TD / 000143

Systém sběru, zpracování a hodnocení dat v roce 2020

Znečišťování a kvalita ovzduší
Atmosférická depozice
Skleníkové plyny

L. Vlasáková, H. Škáchová (eds.)

Úsek kvality ovzduší / Praha / 23. 7. 2021

Český hydrometeorologický ústav

Celková redakce

L. Vlasáková, H. Škáchová

Zpracovatelé jednotlivých kapitol

1. Sběr a zpracování dat

1.1 Znečišťování ovzduší – emise

P. Machálek, J. Šmejdířová

1.2 Imise

J. Sládeček, V. Novák, J. Schovánková, L. Vlasáková

1.3 Atmosférická depozice

I. Hůnová, P. Kurfürst, H. Škáchová

1.4 Emise skleníkových plynů

E. Krtková, M. Müllerová

2. Hodnocení

2.1 Meteorologické a rozptylové podmínky

H. Škáchová

2.2 Tvorba map znečištění ovzduší a atmosférické depozice

2.2.1 *J. Horálek, M. Schreiberová*

2.2.2 *I. Hůnová, P. Kurfürst*

Technická spolupráce, odborné konzultace:

B. Krejčí, H. Plachá, Š. Rychlík

© Český hydrometeorologický ústav, 2021

Obsah

1 Sběr a zpracování dat 3

1.1 Znečišťování ovzduší – emise 5

1.1.1 Sběr emisních dat 5

1.1.2 Zpracování a prezentace emisních dat 10

1.2 Imise 11

1.2.1 Sběr imisních dat 11

1.2.2 Zpracování a prezentace imisních dat 18

1.3 Atmosférická depozice 20

1.3.1 Mokrá vertikální depozice 20

1.3.2 Mokrá horizontální depozice 22

1.3.3 Suchá depozice 22

1.4 Emise skleníkových plynů 23

1.4.1 Sběr dat 23

1.4.2 Zpracování a prezentace dat 26

2 Hodnocení 28

2.1 Meteorologické a rozptylové podmínky 28

2.1.1 Rozptylové podmínky 28

2.1.2 Vliv meteorologických podmínek na emise 29

2.1.3 Vliv meteorologických podmínek na tvorbu sekundárních polutantů a chemismus atmosféry 29

2.2 Tvorba map znečištění ovzduší a atmosférické depozice 30

2.2.1 Mapy znečištění ovzduší 30

2.2.2 Mapy atmosférické depozice 34

3 Terminologický slovník 36

4 Seznam zkratek 38

5 Literatura 40

Úvod

Tento dokument představuje metodický materiál, který popisuje systém práce v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) pro sběr a zpracování dat rozdělený podle odborných gescí. Dále je zde také popsána stávající metodika používaná k hodnocení kvality ovzduší.

V dokumentu jsou popsány metodické postupy při sběru dat o znečisťování a kvalitě ovzduší, o atmosférické depozici, skleníkových plynech, emisích a dalších jevech ovlivňujících naše ovzduší a klima, což jsou oblasti, kterými se zabývá Úsek kvality ovzduší ČHMÚ. Dále je ke každé oblasti uveden popis prezentace a vykazování dat.

Dokument je doprovodným materiálem k tabelární a grafické ročence ČHMÚ. Grafická ročenka „Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020“ (ČHMÚ 2021a) společně s elektronicky publikovanou datovou ročenkou „Souhrnný tabelární přehled“ (ČHMÚ 2021b) je uceleným přehledem informací o kvalitě ovzduší na území ČR v daném roce. Datová ročenka prezentuje verifikovaná naměřená imisní data a údaje o chemickém složení atmosférických srážek z jednotlivých lokalit včetně agregovaných údajů, grafická ročenka poskytuje komentované souhrnné informace v přehledných mapách, grafech a tabulkách.

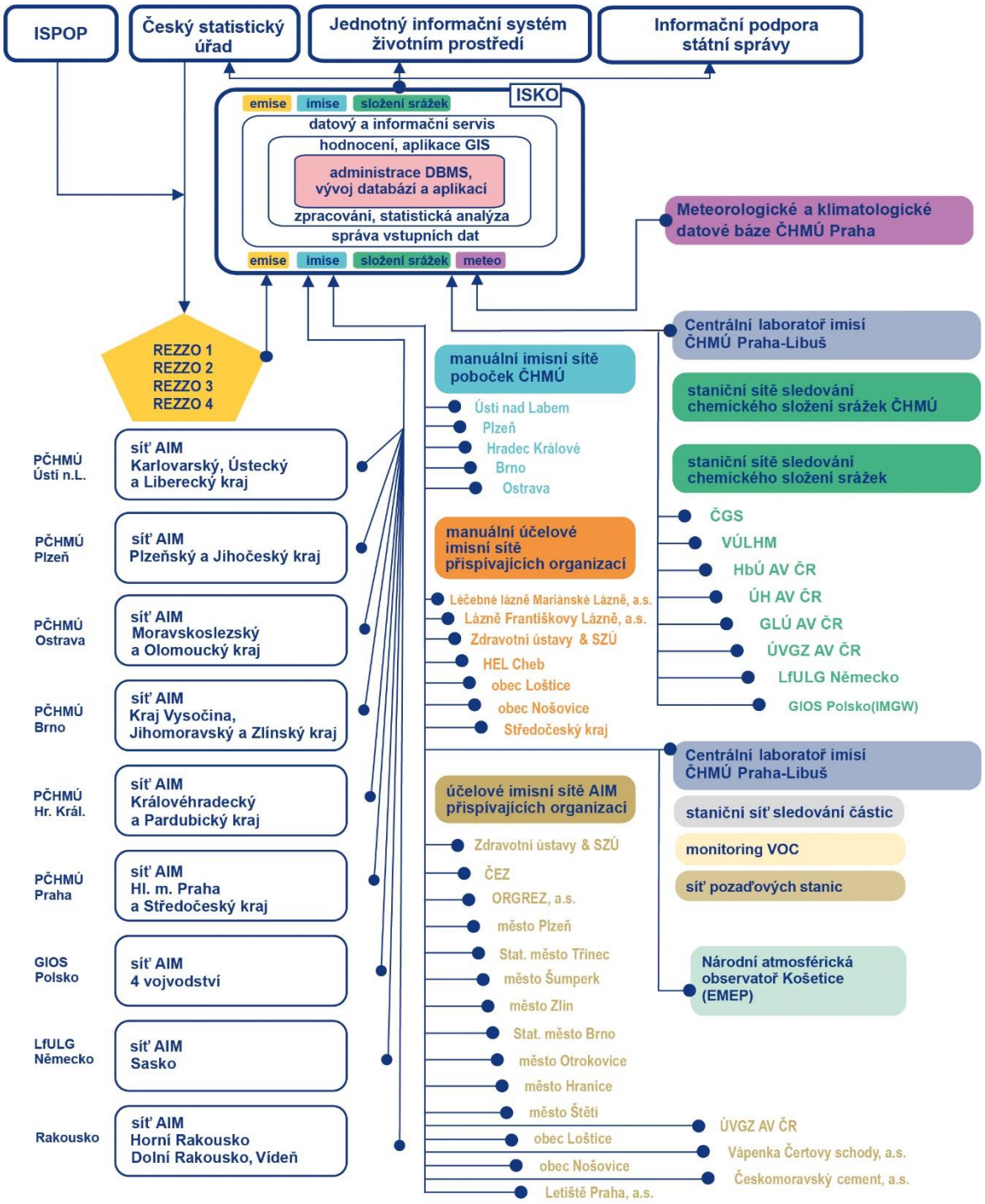
1 Sběr a zpracování dat

Sběrem, zpracováním a archivací dat je v ČHMÚ pověřeno oddělení „Informační systém kvality ovzduší“ (dále jako „oddělení ISKO“). Oddělení ISKO spolupracuje s jednotlivými odbornými úseky na naplňování těchto aktivit. Databáze ISKO (dále jako „ISKO“) je provozováno pod databázovým systémem Oracle.

Oddělení ISKO bylo založeno v roce 1990. Vzniklo transformací původního „Imisního informačního systému“ (IIS), který byl dříve součástí „Meteofondu“, a oddělení „Čistoty ovzduší“, které se zabývalo emisemi, transmisemi (přenos a rozptyl) a imisemi.

ISKO je provozován na základě zákona o ochraně ovzduší, v současné době jde o zákon č. 201/2012 Sb., v platném znění. Provozováním systému je pověřen Ministerstvem životního prostředí (MŽP) Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

ISKO je stále rozvíjen a provozován s využitím současných informačních technologií jako integrovaná soustava pro celoúzemní komplexní hodnocení stavu a vývoje znečištění ovzduší; zahrnuje sběr, archivaci a zpracování dat z automatizovaných i manuálních měřicích sítí ČR (imisní databáze a databáze chemického složení srážek) a rovněž ukládání a zpracování dat o emisích a zdrojích znečišťování ovzduší (emisní databáze). V posledních letech je součástí ISKO i Národní inventarizační systém pro skleníkové plyny. S imisními daty jsou do imisní databáze ukládána i doprovodná meteorologická data, která jsou měřena na velké části automatizovaných imisních stanic ČHMÚ a jsou využívána pro hodnocení imisně-meteorologických vztahů (Obr. 1).



Vysvětlivky:

ISKO	Informační systém kvality ovzduší
DBMS	Systém řízení báze dat
GIS	Geografický informační systém
PČHMÚ	Pobočka ČHMÚ
SZÚ	Státní zdravotní ústav
VÚLHM	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti
HEL Cheb	Hygienické a ekologické laboratoře Cheb
AIM	Automatizovaný imisní monitoring
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
REZZO	Registr emisí a stacionárních zdrojů
ČGS	Česká geologická služba
HBÚ AV ČR	Hydrobiologický ústav Akademie věd ČR
ÚH AV ČR	Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR
GLÚ AV ČR	Geologický ústav Akademie věd ČR
ÚCHP AV ČR	Ústav chemických procesů Akademie věd ČR (měření počtu částic)
ÚVGZ AV ČR	Ústav výzkumu globální změny Akademie věd ČR
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Dresden, SRN
GIOS	Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Polsko
IMGW	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Wroclaw, Polsko

Obr. 1 Schéma vazeb ISKO na zdroje dat a kooperující systémy, 2020

1.1 Znečišťování ovzduší – emise

Pojem znečišťování ovzduší (emise) zahrnuje celou řadu procesů, při nichž dochází ke vnášení znečišťujících látek do ovzduší. Zdroje znečišťování ovzduší jsou přírodního nebo antropogenního původu, přičemž hranice mezi těmito typy není vždy úplně jednoznačná. Mezi zdroje přírodního původu se řadí sopečná činnost, požáry lesů, látky produkované rostlinami a podobně. Antropogenními zdroji jsou lidské aktivity. Primárním znečišťováním ovzduší se rozumí vstup znečišťujících látek do ovzduší přímo ze zdrojů, zatímco sekundární znečišťující látky vznikají jako důsledek fyzikálně-chemických reakcí v atmosféře (ozon, sekundární aerosolové částice, většina NO_2 apod.). Specifickým procesem, úzce souvisejícím s primárním znečišťováním, je zvíření jemných i hrubších částic prachu usazených na zemském povrchu, ke kterému dochází při pohybu silničních vozidel a zemědělských strojů, nebo např. při silnějším větru. Tento proces nazývaný resuspenze se týká částic prachu, nicméně jsou při něm opětovně do ovzduší vnášeny také látky, které jsou na prachových částicích zachyceny, např. těžké kovy a POPs.

ČHMÚ hodnotí úroveň znečišťování ovzduší z pověření MŽP pro primární znečišťující látky antropogenního původu. Základním podkladem je tzv. emisní inventura, která kombinuje přímý sběr údajů vykazovaných provozovateli zdrojů s modelovými výpočty z dat ohlášených provozovateli zdrojů nebo zjišťovaných v rámci statistických šetření prováděných především ČSÚ. Výsledné emisní inventury jsou prezentovány v podobě emisních bilancí v sektorovém a územním členění[1].

Znečišťujících látek, které zdroje vypouští do ovzduší, je velké množství. Pravidelná emisní inventura související s pojmem znečišťování ovzduší se provádí pro prachové částice (TZL, částice frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$), acidifikační plyny (SO_X a NO_X), oxid uhelnatý, těkavé organické látky a amoniak. Dalšími sledovanými škodlivinami jsou vybrané těžké kovy, z nichž některé mají rovněž stanovené imisní limity kvality ovzduší (arsen, kadmium, nikl a olovo), polycyklické aromatické uhlovodíky (v ovzduší sledovanou škodlivinou je benzo[a]pyren) a dále např. PCDD/F a PCB. Emisní inventury se provádí rovněž pro další látky, např. benzen, NO_2, částice uhlíku apod.

1.1.1 Sběr emisních dat

Zdroje znečišťování ovzduší jsou z hlediska způsobu sledování emisí rozděleny na zdroje sledované jednotlivě a zdroje sledované hromadně. V návaznosti na kategorizaci zdrojů podle Přílohy č. 2 zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. a způsob ohlašování údajů souhrnné provozní evidence podle Přílohy č. 11 k vyhlášce č. 415/2012 Sb. je používáno následující členění zdrojů (Tab. 1).

[1] Metodiky a výsledky emisních inventur: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html

Tab. 1 Rozdělení zdrojů znečišťování podle způsobu sledování emisí

Druh zdroje	Vyjmenované stacionární zdroje	Nevyjmenované stacionární zdroje	Mobilní zdroje
Kategorie	REZZO 1, REZZO 2	REZZO 3	REZZO 4
Obsahuje	Stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu vyšším než 0,3 MW, spalovny odpadů, jiné zdroje (technologické spalovací procesy, průmyslové výroby, apod.).	Stacionární zařízení ke spalování paliv o celkovém tepelném příkonu do 0,3 MW vč. spotřeby paliv v domácnostech, nevyjmenované stacionární technologické zdroje a další činnosti produkující emise (viz dále).	Silniční, železniční, lodní a letecká doprava osob a přeprava nákladu, u silniční dopravy dále otěry brzd a pneumatik, abraze vozovky** a odpary z palivových systémů benzinových vozidel, provoz nesilničních strojů a mechanismů při údržbě zeleně a lesů apod.
Původ dat	Ohlášené emisní údaje vyjma zjednodušených hlášení* podle přílohy č. 11 vyhlášky č. 415/2012 Sb.	Vypočtené emise z aktivitních údajů, získaných např. ze SLDB, výrobních a energetických statistik, sčítání dopravy a registru vozidel apod., a emisních faktorů.	
Způsob evidence	Zdroje jednotlivě sledované REZZO 1 – ohlašované emise REZZO 2 – emise vypočítávané z ohlášených údajů a emisních faktorů	Zdroje hromadně sledované.	Zdroje hromadně sledované.

* provozovatel ohlašuje pouze spotřeby paliv a výtoč benzinu

** resuspenze prachových částic z povrchu vozovky není v inventuře zahrnuta

Jednotlivě jsou sledovány zdroje vyjmenované v příloze č. 2 zákona č. 201/2012, o ochraně ovzduší, s výjimkou kategorie Chovy hospodářských zvířat. Provozovatelé zdrojů jsou podle § 17 odstavce 3 písmene c) povinni vést provozní evidenci o stálých a proměnných údajích o stacionárním zdroji popisujících zdroj a jeho provoz a o údajích o vstupech a výstupech z tohoto zdroje. Dále jsou povinni každoročně ohlašovat údaje souhrnné provozní evidence (SPE) prostřednictvím ISPOP, zavedeného zákonem č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů. Údaje z ISPOP jsou dále přebírány do databází REZZO 1 a REZZO 2. Výjimku představují přemístitelné stacionární zdroje (především část zdrojů zařazených pod kód 5.11. přílohy č. 2 zákona o ochraně ovzduší – provoz recyklačních linek stavebních hmot), u kterých může docházet v průběhu roku ke změně místa jejich provozu. Emise z těchto zdrojů jsou ohlašovány souhrnně za provoz v rámci celého kraje, a z toho důvodu jsou vedeny jako součást kategorie REZZO 3. Ohlašování údajů za uplynulý rok probíhá v období od ledna do konce března. Data o provozu jednotlivě sledovaných zdrojů jsou tak k dispozici již počátkem dubna a v dalších měsících je prováděna jejich kontrola a zpracování. Součástí procesů zavedených Provozním řádem datové správy emisních údajů ISKO jsou také rozsáhlé kontroly ohlašovaných dat, dopočty emisí nezjišťovaných ohlašovateli, doplnění nevykazovaných parametrů a opravy chybných údajů[2].

Hromadně sledované zdroje evidované v REZZO 3 zahrnují nevyjmenované spalovací zdroje (tj. o jmenovitém tepelném příkonu do 0,3 MW), stavební a zemědělské činnosti, plošné použití organických rozpouštědel, čerpací stanice, těžbu uhlí, požáry automobilů a budov, nakládání s odpady a odpadními vodami, používání zábavní pyrotechniky, cigaret, prostředků pro čištění obuvi apod. Emise z těchto zdrojů jsou zjišťovány s využitím údajů sledovaných národní statistikou a emisních faktorů. Skupina nevyjmenovaných spalovacích zdrojů zahrnuje emisně velmi významný sektor vytápění domácností, pro které je používána specifická metodika stanovení emisí. Další sektory tvoří zejména oblast služeb, obchodu, úřadů, vzdělávacích a zdravotnických institucí a také sektor armády (od roku 2017 nejsou součástí ohlašovaných údajů SPE ani armádní zdroje zařazené do přílohy č. 2 zákona o ochraně ovzduší).

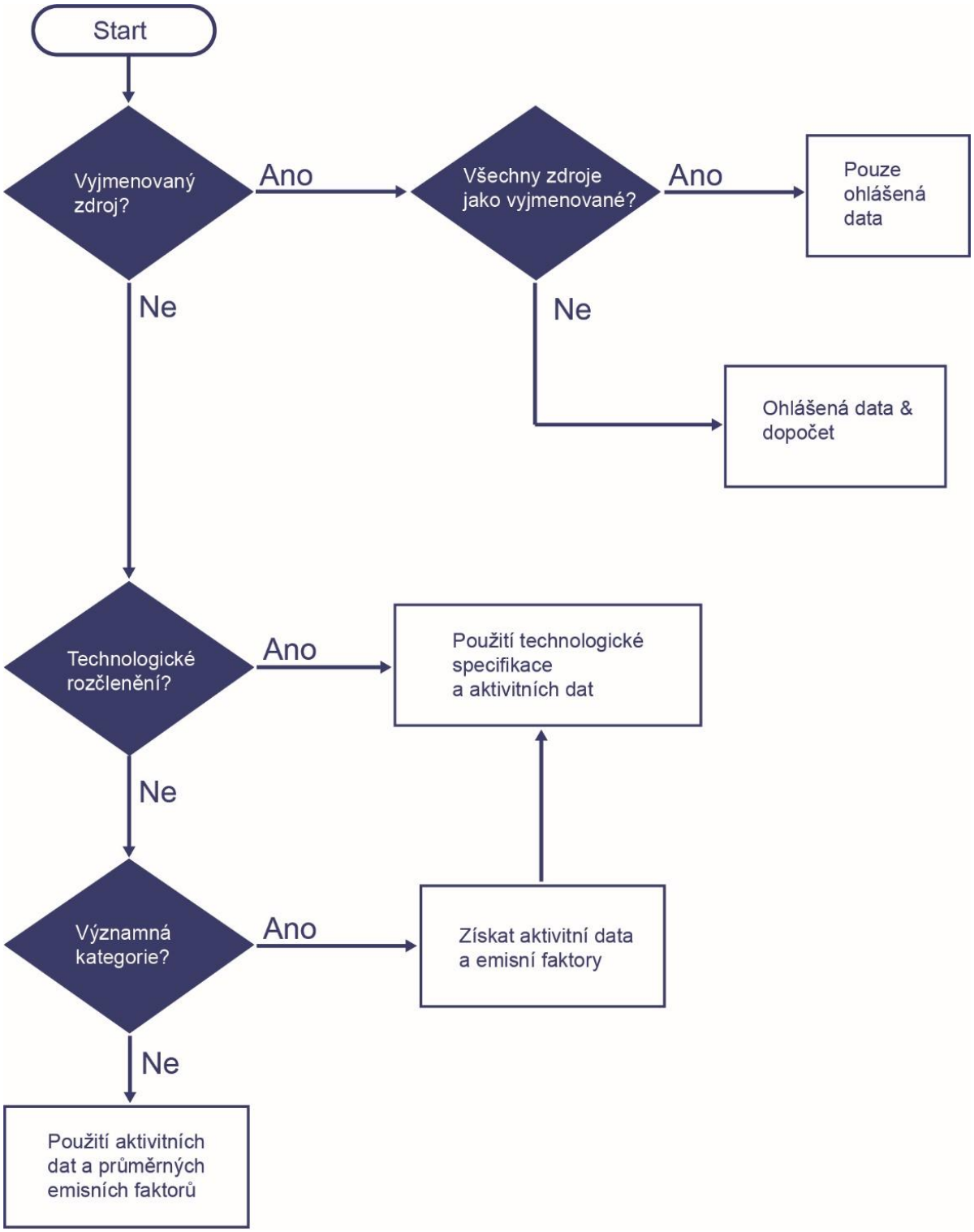
Mezi údaje používané pro vyhodnocení emisí hromadně sledovaných spalovacích zdrojů patří zejména výstupy SLDB z roku 2011 pravidelně aktualizované údaji o výstavbě bytů, zajišťovanými ČSÚ. Dále jsou to klimatická data, údaje o výhřevnosti a jakosti paliv dodávaných domácnostem a výsledky rozsáhlých měření, prováděných pro stanovaní emisních faktorů všech významných skupin spalovacích zdrojů, rozdělených podle typu spalovacího zařízení a druhu paliva. Odhad podílu jednotlivých typů spalovacích zařízení v domácnostech byl proveden na základě výsledků statistického šetření ENERGO 2015, SLDB a statistiky prodeje kotlů, krbů a topidel.

Pro většinu ostatních hromadně sledovaných stacionárních zdrojů jsou využívány metodiky, pro které jsou pravidelně sbírány souhrnné statistické údaje v členění po jednotlivých krajích, popř. pouze celorepublikové. Patří mezi ně statistiky počtů hospodářských zvířat, produkce vybraných výrobků a těžba paliv, souhrnné údaje za výstavbu, požáry, prodeje vybraných komodit (hnojiva, výrobky s obsahem organických rozpouštědel, zábavní pyrotechnika, cigarety), údaje o skládkách nebo provozu čistíren odpadních vod a další. Pro některé metodiky jsou rovněž využívány informace GIS.

[2] Mechanismus kontroly SPE: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/evidence/aktual/spe_uvod_cz.html

Hromadně jsou sledovány také údaje o mobilních zdrojích (REZZO 4), které zahrnují emise ze silniční (včetně emisí NMVOC z odparů benzinu z palivového systému vozidel a emisí z otěrů brzd, pneumatik a silnic), železniční, vodní a letecké dopravy a z provozu nesilničních strojů a mechanismů (zemědělské, lesní a stavební stroje, vozidla armády, údržba zeleně apod.). Inventarizaci emisí z mobilních zdrojů zajišťuje CDV Brno, v. v. i., a VÚZT Praha, v. v. i. Emise ze silniční dopravy jsou odhadovány mezinárodní metodikou COPERT 5. Pro stanovení podílu jednotlivých skupin vozidel na spotřebě pohonných hmot se využívají podklady dopravních statistik, údaje o prodeji pohonných hmot, údaje o skladbě vozového parku podle Registru vozidel ČR a údaje o ročním proběhu vozidel podle evidenčních výstupů Stanic technické kontroly (STK). Údaje z registru vozidel a STK jsou využívány rovněž pro modelové hodnocení emisí zemědělských strojů (především traktory). Pro ostatní skupiny mobilních zdrojů jsou využívány statistiky prodeje pohonných hmot a informace dopravních statistik (železniční, vodní a letecká přeprava). V souladu s předepsanými metodikami nejsou některé emise z dopravy přičítány k celkovým hodnoceným emisím. V ČR se to týká sektoru letecké dopravy. Do emisních inventur se započítávají pouze emise přistávacího a vzletového cyklu. To znamená, že vyjmuty jsou emise z letové fáze (cca od 1 km výšky letu) a emise letadel přelétávajících území ČR.

Metodický rozvoj a každoroční celorepublikové zpracování a vedení archivu emisní databáze zajišťuje ČHMÚ ve spolupráci s externími dodavateli (CDV Brno, v. v. i., VÚZT Praha, v. v. i., SVÚOM Praha). Schéma zpracování údajů jednotlivě a hromadně sledovaných zdrojů ukazuje Obr. 2. V časové řadě počínající cca rokem 1984 jsou v rámci emisní části ISKO archivovány vykazované roční emisní údaje a doprovodné technické údaje nejvýznamnější skupiny provozoven (dříve zvláště velkých a velkých zdrojů označovaných jako REZZO 1). Od devadesátých let minulého století jsou součástí databáze rovněž údaje zdrojů zařazených předchozí legislativou mezi tzv. střední zdroje znečišťování ovzduší (dříve zdroje REZZO 2). Údaje hromadně sledovaných zdrojů jsou archivovány v podobě odborných zpráv s doprovodnými tabelárními údaji.



Obr. 2 Schéma zpracování údajů jednotlivě a hromadně sledovaných zdrojů

1.1.2 Zpracování a prezentace emisních dat

Zpracování emisních dat REZZO 1 a 2 probíhá částečně automatizovaně v rámci emisní části databáze ISKO a zahrnuje především nahrání souborů s hlášeními, seznamů provozoven a provozovatelů, zápis systémových informací a automatizovaný dopočet potřebných parametrů a emisí. On-line lze následně provádět export údajů specifických sestav, kontrolní mapové náhledy, víceleté přehledy pro sledování trendů a další výstupy, potřebné především pro kontrolu ohlášených údajů. Emise znečišťujících látek, které provozovatelé nemají povinnost zjišťovat, jsou pro potřeby mezinárodního ohlašování a modelování kvality ovzduší dopočítávány v emisním modulu databáze ISKO na základě ohlášených aktivitních údajů a emisních faktorů. Emisní faktory pro stacionární spalovací zdroje jsou rozlišeny podle druhu topeniště a tepelného výkonu, aktivitním údajem je spotřeba paliva. U ostatních zdrojů závisí emisní faktory na typu technologického procesu, druhu a množství výrobku a na způsobu snižování emisí. Pro stanovení emisí PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou používány procentní podíly dané frakce PM v celkových emisích tuhých znečišťujících látek (TZL). Je-li zdroj vybaven zařízením ke snižování emisí TZL, závisí podíl frakce PM na odlučovacím principu tohoto zařízení. U spalovacích zdrojů bez odlučovače jsou podíly frakcí stanovené podle druhu paliva, u ostatních zdrojů je rozhodující způsob vzniku TZL (Hnilicová 2012).

Zpracování dat REZZO 3 probíhá v aplikaci MS Excel a je závislé na ručním vstupu potřebných aktuálních údajů, především statistických dat. Zpracování dat REZZO 4 probíhá u externích dodavatelů obdobnými prostředky (specializované aplikace a MS Excel) a výstupy jsou do ČHMÚ dodávány přímo ve formátu potřebném pro emisní inventury.

Standardními výstupy emisních inventur jsou celorepublikové a krajské bilance, prováděné především pro základní znečišťující látky. Pro potřeby modelového hodnocení kvality ovzduší jsou vytvářeny detailní sestavy pro znečišťující látky se stanovenými imisními limity. Tyto údaje jsou buď ve formě bodových emisí (komíny, výduchy, fugitivní úniky), nebo jako emise přiřazené definovanému území v návaznosti na možnosti jejich rozdělení (ZSJ, obce, kraje).

Pro mezinárodní ohlašování souhrnných emisních údajů je používáno tzv. sektorové členění zdrojů dané Klasifikací pro reporting (Nomenclature for Reporting Codes – NFR). Hlavní skupiny zdrojů tvoří spalovací zdroje včetně dopravy (NFR 1), technologické zdroje bez spalování, tzv. procesní emise (NFR 2), zdroje s použitím rozpouštědel (NFR 2D), zemědělské činnosti včetně chovů hospodářských zvířat (NFR 3B) a nakládání s odpady (NFR 5). Způsob provádění emisní inventury popisuje detailně dokument (ČHMÚ 2020c), každoročně předkládaný jako součást emisí ohlašovaných podle požadavků na mezinárodní reporting (Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2284 a Úmluva LRTAP). Zpráva o provádění emisních inventur (IIR) představuje výsledky inventarizace emisí od roku 1990. Emise mohou být průběžně aktualizovány např. na základě doporučení, uvedených v detailním hodnocení úrovně inventury (naposledy v roce 2015) nebo specifických hodnocení prováděných každoročně mezinárodním týmem odborníků v gesci Evropské komise.

Portál ČHMÚ nabízí vedle již zmiňovaných emisních bilancí také údaje jednotlivých provozoven v Přehledu zdrojů REZZO 1 a specifické informace k termickému využití a spalování odpadů (např. Seznam spaloven odpadů a zařízení ke spoluspalování odpadů a Evidence povolení ke spalování a spoluspalování odpadů).

1.2 Imise

Imise jsou koncentrace škodlivých látek v ovzduší. Znečišťující látka obsažená v ovzduší se dostává do styku s příjemcem (člověk, rostlina, zvíře, materiál) a negativně na něj působí. Imise vzniká po fyzikálně-chemické přeměně emise v ovzduší. Imisní koncentrace v ČR jsou nejčastěji uváděny v $\mu g \cdot m^{-3}$ popř. $ng \cdot m^{-3}$, v zahraničí se často setkáváme i s uváděním imisních koncentrací v jednotkách ppb nebo ppm.

Znečišťující látkou je každá látka, která svou přítomností v ovzduší má nebo může mít škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí anebo obtěžuje zápachem (zákon č. 201/2012Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění). Emisní koncentrace je měřena přímo u svého zdroje, imisní koncentrace je měřena v okolí zdroje. Úroveň imisní zátěže se zjišťuje měřením na imisních monitorovacích stanicích.

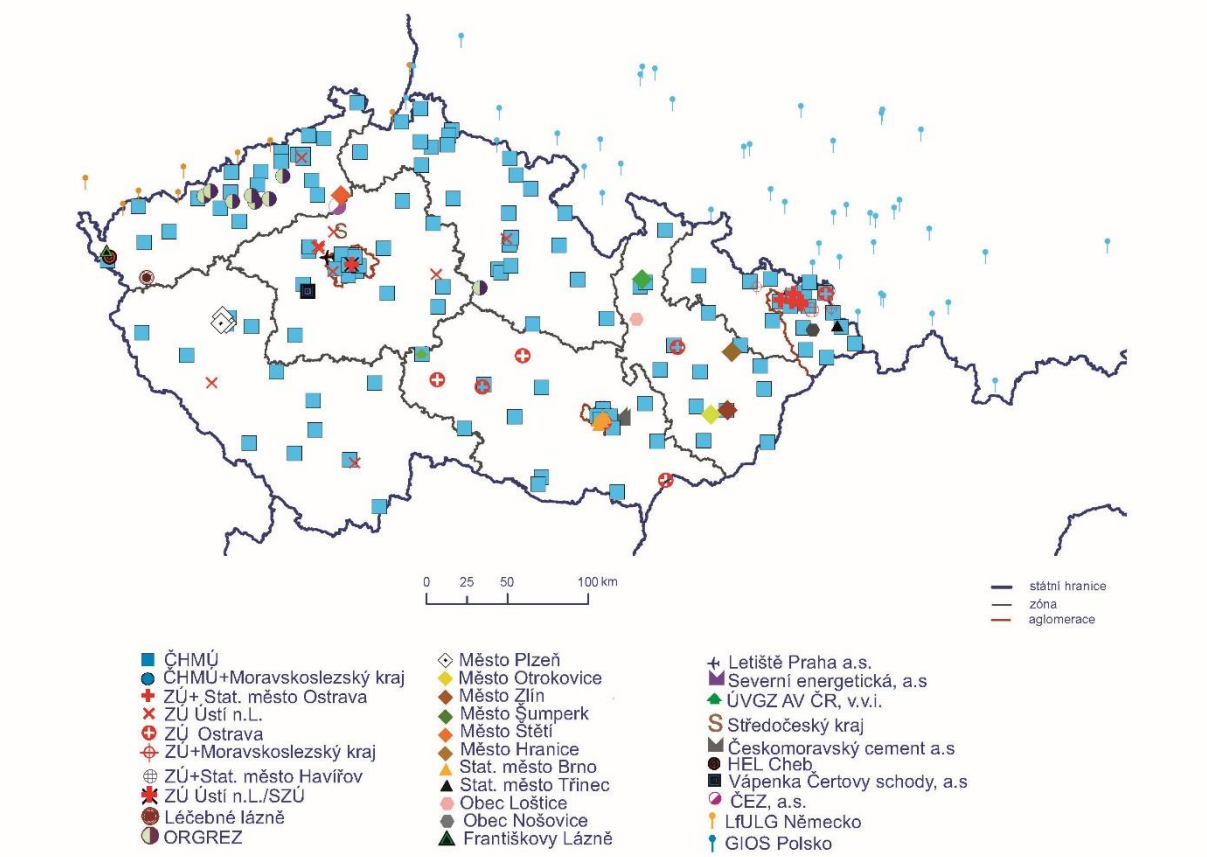
Imisním limitem se rozumí nejvýše přípustná úroveň koncentrace dané látky stanovená zákonem č. 201/2012 Sb., ochraně ovzduší, v platném znění. Imisní limity představují hodnoty max. povolených imisních koncentrací jednotlivých znečišťujících látek v ovzduší s různým intervalem průměrování. U vybraných látek je stanoven rovněž maximální počet překročení imisního limitu. Imisní limit je tedy pro vybrané látky definován ve třech kritériích. První kritérium je hodnota imisního limitu, druhé představuje doba průměrování a třetí je maximální počet překročení.

Kromě látek, pro které je stanoven imisní limit (SO_2, NO_2, CO, benzen, PM_{10}, $PM_{2,5}$, benzo[a]pyren, Pb, As, Cd, Ni, O_3, NO_X), je v rámci Státní sítě imisního monitoringu měřeno i mnoho dalších látek důležitých pro ochranu životního prostředí (amoniak, některé ionty, elementární a organický uhlík, skupina aromatických uhlovodíků, těkavé organické látky, persistentní organické látky atd.).

1.2.1 Sběr imisních dat

Základem pro hodnocení kvality ovzduší jsou koncentrace naměřené na monitorovacích stanicích (Obr. 3). Měřicí síť je nejhustší v oblastech s nejvyššími koncentracemi škodlivin, nicméně pokrývá celou ČR. Páteřní sítí monitorovacích stanic je Státní síť imisního monitoringu (SSIM), kterou provozuje ČHMÚ. Její součástí jsou jak automatizované monitorovací stanice (AIM), tak i manuální imisní stanice (MIM), ze kterých jsou odebrané vzorky analyzovány v laboratořích ČHMÚ. Státní síť imisního monitoringu je doplněna monitorovacími stanicemi dalších organizací, jejichž měření je rovněž využíváno při hodnocení kvality ovzduší. V ISKO jsou též zahrnuty informace z příhraničních oblastí Německa, Polska a Rakouska, které jsou získány v rámci reciproční výměny dat.

Důležitým podkladem při hodnocení kvality ovzduší a při tvorbě map imisních charakteristik je klasifikace měřicích stanic pro výměnu informací – EoI (EC 1997, Larssen et al. 1999). Představuje část databáze, která obsahuje tzv. metadata neboli popisné údaje. Metadata jsou nedílnou součástí sběru dat. Tato oficiální evropská klasifikace byla aplikována na všechny stanice ČR registrované v databázi ISKO. Úplná klasifikace stanic podle EoI se skládá ze tří základních písmen oddělených lomítkem, která určují typ stanice, typ oblasti a charakteristiku oblasti. Ve třetím sloupci jsou uvedeny pouze příklady kombinací charakteristik oblastí, ve skutečnosti je možná jakákoli logická kombinace, přičemž první písmeno má nejvyšší prioritu (Tab. 2). Další informace ohledně klasifikace stanic, včetně legislativy, jsou uvedeny v Souhrnném tabelárním přehledu 2019 (ČHMÚ 2021b).



Obr. 3 Významné staniční sítě sledování kvality venkovního ovzduší, 2020

Tab. 2 Klasifikace stanic podle EoI

Typ stanice		Typ oblasti		Charakteristika oblasti	
Dopravní	(T)	Městská	(U)	Obytná	(R)
Průmyslová	(I)	Předměstská	(S)	Obchodní	(C)
Pozaďová	(B)	Venkovská	(R)	Průmyslová	(I)
				Zemědělská	(A)
				Přírodní	(N)
				Obytná/obchodní	(RC)
				Obchodní/průmyslová	(CI)
				Průmyslová/obytná	(IR)
				Obytná/obchodní/průmyslová	(RCI)
				Zemědělská/přírodní	(AN)

Součástí SSIM jsou také čtyři stanice označené termínem „hot spot“, kterým se běžně označují lokality nebo oblasti s vysokým znečištěním ovzduší. V ISKO se pod tímto názvem rozumí stanice orientované výhradně na sledování vlivu dopravy na znečištění ovzduší (odst. A.2 přílohy č. 3 k vyhlášce č. 330/2012 Sb.). Monitorovací hot spot stanice ČHMÚ provozuje v dopravně silně zatížených lokalitách v Praze (Obr. 4), Brně, Ostravě a Ústí nad Labem.

Obr. 4 Stanice AIM Praha 2-Legerova, hot spot (foto: CLI Praha-Libuš)

Počet imisních monitorovacích stanic základních znečišťujících látek vybraných organizací, jejichž údaje jsou uloženy v ISKO, se od roku 1969 průběžně měnil. Nejvíce stanic bylo v provozu v 80. a 90. letech minulého století.

V roce 2015 došlo k zásadní inovaci Státní sítě imisního monitoringu (SSIM), největší od vybudování celorepublikového automatizovaného imisního monitoringu v první polovině 90. let minulého století. ČHMÚ realizoval v rámci Operačního programu Životní prostředí projekt komplexní obnovy techniky pro sledování a hodnocení kvality ovzduší na celém území ČR. Kromě samotné přístrojové techniky byly obnoveny i kontejnery automatizovaných stanic včetně stožárů pro meteorologická čidla. Sledované lokality a rozsah měření byly vybrány v souladu s platnou legislativou, a to zejména s ohledem na potřebu plošného celorepublikového hodnocení kvality ovzduší. Optimalizace měřicí sítě vedla na jedné straně k omezení či zrušení měření v některých lokalitách a naopak k přesunu či vybudování 10 měřicích lokalit v místech, kde doposud souvislé sledování kvality ovzduší chybělo a kde je potřebné pro mapování a hodnocení kvality ovzduší na území ČR. Na pěti lokalitách pak došlo ke změně měřicího programu z manuálního na automatický, což přineslo kromě podrobnějších informací o kvalitě ovzduší rovněž zlepšení informovanosti obyvatel o aktuálním znečištění ovzduší. Inovace SSIM byla zahájena v polovině února a dokončena k 30. září 2015.

V rámci projektu bylo inovováno 98 automatizovaných měřicích stanic (např. Obr. 5 a 6). Na dalších 27 lokalitách byly samostatně osazeny nové vzorkovače pro odběry vzorků určených pro podrobnou laboratorní analýzu (Obr. 7). Bylo pořízeno i 14 automatických kolektorů srážek pro následnou chemickou analýzu srážkových vod. Celkem bylo obměněno téměř 500 zařízení. Do laboratoří kvality ovzduší byly pořízeny analytické přístroje, které zvýšily přesnost a spolehlivost laboratorních analýz. Za zmínku stojí např. laboratoř na stanovení koncentrací PAH (Obr. 8).

Obr. 5 Stanice AIM Churáňov (foto: P-ČHMÚ Plzeň)

Obr. 6 Stanice AIM Ústí n.L.-Kočkov (P-ČHMÚ Ústí n.L.)

Obr. 7 Stanice MIM Vyškov – vzorkovač
(foto: P-ČHMÚ Brno)

Obr. 8. Laboratoř na stanovení koncentrací PAH
(foto: P-ČHMÚ Ústí nad Labem)

Úspěšná realizace projektu umožnila ČHMÚ i nadále zachovat vysokou úroveň sledování a hodnocení kvality ovzduší v ČR a dále zpřesnit a rozvinout klíčové aktivity v této oblasti.

Po roce 2015, kdy došlo k zásadní inovaci rozvoje Státní sítě imisního monitoringu (SSIM), pokračovaly další realizace v obnově a v modernizaci sítě v následujících letech.

V rámci projektu „Dodávka techniky pro měřicí vozy kvality ovzduší“ byla obnovena měřicí technika vozů, nikoliv však samotné šasi těchto vozů. Mobilní stanice ČHMÚ využívají k měření měřicí kontejnery umístěné na speciálních vozidlech. Zakoupené měřicí kontejnery byly nainstalovány na vozy, jejichž životnost vypršela – bylo tak nutné tyto vozy obnovit. Kontejnery jsou vyráběné na míru; lze je umístit pouze na automobily konstrukčně upravené. Základem projektu „Nákup speciálních automobilů a instalace měřicích nástaveb ČHMÚ“ bylo pořízení šasi vozů a montáž měřicích nástaveb. Takto upravená vozidla jsou využívána hlavně v účelových kampaních pro různé typy měření a k souměření. Měřicí vůz, typ dodávka, s vybavením byl pořízen pro oblast Moravskoslezského kraje a potažmo celé Moravy, aby nemuselo docházet k zapůjčování z Prahy nebo Ústí nad Labem. Daný měřicí vůz je osazen analyzátory SO_2, NO_X, O_3, $PM_{2,5}$ a PM_{10}. Zakoupení vozu zlepšilo možnost realizace účelových měření v citlivých lokalitách.

Realizací projektu Systém imisního monitoringu – inovace a rozvoj (SIMIR 1-4), v rámci Operačního programu Životního prostředí (OPŽP), byla v letech 2017–2018 obnovena speciální měřicí technika ČHMÚ. Kalibrační laboratoř imisí (KLI) byla vybavena sadou analyzátorů SO_2, NO-NO_X, CO a O_3. Pro

vybrané pozaďové stanice a stanice EMEP v rámci celé ČR byly pořízeny sady citlivých analyzátorů SO_2 a NO-NO_X, protože na vybraných měřicích místech jsou koncentrace SO_2 a NO_X, zvláště v letních měsících, velmi nízké a při měření se blíží k hodnotám meze detekce. Dále byla síť rozšířena o analyzátory plynných částic a o čítač částic pro měření za pochybu včetně příslušenství.

V letech 2018–2019 byla v rámci projektu SIMIR 2 obnovena laboratorní technika pro stanovení organických látek. Centrální laboratoř imisí (CLI) tak byla vybavena plynovým chromatografem pro stanovení těkavých organických látek (VOC) s FID detekcí včetně termální desorpce, jež slouží ke stanovení prekurzorů přízemního ozonu. Pořízen byl analyzátor HR-ICP-MS a dále byla obnovena meteotechnika (SODAR) v rámci projektu SIMIR 3.

Na řadě míst v ČR je překračován imisní limit polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH). Protože je jejich stanovení jednou z podmínek identifikace zdrojů znečištění ovzduší, byl do pobočky ČHMÚ v Ústí nad Labem pořízen analyzátor GC-MS pro PAH – nahradil dosavadní zařízení pro měření benzo[a]pyrenu a dalších PAH na této pobočce. V rámci obnovy techniky pro zajištění kalibrací pro měření znečišťujících látek byla KLI vybavena infračerveným spektrometrem s Fourierovou transformací s příslušenstvím, který měří koncentrace CO a sumy celkových uhlovodíků v řádu nmol/mol.

Projektový záměr OPŽP SIMIR 3 v letech 2018–2019 umožnil obnovu speciální techniky pro měření znečišťování ovzduší v SSIM. Do CLI v Praze-Libuši byla umístěna automatická stanice pro ředění vzorků a standardů, která, ve spojení s ICP-MS, snižuje nejistotu akreditované metody pro analýzu tzv. těžkých kovů (TK) ve venkovním ovzduší. Využívá se také při analýzách TK ve srážkových vodách pro určení depozice a usnadňuje přípravu standardů. Umístění tandemového analyzátoru početní koncentrace částic SMPS + APS v lokalitě Praha-Libuš umožňuje online měření částic v ovzduší v rozsahu 5 nm až 10µm – data lze použít pro modelování procesů vzniku částic, které v atmosféře probíhají.

Došlo také k náhradě dosavadního zařízení pro měření množství organického a elementárního uhlíku v ovzduší z exponovaných filtrů a dále byla SSIM dovybavena novými vzorkovači pro rozšíření měření TK a PAH. Pořízený dron s dostatečnou nosností slouží jako nosič přístrojů pro měření kvality ovzduší. S jeho pomocí je tak možné měření vertikálních profilů koncentrací znečišťujících látek a velikostní rozložení suspendovaných částic. Využití vhodného letového režimu umožňuje mapovat rozložení koncentrací v horizontálních i vertikálních plochách. Čítačem částic za využití dronu je možné zjišťovat změny hmotnostních koncentrací suspendovaných částic, jakož i případné změny velikostního spektra částic s výškou a jejich rozložení ve vertikálních a horizontálních plochách. Tato měření, rozšířená do třetího rozměru, poskytují dosud neznámé informace o změnách koncentračních polí (prostorových a časových) za různých meteorologických podmínek. Použitím termokamery je umožněno distanční měření teploty v kouřových vlečkách zdrojů nebo ve vlečkách z chladicích věží. Je použitelná pro stacionární montáž v režimu dlouhodobého sledování, jakož i expediční měření a měření za pohybu, zejména v kombinaci s dronem; nachází rovněž využití v diagnostice měřicích přístrojů v CLI.

Cílem projektu Imisní monitoring – infrastruktura pro měření ultrajemných částic (IM – UFP) v letech 2018–2019 bylo vybudovat nezbytnou infrastrukturu pro budoucí měření aerosolových částic o velikosti do 1 µm včetně tří stanic pro měření těchto částic. Neznamenalo to jen zakoupení a postavení stanic, ale i vybudování systému pro metrologické návaznosti užívaných etalonů, měřidel a analyzátorů pro zajištění spolehlivosti naměřených výsledků. Částečně je tak možné zhodnotit stav znečištění venkovního ovzduší polutanty, které byly dříve na okraji zájmu. Pořízením kontejneru stanice

a příslušenstvím pro měření UFP se vytvořila zcela nová infrastruktura. Analyzátor PM – částicový spektrometr je nezbytný pro rozdělení a změření početní koncentrace aerosolových částic v ovzduší. Využívá různé elektrické pohyblivosti aerosolů závislé, mimo jiné, na jejich velikosti.

Směsný aerosol v ovzduší tak lze rozdělit a následně je možné stanovit početní koncentrace jednotlivých velikostních frakcí. Analyzátor PM – celkový počítač částic byl pořízen z důvodu průběžné kontroly celkové početní koncentrace aerosolových částic z částicového spektrometru. Zjišťuje celkové koncentrace aerosolových částic. Protože jsou stanice UFP zamýšleny také pro vyhodnocování vlivu na zdraví, je doporučováno měření parametru BC (black carbon). Pro stanovení koncentrace BC v ovzduší, v jeho hmotnostní frakci PM_1, byl pořízen analyzátor BC. Jsou tak doplněny informace početních koncentrací o celkovou hmotnostní koncentraci aerosolových částic. Pro zajištění správnosti měření v metrologické kontrole a správném navázání na standardy byla pořízena sada přístrojů pro kontrolu správné funkce.

Zajištění kvality měření bylo dříve prováděno pouze prostřednictvím CLI. V letech 2019–2020 došlo k obnově techniky sítě měření znečištění ovzduší. AIM na pobočkách bylo nutné vybavit tzv. kalibračními lavicemi – v případě problémů s analyzátory tak mohou pracovníci SSIM ihned provést jejich metrologické navázání. Jejich součástí jsou analyzátory SO_2, NO_2, CO a O_3 a ředící jednotky se zdroji referenčního plynu. Protože při obnově SSIM – ISIS nebyly pořizovány žádné náhradní přístroje a pro případ poruchy je potřeba mít k dispozici přístroje záložní, došlo k pořízení plynných analyzátorů SO_2, NO_2, CO a O_3, prachoměrů pro měření PM_{10}/$PM_{2,5}$, sekvenčních vzorkovačů PM_{10}/$PM2_{,5}$ a zařízení pro dálkové sledování stavu přístroje – je tak možné ihned zasáhnout a zajistit časovou výtěžnost měření, aby vzorkování proběhlo v domluveném termínu, protože speciální měření jsou, v podstatě vždy, realizována v časové tísni.

Dále došlo k pořízení vzorkovače benzenu – technické zhodnocení vzorkovačů benzenu snižuje nejistotu odběru, zvyšuje plynulost navazování odběrů vzorků, zlepšuje signalizaci odebíraného vzorku a zajišťuje možnost informování techniků SSIM o stavu vzorkovače. Pro odběr čisté mokré depozice byl pořízen pluviokolektor (wet-only collector) – automatické odběrové zařízení skříňového typu. V Plzni vznikla nová dopravní stanice. Základní podmínkou její instalace byl kontejner s příslušenstvím. Stanice je vybavena prachoměrem pro měření PM_{10}, $PM_{2,5}$, analyzátory NO_2 a CO a vzorkovačem pro odběr benzenu. Obyvatelstvo je tak informováno o znečištění ovzduší dopravními prostředky v reálném čase.

V letech 2019–2020 byla obnovena laboratorní technika pro měření znečištění ovzduší. Pro stanovení kationtů ve venkovním ovzduší – především ve frakci $PM_{2,5}$ aerosolových částic byl pořízen iontový chromatograf s vodivostním detektorem. Zajišťuje měření v SSIM ČR pro reporting do evropské databáze znečištění ovzduší i určování původu znečištění. Protože jsou v SSIM používány různé plastové součástky, jež se opotřebovávají a je třeba je obnovovat, byla pořízena 3D tiskárna pro výrobu těchto součástek, která slouží jako alternativa pořizování originálních náhradních dílů od výrobců, které se vyznačují vysokou cenou. Došlo k přechodu evidence vzorků z papírové na elektronickou verzi, čímž se předchází možnosti vzniku chyby, jakou byl často lidský faktor.

Obnovení techniky sítě a laboratorní techniky v roce 2020 znamenalo pořízení vzorkovacího zařízení pro dlouhodobé odběry vzorků těkavých organických látek (VOC), mezi které se řadí prekurzory ozonu, aldehydy, ketony, halogenované uhlovodíky, do speciálních nerezových kanystrů umožňující odběry těchto látek pro následnou analýzu GC/FID a GC/MS. Zvyšuje se tak vypovídající hodnota z měření VOC v optimálních časových intervalech a je umožněno využití naměřených dat z projektových měření.

Vzorkovací zařízení pro dlouhodobé odběry vzorků VOC na sorpčních trubicích umožňuje časování a regulaci průtoku podle potřeby – zvyšuje se tak vypovídající hodnota měření VOC a je umožněno využití dat pro srovnání s běžnými odběry a analýzami ostatních chemicko-analytických metod. Plynový chromatograf s hmotností detekcí s prekoncentrační jednotkou je zařízení pro měření VOC, které umožňuje stanovení lehkých i standartních sloučenin typu VOC a využívá tak naměřených dat, především v projektových měřeních znečištění ovzduší.

Pro testování účinnosti záchytu filtrů slouží zařízení Filter Test Ring, což je podmínka daná normou ČSN EN 12341 Kvalita ovzduší – Referenční gravimetrická metoda stanovení hmotnostní koncentrace frakcí aerosolových částic PM_{10} a $PM_{2,5}$. Pro speciální typ měření, ve kterých je účelem rozdělit aerosol před následnými chemicko-analytickými metodami podle velikosti, je využíván vzorkovače pro odběry vzorků z venkovního ovzduší s kaskádovým impaktorem. K online měření složení aerosolů slouží automatický analyzátor pro stanovení vybraných prvků ve frakcích PM_{10} a $PM_{2,5}$ ve venkovním ovzduší. Pracuje na principu energiově disperzního rentgenového fluorescenčního spektrometru a může pseudo – online vyhodnocovat navzorkovaný aerosol ohledně složení některých prvků. Určen je pro speciální měření SSIM a provozován zároveň s automatickými analyzátory PM. Na Observatoř Košetice byl pořízen sekvenční nízkoobjemový vzorkovač pro off-line odběr aerosolu frakce PM_1. Rozšířilo se tak stávající měření aerosolových částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} manuální metodou a výsledky měření umožňují detailněji studovat vliv lokálního znečištění a dálkového transportu na pozaďovou lokalitu.

Při obnově speciální meteotechniky byla pro Observatoř Tušimice pořízena specializovaná měřící technika pro měření vertikálních toků a depozičních rychlostí znečišťujících látek v blízkosti zemského povrchu (Eddy covariance measurement systém). Modelování vertikálního transportu znečišťujících látek a dalších skalárních veličin (např. zjevného a latentního tepla, hybnosti) zásadním způsobem ovlivňuje úspěšnost numerických předpovědních modelů a pokročilých modelů znečištění. Získaná data rovněž umožňují zlepšit modely fugitivních emisí a resuspenze prachových částic ze zemského povrchu. K monitorování časoprostorového rozložení koncentrace a spekter velikostí prachových částic slouží specializovaná měřicí technika – přenosný automatický skenovací aerosolový lidar. Umožňuje spojitě monitorovat prostorovou strukturu aerosolových vrstev ve spodní části atmosféry, koncentrace a rozložení velikostí částic v různých výškových hladinách. Poskytované informace jsou nezbytné pro analýzu příčin vzniku smogových situací a jejich predikcí, jakož i podrobnější modelování znečištění ovzduší pokročilejšími modely. Umožňuje použití v expedičních měřeních, monitorování zdrojů fugitivních emisí částic a detekci přeshraničního přenosu znečištění.

V projektu ACTRIS, do kterého je zapojena Observatoř Košetice, je využíván Dopplerovský lidar – přístroj na měření vertikálního profilu aerosolových částic v atmosféře a dalších nadstavbových parametrů, jako jsou koeficient extinkce (snížení hodnot dopadajícího slunečního záření přítomností aerosolových částic), výška mezní vrstvy atmosféry, teplotní profil atmosféry atd. Observatoř Košetice leží v hlavním leteckém koridoru, proto je nutný dopplerovský typ lidaru pracující na principu elastického rozptylu světla.

Veškerá obnovená a nově pořízená technika je v rámci Operačního programu Životního prostředí pravidelně a opakovaně posuzována a je rozhodováno o její další obnově, zachování s rozšiřování.

1.2.2 Zpracování a prezentace imisních dat

Koncentrace naměřené imisními monitorovacími stanicemi jsou ukládány do imisní databáze ISKO. V ISKO jsou archivovány údaje již od počátku měření, koncentrace oxidu siřičitého a suspendovaných částic ze staničních sítí ČHMÚ v severních Čechách, v Praze a v aglomeraci O/K/F-M již od roku 1969 a koncentrace ozonu v Hradci Králové již od roku 1957. ISKO spravuje také podrobné popisné údaje o lokalitách měření, měřicích programech a metodách, klasifikaci a kvalitě měření.

Verifikace imisních dat probíhá ve dvou krocích. Za první verifikaci odpovídají pracovníci pobočky (CLI) ČHMÚ – tj. správce měřicí sítě a pracovník pověřený kontrolou a verifikací. Jsou zodpovědní za měření, sběr, kontrolu i za následnou verifikaci dat. Druhá verifikace imisních dat je prováděna v odd. ISKO průběžně během probíhajícího roku s využitím databázové aplikace (Obr. 9).

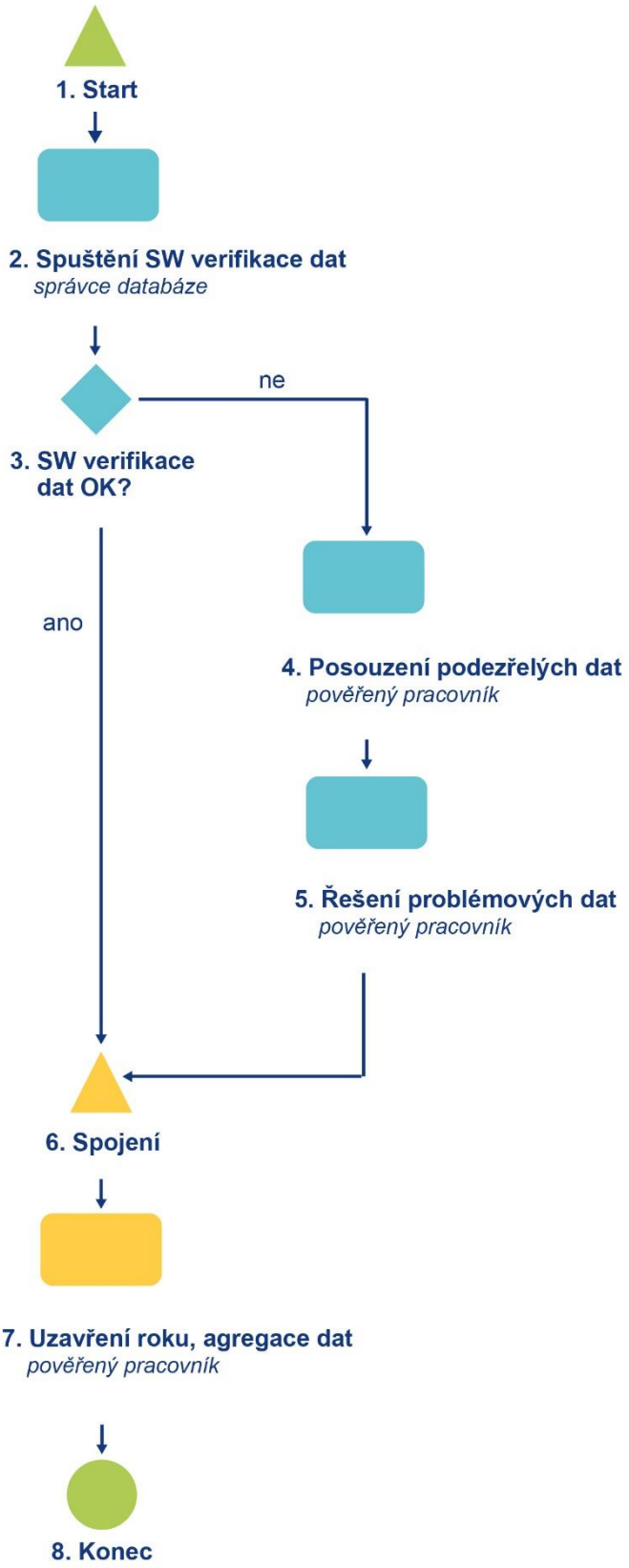
Automaticky po nahrání imisních dat je spouštěna softwarová verifikace, která vytvoří soubor "podezřelých dat". Data z tohoto souboru jsou posuzována na věrohodnost pověřeným pracovníkem. Pomocí dalších softwarových nástrojů (ISKO2) je prováděna kontrola všech nově nahraných dat do databáze ISKO.

Pracovník pověřený kontrolou dat na základě výsledků verifikace kontaktuje dodavatele a řeší s ním problémová data. Vyžádá si ověření podezřelých dat. V případě, že dodavatel posoudí data jako chybná, pošle opravená data správci dat ISKO, který je uloží do databáze.

Po ukončení ročního sběru provádí pracovník pověřený kontrolou správnosti dat i kontrolu věrohodnosti všech naměřených i vypočtených (agregovaných) imisních dat. Další informace ohledně verifikace imisních dat jsou uvedeny v Souhrnném tabelárním přehledu 2019 (ČHMÚ 2021b).

Výběr informací, tabulek, grafů a mapových prezentací je součástí tabelárních a grafických ročenek, dostupných na internetových stránkách ČHMÚ (http://www.chmi.cz), kde jsou k dispozici i další přehledy včetně grafických znázornění týkající se znečištění ovzduší.

V záložce Ovzduší jsou s malým časovým zpožděním rovněž prezentovány aktuální výsledky měření z automatizovaných stanic ČHMÚ a dalších organizací ve formě tabulek, tzv. indexu kvality ovzduší (IKO), grafů a odhadu plošného rozložení koncentrací PM_{10}, SO_2, NO_2 a O_3 včetně samotné mapy indexu kvality ovzduší. Tyto mapy také vstupují do nově zřízené mobilní aplikace ČHMÚ+ pro operační systémy Android a iOS. V současné době je k dispozici také aktuální přehled dat z polských a rakouských automatizovaných stanic, v případě polských stanic jsou data z provozních důvodů o 2 hodiny zpožděna.



Obr. 9 Schéma verifikace imisních dat v ISKO

1.3 Atmosférická depozice

Atmosférická depozice je tok látek z atmosféry k zemskému povrchu. Jedná se o významný proces přispívající k samočištění ovzduší, na druhé straně je však vstupem znečišťujících látek do jiných složek prostředí (hydrosféra, pedosféra, kryosféra, biosféra). Atmosférická depozice má složku mokrou a suchou. Složka mokrá je spojena s výskytem atmosférických srážek, a to jak vertikálních (déšť, sníh), tak i horizontálních (mlha, námraza). Složka suchá představuje depozici plynů a částic různými mechanismy a dochází při ní k přímému přestupu látek z ovzduší na vegetaci, zemský povrch či oceány. Na rozdíl od mokré depozice, která je jevem epizodickým vzhledem ke své závislosti na srážkách, probíhá suchá depozice pomaleji, avšak neustále (Braniš, Hůnová 2009).

Kvantifikace celkové atmosférické depozice je velmi důležitá pro studium jejích účinků na přírodní prostředí. Stanovení jednotlivých komponent se významně liší vzhledem k obtížnosti metody a spolehlivosti získaných výsledků. ČHMÚ se dlouhodobě věnuje zpřesňování depozičních toků s cílem dosáhnout výsledků blížících se co nejvíce depozici reálné (Hůnová et al. 2016). Jedním z dílčích cílů pak je i identifikace oblastí permanentně zatížených vysokou atmosférickou depozicí vybraných látek (Hůnová et al. 2019a).

1.3.1 Mokrá vertikální depozice

Relativně nejsnadněji měřitelná je mokrá vertikální depozice (Krupa 2002), která je spojena s vertikálními, tedy padajícími, srážkami (déšť, sníh). Pro odběr vzorků se používají tři metody. Metoda „wet-only“ je metodou odběru „čistých srážek“, kdy je odběrové zařízení exponováno pouze po dobu trvání srážek (Obr. 10). Pokud je odběrové zařízení exponováno stále a vzorek zahrnuje kromě vertikálních srážek i nedefinovanou část suché depozice, jedná se o metodu odběru „bulk“ (Obr. 11). Za nejlepší možný odhad celkové atmosférické depozice je pak považována metoda „throughfall“, tedy podkorunový odběr srážek (Obr. 12). Koruny stromů totiž velmi účinně „vyčesávají“ suchou depozici, která se pak spolu s mokrou složkou dostává do odběrových nádob (Braniš, Hůnová 2009). To platí ale pouze pro ty znečišťující látky, které nepodléhají významné výměně mezi atmosférou a ekosystémem, tedy např. pro síru, zatímco pro dusík nikoliv.

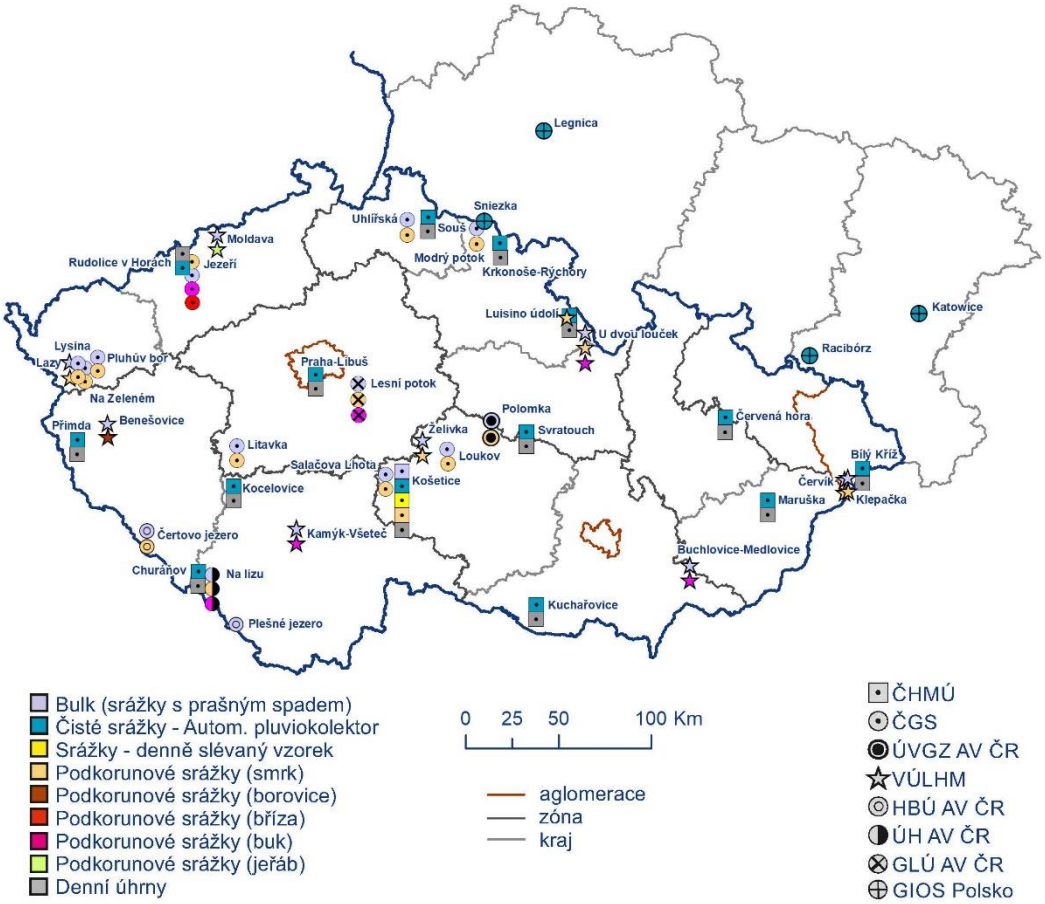
Obr. 10 Automatická „wet-only“ ,
stanice Praha-Libuš (foto: E. Svobodová)

Obr. 11 Odběr typu „bulk“,
stanice Praha-Libuš (foto: E. Svobodová)

Obr. 12 Odběr typu „throughfall“, povodí lesního potoka observatoře Košetice
(foto: J. Svobodová)

V ČR zajišťuje měření chemického složení atmosférických srážek, a tedy vertikální mokré depozice, Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Česká geologická služba (ČGS), Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM) a Akademie věd České republiky, konkrétně Hydrobiologický ústav (HBÚ AV ČR), Hydrobiologický ústav (ÚH AV ČR), Ústav výzkumu globální změny – CzechGlobe (ÚVGZ AV ČR) a Geologický ústav (GLÚ AV ČR). Stanice ČHMÚ měří čisté srážky („wet-only“) v týdenním intervalu. Výjimku tvoří Národní atmosférická observatoř Košetice, kde jsou odebírány i srážky typu „bulk“ a „throughfall“. Na lokalitách ostatních organizací se měří v měsíčních (popř. nepravidelných) intervalech koncentrace ve srážkách typu „bulk“ na volné ploše, popř. „throughfall“. Na všech stanicích (Obr. 13) jsou prováděny i analýzy těžkých kovů. Aktuální přehled stanic a typů odběrů jsou uvedeny v ČHMÚ (2021a).

Ke kontrole dat o kvalitě srážek se rutinně používá výpočet látkové bilance iontů, které provádí příslušná laboratoř analyzující odebraný vzorek srážek. Rozdíl sumy kationů a sumy anionů ve vzorku musí splňovat povolená kritéria, která se mírně liší u jednotlivých organizací. Dále se používá kontrola porovnáním vypočítané a naměřené vodivosti, jenž musí také splňovat povolená kritéria. Provádí se i kontrola analýzou slepých laboratorních vzorků a dále se průběžně sledují a vyhodnocují slepé terénní vzorky, které umožňují kontrolu práce při odběrech a kontrolu probíhajících změn vlivem transportu, manipulace, skladování a úpravy vzorků před vlastní chemickou analýzou.



Obr. 13 Staniční sítě sledování kvality atmosférických srážek a atmosférické depozice, 2020

1.3.2 Mokrá horizontální depozice

Horizontální složka mokré depozice je nejobtížněji kvantifikovatelnou složkou celkové atmosférické depozice (např. Krupa 2002; Klemm, Wrzesinsky 2007). Přímé odběry jsou velmi komplikované. Měří se tedy pouze výjimečně a reálná depozice bývá většinou vzhledem k této složce značně podhodnocena (Bridges et al. 2002; Hůnová et al. 2011).

1.3.3 Suchá depozice

Metoda pro přímé měření suché depozice není k dispozici, je tedy nutné ji odhadovat za použití různých, zpravidla poměrně komplikovaných, přístupů (Wesely, Hicks 2000; Kumar et al. 2008). V ČHMÚ se používá pro odhad suché depozice tzv. inferenční metody, kdy suchá depozice příslušné látky je spočtena jako součin její průměrné imisní koncentrace a relevantní depoziční rychlosti (Wesely, Hicks 2000). Zatímco imisní koncentrace látky jsou údajem poměrně spolehlivým, depoziční rychlost závisí na celé řadě faktorů (environmentálních i meteorologických) a je zatížena značnými nejistotami (Braniš, Hůnová 2009).

1.4 Emise skleníkových plynů

1.4.1 Sběr dat

Skleníkové plyny (tj. plyny, které přispívají ke skleníkovému efektu) byly vždy přítomny v atmosféře, ale v nedávné historii se koncentrace řady z nich v důsledku lidské činnosti zvyšují. V průběhu minulého století se v důsledku lidské činnosti zvýšily atmosférické koncentrace oxidu uhličitého (CO_2), metanu (CH_4), oxidu dusného (N_2O) a halogenovaných uhlovodíků, tj. skleníkových plynů. Skleníkové plyny zabraňují vyzařování tepla zpět do vesmíru a způsobují oteplování klimatu. Podle páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC 2014) se koncentrace CO_2 v atmosféře zvýšily o 40 %, a to především z emisí ze spalování fosilních paliv a sekundárně z emisí ze změny využívání půdy. Koncentrace CH_4 vzrostly o 150 % a koncentrace N_2O vzrostly o 20 % ve srovnání s dobou před industrializací. Přízemní ozon rovněž přispívá ke skleníkovému efektu. Množství ozonu vytvářeného ve spodní atmosféře se v důsledku emisí oxidů dusíku, uhlovodíků a oxidu uhelnatého zvýšilo.

Relativně nové, člověkem produkované skleníkové plyny, které vstupují do atmosféry, způsobují další zesílení skleníkového efektu. Patří sem zejména řada látek obsahujících fluor (F-plyny), mezi nimi HFC (fluorovodíky). HFC se používají místo CFC (freony) poškozujících ozonovou vrstvu v chladničkách a dalších aplikacích a jejich emise se rychle zvyšují. Ve srovnání s oxidem uhličitým se všechny ostatní skleníkové plyny vyskytují v nízkých (CH_4, N_2O) nebo velmi nízkých koncentracích (F-plyny). Na druhé straně jsou tyto látky účinnější (na molekulu) jako skleníkové plyny než oxid uhličitý, který je hlavním skleníkovým plynem.

V důsledku vědeckých poznatků, že lidské aktivity ovlivňují klima, a v návaznosti na zvyšující se povědomí veřejnosti o regionálních a globálních otázkách životního prostředí, se v polovině 80. let změna klimatu stala součástí politické agendy. Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) byl zřízen v roce 1988 a o dva roky později dospěl k závěru, že antropogenní změna klimatu je globální hrozbou, jež vyžaduje mezinárodní dohodu, která by se tímto problémem zabývala. OSN zahájila jednání o vytvoření Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (UNFCCC), která vstoupila v platnost roku 1994. Dlouhodobým cílem bylo stabilizovat množství skleníkových plynů v atmosféře na takové úrovni, která zamezí pro planetu a lidstvo škodlivým změnám klimatu. Zásadní přílohou úmluvy je příloha I, která specifikuje státy, které mají povinnost každoročně vykazovat inventarizaci emisí a propadů skleníkových plynů. Základním cílem úmluvy bylo vytvořit předpoklady pro včasnou stabilizaci globálních koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na takové úrovni, která by zabránila nebezpečné interferenci antropogenních vlivů s klimatickým systémem Země. Členské státy úmluvy se každoročně scházejí na konferencích smluvních stran a kontrolují dosavadní postup, případně schvalují strategie k dosažení stanovených, eventuálně budoucích cílů.

Nejdůležitější dodatek k Úmluvě byl sjednán v roce 1997 v Kjótu v Japonsku. Kjótský protokol (KP) rozvinutým státům uložil, aby v průběhu prvního kontrolního období (2008–2012) snížily jednotlivě nebo společně emise skleníkových plynů v celkovém objemu nejméně o 5 % v porovnání se stavem v roce 1990. Redukce se týkaly emisí a propadů oxidu uhličitého (CO_2), metanu (CH_4), oxidu dusného (N_2O), částečně (HFC) a zcela fluorovaných uhlovodíků (PFC) a fluoridu sírového (SF_6), vyjádřených ve formě agregovaných emisí CO_2. V případě ČR se jednalo o závazek snížit celkové emise skleníkových plynů o 8 % vůči referenčnímu roku 1990 (pro HFC, PFC, SF_6 a NF_3 je jako referenční stanoven rok 1995). Během druhého kontrolního období KP se EU a její členské státy zavázaly ke snížení úrovně emisí skleníkových plynů o 20 % vůči základnímu roku.

V prosinci 2012 byl na 18. konferenci smluvních stran (COP-18) v Doha (Katar) schválen dodatek, jímž bylo potvrzeno pokračování KP a jeho druhé kontrolní období, které bylo stanoveno na osm let (2013–2020). V rámci druhého kontrolního období se část zemí zavázala přijmout nové redukční závazky, které by měly přispět ke snížení emisí skleníkových plynů o nejméně 18 % pod úroveň roku 1990. Pro ČR byl stanoven závazek snížení emisí o 20 %, EU bude svůj závazek vůči Úmluvě či KP plnit v rámci společenství.

V rámci 21. konference smluvních stran v roce 2015 v Paříži byla přijata Pařížská dohoda. Upravuje základní zásady opatření na ochranu klimatu, které by měly být uplatňovány po roce 2020, kdy se předpokládá její vstup v platnost. V současné době stále probíhají vyjednávání konkrétních prvků požadavků vykazování emisí a propadů skleníkových plynů dle pravidel Pařížské dohody. 19. konference smluvních stran se dohodla na rozhodnutí 24 / CP.19 „Revize pokynů UNFCCC pro podávání zpráv o ročních soupisech pro strany uvedené v příloze I úmluvy“, které stanovuje požadavky na podávání zpráv. Národní inventarizační zpráva se pokouší sledovat tuto metodickou příručku.

Jakožto jedna ze stran Rámcové Úmluvy OSN o změně klimatu má ČR povinnost připravovat a pravidelně aktualizovat národní inventarizace vykazování emisí a propadů skleníkových plynů. Kromě toho z členství v Evropské unii plynou pro ČR další požadavky, např. plnění povinností specifikovaných v článku 7 Nařízení EU č. 525/2013.

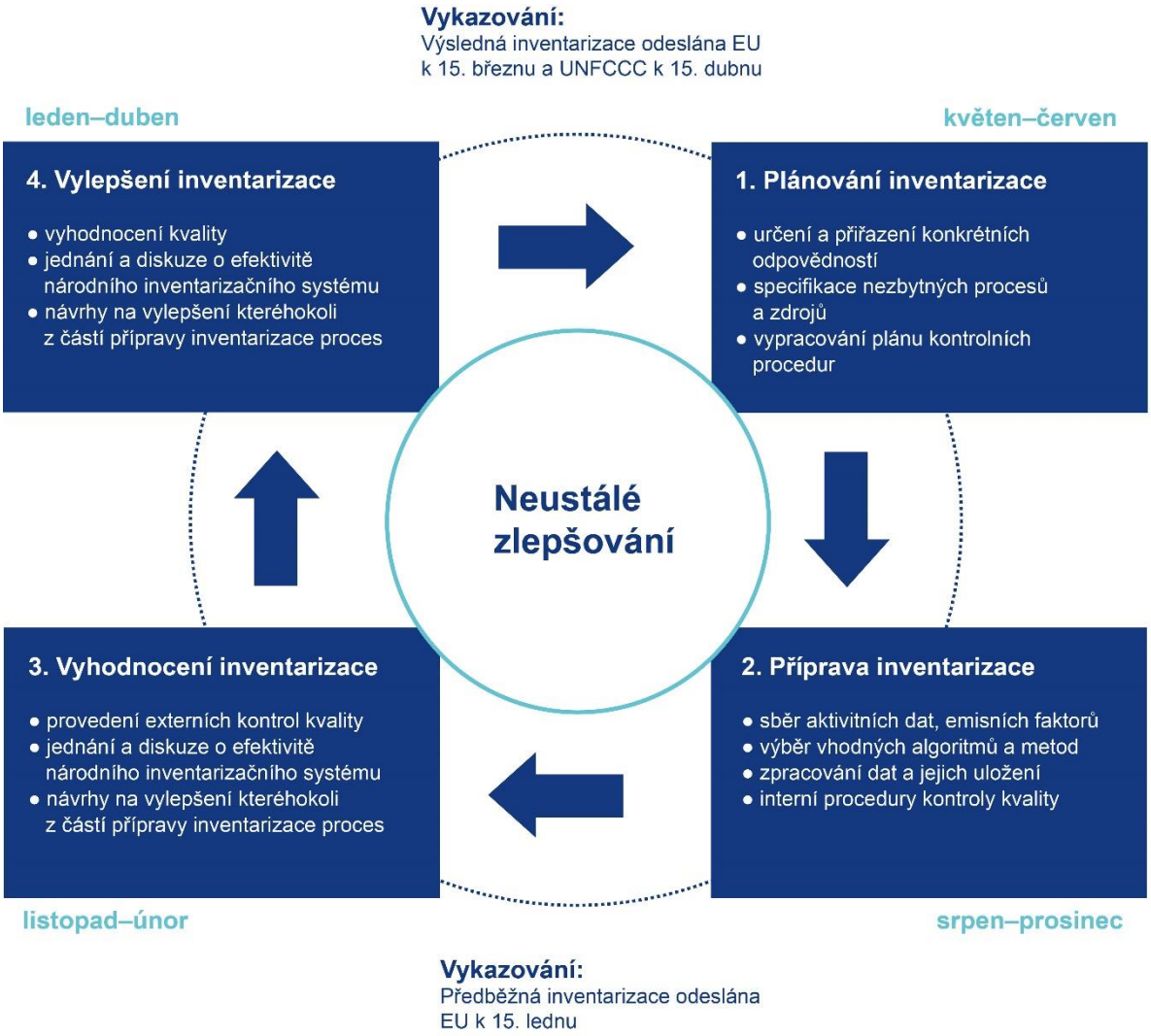
EU, v návaznosti na mezinárodní požadavky, vytvořila vlastní systém emisního obchodování. V ČR v současnosti fungují dva navzájem propojené systémy – Evropský systém emisního obchodování a flexibilní mechanismy KP: Mechanismus čistého rozvoje, Projekty společné realizace a Mezinárodní emisní obchodování. Ukončení platnosti flexibilních mechanismů KP stanovuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 525/2013. Pro ČHMÚ, jako zpracovatele inventarizace emisí a propadů skleníkových plynů je zásadní oboustranná interakce národní inventarizace a systému EU ETS. Národní inventarizace poskytuje podkladové údaje pro výpočet emisí z vybraných procesů. Naopak při zpracování národní inventarizace jsou např. využívány exaktně změřené emisní faktory v EU ETS nebo data o zdrojích emisí konkrétních znečišťovatelů.

Sběr údajů o činnostech, ze kterých vznikají emise skleníkových plynů, je obecně založen na oficiálních údajích Českého statistického úřadu (ČSÚ), které jsou každoročně publikovány, přičemž nejreprezentativnějším příkladem je Česká statistická ročenka. Česká statistická ročenka je publikována obvykle koncem listopadu, některé údaje jsou ale k dispozici později. Dále jsou využívána data z obchodování s emisními povolenkami, data specifických průmyslových svazů nebo data Českého úřadu katastrálního a zeměměřičského.

V případě průmyslových procesů nejsou ve statistice údaje o produkci obecně k dispozici, pokud jsou v celé zemi méně než 4 podniky. V takových případech provádějí experti inventarizace konkrétní detailní šetření v dané oblasti.

Lhůta pro sběr všech dat je 15. listopadu. V některých případech však ČSÚ provádí opravy dat, které jsou uvedeny později. V takových případech není možné zahrnout opravené údaje do výstupu pro EU, který je předložen do 15. ledna a musí být považován za předběžný výstup české národní inventarizace skleníkových plynů. Prakticky všechny opravené údaje jsou však zahrnuty do konečného předložení pro UNFCCC do 15. dubna (což je znovu předloženo EU).

Všechny údaje, a to jak tzv. aktivitní data, tak i výsledné výpočty procházejí detailní kontrolou kvality, která má své místo kdekoli v průběhu zpracování inventarizace. Nastavení kontrolních procedur a interních auditů je také předmětem mezinárodních inspekcí a v případě, že by tyto procedury byly shledány jako nedostatečné, je takový inventarizační systém označen jako nefunkční a danému státu může být až pozastaven celý proces obchodování s emisními povolenkami, což má zásadní dopad na ekonomiku. Schéma přípravy inventarizace je uvedeno na Obr. 14.



Obr. 14 Schéma přípravy inventarizace

1.4.2 Zpracování a prezentace dat

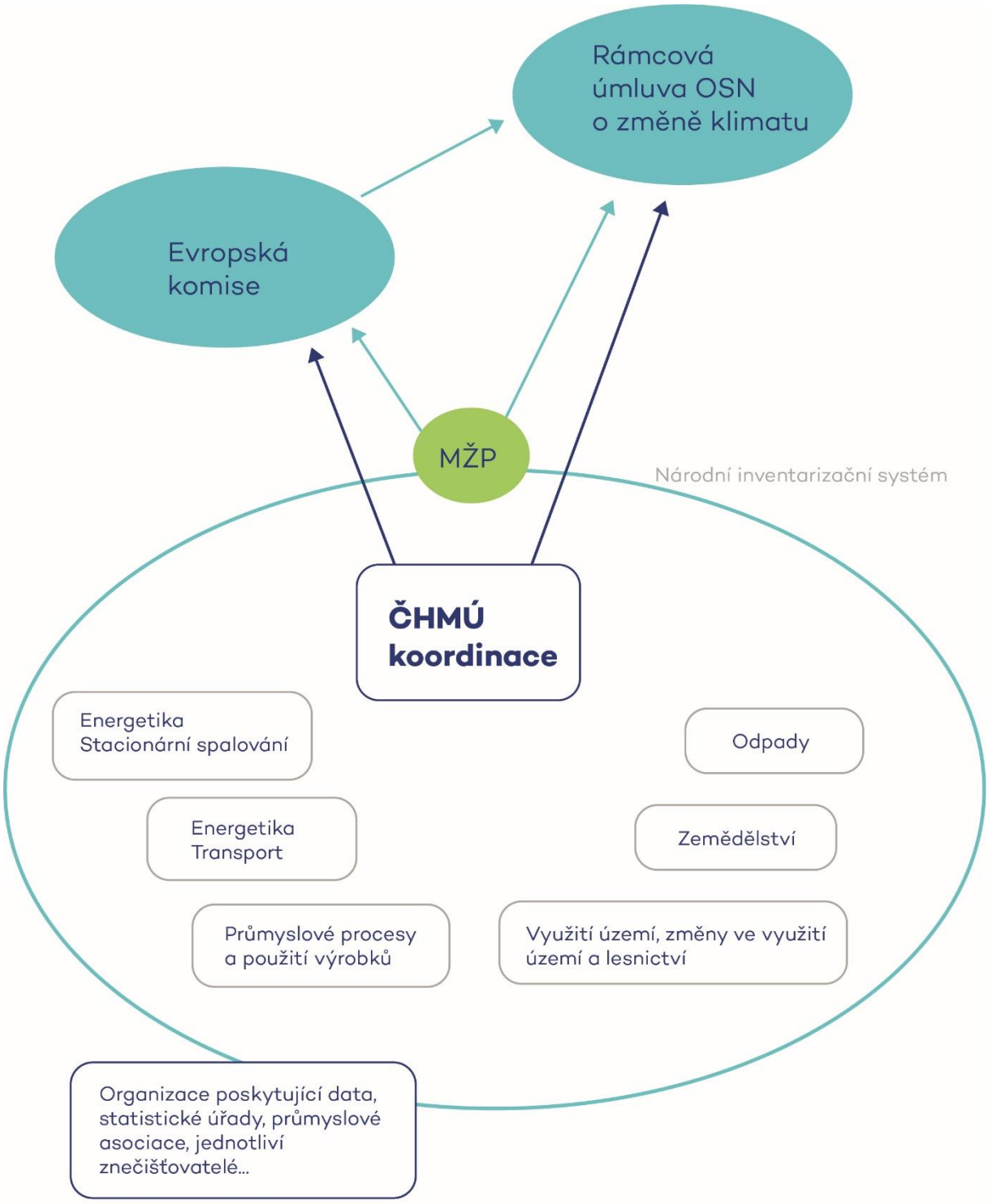
Národní inventarizační zpráva společně s oficiálními tabulkami pro reporting (CRF – Common Reporting Format) a všemi požadovanými dodatky jsou každoročně odesílány k 15. březnu Evropské komisi a k 15. dubnu sekretariátu Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Zodpovědnost za správné fungování národního inventarizačního systému (NIS) nese v ČR MŽP, které pověřilo ČHMÚ jako organizaci zajišťující koordinaci přípravy inventarizace a požadovaných datových i textových výstupů, které jsou uveřejňovány na portálu Úmluvy (https://unfccc.int) stejně jako výstupy všech ostatních členských států. Hlavní úkoly ČHMÚ spočívají v řízení inventarizace, obecných a průřezových otázkách, kontrolních procedurách (QA / QC), komunikaci s příslušnými orgány UNFCCC a orgány EU atd. Oficiální součástí národního inventarizačního systému je dlouhodobě řada odborných institucí, které jsou zodpovědné za zpracování inventarizace v některých oblastech, ze kterých emise skleníkových plynů vznikají. I fungování národního inventarizačního systému podléhá detailním kontrolám ze strany UNFCCC a sektoroví experti a jejich odborná práce jsou podrobováni mezinárodním inspekcím. Výsledná oficiální inventarizace je pak připravována ČHMÚ a schválena MŽP a dalšími vládními orgány. Na Obr. 15 vidíme schéma fungování národního inventarizačního systému v ČR.

Jedním ze základních požadavků Úmluvy, KP i případných dalších dodatků je včasné, přesné, transparentní, konzistentní a mezinárodně porovnatelné systematické sledování emisí skleníkových plynů. Jedná se o platné principy tzv. TACCC – transparency, accuracy, completeness, comparability, consistency.

Inventarizace zahrnuje nejen antropogenní emise přímých skleníkových plynů CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC, SF_6, NF_3, ale i nepřímých skleníkových plynů NOX, CO, NMVOC a SO_2. Nepřímý znamená, že nepřispívají přímo ke skleníkovému efektu, ale že jejich přítomnost v atmosféře může ovlivnit klima různými způsoby. Jak je uvedeno výše, ozon (O_3) je také skleníkový plyn, který je vytvářen chemickými reakcemi jeho prekurzorů (oxidy dusíku, uhlovodíky anebo oxid uhelnatý).

Inventarizace emisí a propadů skleníkových plynů je připravována v souladu s metodickými pokyny Mezivládního panelu pro změnu klimatu, IPCC 2006 Guidelines. Zároveň je kladen velký důraz na zpřesňování těchto mezinárodně platných metodik, a to s ohledem na co největší zohlednění národních a regionálních podmínek. V případě, že dojde ke zpřesnění metodických postupů, vyvstává v řadě případů potřeba přepočítat vykázané emise v celé časové řadě. Tím se udržuje konzistentní přístup k vykazování emisí.

Data ze všech sektorů jsou pak zpracována dle požadavků UNFCCC do oficiálních tabulek pro reporting a do reportingové zprávy. Každá kapitola musí obsahovat popis činností, ze kterých vznikají emise skleníkových plynů, detailní popis metodických postupů, výsledků, eventuálních přepočtů a v neposlední řadě také informace o provedených kontrolních procedurách a možných nejistotách emisních odhadů. To vše musí být zpracováno do největšího detailu a je každoročně kontrolováno jak orgány UNFCCC, tak EU. V případě, že je nalezen zásadní problém, je třeba ho okamžitě opravit a celou inventarizaci odreportovat znovu.



Obr. 15 Schéma fungování národního inventarizačního systému v ČR

2 Hodnocení

V rámci této kapitoly jsou definovány nástroje, které se používají pro hodnocení kvality ovzduší. Jedná se o meteorologické a rozptylové podmínky, které ovlivňují značnou měrou jak emise, tak i imisní koncentrace. Dále je zde uvedena metodika tvorby plošných map, které prezentují plošné vyjádření odhadu koncentrací.

2.1 Meteorologické a rozptylové podmínky

Kromě vlastních zdrojů znečišťování ovzduší výrazně ovlivňují kvalitu ovzduší meteorologické podmínky. Umožňují rozptyl znečišťujících látek v ovzduší, mají vliv na množství emisí z antropogenních i přírodních zdrojů, ovlivňují tvorbu sekundárních znečišťujících látek i rychlost jejich odstraňování z ovzduší.

2.1.1 Rozptylové podmínky

Rozptylové podmínky jsou určeny především stabilitou mezní vrstvy atmosféry a rychlostí proudění v této vrstvě. Čím větší je stabilita mezní vrstvy, tím méně dochází k vertikálnímu promíchávání vzduchu. Stabilita přitom závisí na průběhu teploty s výškou. Při nejstabilnějších situacích teplota vzduchu s výškou roste (inverzní zvrstvení) a podmínky pro vertikální promíchávání jsou nejméně příznivé. V důsledku toho dochází k hromadění znečišťujících látek v atmosféře, a následně tedy ke zvýšení jejich koncentrací. Při nestabilním zvrstvení klesá teplota s výškou rychleji, než by odpovídalo běžným podmínkám v atmosféře. Projevuje se pak uspořádaná termická konvekce a termická turbulence (Bednář 2008). Rychlost a směr větru ovlivňuje horizontální rozptyl emisí, což vede k jejich rychlejšímu naředění. Tím se koncentrace znečisťujících látek snižují a ovzduší se rychle vyčistí. Kromě toho vede silnější vítr k rozvoji mechanické turbulence, a přispívá tak k vertikálnímu promíchávání.

Jedna z možností, jak číselně vyjádřit rozptylové podmínky, je tzv. ventilační index (VI), který je definován jako součin výšky směšovací vrstvy a průměrné rychlosti větru v ní. Takto vyjádřený ventilační index nabývá v podmínkách ČR zpravidla hodnot od stovek do desetitisíců $m^2 \cdot s^{-1}$, přičemž hodnoty nad 3 000 $m^2 \cdot s^{-1}$ označujeme jako dobré rozptylové podmínky, hodnoty mezi 1 100 a 3 000 $m^2 \cdot s^{-1}$ jako mírně nepříznivé a pod 1 100 $m^2 \cdot s^{-1}$ jako nepříznivé. Situace s nepříznivými rozptylovými podmínkami neznamená nutně výskyt vysokých koncentrací znečišťujících látek. Důležitá je délka trvání situace, výchozí úroveň znečištění, rozložení zdrojů a jejich emisí do vrstvy pod inverzí. Naopak k výraznému a plošně rozsáhlému překračování imisních limitů dochází téměř výhradně za mírně nepříznivých a nepříznivých rozptylových podmínek. Četnost výskytu různých typů rozptylových podmínek je významně závislá na denní době a části roku.

2.1.2 Vliv meteorologických podmínek na emise

Meteorologické podmínky mají největší vliv na antropogenní emise z vytápění. Emise z vytápění jsou stanovovány na základě počtu topných dnů a teplot, které se během nich vyskytly. Dálkové zásobování teplem je upraveno vyhláškou č. 194/2007 Sb.[3] Domácnosti s vlastním spalovacím zařízením se chovají poněkud odlišně od centrálních dodavatelů tepla. Proto se pro účely této ročenky na rozdíl od vyhlášky považují za topné ty dny, v nichž průměrná denní teplota v daném místě klesla pod 13 °C. Teplotní poměry v topné sezoně (leden–květen, září–prosinec) nebo její části jsou charakterizovány pomocí tzv. denostupňů, tedy součtu rozdílů referenční vnitřní teploty a průměrné denní venkovní teploty v topných dnech:

$$D_{t_{ref}} = \sum_{\substack{otopné \\ dny}} (t_{ref} - t_d)$$

kde D_{tref} jsou denostupně, t_{ref} referenční teplota vnitřního vzduchu (21 °C) a t_d je průměrná denní teplota v jednotlivých topných dnech.

Nízké teploty mohou navyšovat spalovací emise z motorových vozidel, obzvláště při studených startech (ATEM 2012; Chan et al. 2013; Vojtíšek 2013). Na teplotě jsou závislé také emise těkavých organických látek (VOC) z rozpouštědel a skladování a distribuce benzinu. Teplota a fotosynteticky aktivní složka slunečního záření mají vliv na biogenní emise nemetanických těkavých organických látek (např. isoprenu a terpenů), které slouží jako prekurzor sekundárních organických aerosolů i přízemního ozonu. Významné jsou přitom hlavně emise z lesních porostů (např. Bednář et al. 2013; Zemánková et al. 2010). Vítr s rychlostí přibližně nad 4 $m \cdot s^{-1}$ může způsobovat resuspenzi, tedy zvíření a opětovný vznos již sedimentovaných částic zpět do ovzduší. Meteorologické podmínky ovlivňují také míru a rychlost vytěkávání perzistentních organických látek z půdy, kam se dostaly zejména v důsledku zemědělské činnosti.

2.1.3 Vliv meteorologických podmínek na tvorbu sekundárních polutantů a chemismus atmosféry

Meteorologické podmínky, a to zejména teplota, relativní vlhkost vzduchu a sluneční záření, přímo ovlivňují chemické a fyzikální procesy probíhající mezi znečišťujícími látkami v ovzduší (např. Baek et al. 2004). Vliv meteorologických podmínek může být i nepřímý, např. v důsledku intenzivního promíchávání dochází k naředění emitovaných látek, a tedy i ke snížení rychlosti reakcí. Pro průběh fotochemických reakcí je rozhodující sluneční záření. V letním období vysoké teploty a zejména intenzivní sluneční záření přispívají k vysokým koncentracím přízemního ozonu (Blažek et al. 2013).

[3] Podle vyhlášky č. 194/2007 Sb. se dodávka tepla zahájí v topném období (tj. období od 1. září do 31. května), klesne-li průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě pod +13 °C ve dvou po sobě následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C v následujícím dni. Vytápění se v topném období omezí nebo přeruší tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad +13 °C ve dvou po sobě následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod +13 °C se vytápění obnoví.

2.2 Tvorba map znečištění ovzduší a atmosférické depozice

2.2.1 Mapy znečištění ovzduší

Směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu, která je promítnuta do české legislativy (mj. ve vyhlášce č. 330/2012 Sb.), vyžaduje, aby kvalita ovzduší byla hodnocena ve všech zónách a aglomeracích každého členského státu. Dále vyžaduje, aby primárním zdrojem hodnocení byly výsledky stacionárních měření. Naměřené koncentrace mohou být při tvorbě map znečišťujících látek doplněny modelováním a indikativním měřením, aby výsledný odhad poskytoval dostatečné informace o prostorovém rozložení koncentrací znečišťujících látek v ovzduší. Požadavek, aby stacionární měření byla použita jako primární zdroj informací, se vztahuje zejména na oblasti, v nichž koncentrace znečišťujících látek překračují horní mez pro posuzování. Z důvodu jednotnosti metodiky tvorby map je tento požadavek aplikován pro celé území ČR.

Základním zdrojem dat pro tvorbu map znečištění ovzduší jsou tedy koncentrace znečišťujících látek naměřené na jednotlivých měřicích stanicích. Měřicích stanic je jen omezený počet. Kromě měřených (primárních) dat jsou proto pro potřeby mapování využita i různá doplňková (sekundární) data, která poskytují komplexní informaci o celém území a zároveň vykazují regresní závislost s měřenými imisními daty. Hlavním sekundárním zdrojem informací jsou modely transportu a rozptylu znečišťujících látek, které jsou založeny na datech z emisních inventur a na meteorologických datech. V ČR je využíván zejména Eulerovský chemický disperzní model CAMx, doplňkově též Gaussovský model SYMOS a evropský Eulerovský model EMEP, případně další rozptylové modely. Dále to jsou v případě jednotlivých znečišťujících látek např. nadmořská výška či populační hustota. Podrobnosti jsou uvedeny v Příloze I grafické ročenky (ČHMÚ 2021a). Při kombinaci primárních a sekundárních dat je využito jak přesnosti primárních měřených dat, tak komplexního pokrytí celého území daty sekundárními. Při pravidelné tvorbě map pro ročenku je používán lineární regresní model s následnou interpolací jeho reziduí. Jakožto interpolační metody jsou používány kriging a IDW (podrobnosti jsou uvedeny v Příloze I grafické ročenky, ČHMÚ 2021a).

Městské a venkovské znečištění má odlišný charakter, městské znečištění je vlivem emisí obecně vyšší než znečištění venkovské. Výjimkou je znečištění přízemním ozonem, u kterého je tomu naopak. Městské a venkovské mapy jsou proto tvořeny samostatně, výsledná mapa vzniká sloučením městské a venkovské mapové vrstvy pomocí gridu populační hustoty. V případě některých znečišťujících látek (PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2, NO_X) je kromě městské a venkovské mapové vrstvy uvažována ještě mapová vrstva dopravní. Tato vrstva je sloučena s městskou a venkovskou pozaďovou vrstvou pomocí gridu emisí z dopravy. Pro konstrukci venkovské mapové vrstvy jsou jako primární data používána měřená imisní data z pozaďových venkovských stanic. V případě městské mapové vrstvy to jsou imisní data z městských a předměstských pozaďových stanic. U případné dopravní mapové vrstvy to jsou data z dopravních stanic. Využíváno je přitom klasifikace jednotlivých stanic podle databáze ISKO.

Mapy jsou vytvářeny v prostředí geografických informačních systémů (GIS). Jako zdroj dat je využívána zejména relační databáze naměřených imisí a chemického složení atmosférických srážek ISKO. Mapy jsou konstruovány v prostorovém rozlišení 1 x 1 km, v projekci zobrazení WGS 1984 UTM Zone 33N. Detailní specifikace mapování pro jednotlivé znečišťující látky je uvedena v Příloze I grafické ročenky (ČHMÚ 2021a).

Jako podklady pro základní geografické a tematické vrstvy ve standardizované projekci (zobrazení WGS 1984 UTM Zone 33N) jsou od roku 1994 používány digitální vrstvy DMÚ 200, DMR-2, DMÚ25 a později ZABAGED. Pro aktuální vrstvy administrativního členění jsou využívány podklady poskytnuté ČSÚ.

2.2.1.1 Tvorba venkovské a městské (resp. dopravní) mapové vrstvy

Mapy venkovského a městského pozaďového znečištění (a případně dopravního znečištění) jsou připravovány zvlášť, jsou konstruovány pomocí kombinace primárních (měřených) a sekundárních (modelových a dalších doplňkových) dat (Horálek et al. 2007). Používanou metodikou je lineární regresní model s prostorovou interpolací jeho reziduí. Tato metodika umožňuje použití doplňkových dat pro celé mapované území. V případě, že neexistují vhodná doplňková data, použije se prostá interpolace měřených dat. Odhad je počítán pomocí vztahu:

$$\hat{Z}(s_0) = c + a_1.X_1(s_0) + a_2.X_2(s_0) + ... + a_p.X_p(s_0) + \eta(s_0), \quad (1)$$

kde $\hat{Z}(s_0)$ je odhadnutá hodnota koncentrace v bodě s_0,
$X_i(s)$ jsou různé doplňkové parametry v bodě s_0 pro i = 1, 2, …p,
c, a_1, a_2,… jsou parametry lineárního regresního modelu,
$\eta(s_0)$ je prostorová interpolace reziduí lineárního regresního modelu v bodě s_0 spočtená na základě reziduí v bodech měření.

Interpolace je prováděna buď pomocí metody vážení převrácenou hodnotou vzdálenosti (IDW), nebo pomocí obyčejného krigingu (specifikace pro jednotlivé znečišťující látky uvedena v Příloze I grafické ročenky, ČHMÚ 2021a). Metoda IDW je jednoduchá deterministická metoda, kdy váha jednotlivých měřicích stanic v interpolaci závisí jen na jejich vzdálenosti od odhadovaného bodu. Kriging je oproti tomu pokročilejší geostatistická metoda, která zohledňuje strukturu imisního pole. Výhodou metody IDW ovšem je, že tato interpolace respektuje naměřené hodnoty v bodech měřicích stanic. Kriging naměřené hodnoty obecně nerespektuje. Používaným řešením je interpolace pomocí krigingu, přičemž na jeho rezidua v místech měření je ještě aplikována IDW.

Interpolace reziduí pomocí IDW je počítána pomocí vztahu:

$$\hat{R}(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{R(s_i)}{d_{0i}}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_{0i}\beta}}, \quad (2)$$

kde $\hat{R}(s_0)$ je odhad pole reziduí v bodě s_0,
$R(s_i)$ je reziduum lineárního regresního modelu v místě měření s_i,
N je počet okolních stanic použitých při interpolaci,
d_{0i} je vzdálenost mezi body s_0 a s_i,
β je váha.

V případě obyčejného krigingu je interpolace reziduí počítána pomocí vztahu:

$$\hat{R}(s_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i R(s_i), \qquad (3)$$

kde λ 1, …, λ N jsou váhy odvozené pomocí teorie prostorové statistiky (viz Cressie 1993) ze soustavy N+1 rovnic pro neznámé λ i a m:

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j \cdot \gamma(d_{ij}) + \gamma(d_{0i}) - m = 0 \quad \text{pro i} = 1, \ldots \text{N}$$
$$\sum_{i=1}^{N} \lambda_i = 1 \qquad (4)$$

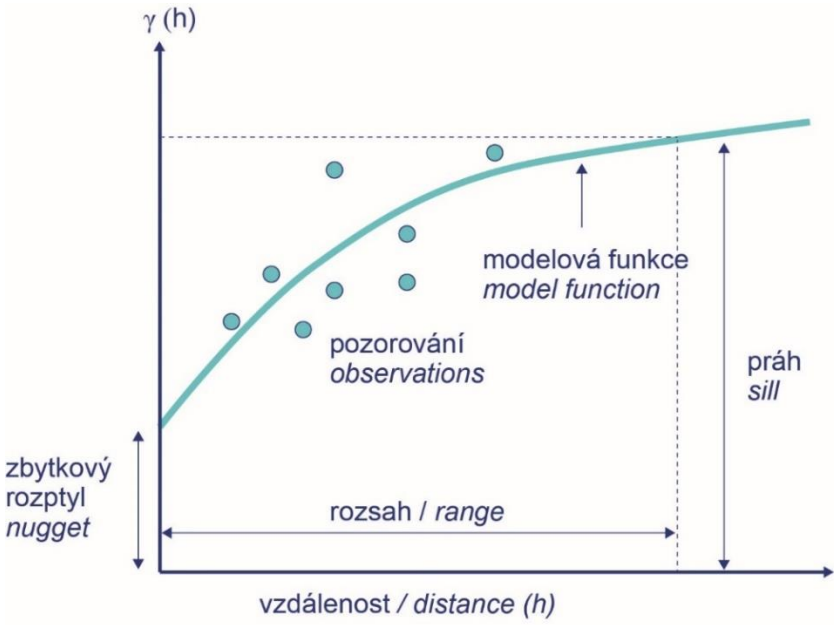
kde $\gamma(d_{ij})$ je hodnota odhadnutého variogramu (viz níže) pro vzdálenost d_{ij}
d_{ij} je vzdálenost mezi místy s_i a s_j,
m je tzv. Lagrangeův multiplikátor umožňující, aby suma vah λ_i byla rovna jedné.

Variogram je mírou prostorové korelace a vyjadřuje závislost mezibodové variability na vzájemné vzdálenosti bodů, je mírou prostorové korelace (např. Cressie 1993). Odhadnutý variogram vzniká proložením sférické křivky empirickým variogramem (shlukem bodů) pole reziduí, který je počítán pomocí vztahu:

$$2\gamma_v(h) = \frac{1}{n} \sum_{i,j;d_{ij}=h\pm\delta} \left(R(s_i) - R(s_j)\right)^2 \qquad (5)$$

kde n je počet dvojic stanic s_i a s_j, jejichž vzájemná vzdálenost je $h \pm \delta$
δ je tolerance.

Sférická křivka a parametry variogramu range, nugget a sill jsou ilustrovány na Obr. 16.



Obr. 16 Diagram znázorňující parametry variogramu a proloženou sférickou křivku

Spočtené městské a venkovské (a případně dopravní) mapové vrstvy jsou následně sloučeny.

Sloučení městské a venkovské (a případně dopravní) mapové vrstvy

Pro sloučení městské a venkovské vrstvy je využívána vrstva populační hustoty (Horálek et al. 2007; De Smet et al. 2011). Sloučení se provádí pomocí vztahu

$$\begin{aligned} \hat{Z}(s_0) &= \hat{Z}_r(s_0) && \text{pro } \alpha(s_0) \le \alpha_1 \\ &= \frac{\alpha_2 - \alpha(s_0)}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \hat{Z}_r(s) + \frac{\alpha(s_0) - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \hat{Z}_u(s_0) && \text{pro } \alpha_1 < \alpha(s_0) < \alpha_2 \\ &= \hat{Z}_u(s_0) && \text{pro } \alpha(s_0) \ge \alpha_2 \end{aligned} \quad (6)$$

kde $\hat{Z}(s_0)$ je výsledný odhad koncentrace v bodě s_0,
$\hat{Z}_r(s_0)$, $\hat{Z}_u(s_0)$, je koncentrace v bodě s_0 pro venkovskou, resp. městskou mapovou vrstvu,
$\alpha(s_0)$ je hustota populace v bodě s_0,
α_1, α_2 jsou klasifikační intervaly příslušné k populační hustotě (jejichž hodnoty bývají uvedeny v příloze grafické ročenky).

Celý koncept odděleného mapování venkovského a městského znečištění je založen na předpokladu, že $\hat{Z}_r(s_0) \le \hat{Z}_u(s_0)$ pro všechny běžné znečišťující látky kromě ozonu, resp. $\hat{Z}_r(s_0) \ge \hat{Z}_u(s_0)$ pro ozon. Pro oblasti, kde tento předpoklad není splněn, se použije vrstva vytvořená obdobně jako městská i venkovská mapová vrstva, nicméně na základě veškerých pozaďových stanic, bez rozlišení na městské a venkovské.

V případě, že je u dané znečišťující látky mapováno i dopravní znečištění, přičte se dopravní mapová vrstva k pozaďové (sloučené městské a venkovské) mapové vrstvě za pomoci gridu emisí z dopravy:

$$\begin{aligned} \hat{Z}(s_0) &= \hat{Z}_b(s_0) && \text{pro } \tau(s_0) \le \tau_1 \\ &= \frac{2}{3}.\hat{Z}_b(s_0) + \frac{1}{3}.\left(\frac{\tau_2 - \tau(s_0)}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \hat{Z}_b(s) + \frac{\tau(s_0) - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \hat{Z}_t(s_0) \right) && \text{pro } \tau_1 < \tau(s_0) < \tau_2 \\ &= \frac{2}{3}.\hat{Z}_b(s_0) + \frac{1}{3}.\hat{Z}_t(s_0) && \text{pro } \tau(s_0) \ge \tau_2 \end{aligned} \quad (7)$$

kde $\hat{Z}(s_0)$ je výsledný odhad koncentrace v bodě s_0,
$\hat{Z}_b(s_0)$ je koncentrace v bodě s_0 pro pozaďovou mapovou vrstvu,
$\hat{Z}_t(s_0)$ je koncentrace v bodě s_0 pro dopravní mapovou vrstvu,
$\tau(s_0)$ jsou emise z dopravy v bodě s_0,
τ_1, τ_2 jsou klasifikační intervaly příslušné k emisím z dopravy /jejichž hodnoty jsou uvedeny v Příloze I grafické ročenky (ČHMÚ 2021a).

Výše uvedená funkce je založena na předpokladu, že $\hat{Z}_b(s_0) \le \hat{Z}_t(s_0)$ pro běžné znečišťující látky kromě ozonu, resp. $\hat{Z}_b(s_0) \ge \hat{Z}_t(s_0)$ pro ozon. Pro oblasti, kde tento předpoklad není splněn, se použije pozaďová mapová vrstva $\hat{Z}_b(s_0)$.

2.2.2 Mapy atmosférické depozice

Pro publikaci Znečištění ovzduší na území České republiky jsou pravidelně vytvářeny mapy celkové roční depozice pro síru, dusík a vodíkové ionty, mapy mokré depozice pro síru, dusík, vodíkové ionty, olovo, kadmium, chloridové a nikelnaté ionty. Pro síru, dusík, vodíkové ionty, olovo a kadmium jsou uvedeny také mapy suché depozice.

Mapy mokré depozice jednotlivých iontů jsou konstruovány z pole koncentrací iontů ve srážkách (na základě průměrných ročních koncentrací vážených srážkovým úhrnem vypočtených z naměřených údajů) a z pole ročních srážkových úhrnů, které je vytvořeno na základě údajů ze srážkoměrných stanic ČHMÚ se zohledněním vlivu nadmořské výšky na množství srážek. Při tvorbě polí mokré depozice se na jednotlivých stanicích dává přednost výsledkům analýz čistých srážek před odběry srážek s prašným spadem „bulk“ a týdennímu intervalu odběru před měsíčním odběrem. Data ze sítí stanic, kde měření zajišťuje ČGS, VÚLHM a GIOS, založených na měsíčních odběrech srážek s prašným spadem „bulk“, jsou pro tvorbu map mokré depozice upravena empiricky získanými koeficienty vyjadřujícími poměr jednotlivých iontů ve vzorcích srážek typu „wet-only“ a „bulk“ (hodnoty pro jednotlivé ionty v rozmezí 0,74 pro NH_4^+ až 1,06 pro H^+). Skutečnost, že v případě kationtů H^+ je poměr větší než 1, lze vysvětlit tak, že pevné částice obsažené ve vzorcích typu „bulk“ reagují s vodíkovými kationty, čímž se jejich koncentrace snižuje (Ranalli et al. 1997).

Suchá depozice síry a dusíku je spočtena na základě polí průměrných ročních koncentrací SO_2 a NO_X pro ČR a depozičních rychlostí pro oxid siřičitý 0,7 $cm \cdot s^{-1}$, resp. 0,35 $cm \cdot s^{-1}$ a oxidy dusíku 0,4 $cm \cdot s^{-1}$, resp. 0,1 $cm \cdot s^{-1}$ pro území s lesními porosty, resp. území bezlesé (Dvořáková et al. 1995). Pro ročenku prezentující hodnocení znečištění ovzduší od roku 2019 je připravena aktualizovaná vrstva zalesněných území v síti 1 x 1 km na základě vektorových dat lesních ploch z geodatabáze ZABAGED ČÚZK (Hůnová et al. 2019b).

Sečtením map mokré a suché depozice síry a dusíku jsou vytvářeny mapy celkové depozice.

Mapa mokré depozice vodíkových iontů vzniká na základě naměřených hodnot pH ve srážkách. Mapa suché depozice vodíkových iontů odpovídá depozici plynů SO_2 a NOX na základě stechiometrie za předpokladu jejich kyselé reakce v prostředí. Mapa celkové depozice vodíkových iontů vzniká součtem map depozice mokré a suché.

Pole suché depozice olova a kadmia obsažených v aerosolu je připravována z polí koncentrací těchto kovů v ovzduší (resp. na základě imisního pole ročního průměru koncentrací PM_{10} a hodnot interpolace IDW podílů příslušného kovu v prachu). Pro hodnotu depozičních rychlostí pro kadmium obsažené v aerosolu jsou použity hodnoty 0,27 $cm \cdot s^{-1}$ pro les a 0,1 $cm \cdot s^{-1}$ pro bezlesý terén, pro olovo 0,25 $cm \cdot s^{-1}$ pro les a 0,08 $cm \cdot s^{-1}$ pro bezlesý terén (Dvořáková et al. 1995).

2.2.2.1 Podkorunová depozice síry

Mapové zobrazení podkorunové depozice síry je vytvořeno pro místa s porosty na základě pole koncentrací síry v podkorunových srážkách („throughfall“) a z verifikovaného pole srážek procentuálně modifikovaného množstvím srážek naměřeným pod porosty na jednotlivých stanicích (obvykle se tato hodnota pohybuje v rozmezí 50–90 % srážkového úhrnu na volné ploše). Podkorunová depozice obecně zahrnuje mokrou vertikální a horizontální depozici (z mlh, nízkých oblačností a z námraz) a suchou depozici částic a plynů v porostech. Pro síru, pro kterou je vnitřní koloběh porosty zanedbatelný, by měla být dobrým odhadem depozice celkové.

Na některých územích našich hor jsou dlouhodobě hodnoty podkorunové depozice vyšší než hodnoty celkové depozice síry stanovené součtem mokré (pouze vertikální) a suché depozice z SO_2. Nárůst lze přičítat příspěvku depozice z mlhy, nízké oblačnosti a z 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 významně přispívat k depozici síry i jiných prvků. Problém je v místně značně proměnlivém charakteru této depozice, kdy při extrapolaci na větší území může docházet k nepřesnostem. 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 (Tesař et al. 2000; Tesař et al. 2005). V některých samostatně hodnocených letech překročil poměr depozice síranů z mlhy a námrazy a depozice typu „bulk“ i o 100 %.

Dále je v podkorunové depozici zahrnut příspěvek suché depozice S z SO_4^{2-} obsaženého v prašném aerosolu. Na základě údajů o koncentraci síranů v aerosolu za rok 2014 ze dvou stanic (Churáňov a Košetice) a použití depoziční rychlosti 0,25 $cm \cdot s^{-1}$ (Dvořáková et al. 1995) dosahovala suchá depozice S z SO_4^{2-} v průměru hodnoty 0,04 $g \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$ pro lesní oblasti (Churáňov = 0,026 $g \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$, Košetice = 0,058 $g \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$). Vzhledem k omezenému počtu lokalit sledujících koncentrace síranů v aerosolu se jedná pouze o velmi orientační odhad.

Mapové zobrazení podkorunové depozice lze považovat za dokreslení, jakých hodnot může celková depozice síry (včetně horizontální depozice a suché depozice S z SO_4^{2-} prašného aerosolu) dosahovat, neboť pro síru na rozdíl od jiných polutantů je vnitřní koloběh porosty zanedbatelný (Draaijers et al. 1997).

Od grafické ročenky prezentující hodnocení znečištění ovzduší za rok 2008 se pro výpočet podkorunové depozice síry používala vrstva zalesněných území vytvořená na základě dat geodatabáze ZABAGED ČÚZK v rozlišení 500 x 500 m, celková plocha takto vymezených zalesněných území je 26 428 km^2. Z důvodu této změny byly přepočteny s touto vrstvou lesů celkové hodnoty podkorunové depozice od roku 2001, aby mohlo být provedeno srovnání s daty po roce 2007. Od grafické ročenky prezentující hodnocení znečištění ovzduší za rok 2020 byla připravena aktualizovaná vrstva zalesněných území v síti 1 x 1 km na základě vektorových dat lesních ploch z geodatabáze ZABAGED ČÚZK (Hůnová et al. 2019b).

3 Terminologický slovník

Atmosférická depozice
Tok látek z atmosféry k zemskému povrchu. Jedná se o významný proces přispívající k samočištění ovzduší, na druhé straně je však vstupem znečišťujících látek do jiných složek prostředí.

Emise
Uvolňování znečisťujících látek nebo skleníkových plynů do ovzduší a atmosféry.

F-plyny
Fluorované skleníkové plyny; uhlovodíky, jejichž molekula obsahuje atom fluoru.

Chemický transportní model
Metoda odhadu koncentrací v ploše na základě emisních a meteorologických vstupů, zohledňující fyzikální a chemické vlastnosti jednotlivých látek a jejich šíření v atmosféře.

IDW
Jednoduchá metoda interpolace, kdy váha jednotlivých měřicích stanic je mírou využívající.

Imise
Koncentrace škodlivých látek v ovzduší. Znečišťující látka obsažená v ovzduší se dostává do styku s příjemcem (člověkem, rostlinou, zvířetem, materiálem) a negativně na něj působí. Imise vzniká po fyzikálně-chemické přeměně emise v ovzduší.

Interpolace
Odhad veličiny (např. imisní koncentrace) v ploše na základě známých hodnot této veličiny v omezeně mnoha bodech (např. v měřicích lokalitách).

Kriging
Metoda interpolace využívající prostorovou korelaci pro stanovení váhy jednotlivých měřicích stanic.

Lineární regresní model
Metoda odhadu jedné veličiny na základě jiných veličin pomocí jejich vzájemných statistických závislostí.

Mezní vrstva
Část atmosféry přiléhající k zemskému povrchu, v níž je v důsledku interakce se zemským povrchem rozvinuta mechanická a termická turbulence a dochází v ní k intenzivnímu vertikálnímu přenosu hybnosti, tepla, vodní páry a znečišťujících příměsí.

Odběr srážek typu „bulk“
Odběr srážek spolu s nedefinovatelným podílem suché depozice do nádob exponovaných nepřetržitě po dobu zpravidla týdne–měsíce.

Odběr srážek typu „throughfall“
Tzv. podkorunový spad, podkorunová depozice, odběr je prováděn v lesním porostu do pravidelně či nepravidelně umístěných nepřetržitě exponovaných odběrových nádob po dobu zpravidla 1 měsíce. Tento odběr je pokládán za nejlepší odhad celkové expozice.

Odběr srážek typu „wet-only“
Odběr tzv. čistých srážek zajišťovaný automatickým pluviokolektorem, exponovaným pouze po sobu trvání srážkové epizody.

Resuspenze
Resuspenze částic (též sekundární prašnosti), tj. částic původně usazených, které jsou následně zvířené do ovzduší větrem nebo vlivem turbulentního proudění vyvolaného projíždějícím vozidlem.

Skleníkový plyn
Plyn, který přispívá ke skleníkovému efektu Země.

Směšovací vrstva
Vrstva ovzduší mezi zemským povrchem a spodní hranicí nejnižší zádržné teplotní vrstvy.

4 Seznam zkratek

ACTRIS	Aerosols, Clouds and Trace gases Research InfraStructure Network
AIM	automatizovaný imisní monitoring
ATEM	Ateliér ekologických modelů
BC	black carbon
CAMx	souhrnný model kvality ovzduší s rozšířeními
CDV	Centrum dopravního výzkumu
CFC	chlorfluorované uhlovodíky
CLI	Centrální laboratoř imisí
CRF	Common Reporting Format
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMÚ	digitální model území
EMEP	Program spolupráce při monitorování a hodnocení dálkového přenosu látek znečišťujících ovzduší v Evropě
EoI	rozhodnutí Rady 97/101/EC o výměně informací (EoI)
FID	flame ionization detector – detekce ionizací plamenem
GC-MS	plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
GIS	geografický informační systém
HBÚ AV ČR	Hydrobiologický ústav Akademie věd ČR
HFC	částečně fluorované uhlovodíky
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
IDW	vážení převrácenou hodnotou vzdálenosti
IIR	Zpráva o provádění emisních inventur
IKO	index kvality ovzduší
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností

KLI	Kalibrační laboratoř imisí
KP	Kjótský protokol
LRTAP	Rámcová úmluva OSN o změně klimatu
MIM	manuální imisní monitoring
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NFR	Klasifikace pro reporting
NIS	národní inventarizační systém
NMVOC	nemetanové těkavě organické látky
OSN	Organizace spojených národů
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyly
PCDD/F	polychlorované dibenzo-p-dioxiny a polychlorované dibenzofurany
PFC	zcela fluorované uhlovodíky
PM	suspendované částice
POPs	persistentní organické látky
QA / QC	Quality assurance and quality control
REZZO	Registr emisí a stacionárních zdrojů
SLDB	Sčítání lidí, domů a bytů
SPE	souhrnná provozní evidence
SSIM	Státní síť imisního monitoringu
STK	Stanice technické kontroly
SVÚOM	Státní výzkumný ústav ochrany materiálu
SYMOS	Systém modelování stacionárních zdrojů
TK	těžké kovy
TZL	tuhé znečišťující látky
UFP	ultrajemné částice (do 1 μm)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
ÚVGZ AV ČR	Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.
VOC	těkavé organické látky
VÚLHM	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti
VÚZT	Výzkumný ústav zemědělské techniky
ZABAGED	Základní báze geografických dat České republiky
ZSJ	základní sídelní jednotka

5 Literatura

ATEM, 2012. Průběžná zpráva projektu TA01020491 „Vývoj aplikačního prostředí pro implementaci aktualizace metodiky MEFA".

BAEK, B. H., ANEJA, V. P., TONG, Q., 2004. Chemical coupling between ammonia, acid gases and fine particles. *Environmental Pollution*. Vol. **129**, p. 89–98. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.09.022.

BEDNÁŘ, J., 2008. Meteorologie. In: KURFÜRST, J., ed., Kompendium ochrany kvality ovzduší. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s r. o., s. 193–222. ISBN: 978-80-86832-38-8.

BEDNÁŘ, J., HUSZÁR, P., ZEMÁNKOVÁ, K., 2013. Vznik sekundárních organických aerosolů z těkavých organických látek – modelový experiment. *Meteorologické zprávy*, roč. **66**, č. 5, s. 129–134. ISSN 0026-1173.

BLAŽEK, Z., ČERNIKOVSKÝ, L., KRAJNY, E., KREJČÍ, B., OŚRÓDKA, L. et al., 2013. Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy/Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w obszarze przygranicznym Śląska i Moraw. Praha: ČHMÚ. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW http://www.air-silesia.eu/files/file/air_silesia/publikace_.pdf.

BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I., (eds.), 2009. Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-1598-1.

BRIDGES, K. S., JICKELLS, T. D., DAVIES, T. D., ZEMAN, Z., HŮNOVÁ, I., 2002. Aerosol, precipitation and cloud water observations on the Czech Krusne Hory plateau adjacent to a heavily industrialised valley. *Atmospheric Environment*. Vol. **36**, p. 353–360. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00388-0.

CHAN, T. W., MELOCHE, E., KUBSH, J., BREZNY, R., RESENBLATT, D. et al., 2013. Impact of Ambient Temperature on Gaseous and Particle Emissions from a Direct Injection Gasoline Vehicle and its Implications on Particle Filtration. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*. Vol. **6**, p. 350–371. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.4271/2013-01-0527.

CRESSIE, N., 1993. Statistics for spatial data. New York: Revised edition. New York: John Wiley. ISBN 0-471-00255-0.

ČHMÚ, 2021a. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2020. [online]. [v přípravě]. Dostupné z WWW: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/20groc/gr20cz/Obsah_CZ.html.

ČHMÚ, 2021b. Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika 2020. Souhrnný tabelární přehled. [online]. [cit. 4. 6. 2021]. Dostupné z WWW: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2020_enh/index_CZ.html.

ČHMÚ, 2020c. Česká zpráva o emisní inventuře v roce 2020 [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/CZ_informativni_zprava_emisni_inventury_2020.pdf.

DVOŘÁKOVÁ, M., FIALA, J., LIVOROVÁ, H., SRNĚNSKÝ, R., 1995. Vypracování postupů pro zohlednění druhů pokryvu terénu při odhadu rychlosti suché depozice SO_2 a prašného aerosolu. Zdokonalení metod územního a časového hodnocení kvality ovzduší. Praha: MS ČHMÚ. DÚ 6.1.2.1. projektu Informační zabezpečení ochrany ovzduší Státního programu péče životní prostředí ČR.

DRAAIJERS, G. P. J., ERISMAN, J. W., VAN LEEUWEN, N. F. M., RÖMER, F. G., TE WINKEL, B. H. et al., 1997. The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall

fluxes. *Atmospheric Environment*. Vol. **31**, No. 3, p. 387–397. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00164-1.

EC, 1997. Council Decision 97/101/EC of 27 January 1997 establishing a reciprocal exchange of information and data from networks and individual stations measuring ambient air pollution within the Member States. Official Journal of the European Communities, 1997. No. L 35/14. EC [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://eur-lex.europa.eu/legal content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31997D0101.

HNILICOVÁ, H., 2012. Optimalizace metodiky výpočtu podílu velikostních frakcí PM_{10} a $PM_{2,5}$ na emisích tuhých znečišťujících látek. Výzkumná zpráva. Praha: ČHMÚ.

HORÁLEK, J., DENBY B., DE SMET, P., DE LEEUW, F., KURFÜRST, P. et al., 2007. Spatial mapping of air qua-lity for European scale assessment. ETC/ACC Technical pa-per 2006/6. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_ TechnPaper_2006_6_Spat_AQ.

HŮNOVÁ, I., KURFÜRST, P., BALÁKOVÁ, L., 2019a. Areas under high ozone and nitrogen loads are spatially disjunct in Czech forests. *Science of the Total Environment.* Vol. **656C**, p. 567–575. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.371.

HŮNOVÁ, I., KURFÜRST, P., VLČEK, O., STRÁNÍK, V., STOKLASOVÁ, P., SCHOVÁNKOVÁ, J., SRBOVÁ, D. (2016): Towards a Better Spatial Quantification of Nitrogen Deposition: A Case Study for Czech Forests. *Environmental Pollution*. Vol. **213**, p. 1028–1041. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.061.

HŮNOVÁ, I., KURFÜRST, P., LHOTKA, R., ŠKÁCHOVÁ, H., 2019b. Zpřesnění kvantifikace suché atmosférické depozice dusíku. Výzkumná zpráva. TD000123. Praha: ČHMÚ.

HŮNOVÁ, I., KURFÜRST, P., MAZNOVÁ, J., COŇKOVÁ, M., 2011. The contribution of occult precipitation to sulphur deposition in the Czech Republic. *Erdkunde Archive for scientific geography.* Vol. **65**, p. 247–259. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.erdkunde.unibonn.de/archive/2011/the-contribution-of-occult-precipitationto-sulphur-deposition-i.

HŮNOVÁ, I., MAZNOVÁ, J., KURFÜRST, P., 2014. Trends in atmospheric deposition fluxes of sulphur and nitrogen in Czech forests. *Environmental Pollution.* Vol. **184**, p. 668–675. ISSN 0269–7491. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.013.

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

KLEMM, O., WRZESINSKY, T., 2007. Fog deposition fluxes of water and ions to a mountainous site in Central Europe. *Tellus.* Vol. **59B**, p. 705–714. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/viewFile/17050/19032.

KRUPA, S. V., 2002. Sampling and physico-chemical analysis of precipitation: a review. *Environmental Pollution*. Vol. **120**, p. 565–594. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00165-3.

KUMAR, R., SRIVASTAVA, S. S., KUMARI, K. M., 2008. Modelling dry deposition of S and N compounds to vegetation. *Indian Journal of Radio & Space Physics*. Vol. **37**, p. 272–278. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/2482/1/IJRSP%2037%284%29%20272-278.pdf.

LARSSEN, S., SLUYTER, R., HELMIS, C., 1999. Criteria for EUROAIRNET. The EEA Air Quality Monitoring and Information Network. Technical Report no. 12. EEA, Copenhagen. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.eea.europa.eu/publications/TEC12.

RANALLI, A. J., TURK, J. T., CAMPBELL, D. H., 1997. The use of bulk collectors in monitoring wet deposition at high–altitude sites in winter. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol. 95, p. 237–255. ISSN 0049–6979.

TESAŘ, M., FOTTOVÁ, D., ELIÁŠ, V., ŠÍR, M., 2000. Occult precipitation as an important contribution to the wet deposition in Bohemian Forest. *Silva Gabreta*. Vol. **4**, p. 87–96. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://www.npsumava.cz/gallery/8/2481-sg4_tesaretal.pdf.

TESAŘ, M., ŠÍR, M., FOTTOVÁ, D., 2005. Usazené srážky a chemismus malého horského povodí. In: ŠÍR, M., LICHNER, M. Ľ., TESAŘ, M., HOLKO, L. eds. Hydrologie malého povodí 2005. Sborník konference. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. ISBN 80-02-01754-4.

VOJTÍŠEK, M., 2013. Příspěvek k hodnocení dopadu velkých parkovišť a kongesce na emise částic z motorových vozidel a emise a imise benzo[*a*]pyrenu. *Ochrana ovzduší*, roč. **25** (45), č. 3, s. 14–19. ISSN: 1211-0337.

Vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhod-nocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích. In: Sbírka zákonů. 12. října 2012. ISSN 1211-1244.

WESELY, M. L., HICKS, B. B., 2000. A review of the current status of knowledge on dry deposition. *Atmospheric Environment*. Vol. **34**, p. 2261–2282. [online]. [cit. 7. 6. 2021]. Dostupné z WWW: https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00467-7.

Zákon o ovzduší č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. In: Sbírka zákonů. 13. června 2012. ISSN 1211-1244.

ZEMÁNKOVÁ, K., BRECHLER, J., BEDNÁŘ, J., 2010. Modelový odhad emisí biogenních těkavých organických látek na území České republiky. *Meteorologické zprávy*, roč. **63**, č. 6, s. 174–180. ISSN 0026-1173.

Systém sběru, zpracování a hodnocení dat

Znečišťování a kvalita ovzduší
Atmosférická depozice
Skleníkové plyny

Vydal Český hydrometeorologický ústav, Praha 2021