2013 zaznamenány v oblasti Krušných hor, Krkonoš, Orlických hor, Hrubého Jeseníku a Šumavy (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 16: Pole celkové mokré roční depozice dusíku v roce 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

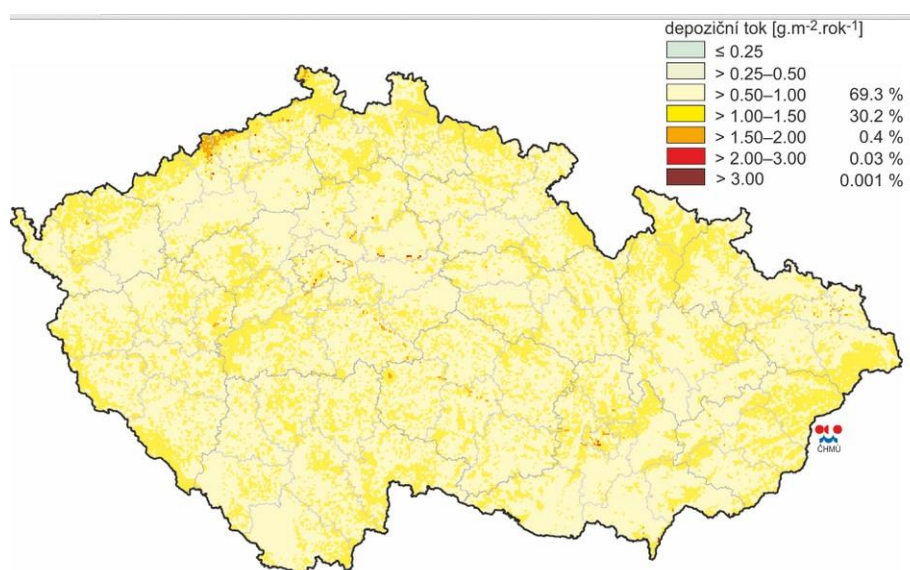
Suchá depozice oxidovaných forem dusíku klesala až do roku 2002, kdy hodnota dosáhla 48% hodnoty průměru za roky 1995-1997. Poté došlo k určité stagnaci (HŮNOVÁ A KOL., 2012). V letech 2004, 2006 a v období 2007-2011 došlo k jejímu mírnému zvýšení. Tyto fluktuace souvisejí s imisními koncentracemi NO_x v troposféře. V roce 2013 suchá roční depozice na území ČR mírně vzrostla. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo na území větších měst a podél významných komunikací (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 17: Pole suché roční depozice dusíku (NO_x - N) v roce 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

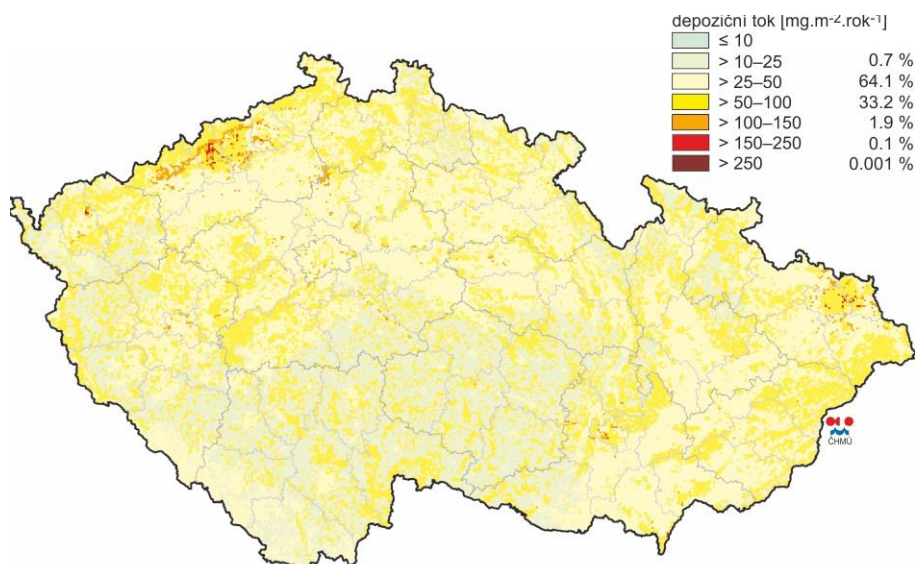
V roce 2011 byla celková depozice dusíku rovna hodnotě 64 387 tun N (ox+red).rok⁻¹ na plochu republiky a nejvyšších hodnot dosahovala v Orlických a Jizerských horách a Moravskoslezských Beskydech (HŮNOVÁ A KOL., 2012). V roce 2013 byla celková depozice dusíku rovna hodnotě 69 693 tun N.rok⁻¹ na plochu ČR. Ve srovnání s rokem 2012 (75 133 t.rok⁻¹) došlo tedy k jejímu poklesu. Nejvyšších hodnot celková depozice dusíku dosahovala na území Krušných hor a Šluknovského výběžku, dále pak v oblastech větších měst, jako je např. Praha, Brno nebo Ostrava, a v poslední řadě podél nejvytíženějších komunikací (zejména dálnice D1) (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 18: Pole celkové roční depozice dusíku, 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

V letech 1995 až 1999 došlo ke snížení mokré i suché depozice vodíkových iontů na plochu celé ČR o 50% (VYSOUDIL, 2002). Mokrú depozice vodíkových iontů za posledních 15 let významně poklesla a nejnižší hodnoty dosáhla v roce 2011. V roce 2013 pokračoval mírný růst mokré depozice, způsobený pravděpodobně zvyšujícími se ročními srážkovými úhrny od roku 2012. Hodnota roční mokré depozice vodíkových iontů byla v roce 2013 na území ČR 680 t.rok⁻¹ (oproti 568 t v roce 2012). Nejvyšších hodnot dosahovala na území Krkonoš, Jizerských, Orlických a Krušných hor, Hrubého Jeseníku, Moravskoslezských Beskyd a Šumavy. Mapa suché depozice vodíkových iontů má obdobný charakter jako v předešlých letech. Maximálních hodnot dosahuje v oblasti krušných hor a na území Moravskoslezského kraje (HŮNOVÁ A KOL., 2014).



Obr. č. 19: Pole celkové roční depozice vodíkových iontů v roce 2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

S vývojem depozice síry a dusíku lze konstatovat vývoj vzájemného poměru těchto prvků v atmosférických srážkách související s vývojem emisí jednotlivých sloučenin. Od druhé poloviny 90. let lze na některých stanicích pozorovat mírný nárůst poměru dusičnanů a síranů (HŮNOVÁ A KOL., 2014).

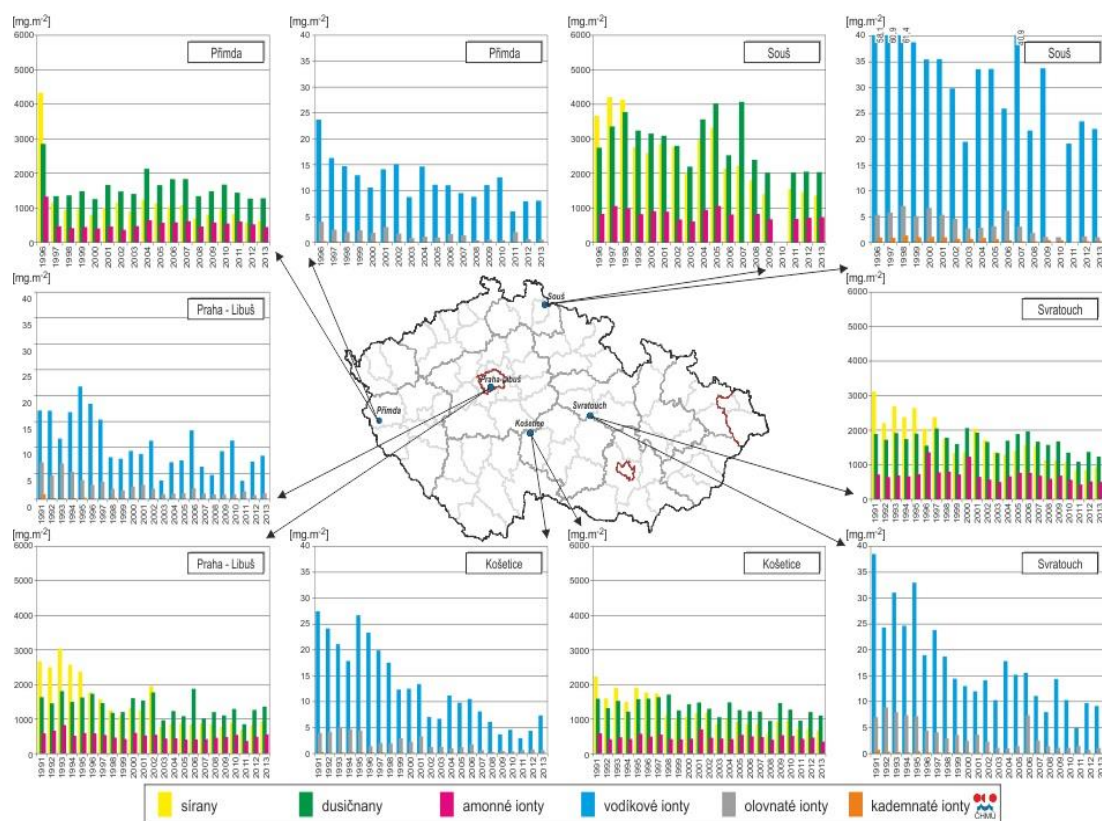


Obr. č. 20: Vývoj poměru koncentrací dusičnanů a síranů v atmosférických srážkách na stanicích ČHMÚ během let 1998-2013.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Vývoj roční mokré depozice hlavních složek na vybraných stanicích České republiky vykazuje po poklesu mokré depozice některých složek (převážně síranů, vodíkových iontů a olovnatých iontů) ve druhé polovině 90. let nyní spíše stagnující stav. Pokles depozice síranů byl zřejmý jak na relativně exponovaných předměstských stanicích, tak i na pozadových stanicích, jako např. Košetice a

Svratouch (HŮNOVÁ A KOL., 2014). Svratouch je stanice ČHMÚ, která měří nepřetržitě od roku 1978 a je pokládána za reprezentativní regionální stanici (HŮNOVÁ, 2009).

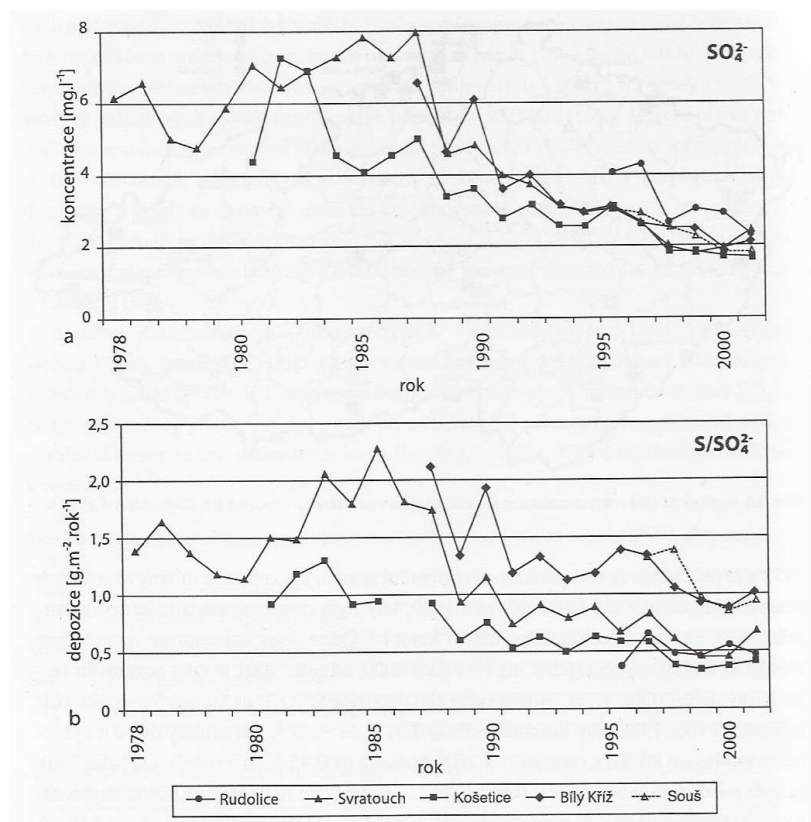


Obr. č. 21: Vývoj roční mokré depozice na vybraných stanicích v letech 1991-2013 v České republice.

(Zdroj: ČHMÚ, 2013)

Na stanici ČHMÚ Svratouch koncentrace sulfátů ve srážkách stoupala od počátku 80. let až do roku 1989, kdy bylo dosaženo maximální roční průměrné koncentrace za celou dobu měření 8 mg l^{-1} . Od té doby koncentrace rovnoměrně klesala až k hodnotě necelých 2 mg l^{-1} v roce 2000, od roku 2001 je opět pozorován velmi mírný nárůst. Mokrú vertikální depozice S/SO_4^{2-} na stanici Svratouch kulminovala v roce 1987, kdy dosáhla hodnoty $2,31 \text{ g.m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Od té doby došlo k výraznému poklesu o 80%. Od roku 2001 je opět pozorován mírný nárůst. Ze srovnání hodnot depozice na regionálních stanicích (Svratouch a Košetice) je zřejmé, že nejvyšší mokrou vertikální depozici mají stanice horské (Souš a Bílý Kříž), což je dáno vysokými srážkovými úhrny (HŮNOVÁ, 2009). Správnost výběru observatoře

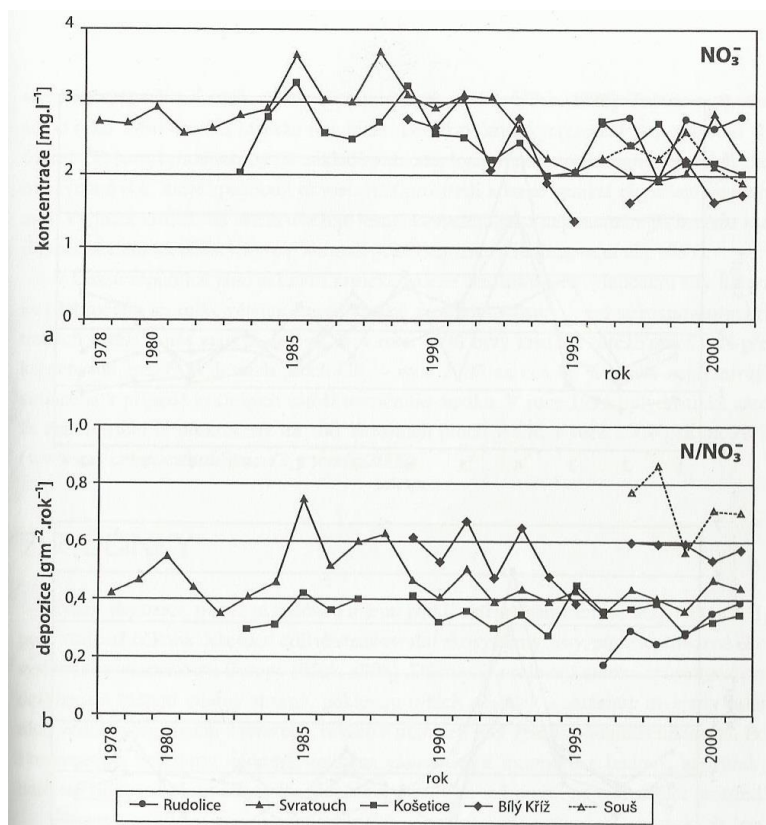
Košetice jako lokality reprezentující regionální úroveň kvality ovzduší a srážek v České republice jednoznačně prokázalo 15 let monitoringu (VÁŇA A DEJMAL, 2004).



Obr. č. 22: Trend koncentrace SO_4^{2-} (a) a mokré vertikální depozice S/SO_4^{2-} (b) na regionálních a horských lokalitách v České republice za období 1978-2001.

(Zdroj: HŮNOVÁ, 2009)

U mokré depozice N/NO_3^- nebyl na rozdíl od mokré depozice S/SO_4^{2-} v období 1993-2001 prokázán žádný trend. To souvisí s výrazně nižším poklesem emisí NO_x (o 30%) ve srovnání s poklesem emisí SO_2 v tomto období. Nejvyšší depozice N/NO_3^- je podobně jako v přecházejícím případě na horských stanicích Souš a Bílý Kříž. Za celé období měření na stanici Svratouch poklesla depozice 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).



Obr. č. 23: Trend koncentrace NO₃⁻ (a) a mokré vertikální depozice N/NO₃⁻ (b) na regionálních a horských lokalitách v České republice za období 1978-2001.

(Zdroj: HŮNOVÁ, 2009)

6. ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem zprvu vysvětlil význam pojmu atmosférické depozice. Atmosférická depozice představuje proces přestupu látek z atmosféry do různých částí ekosystému a je významným ekologickým činitelem. Jde o velice důležitý proces samočištění atmosféry, který umožňuje látkám v ovzduší dostávat se do dalších složek prostředí. Pokud by zde nebyla, docházelo by v ovzduší ke kumulaci řady látek, na druhou stranu však představuje významný zdroj znečišťujících látek pro ostatní složky prostředí. Celková atmosférická depozice je dána součtem mokré a suché depozice. Mokrú depozice je spojena se srážkami a to jak s vertikálními (děšť, mrholení, sníh, kroupy, atd.), tak s horizontálními (např. jinovatka, námraza, mlha). Srážková činnost je vůbec nejúčinnějším a nejuniverzálnějším mechanismem odstraňování látek z ovzduší. Mokrú depozice je nejvíce poznanou složkou a její hodnoty jsou vyšší v oblastech, které se nacházejí dále od zdroje, např. v horských oblastech, což je dáno vyšším srážkovým úhrnem. Suchá depozice představuje spad tuhých látek nebo plynů a dochází při ní k přímému přestupu látek z ovzduší na vegetaci, oceány a zemský povrch. Suchá depozice je daleko pomalejším procesem než depozice mokrú, ale zato probíhá neustále. Za delší časové období suchá depozice v průmyslových oblastech převyšuje mokrou depozici a v oblastech se silně zaprášeným ovzduším, jako je například naše hlavní město Praha, může suchý spad částic převýšit spad mokrý až několikanásobně. Můžeme se setkat i s pojmem kyselú depozice, která je spojena s kyselými dešti a znamená přestup okyselujících látek na zemský povrch. Atmosférická depozice je také spojena se zdroji znečištění, emisemi a imisemi, které ovlivňují jak atmosférickou depozici, tak i sebe navzájem.

V další části je vysvětlen pojem kritické zátěže, která je s atmosférickou depozicí úzce spojena. Stanovení kritických zátěží se zaměřuje na ochranu přírodního prostředí před účinky kyselú atmosférické depozice. Krátce jsou zde popsány odběry vzorků a postupy při zjišťování velikosti jak mokré, tak suché depozice. Velikost atmosférické depozice se určí podle jednoduchých vztahů, které jsou popsány a vysvětleny. Dále se tato práce zabývá hodnotami atmosférické depozice v České republice a ve světě. Znečištění ovzduší patřilo v naší zemi vždy k velkým environmentálním problémům a i přes významná zlepšení v posledních letech patří Česká republika stále k nejvíce znečištěným regionům v celé Evropě. Na

našem území se nachází velké množství staničních sítí, které odebírají vzorky atmosférické depozice a vyhodnocují ji. V Evropě se nejvyšších hodnot dosahuje právě v její střední a východní části. Fakta, která se vztahují k atmosférické depozici, přináší souhrnná zpráva o životním prostředí v Evropě a je publikována Evropskou agenturou životního prostředí (EEA), která má sídlo v Kodani a do které přispívají všechny členské země a země Balkánu. Jsou zde uvedeny průměrné a nejvyšší hodnoty oxidů dusíku v USA, zejména na východním pobřeží, kde je velká koncentrace průmyslu. V Evropě a v Severní Americe jsou dopady emisí a atmosférické depozice dobře známy, z velké části jsou úspěšně řešeny a jejich význam klesá. Z Asie je zde uvedena situace v Číně, kde díky industrializaci zejména v jižní části došlo k velkému rozvoji a tím se zvýšily emise i atmosférická depozice.

V poslední části se práce zabývá sledováním vývoje hodnot atmosférické depozice na území České republiky v čase. Jedná se především o mokrou a suchou depozici síry a dusíku. Atmosférická depozice síry začala na našem území v druhé polovině 90. let výrazně klesat a v posledních letech se její hodnota pohybuje kolem 50 000 tun za rok. Maxima vykazuje v oblasti Krušných hor a Ostravska. U atmosférické depozice dusíku není pokles tak markantní. Mírný pokles byl také zaznamenán ve druhé polovině 90. let, poté však došlo k určité stagnaci. Hodnota atmosférické depozice dusíku se v posledních letech pohybuje kolem 60 000 tun spadu za rok. Nejvyšších hodnot dosahuje na území Krušných hor a Šluknovského výběžku, dále pak v oblastech větších měst (Praha, Brno nebo Ostrava) a podél nejvytíženějších komunikací.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

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, str. 264 – 279

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

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

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

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

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 Publisher results. *Water – Resources Investigations Report*, 2: 1 – 36

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

ČHMÚ (2013): Český hydrometeorologický ústav. Web:http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/IX_depozice_CZ.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 (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
- ERIKSSON, E. (1970): The importance of investigation global background pollution. WMO Technical note 106: 35 – 38
- HEMERKA, J., VYBÍRAL, P. (2010): Ochrana ovzduší, ČVUT, Praha, str. 148
- HICKS, B.B. (1984): 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
- HRDÁ, J. (1982): Znečištění ovzduší v severočeské oblasti. Výzkumná zpráva za úkol P 16-331-453. ČHMÚ, Praha, str. 78
- HRUŠKA, J., CIENCIALA, E. (2002): Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor lesnictví, MŽP ČR, Praha, str. 160
- 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, str. 160 – 179
- HŮNOVÁ, I., HESOUN, R., KURFÜRST, P., MAZNOVÁ, J., OSTATNICKÁ, J. (2012): Atmosférická depozice na území České republiky, Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2011, ČHMÚ – Úsek ochrany čistoty ovzduší. <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr11cz/kap3.html>
Staženo: 25. 3. 2015
- HŮNOVÁ, I., KURFÜRST, P., STOKLASOVÁ, P. (2014): Atmosférická depozice na území České republiky, Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2013, ČHMÚ – Úsek ochrany čistoty ovzduší. http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/IX_depozice_CZ.html
Staženo: 20. 3. 2015
- HŮNOVÁ, I., OSTATNICKÁ, J. (2001): Vývoj imisí a atmosférické depozice v České republice mezi lety 1989 – 1999, ČHMÚ, Praha, str. 2
- HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. (2004): Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší, Karolinum, Praha, str. 143

- 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
- KALVOVÁ, J., MOLDAN, B. (1996): Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů, Karolinum, Praha, str. 161
- KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ, J. (2005): Jak vzniká počasí, Karolinum, Praha, str. 268
- KURFÜRST, J. (1982): Zdroje znečišťování ovzduší, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, str. 153
- MOLDAN, B. (1977): Geochemie atmosféry, Academia, Praha, str. 160
- MOLDAN, B. (1983): Koloběh hmoty v přírodě, Academia, Praha, str. 172
- MOLDAN, B. (1985): Kyselá atmosférická depozice a její důsledky, Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 1 – 6
- MOLDAN, B. (1991): Atmospheric deposition: A biogeochemical process, Academia, Praha, str. 109
- MOLDAN, B. (1995): Životní prostředí – Globální perspektiva, Karolinum, Praha, str. 112
- MOLDAN, B. (2009): Podmaněná planeta, Karolinum, Praha, str. 418
- MOLDAN, B. (2009): Globální aspekty ochrany atmosféry. In: BRANIŠ M., HŮNOVÁ I., *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší*, 2009, Karolinum, Praha, str. 325 – 337
- MOLDAN, B., VAVROUŠEK, J. (1989): Stav a vývoj životního prostředí v Československu, Ekologická sekce Československé biologické společnosti při ČSAV, Praha, str. 146
- MŽP (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
- NOVOTNY, V., CHESTERS, G. (1981): Handbook of nonpoint pollution: Sources and management, Litton educational publishing, Nex York, str. 555
- PHOENIX, G.K., HICKS, W.K., CINDERBY, S., KUYLENSTIERNAM 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 Word biodiversity hotspots: the need for a greater global porspective in assessing N deposition impacts. *Global Change Biology* 12: 470 – 476

- PIVNIČKA, K., BRANIŠ, M. (1998): Úvod do studia životního prostředí, Karolinum, Praha, str. 142
- PROŠKOVÁ, J., HŮNOVÁ, I. (2006): Přístupy k hodnocení atmosférické depozice usazených srážek. Meteorologické zprávy 59/2006, číslo 5: 151 – 157
- ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KAŠPAR, M., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek, Academia, Praha, str. 574
- SEIFERT, V. (1994): Počasí kolem nás, Grada, Praha, str. 144
- SEINFELD, J. H., PANDIS S. N. (1998): Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate Change, John Wiley and Sons, New York, str. 1326
- 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
- ÚVTIZ (1986): Vliv kyselých srážek v zemědělství a lesním hospodářství, Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, str. 72
- 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
- VIRTANEN, T., HÄMEKOSKI, K. (1999): Ochrana ovzduší – Svazek 14, Centrum environmentálních analýz, ICLEI, str. 31
- VYSOUDIL, M. (1997): Meteorologie a klimatologie pro geografy, Univerzita Palackého, Olomouc, str. 234
- VYSOUDIL, M. (2002): Ochrana ovzduší, Univerzita Palackého, Olomouc, str. 114
- ZÁVODSKÝ, D. (1985): Meranie kyselej depozície. 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

8. 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: Vznik kyselého deště
- Obr. č. 4: Staniční sítě pro sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2013
- Obr. č. 5: Emise látek podílejících se na acidifikaci srážek v Evropě rozdělených podle sektorů
- Obr. č. 6: Emise SO₂ v Evropě
- Obr. č. 7: Emise NO_x v Evropě
- Obr. č. 8: Procentuální ohrožení acidifikací členských zemí
- Obr. č. 9: Atmosférická depozice dusíku ve světě v polovině roku 1990
- Obr. č. 10: Potenciální atmosférická depozice dusíku předpokládaná v roce 2050
- Obr. č. 11: Vývoj roční depozice síry (SO₄²⁻ - S, SO₂ - S), oxidovaných forem dusíku (NO₃⁻ - N, NO_x - N) a vodíku na plochu České republiky, 1995-2013
- Obr. č. 12: Pole mokré roční depozice síry (SO₄²⁻ - S) v roce 2013
- Obr. č. 13: Pole suché roční depozice síry (SO₂ - S) v roce 2013
- Obr. č. 14: Pole celkové roční depozice síry, 2013
- Obr. č. 15: Pole podkorunové roční depozice síry v roce 2013
- Obr. č. 16: Pole celkové mokré roční depozice dusíku v roce 2013
- Obr. č. 17: Pole suché roční depozice dusíku (NO_x - N) v roce 2013
- Obr. č. 18: Pole celkové roční depozice dusíku, 2013
- Obr. č. 19: Pole celkové roční depozice vodíkových iontů v roce 2013
- Obr. č. 20: Vývoj poměru koncentrací dusičnanů a síranů v atmosférických srážkách na stanicích ČHMÚ během let 1998-2013
- Obr. č. 21: Vývoj roční mokré depozice na vybraných stanicích v letech 1991-2013 v České republice
- Obr. č. 22: Trend koncentrace SO₄²⁻ (a) a mokré vertikální depozice S/SO₄²⁻ (b) na regionálních a horských lokalitách v České republice za období 1978-2001
- Obr. č. 23: Trend koncentrace NO₃⁻ (a) a mokré vertikální depozice N/NO₃⁻ (b) na regionálních a horských lokalitách v České republice za období 1978-2001

Tab. č. 1: Depoziční rychlosti plynů a aerosolových částic v $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$

Tab. č. 2: Odhad celkové roční depozice uvedených složek na plochu české republiky ($78\,841\text{ km}^2$) v tunách, 2013

Tab. č. 3: Odhad celkové roční depozice síry na zalesněný povrch České republiky ($26\,428\text{ km}^2$) v tunách, 2001-2013

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Staniční síť pro sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2013

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 lízu	Jihočeský	Prachatice	ČGS	828	M2(HM), M4(HM)_sm
CPL1, CPL2, CPL3	Plešné jezero	Jihočeský	Prachatice	HBÚ AV ČR	1087 (bulk), 1122 (tf), 1334 (tf)	F2, F4_sm, F4_sm
CVOJ	Vojňov-Lásenice	Jihočeský	Jindřichův Hradec	VÚLHM	595	M2(HM), M4(HM)_sm, 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.- 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), M4(HM)_sm, 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, KLY2	Lysina	Karlovarský	Cheb	ČGS	867 (bulk), 836 (tf)	M2(HM), M4(HM)_sm
KPB1, KPB2	Pluhův bor	Karlovarský	Cheb	ČGS	753 (bulk), 714 (tf)	M2(HM), M4(HM)_sm
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	Klodzsko	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, PCJ2, PCJ3	Čertovo jezero	Plzeňský	Klatovy	HBÚ AV ČR	1180 (bulk), 1057 (tf), 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 SLI2	Litavka	Středočeský	Příbram	ČGS	700 (bulk), 710 (tf)	M2(HM), M4(HM)_sm
TBKR	Bílý Kříž	Moravskoslezský	Frydek-Místek	ČHMÚ	890	W1, HM
TCER	Červená	Moravskoslezský	Opava	ČHMÚ	749	W1, HM
TCRV	Červík	Moravskoslezský	Frydek-Místek	ČGS	640	M2(HM), M4(HM)_sm
TKLE	Klepačka	Moravskoslezský	Frydek-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.-Koňkov	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 pro sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2013