ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

A

ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ

CHEMIE A TRANSPORT AEROSOLŮ V ATMOSFÉŘE, JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Radovana Kazíková

2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením pana doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D. Další informace mi poskytl pan Ing. Vladimír Ždímal, Dr., vedoucí vědeckého oddělení aerosolových studií a laserových studií Ústavu chemických procesů AV ČR. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 22.4. 2012

_____

Podpis autorky

Poděkování:

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D za jeho podporu, mnoho cenných návrhů, rad a za čas, který mi věnoval. Vděčnost a poděkování náleží dále panu Ing. Vladimíru Ždímalovi, Dr. za jeho vstřícnost, ochotu, poskytnutí důležitých informací a také za odbornou exkurzi na pracovišti Ústavu chemických procesů AV ČR.

Abstrakt:

Bakalářská práce je zaměřena na popis znečišťujících látek ve formě aerosolů, resp. aerodisperzí přítomných v atmosféře a to z chemického pohledu. Zabývá se základními charakteristikami aerosolů, jejich chováním na molekulární úrovni a dále přehledem metod měření a monitoringu v makroskopickém a mikroskopickém měřítku. Také se zaměřuje na působení aerosolů na životní prostředí a na konkrétní typ aerosolu, resp. tuhou disperzi polétavého prachu. Polétavý prach je v závěrečné části práce sledován nad oblastí Moravskoslezského kraje, kde významně ovlivňuje kvalitu ovzduší emisí vypuštěnou výrobním podnikem Třinecké železárny v poslední době. V této části porovnávám hodnoty emisí tohoto vypouštěného polutantu do ovzduší z dat pocházejících z Českého hydrometeorologického ústavu a z Integrovaného registru znečišťování, který eviduje emisní hodnoty provozovatelů znečištění v České republice za určitý rok. Práce ve své podstatě má za cíl definovat široké spektrum aerosolů všeobecným popisem jejich vlastností, pohybů a reakcí, což je uvedeno v rozsáhlejší teoretické části této práce. Mohou tak zásadně ovlivňovat prostředí, ve kterém se nacházejí. Práce popisuje i možnosti monitoringu a měření aerosolů, a následně vybraný typu aerosolu, kterým je již zmiňovaný polétavý prach.

Klíčová slova: charakteristika, pohyb aerosolů, princip a způsoby měření, problematika aerosolů v životním prostředí

Abstract:

This thesis is focuse the description of atmospheric chemical pollutants in the form of aerosols or rather in the form of aero-dispersions, present in the atmosphere. The thesis deals with basic characteristics of aerosols and their behavior on the molecular level. Further the thesis brinhgs an overview of the methods for measuring in the macroscopic and microscopic scale. It is also focuses on the effect of aerosols on the environment and the particular type of aerosol, respectively solid dispersion of airborne dust. The last part of the thesis is focused on the Particulate matter released from the Trinec steelworks in Moravian-Silesian Region which is currently significantly affecting the quality of the air. There are comparesions of figures of pollutants discharged into the atmosphere between data released by the Czech Hydrometeorological Institute and data relesaed by the Integrated Pollution Register, which records the data of pollution emission of the operators in the Czech Republic in the period of particular year. The aim of the work is to define a wide range of aerosols, which can significantly affect the environment and describes methods of monitoring and measurement of aerosols. The work is consequently focused on the selected type of aerosol, the airborne dust.

Keywords: characterization, movement of aerosols, principles and methods of measurement, problems of aerosols in the environment.

OBSAH

1. Úvod……1

2. Cíle práce…….....2

3. Rešerše……3

3.1. Definice pojmů……..3

3.2. Aerosoly……4

3.2.1. Charakteristika aerosolů……..4

3.2.2. Klasifikace aerosolů……4

3.3. Chemické vlastnosti a reakce aerosolů……..7

3.3.1. Velikost, tvar a hustota aerosolů……..8

3.3.2. Stupeň disperzity……10

3.3.3. Elektrické vlastnosti……...11

3.3.4. Sedimentace aerosolů……12

3.3.5. Difúze aerosolů……..14

3.3.6. Chemické složení atmosférického aerosolu……...16

3.4. Účinky aerosolů na organismy a životní prostředí…….….16

3.5. Využití aerosolů……...17

3.6. Měření aerosolů…….. 17

3.6.1. Hysplit……18

3.6.2. WRAS systém.……20

3.6.3. APS……21

3.7. Suspendované částice……..22

3.7.1. PM.……22

3.7.2. TZL……23

3.7.3. Měření emisí TZL…….…….25

3.7.4. Polétavý prach……26

4. Zájmová oblast: Moravskoslezský kraj.....30

4.1. Třinecké železárny……31

5. Výsledky……..…33

6. Diskuze……...……...……..34

7. Závěr…….……35

8. Přehled literatury a použitých zdrojů……...……..36

9. Přílohy……...…… 39

SEZNAM ZKRATEK

POPs	Persistent Organic Pollutants
NOAA	National Oceanic And Atmospheric Administration
NGM	National Meteorological Center´s Nested Grid Model
HYSPLIT	Hybrid Single – Particle Langrangian Integrated Trajectory
READY	Real time Enviromental Applications and Display System
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
APS	Aerodynamic Particle Sizer
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
WRAS	Wide Range Aerosol Spectrometer
SPMS plus C Counter	Scanning Mobility Particle Sizer + Condensation Particle
OPC	Optical Particle Counter
DMA	Differential Mobility Analyser
CPC	Condensation Particle Counter)
AV	Akademie věd
APS	Aerodynamic Particle Sizer
UV	Ultrafialové záření
PM	Particulate matter
ČSN ISO	Česká státní norma - International Organization for Standardization
TZL	Tuhé znečišťující látky
ZL	Znečišťující látky
WHO	World Health Organization
AAS	Atomic absorption spectroscopy
UV-VIS	Ultraviolet-visible spectroscopy
PIXE	Particle Induced X-ray Emission
EPA	Environmental Protection Agenc

IRZ	Integrovaný registr znečištění

1. ÚVOD

Aerosoly představují přirozenou či antropogenní složku atmosféry. V současné době se stávají stále více aktuálním tématem z hlediska jejich vlivu na zdraví obyvatel, živočišné a rostlinné organismy, životní prostředí až po procesy odehrávající se v atmosféře. Jedná se o kapalné či pevné částice rozptýlené v různé míře ve vzduchu v závislosti na konkrétních podmínkách atmosféry. Přirozené (např. emise prachu při sopečných erupcích vyvrhované do atmosféry) a zejména pak antropogenní aerosoly, které jsou předmětem této práce, mohou mít při určitých koncentracích negativní účinky na biotu i abiotické faktory prostředí. V konečném důsledku mohou za určitých podmínek ovlivňovat tedy i klima tím způsobem, že např. jsou výchozími kondenzačními jádry pro vznik atmosférických srážek v oblaku, kde podstatně ovlivňují reflexi slunečního záření zpět do kosmického prostoru a další četné jevy. Zvláště aerosoly z antropogenních zdrojů (ze spaloven, oceláren, chemických provozoven atd.) vykazují mnohdy až komplikované složení, které sestává ze souboru částic mnoha velikostních oborů, složitých tvarů a dalších charakteristik. Komplikovanost aerosolů spočívá tedy především v jejich variabilním obsahu chemických sloučenin a velikosti jednotlivých frakcí. Tímto způsobem pak nastávají obtíže při jejich detekci a výzkumu. Je tedy nezbytné vždy přesně definovat určité velikostní rozmezí, ze kterého se budou zkoumat jejich další charakteristiky a povaha. Tomu předchází studium zásadních jevů v aerosolech probíhajících na molekulární úrovni, tedy na hranici disperzní soustavy a její fáze. Měření aerosolů se v současné době realizuje mnoha metodami nejen ve výzkumných ústavech, avšak i ve specializovaných firmách. Jednotlivé přístroje a metody se od sebe liší např. nastavením určitých laboratorních podmínek (teplota, tlak, vlhkost vzduchu atd.), měří-li se vzorek aerosolu na lokální úrovni. Měřící metody se neustále zdokonalují a posunují se i hranice výzkumu aerosolů ke stále menším rozměrům částic jejich frakce, tedy až k nanočásticím.

2. CÍLE PRÁCE

Práce je soustředěna do několik bloků, které jsou zahrnuty do teoretické převažující části a v malé míře i do části praktické.

Teoretická část definuje ve zkratce některé základní chemické pojmy (obecně soustavu jakožto systém a jeho části), které jsou pro porozumění aerosolům jako disperzním systémům podstatné. Jedná se o terminologii podobných pojmů, které se od sebe svým významem podstatně liší a které je třeba hned na začátku práce zmínit. Dále se práce zabývá kategorizací aerosolů na základě různých parametrů. Část následující obecně popisuje vybrané chemické vlastnosti a reakce aerosolů a obecně jejich možné účinky na organismy a životní prostředí. Protože existuje celá řada způsobů detekce aerosolů, v této práci uvádím jen některé způsoby měření a pozorování aerosolů. Zmiňuji se o jedné z možností způsobu monitoringu aerosolů z většího měřítka modelem Hysplit a měřením aerosolů na lokální úrovni, resp. v laboratorních podmínkách. Další úsek práce se zaměřuje na vybraný typ aerosolu - pevnou disperzi, konkrétně polétavého prachu, u kterého jsou popsány základní vlastnosti a jeho účinky na životní prostředí.

Praktická část se týká zájmové oblasti Moravskoslezského kraje, která patří mezi lokality nejvíce zatížené emisemi z antropogenních zdrojů v České republice. Pro výběr znečišťovatele jsem zvolila Třinecké železárny a zjišťovala vypouštěné emise z dat ČHMÚ a IRZ.

3. REŠERŠE

3.1. DEFINICE POJMŮ

Z hlediska důležitosti pro přehled jsem uvedla několik chemických pojmů.

Disperze

Disperze je směs látek, z nichž jedna je jemně rozptýlena v druhé. Znamená také proces rozptylování (Fischer et al.1984)

Disperzní systém

Disperzní systém je soustava, která obsahuje alespoň dva druhy hmoty, přičemž jeden druh je rozptýlen ve druhém ve formě více nebo méně jemných částic. Rozptýlený druh se nazývá disperzní podíl, spojitý druh disperzní prostředí. Pojmem hmota se rozumí složka nebo fáze. Disperzní podíl může i nemusí představovat samostatnou fázi a svým chemickým složením se může, ale nemusí vždy lišit od disperzního prostředí. Podle toho mluvíme o disperzní fázi nebo disperzní složce (Bartovská et Šišková 2005b).

V případě aerosolů je disperzní soustava dvou či vícefázová (heterogenní) soustava, ve které alespoň jedna z fází je tvořena velice malými částicemi, jejichž rozměry převyšují molekulární rozměry. Takové částice jsou částice fázovými s fyzikálně chemickými a mechanickými charakteristikami, které jsou vlastní v dané fázi a se zcela zřetelným rozhraním vzhledem k prostředí, které tyto částice obklopují (Ščukin et al. 1990).

Disperzní prostředí

Disperzní prostředí je spojitá část disperzního systému, v níž je rozptýlen disperzní podíl. Disperzní prostředí může být kapalné, pevné či plynné (Bartovská et Šišková 2005b). V případě aerosolů je tedy disperzním prostředím vzduch.

Disperzní podíl

Disperzní podíl je část disperzního systému, která je rozptýlena v disperzním prostředí. V heterogenních disperzních soustavách představuje samostatnou fázi (Bartovská et Šišková 2005b).

Většina disperzí patří mezi vícesložkové soustavy. Takovými soustavami jsou aerosoly. Aerosoly se tedy řadí podle počtu fází na systémy heterogenní, kde disperzní podíl je od disperzního prostředí oddělen fázovým rozhraním (Bartovská et Šišková 2005b).

Fáze

Fáze je v termodynamice látka s určitými mikroskopickými vlastnostmi. Ve vícesložkovém termodynamickém systému představují fáze jeho jednotlivé homogenní části. K nejběžnějšímu příkladu fáze patří skupenství, tzn. kapalné, plynné a pevné skupenství představují rozdílné fáze látky. Fáze přitom nemusí v objemu látky tvořit souvislý celek (např. jako krystal), ale může být v látce rozptýlena (např. jako vodní pára). Při změně vnější veličiny (např. teploty, tlaku, magnetického pole atd.) dochází k fázovým přechodům (Fischer et al.1984)

3.2. AEROSOLY

3.2.1. CHARAKTERISTIKA AEROSOLŮ

Termín aerosol byl poprvé použit v roce 1920. Je to všudypřítomná složka atmosféry Země (Holoubek et Komárek 1982). Aerosoly jsou pevné či kapalné částice o velikosti 0,01-100 mikrometrů, rozptýlené ve vzduchu. Resp. jsou to disperze pevné látky a plynu nebo kapalné látky a plynu. Významně se podílejí na rozhodujících atmosférických dějích (Cassilas-Ituarte et al. 2010). Těmito ději jsou především vznik srážek a teplotní bilance Země.

Aerosol je též obdoba termínu hydrosol, což je soubor tuhých, kapalných či směsných částic suspendovaných v atmosféře minimálně po dobu umožňujících jejich detekci (Holoubek et Komárek 1982). Jsou to aerodisperzní soustavy, kde disperzním prostředím je plyn (Ščukin et al. 1990). Vzhledem k velikosti částic patří aerosoly mezi hrubé disperze (Fischer et al.1984)

Pevné částice aerosolů mají mikroskopický rozměr, velikost od setin mikrometrů do desítek mikrometrů. Patří sem krystalky minerálních solí, prachové minerální částice. Protože jsou velmi malé, jejich sedimentační rychlost je nepatrná a vzdušnými proudy se udržují dlouhou dobu v atmosféře. Tyto aerosoly pocházejí z různých zdrojů: z vodní tříště z vln v oceánech, z prachových bouří z výbuchů vulkánů, z lesních požárů a ze spalování fosilních paliv lidmi (Motl et al. 2008).

3.2.2. KLASIFIKACE AEROSOLŮ

Atmosférické aerosoly se dělí podle několik následujících hledisek:

Podle původu

a) *přírodní aerosoly* (vulkanická činnost, tvorba tuhých částic odpařením vody z kapiček strţených z vodní hladiny, lesní požáry, prach, rostlinná produkce -pyl)

b) *antropogenní aerosoly* (spalování fosilních paliv, výroba cementu, černá metalurgie, prach) (Holoubek et Komárek 1982).

Podle vzniku

a) *primární aerosoly* – částice aerosolu jsou emitovány do atmosféry přímo ze zdroje. Příkladem je úlet (pevná látka, kapalina) ze zdrojů.

b) sekundární aerosoly – vznikají chemickými reakcemi plynných složek atmosféry a následnou změnou skupenství (z plynu na pevnou látku či kapalinu). Příkladem je tvorba smogu (Holoubek et Komárek 1982).

Podle morfologických znaků a praktického a technického významu

a) *přirozené* – kouř, mlha, dým (koloidní aerosol)
- prach (hrubší aerosol)

b) hydrometeorologické částice – vodní pára, mlha, mlžení, krupobití, mrazové vločky, kroupy, krupice, déšť, ledové krystalky, sněhové vločky

c) aeroplankton – viry, kulové a tyčinkovité bakterie, řasy, výtrusy hub, mechů a lišejníků, pyl, semena a plody

d) technické aerosoly – inhalační aerosol, přídavný aerosol, insekticidní aerosoly, průmyslový prach (Spurný et al. 1961).

Podle zdravotního rizika

Rozlišují se tři velikostní frakce částic podle jejich schopnosti vstupovat a usazovat se v dýchacích cestách:

a) částice vdechovatelné – velikost částic 10 -100 μm

b) částice thorakální – velikost částic 4 - 10 μm

c) částice respirabilní – velikost částic méně než 4 μm. Tato klasifikace odpovídá záchytu částic v nosohltanu, průduškách a plicních sklípcích (Hinds 1999).

Podle biologického účinku

a) *aerosol obsahující toxické složky biologicky* aktivní (těžké kovy, POPs..)

b) fibrogenní – daný chemickým složením a mechanickými vlastnostmi (azbest, prach z černého uhlí, živce, kaolín)

c) *dráždivý* – prach z bavlny, lnu, peří, skleněná vlákna, alkalické uhličitany

d) *alergenní*

e) *bez účinku* (Holoubek et Komárek 1982).

Podle vzniku soustavy s plynným prostředím

a) disperzní aerosoly – tvoří se při rozmělňování tuhých těles (drcením, mletím apod.) či rozprašováním kapalin. Resp. dělením větších částic (prachových, kapalných) (Holoubek et Komárek 1982). Dispergováním mají vytvořené velké částice a jsou zpravidla polydisperzní (Vojuckij 1984).

b) kondenzační aerosoly – vznikají kondenzací z přesycených par či chemickými reakcemi. Jsou charakterizovány jako vysokodisperzní soustavy s rozměrově stejnorodými částicemi (Vojuckij 1984).

Podle velikosti částic

a) 0,01-0,1 μm – vznikají kondenzací par a následnou koagulací

b) 0,1-1 μm – vznikají chemickou konverzí plynů na málo těkavé páry, homogenní jádra se časem mění na kapičky nebo jemně disperzní tuhé částice

c) 1-10 μm – částice primárního aerosolu. Přímo vstupují do atmosféry ze zdrojů (Holoubek et Komárek 1982).

Aerosolové částice s nejvyšší hustotou pravděpodobnosti výskytu v atmosféře mají velikost 0,3 μm. Jsou tedy okem nerozlišitelné. Nejmenší viditelné částice mají velikost větší než 50 μm (Holoubek et Komárek 1982).

Podle skupenství disperzního podílu

Skupenství disperzního podílu může být v aerosolové soustavě přítomno jako kapalina v plynu nebo pevná látka v plynu. Vyskytují se i aerosoly, které se řadí do obou skupin kapalina-plyn a pevná látka – plyn. Do této skupiny patří dýmy a smog.

a) Pevná látka:

- **prachy, prášky**
  Prachy a prášky jsou disperze typu pevná látka – plyn a jsou závislé na stupni disperzity (Cassilas-Ituarte et al. 2010). Vznikají při hrubší disperzně (Ščukin et al. 1990). Prachem se rozumí soubor hrubých částic větších než 0,5 μm vzniklých působením mechanických sil na mateřskou pevnou hmotu (podobně jako sprej či tříšť, které vznikají působením mechanických sil na kapalinu) (Holoubek et Komárek 1982).

b) Kapalina

- **mlhy**
  Mlhy tvoří soustavy s kapalnou disperzní fází (Ščukin et al. 1990). Mlha je tedy kapalný aerosol, který vzniká kondenzací přesycených vodních par či atomizací kapaliny, kdy částice mají kulovitý tvar a velikost v rozsahu desetin μm do 100 μm (Holoubek et Komárek 1982).

c) Pevná látka nebo kapalina

- **dýmy**
  Dýmy často zahrnují disperzní fázi obou typů: kapalina-plyn, pevná látka-plyn. Příkladem pro soustavu pevná látka-plyn jsou oblaka typu *cirry*, pro soustavu kapalina-plyn oblaka typu *kumuly* (Cassilas-Ituarte et al. 2010).
  Pevné částice dýmu jsou obvykle rozměrů menších než 0,05 μm, které mají tvar shluků a řetězců tvořených aglomerací částic primárně vzniklých kondenzací par generovaných hlavně při vysokoteplotních procesech (podobně lze definovat i **kouř**, který navíc obsahuje kapalné částice a je výsledkem nedokonalého spalování) (Holoubek et Komárek 1982). Pevná disperzní fáze má vysoký stupeň disperzity (Ščukin et al. 1990).
  Dým vzniká hořením paliva a obsahuje tuhé částice sazí a popela, kapalné částice produktů destilace paliva a kapky vody, které vznikají kondenzací vodní páry (Vojuckij 1984).
- **smog**
  Smog je viditelné znečištění atmosféry hlavně v městských oblastech. Aerosol fotochemického smogu tvoří pevné či kapalné částice menší než 100 μm. V tomto typu aerosolů se současně s pevnou disperzní fází vyskytuje na povrchu i kapalná fáze, vytvářející se v důsledku kondenzace par na povrchu pevných částic (Ščukin et al. 1990). Resp. smog je soustava, která se zvláště často tvoří při velkém obsahu vlhkosti v zakouřené atmosféře průmyslových oblastí. Je tedy charakterizován zároveň jako dým a mlha (Vojuckij 1984).

Podle elektrického náboje a radioaktivity

a) elekroaerosoly = aerosoly s částicemi elektricky nabitými

b) radioaktivní aerosoly = aerosoly s radioaktivními nebo radioaktivně značenými částicemi (Spurný et al. 1961).

Existuje ještě jeden typ aerosolu - **bioaerosol**. Řadí se do zvláštní kategorie aerosolů. Patří sem životaschopné organismy (viry, bakterie, houby a jejich části), rostlinné a živočišné produkty – spory a pyl) (Holoubek et Komárek 1982).

3.3. CHEMICKÉ VLASTNOSTI A REAKCE AEROSOLŮ

Aerosoly zaujímají zvláštní postavení mezi ostatními disperzními soustavami. Protože mají specifické elektrické vlastnosti a jsou hydrofobní (Ščukin et al. 1990). Jedná se o komplikované systémy, jejichž fyzikální a chemické vlastnosti se mění vlivem meteorologických podmínek, zdrojů aerosolových částic a procesů vymývání (Řimnářová et al. 2008). Vzhledem ke komplexnímu a proměnlivému složení aerosolových částic a jejich rozměrům je jejich studium stále obtížné. Výzkum těchto látek se zaměřuje na klíčové procesy probíhající na molekulární úrovni. Dr. Martina Roeselská uvádí: „Řada významných procesů v atmosféře se odehrává na povrchu aerosolových částic“ (Cassilas-Ituarte et al. 2010).

Disperzní stav je nejrozšířenější stav látky v přírodě, v životním prostředí, v chemické technologii, v průmyslu a v zemědělství. Disperzní soustavy a povrchové jevy jsou neoddělitelné. Mezi částicemi disperzní fáze a disperzního prostředí je

rozhodující povaha, molekulární stavba a fyzikálně-chemické interakce rozhranní, které určují mnohé jevy a procesy, které jsou charakteristické pro danou soustavu. Toto platí pro jakékoliv heterogenní soustavy (Ščukin et al. 1990).

Hrubě disperzní soustava je charakterizována mezimolekulovými interakcemi na fázovém rozhraní. Vykazuje menší příbuznost disperzní fáze a disperzního prostředí. Rozdíly mezi chemickým složením a strukturou hraničních fází se projevují ve značné nevykompenzovanosti povrchových sil (v přebytku energie) na fázovém rozhraní. Tato soustava pak není termodynamicky stabilní (Ščukin et al. 1990). V tomto případě se jedná o všechny typy aerosolů.

V následující části se zaměřím na charakteristiky, které souvisí s chováním aerosolů.

3.3.1. VELIKOST, TVAR A HUSTOTA ČÁSTIC AEROSOLU

Chování aerosolů ovlivňuje teplota, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru, dále množství dopadajícího UV záření a atmosférických srážek (Řimnářová et al. 2008).

Jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících chování aerosolů v atmosféře je velikost jeho částic. Mezi další důležité parametry patří tvar a hustota částic aerosolu (Holoubek et Komárek 1982).

Koncentrace aerosolu v atmosféře, velikostní distribuce částic a případné množství na ně vázaných toxických látek je předmětem sledování z důvodu působení na vegetaci, živočichy, lidské výtvory a lidské zdraví (Holoubek et Komárek 1982).

Tvar částic

Tvar částic aerosolů závisí na skupenství disperzního podílu. V mlhách mají kapky kapalin kulovitý tvar, v dýmech jsou částice jehlicovité, destičkovité či hvězdicovité. V dýmech se vyskytují i částice, které jsou složitými agregáty. Naproti tomu v mlhách vede srážka kapiček ke koalescenci a k tvorbě rozměrnějších kapiček (Vojuckij 1984). Agregátové částice vznikají koagulací z částic prvotních a mohou být tvořeny jen dvěma prvotními částicemi a jindy až několika milióny. Podle tvaru se rozlišují dva druhy agregátů: izometrické a lineární (řetězovité) agregáty. Vznik určitého typu agregátu závisí na povaze a složení aerosolových částic a na složení plynné fáze (Spurný et al. 1961).
Pro velmi nepravidelné tvary aerosolových částic se kvantitativně vyjadřuje *stupeň nepravidelnosti*, resp. *tvarový faktor* (*koeficient sféričnosti* H_s). Charakterizuje odchylku tvaru částic od tvaru koule, tedy poměr povrchu koule, jejíž objem se rovná objemu dané částice, k jejímu povrchu. $H_s=1$ platí pro kulové částice, pro každý jiný tvar částic je $H_s<1$, např. pro krychli je $H_s<0,806$ (Spurný et al. 1961).

Tvar a rozměr částic se určuje běžnou mikroskopiií, ultramikroskopií a elektronovou mikroskopií (Vojuckij 1984).

Koncentrace aerosolů

Koncentraci aerosolů, které jsou těžko dostupné zkoumání (např. koncentrace vody v oblacích), lze zjišťovat radiolokátory. Princip jejich měření je následující: Zdroj vysílá do prostoru v určitých časových intervalech směrovaný rádiový paprsek, který se registruje oscilografem, a současně se registruje i záření, které se vrátilo zpět v důsledku rozptylu na objektu (oblaku). Z časového intervalu mezi vysíláním signálu a přijetím rozptýleného paprsku lze stanovit vzdálenost objektu a z intenzity odraženého paprsku odhadnout koncentraci disperzního podílu objektu (Vojuckij 1984).

Velikostní distribuce částic

Velikost disperzních částic aerosolů se pohybuje v širokém rozmezí. Značně závisí na způsobu vzniku aerosolu i na vnějších podmínkách a má velký význam pro sedimentační a agregátní stálost aerosolu. Obvykle mnohem větší rozměry mají částice prachu než částice dýmů a mlh. (Bartovská et Šišková 2005a). Spodní hranice velikosti aerosolových částic je 10^{-7}cm, což je obor velikosti molekul, resp. jejich shluků, takže nejmenší aerosolové částice se tedy tvoří shlukováním molekul, především neutrálních molekul plynů s ionty (Spurný et al. 1961).

Velikost částic je determinující pro výběr vhodných fyzikálních zákonů k popisu jejich chování. Např. pokud je velikost částice blízká velikosti průměrné molekuly vzduchu (0,37 μm), tyto částice se budou pohybovat v ovzduší převážně Brownovým pohybem daným hlavně difúzí. Pokud je částice viditelná prostým okem, její pohyb je určen převážně setrvačnými a gravitačními silami. Popis částice je pak omezen na měřenou fyzikální veličinu – ekvivalentní průměr částice (Holoubek et Komárek 1982). Pro polydisperzní aerosoly se tak stanovuje distribuce (rozložení) částic podle velikosti (Spurný et al. 1961).

Rovněž setrvání částic v atmosféře se liší podle jejich tvaru a velikosti. Hrubé částice rychle sedimentují a jsou přeneseny na kratší vzdálenost od zdroje. Doba setrvání tohoto typu částic se pohybuje v řádu hodin, maximum je několik dní. Naopak jemné částice jsou transportovány na velké vzdálenosti od zdroje (tisíce km) a doba jejich setrvání v atmosféře trvá dny až týdny. Z atmosféry se odstraňují zejm. v mokré depozici (EPA 1996).

Ekvivalentní aerodynamický průměr

Ekvivalentní aerodynamický průměr charakterizuje jednotlivé částice aerosolu. Představuje průměr koule s hustotou 1000 kg/m^3, která má stejnou rychlost usazování jako příslušná částice (Holoubek et al. 2004). Protože je atmosférický aerosol souborem částic velkého počtu (10^2-10^8 v cm^{-3}) a různé velikosti, je nepraktické ho charakterizovat výpisem charakteristik jednotlivých částic. Je vhodné určit počet (povrch, hmotnost) částic ve vybraných velikostních skupinách neboli stanovit velikostní distribuci částic aerosolu (Holoubek et Komárek 1982). Velikostní distribuce zjišťuje přítomnost hrubých a jemných částic v atmosféře. Liší se velikostí, chemickým složením, mechanismy vzniku, zdroji, kterými jsou částice emitovány a procesy, které způsobují jejich odstranění z atmosféry (Holoubek et al. 2004). Velikostní distribuci se přiřadí vhodné statistické rozdělení dat. Pak se určí bodovými nebo intervalovými charakteristikami příslušného rozdělení (Holoubek et Komárek 1982).

Bodovou charakteristikou je aerodynamický průměr částice o hmotnosti (četnosti, povrchu), který se v souboru vyskytuje nejčastěji (mod) nebo přesně v polovině souboru hodnot (medián), příp. dosahuje průměrné hodnoty (průměr). Pokud má distribuční křivka četnosti pouze jedno maximum, jedná se o monodální, v případě dostatečně úzkého maxima monodisperzní aerosol, což je aerosol o částicích s jednou převažující velikostí (Holoubek et Komárek 1982).

Intervalovou charakteristikou je odhad standartní směrodatné odchylky, která určuje míru přesnosti bodových charakteristik. Veškeré úvahy ohledně distribuce aerosolu se dále vztahují k částicím majícím tvar koule (Holoubek et Komárek 1982).

Částice v jednotlivých distribučních modelech se od sebe liší způsobem vzniku a chemickým složením (Holoubek et Komárek 1982).

Z hlediska zdravotního působení atmosférického aerosolu na člověka byly definovány velikostní skupiny, které se značí PM_x (Particulate matter), kde x je 10, 2,5 nebo 1,0 v μm. Vzorek aerosolu představuje tedy soubor, ve kterém částice o aerodynamickém průměru x μm jsou v předřazeném odběrovém zařízení (cyklon, impaktor) separovány s účinností 50%. Menší částice jsou ve vzorku obsaženy s téměř 100 % pravděpodobností a naopak částice větší než x s pravděpodobností blížící se 0 (Holoubek et al. 2005).

3.3.2 STUPEŇ DISPERZITY

Míra rozptýlení látky je charakterizována stupněm disperzity s_d. Udává se poměrem všech částic *S* k jejich celkovému objemu (Fischer et al.1984). Mírou rozptýlení jakékoliv disperzní soustavy a tedy i aerosolové soustavy může být příčný lineární rozměr částice *a*, kterým je u kulovitých částic průměr *d* (poloměr *r*), u krychlových částic hrana *l*. Resp. u částic blížících se tvarem krychli, je hodnota s_d nepřímo úměrná délce hrany *l*, u částic kulovitých je hodnota s_d nepřímo úměrná poloměru koule *r*:

pro hranu *l*: $s_d = 6\,l^2 / l^3 = 6 / l$ pro poloměr koule *r* : $4\pi r^2/(\frac{4}{3})\pi r^3 = 3/r$

(Fischer et al.1984)

Rozměr u kulovitých částic je totožný s jejich průměrem (poloměrem), u částic jiného tvaru souvisí s jejich největším rozměrem (Fischer et al.1984). Příčný lineární rozměr se uplatňuje tedy pro kulovité a krychlové částice. Pokud se částice tvarem silně odlišují od koule, pak jejich rozměr závisí na směru měření. Tyto částice se srovnávají s kulovitými, o kterých se předpokládá, že se chovají přesně jako skutečné částice. Průměr pro tyto kulovité částice se nazývá ekvivalentní průměr (Vojuckij 1984).

Protože částice aerosolů mohou mít různý tvar, definuje se tedy stupeň disperzity jednou z výše uvedených rovnic.

Kulovité částice dispergované fáze mají např. mlhy. V případě disperzí pevných látek (např. dýmy), se rozlišuje tvar částic, které jsou dispergované:

- *korpuskulárně* – Částice mají všechny rozměry zhruba stejné. Nazývají se *izometrické částice* tvaru koule či pravidelného mnohostěnu (Fischer et

al.1984). Tyto částice mají všechny rozměry přibližně stejné (Spurný et al. 1961).

- *laminárně* – Částice jsou destičkovité či tvaru lamel a nazývají se *anizometrické částice* (Fischer et al.1984). Dva rozměry převládají nad jedním (Spurný et al. 1961).
- *fibrilárně* – Částice ve tvaru tyčinek, vláken či jehel, resp. *anizometrické částice* (Fischer et al.1984). Převládá u nich jeden ze tří rozměrů (Spurný et al. 1961).

Pochopení vlastností disperzí je komplikováno tím, že v přírodě se tvoří polydisperzní soustavy s různě velkými částicemi a tím i proměnným stupněm disperzity (Fischer et al.1984).

Někdy se uvádí, že míra rozptýlení disperzní soustavy je popisována jako převrácená hodnota největšího rozměru $D = 1/a$ (Vojuckij 1984).

Stupeň disperzity se též nazývá jinými slovy specifický povrch s^3, což je mezifázová plocha připadající na jednotku objemu disperzní fáze. Čím menší je rozměr částic, tím větší je stupeň disperzity či specifický povrch a naopak (Vojuckij 1984).

3.3.3. ELEKTRICKÉ VLATNOSTI

Náboj částic

Aerosoly mají specifické elektrické vlastnosti. Náboj částic aerosolů je veličina náhodná. Je určená náhodnými srážkami částic s ionty v plynech (Ščukin et al. 1990). Je tedy závislá na příčinách, které ji vyvolaly. Protože je disperzním prostředím plyn, nemůže docházet k elektrické disociaci, jako je tomu v kapalném roztoku, nevzniká elektrická dvojvrstva z iontů kolem částic aerosolů. I tak mohou být částice aerosolů za určitých podmínek nabité. Jejich náboj není obvykle velký (Vojuckij 1984). Důsledkem toho, že permitivita vzduchu ($\varepsilon \sim 1$) je nižší než permitivita vody ($\varepsilon \sim 80$), je pro nabití částice v aerosolech na jednotkový náboj třeba vynaložit větší práci. Pak je střední náboj částic nižší a silně se mění od částice k částici (Ščukin et al. 1990). Náboj částic je velmi malý (Vojuckij 1984). Odpovídá několika elementárním nábojům elektronu ($e^- = 1{,}6.10^{-19}$C), resp. náboj částic je vždy násobkem náboje elektronu (Ščukin et al. 1990). Zřídka přesahuje elementární náboj více než 10x. Náboj částice aerosolu je tím větší, čím větší jsou její rozměry (Vojuckij 1984).

Částice aerosolu kovů a jejich oxidů nesou obvykle záporný náboj. Patří sem např. Fe_2O_3, MgO, Zn, ZnO. Nekovy v aerosolech a jejich oxidy jsou nabity kladným nábojem, např. SiO_2, P_2O_5, NaCl, dále látky nesoucí kladný náboj: uhlí, škrob atd. (Vojuckij 1984).

Vznik elektrického náboje

Elektrický náboj vzniká na částicích v aerosolech tehdy, když nastane a ihned pomine kontakt mezi dvěma částicemi nebo mezi částicí a nějakým povrchem. Druhou možností vzniku náboje, která bývá nejčastější, je adsorpcí iontů plynů na povrchu částic (Vojuckij 1984).

Příčiny vzniku elektrických nábojů na částici aerosolu

Na začátku nemá částice aerosolu náboj a adsorpce iontů, které jsou v plynné fázi vždy přítomné důsledkem ionizace plynů účinkem kosmických či UV paprsků, probíhá na částici nespecificky. Pokud se srazí taková částice s iontem, absorbuje ho a tím získá náboj. Protože koncentrace iontů v plynu není velká, jsou srážky vzácné a interval mezi nimi lze měřit na minuty. Při další srážce, která absorbovala ion s jiným iontem, se může náboj částice zvětšit či zmenšit v závislosti na znaménku náboje a valenci tohoto následujícího iontu. Srážkami tohoto druhu může částice změnit znaménko náboje či se stát neutrální. Současně také probíhá i desorpce iontů, které částice zachytila. Na základě tohoto faktu ve výsledku částice občas mění náboj. Kolísání náboje částic aerosolu má charakter fluktuací a je odrazem molekulárně-kinetického pohybu iontů a částic (Vojuckij 1984).

Výskyt nábojů na povrchu aerosolových částic podmiňuje řadu důležitých jevů. Je to hlavně vznik značných potenciálů při sedimentaci aerosolů se stejnoměrně nabitými částicemi, který vede k vyvolání výbojů v atmosféře (blesků) a poruch v činnosti rádiových zařízení (Ščukin et al. 1990). Resp. náboj částic podmiňuje jevy, které probíhají ve velkých objemech aerosolu, např. v oblacích (Vojuckij 1984). Schopnost disperzního podílu adsorbovat specificky ionty a existence potenciálového skoku na rozhraní fází je příčinou toho, že částice aerosolu adsorbují různé ionty nestejně a jejich náboj je tedy nenulový (Vojuckij 1984).

3.3.4. SEDIMENTACE AEROSOLŮ

Sedimentace (usazování) aerosolů spočívá v usazování disperzního podílu v silovém poli (Bartovská et Šišková 2005a). Částice aerosolů jsou při svém pohybu v disperzním prostředí vystaveny působení různých sil (gravitačních, elektrostatických, odporu prostředí..). Ve vakuu by se tato aerosolová částice pohybovala v gravitačním poli podle zákonů volného pádu. V plynu i v kapalině se naproti tomu uplatňuje vztlak a odpor prostředí. Pohyb částice se tedy v tomto prostředí řídí jinými zákony (Spurný et al. 1961). V gravitačním poli se pohybují částice rovnoměrně. Padají směrem dolů, pokud je jejich hustota větší než hustota disperzního prostředí. V opačném případě se pohybují směrem vzhůru, tedy vzplývají (Bartovská et Šišková 2005a).

Při sedimentaci aerosolových částic v gravitačním poli se pohyb realizuje při působení síly F_g, která je rovna hmotnosti částice v daném prostředí. Pro kulovitou částici s poloměrem r se definuje tato *síla* $F_g' = 4/3\ \pi r^3(\rho-\rho_0)g$, kde ρ a ρ_0 jsou hustoty částice a disperzního prostředí (Ščukin et al. 1990). Tento vztah platí tedy pro částici suspendovanou v plynném či kapalném prostředí s hustotou, kde zároveň působí i vztlak. Síla F_g vyvolaná gravitačním polem by se ve vakuu rovnala součinu její hmoty m a tíhového zrychlení g: $F_g = m.g = 4/3\ \pi r^3 \rho g$ (Spurný et al. 1961). Platí, že $F_g' < F_g$

Ve viskózním prostředí se uplatňuje vedle vztlaku ještě odpor prostředí (Ščukin et al. 1990). Odpor prostředí vzniká tím, že částice při svém pohybu rozráží prostředí a odsouvá je z prostoru, kterým se pohybuje. K tomu musí vynaložit určitou sílu. Odpor prostředí je tedy síla závislá na rychlosti pohybu částice prostředím a namířená proti smyslu jejího pohybu (Spurný et al. 1961). Tato síla viskózního

odporu vznikající proti pohybu částice je definována Stokesovým zákonem: $F_\eta = B.v = 6\pi\eta rv$, kde

B- koeficient tření částic
η- viskozita disperzního prostředí
v- rychlost pohybu
r- poloměr kulovité částice (Ščukin et al. 1990).

Tento vztah Stokesovy rovnice vychází z podmínky, že částice jsou tuhé, prostředí homogenní a nestlačitelné a rychlost pohybu dostatečně malá (Spurný et al. 1961).

Důsledkem gravitačního působení by se částice v určitém prostředí pohybovala zrychleným pohybem. Protože s rostoucí rychlostí odpor prostředí stále roste, zrychlení pohybu částic působením gravitace probíhá do té doby, dokud síla F_g' není vyrovnaná opačně působící silou viskózního odporu F_η (Spurný et al. 1961).Po tomto vyrovnání sil se pohyb stává rovnoměrný a má konstantní rychlost (rovnoměrná mezní rychlost) *v*, kde

$v_s = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho-\rho_0)g / 6\pi\eta rv = 2r^2(\rho-\rho_0)g / 9\eta$ (Ščukin et al. 1990).

Stokesův odpor se uplatňuje i při pohybu, který je vyvolán působením jiných sil (elektrostatických, termických..) (Spurný et al. 1961).

Protože Stokesův zákon byl odvozen za speciálních předpokladů, jeho platnost je omezena na částice určité velikosti, a to u částic s průměrem 1μ (mikronů, $1\mu = 10^{-4}$ cm) (Spurný et al. 1961). Vztahuje se tedy na částice o rozměru větším než střední volná dráha molekul plynu, resp. na hrubě disperzní aerosoly (Vojuckij 1984). Neplatí tedy pro částice, jejichž průměrná velikost je srovnatelná či menší než střední volná dráha molekul v prostředí, ve kterém se pohybují, a pro částice ještě větších rozměrů (Spurný et al. 1961).

Stokesův zákon byl tedy rozšířen na částice menší než je střední volná dráha molekul korekčním Cunninghamovým faktorem pro Stokesův vztah, kde odpor prostředí je $F_c = 6\pi\eta rv / 1+A.\ l/r$, *A* je konstanta (experimentální hodnota 0,864), l střední volná dráha molekuly. Ve vzduchu při normálním tlaku je $l = 0{,}8 . 10^{-5}$cm. Tato korekce je nutná u částic submikronových rozměrů, tedy pro částice s průměrem 1μ (Spurný et al. 1961).

Schopnost aerosolových částic nabývat určité rychlosti při působení určité síly (libovolného charakteru) je charakterizována veličinou pohyblivost částice B, resp. poměr mezi terminální rychlostí částice a působící silou, neboli rychlost, které částice nabude při působení jednotkové síly. Síla limitující rychlost pohybu částice je dána Stokesovým odporem a Cunninghamovou korekcí: $B = (1+A.\ l/r)/6\pi\eta r$. Pohyblivost částice tedy závisí na poloměru částic a viskozitě prostředí (Spurný et al. 1961).

Průběh sedimentace závisí na velikosti částic a rozdílu hustot (Bartovská et Šišková 2005a). Rozměr částic ve většině aerosolů se pohybuje v intervalu 10^{-5} až 10^{-3}cm. Rozměrnější částice rychle sedimentují a drobné částice mizí jako důsledek koagulace (Ščukin et al. 1990).

Podle Stokesova zákona lze také definovat střední velikost aerosolových částic, resp. Stokesův poloměr r_s, kde $r_s = r\sqrt{s_{12}/s_{11}}$. s_{11} je aerosolová částice specifické váhy, která má libovolný tvar. s_{12} je aerosolová částice specifické váhy kulovitého tvaru s poloměrem r. Pokud obě částice mají stejnou mezní rychlost v_s, částice s libovolným tvarem se považuje za částici kulovitého tvaru o Stokesově poloměru. Stokesův poloměr libovolné částice je tedy poloměr koule z látky stejné hustoty, která má stejnou mezní rychlost v_s. Dále platí, že pro částice stejné specifické váhy je $r = r_s$ (Spurný et al. 1961).

3.3.5. DIFÚZE AEROSOLŮ

Brownův pohyb

Brownův pohyb představuje chaotický pohyb částic nezávisle na povaze látky (Ščukin et al. 1990). Tento nepravidelný pohyb vykonávají malé, především submikronové částice. Živost Brownova pohybu je tím větší, čím menší mají tyto částice průměr (Spurný et al. 1961). Resp. intenzita tohoto pohybu roste s teplotou a se zmenšujícími se rozměry částic (Fischer et al.1984). Pokud se jedná o částici s větší hmotností, suspendovanou ve vodě, měla by se v klidné kapalině nepohnutě vznášet, protože zde na ni nepůsobí jiné síly, než gravitační síly, které jsou vyrovnané vztlakem kapaliny (Spurný et al. 1961). Růst viskozity prostředí tento pohyb tlumí. Hybnou silou Brownova pohybu je vnitřní energie disperzního prostředí (Fischer et al.1984).

Příčinou tohoto pohybu je statistické kolísání tlaku, který působí na různé strany částice. Tlak způsobují molekuly plynného či kapalného prostředí, které také samy vykonávají chaotický (tepelný) pohyb a narážejí na povrch částice. U větších částic je počet těchto nárazů v čase velký do té míry, že statistické kolísání výsledného tlaku není pozorovatelný. U velmi malých částic bude počet molekul narážejících na částici malý a bude tedy statisticky kolísat. Tzn., že tlaky působící na částici z různých stran nebudou vyrovnávány a částice bude vystavena působení určitého malého tlaku střídavě z různých stran a bude vykonávat neuspořádaný chaotický pohyb (Spurný et al. 1961). Nepravidelnost pohybu dispergovaných částic je vyvolána impulzy molekul rozpouštědla (Fischer et al.1984). Tepelný pohyb molekul disperzního prostředí, který je doprovázen nárazy molekul na povrch částic disperzní fáze, vede k posunům těchto částic. V jedné sekundě mění částice mnohokrát směr a rychlost svého pohybu (Ščukin et al. 1990). Mikroskopické posuny jsou výslednicí velkého počtu submikroskopických posunů v nejrůznějších směrech. Rychlost pohybu částice, zjištěná z jejího posunutí, za určitou dobu je menší. Definuje se průmět posunutí částice (čtverec středního posunutí částice) za určitou dobu do určité osy. Protože pohyb je chaotický, nezáleží na tom, která osa se uvažuje : $\Delta x^2 = 2Dt = 2kTBt$, kde k je Boltzmannova konstanta, T absolutní teplota, D difúzní koeficient částic aerosolu, který je závislý na poloměru částic. Za pohyblivost lze dosadit Stokesův odpor nebo Cunninhamovu korekci (Spurný et al. 1961).

Na základě Brownova pohybu se definuje difúzní koeficient, který byl zjištěn měřením doby, za kterou se v poli mikroskopu posune částice o určitou vzdálenost. Pro částice různých velikostí byly tedy změřeny difúzní koeficienty, které byly porovnány s teoretickými hodnotami zjištěnými podle vztahu $D = kTB$ (Spurný et al. 1961). Difúzní koeficient se v současné době měří průchodem difundující látky

(nízkomolekulární látky) porézní membránou a metodou volné difúze. Princip volné difúze je následující: První metoda popisuje roztok difundující látky, která se uvede do styku s rozpouštědlem tak, aby mezi nimi vzniklo rozpoznatelné ostré koncentrační rozhraní, které lze dobře definovat. Tato soustava musí být chráněna proti otřesům a musí se udržovat po určitou dobu při konstantní teplotě a za podmínek vylučujících konvekci. Zjistí se nové rozdělené koncentrace rozpuštěné látky, která vznikla následkem difúze. Z výsledku se vypočítá difúzní koeficient (za použití tabulek). Dalšími metodami lze rozdělení koncentrací stanovit sledováním charakteristických změn barvy, absorpce světla či indexu lomu atd. (Bartovská et Šišková 2005b).

Protože byla zjištěna velmi dobrá shoda experimentálních a teoretických hodnot, lze podle Brownova pohybu dále určit poloměr částice, aniž by byla známa její hustota (Spurný et al. 1961).

Brownův pohyb se uplatňuje více ve zředěných plynech než v kapalině, protože střední posuny jsou v kapalině několikrát menší než ve vzduchu za normálního tlaku (Spurný et al. 1961). V důsledku malé viskozity a malé hustoty plynného prostředí se v aerosolech na Brownově pohybu projevuje sedimentace. A jelikož v aerosolech pro jejich malou viskozitu snadno vzniká konvekční proudění, znesnadňuje to výzkum Brownova pohybu v těchto soustavách (Vojuckij 1984).

Difúze

Brownův pohyb je příčinou difúze aerosolů. Uplatňuje se při zachycování velmi jemných částic ve filtračních materiálech a dále v terminálních partiích dýchacího traktu (Spurný et al. 1961). Procesem difúze dochází k samovolnému vyrovnávání koncentrací, a to soustavách s koncentračním gradientem. S rostoucím poloměrem částic rychlost difúze klesá a v hrubých disperzích je neměřitelná (Bartovská et Šišková 2005b).

Rychlost difúze se vyjadřuje ve stacionárním prostředí difúzním tokem J_i. J_i představuje látkové množství difundující složky n, která za jednotku času projde jednotkovou plochou (průřezerm) kolmou ke směru difúze (Bartovská et Šišková 2005b).

$J_i = dn_i / td_\tau = u_i\, c_i$, resp. součin střední rychlosti toku částic u_i a jejich koncentrace c_i (Bartovská et Šišková 2005b).

Difúze se řídí Fickovými zákony. První Fickův zákon popisuje závislost množství hmoty či počtu částic prošlých určitým průřezem Q za jednotku času na koncentračním spádu v místě daného průřezu: $dm/dt = - QD\, dn/dx$. Difúzní koeficient, resp. koeficient úměrnosti zde znamená množství látky, které projde jednotkovým průřezem za jednotku času při jednotkovém koncentračním spádu (Spurný et al. 1961). Difúzní koeficient závisí na vlastnostech prostředí a vlastnostech difundujících částic. Při stacionární difúzi se koncentrační gradient dn/dx s časem nemění (Bartovská et Šišková 2005b).

Druhý Fickův zákon popisuje časový a prostorový průběh difúze (Spurný et al. 1961).Protože při nestacionární difúzi se koncentrační gradient mění s časem, difúzní tok se mění s polohou. Nestacionární difúzi popisuje druhý Fickův zákon, tedy $dc_i / d_\tau = d^2 c_i / dx^2 \,.\, D_i$ (Bartovská et Šišková 2005b).

3.3..6. CHEMICKÉ SLOŽENÍ ATMOSFÉRICKÉHO AEROSOLU

Většinu hmotnosti atmosférického aerosolu tvoří sulfáty, nitráty, amonné ionty, organický materiál, materiál zemské kůry (částice půd, zvětralých hornin a minerálů, nesuspendovaný prach), dále mořská sůl, vodíkové ionty a voda. Sulfáty, amonné ionty, organický a elementární uhlík a některé přechodné kovy tvoří převážně jemný aerosol. Více než dvě třetiny celkové hmotnosti sulfátů a amonných iontů jsou obsaženy právě v částicích jemného aerosolu. Hrubý aerosol je tvořen materiálem zemské kůry, včetně Si, Ca, Mg, Al, Fe, dále bioaerosolem (pyl, spory, části rostlin). Nitráty jsou významnou složkou hrubého a jemného aerosolu. V jemném aerosolu se vyskytují ve formě nitrátu amonného, v hrubém aerosolu ve formě produktu kondenzace par kyseliny dusičné na hrubých částicích. Nitráty, sodík a chloridové ionty jsou rovnoměrně distribuovány mezi hrubý a jemný aerosol (Holoubek et Komárek 1982).

Nejkomplikovanější chemické složení má městský aerosol. Důvod spočívá v tom, že k jeho tvorbě přispívá široká škála různých zdrojů. Prvky, které jsou emitovány do atmosféry ze zdrojů spalování, jsou v aerosolu obvykle obsaženy ve formě oxidů Fe_2O_3,Fe_3O_4,Al_2O_3. Obecně je jejich molekulární forma nejistá. Nejvyšších koncentrací (v pozaďových, venkovských a městských stanicích) dosahují Fe, Pb, Cu, a nižších koncentrací Co, Hg, Sb (Holoubek et Komárek 1982).

V oblastech poblíž moře odráží složení aerosolu složení mořské vody obohacené organickými sloučeninami, které se vyskytují v její povrchové vrstvě (Holoubek et Komárek 1982).

3.4. ÚČINKY AEROSOLŮ NA ORGANISMY A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Aerosoly vznikají v ovzduší z části procesy neovlivněné člověkem a jeho činností. Příkladem těchto procesů je tvorba mraků, mlh, větrem zvířený prach, pyl, písek, dým a popel ze sopečných výbuchů (Fischer et al.1984). Antropogenní aerosoly mají významný, zpravidla negativní vliv na lidské zdraví. Výraznější, a to přímý vliv na zdraví, má jemný aerosol než hrubé aerosolové disperze. Příčinou tohoto účinku je zejm. složení a původ jednotlivých velikostních frakcí (Řimnářová et al. 2008). V oblastech s intenzivní lidskou činností, zejména v okolí průmyslových podniků, vzniká řada škodlivých nežádoucích aerodisperzí, jimiž jsou popílek a saze ze spalování uhlí, nafty a zemního plynu, emise plynných odpadních látek při různých průmyslových výrobách, disperze ochranných prostředků a práškových hnojiv používaných v zemědělství, prach zanášený do ovzduší dopravními prostředky (Spurný et al. 1961). V těchto oblastech se tvoří jemné frakce. Jemná frakce obsahuje produkty emisí z vysokoteplotních procesů nebo sekundární aerosol, který se tvoří kondenzací produktů reakcí v plynné fázi. Často se také v jemné frakci vyskytují i nejtoxičtější prvky, tedy těžké kovy a karcinogenní látky (Řimnářová et al. 2008). Velmi důležité je věnovat značnou pozornost vzniku aerosolů na různých průmyslových pracovištích (např. v rudných či uhelných dolech). Závažným

problémem je udržování zdravotně nezávadného ovzduší uvnitř i vně těchto pracovišť. Proto je třeba realizovat řadu opatření nutných ke zmenšení koncentrace škodlivých aerosolů pod nebezpečnou hranici na zachování života a zdraví lidí (Spurný et al. 1961). Například exhalaci plynných produktů z výroby lze potlačit použitím absorbérů (vodních clon). Velkou část popílků a dýmů lze zachytit na mechanických a elektromechanických filtrech (Fischer et al.1984).

Aerosoly mohou biologicky škodlivě působit na všechny druhy živých organismů, tedy i na mikroorganismy či rostliny. Velké nebezpečí je u vyšších živočichů, protože dýchacími cestami se aerosoly dostávají do těla a velmi účinně se zde zachycují (Spurný et al. 1961). Zejména nejmenší částice mohou způsobovat největší zdravotní rizika. Pronikají až do průdušek a plicních sklípků, kde mohou způsobit vznik bronchitidy a jiná onemocnění dýchacích cest. S tímto vlivem také roste riziko rakoviny způsobené mutagenními a karcinogenními látkami, které mohou být na částicích aerosolu absorbovány (MŽP, IRZ 2012a). Příkladem zdravotních poškození vyvolaných působením aerosolů může být i pokožka, zrak a chrup (Spurný et al. 1961). Dále prachy a dýmy mohou být příčinou vzniku silikózy, azbestózy a alergií. Vysoce škodlivý je tabákový dým, tj. velmi jemná disperze o velikosti částic menších než 0,1μm, který nesedimentuje a v nevětraných místnostech se udržuje mnoho hodin i dní. Protože má velmi malé rozměry, snadno vniká do porézních materiálů, kde způsobuje dlouhodobý zápach (Fischer et al.1984).

Maximální přípustná koncentrace toxických aerosolů, které vyvolávají systemické účinky v organismu, se udává ve váhových jednotkách mg/m^3. Koncentrace aerosolů, které vyvolávají pneumokoniózy, se udávají počtem částic (určitého oboru velikosti) k objemové jednotce (částice/ml). Podobným způsobem se stanovují i maximální přípustné koncentrace pro radioaktivní aerosoly. Stanovují se na základě zjištění, kde je příslušná radioaktivní látka v těle ukládána, jaký má poločas rozpadu a biologickou účinnost paprsků, které vyzařuje, a jak rychle je z těla vylučována. Při trvalém vdechování radioaktivní látky v dané koncentraci nemá být orgán, který je nejvíce postižen, ozařován větší intenzitou než 0,3 rem za týden (Spurný et al. 1961).

3.5. VYUŽITÍ AEROSOLŮ

V různých oblastech mají aerosoly důležitý význam. V přírodě podmiňují všechny meteorologické jevy. Uplatňují se v zemědělství, např. ve formě umělého postřiku, aplikace chemických látek pro ochranu rostlin před chorobami, při boji se škůdci apod. V technice se využívají aerosoly při čištění vzduchu, zachycování cenných materiálů, které jsou strhávané odcházejícími plyny. Dále se využívají v lékařství a domácnostech aerosolové formy farmaceutických produktů a výrobků spotřební chemie (Ščukin et al. 1990).

3.6. MĚŘENÍ AEROSOLŮ

Atmosférické aerosoly ovlivňují lokální a globální klimatické podmínky (Řimnářová et al. 2008). Měření těchto látek hraje významnou roli v jejich výzkumu. Nejdůležitější otázkou je určení zdroje aerosolových částic, jejich vliv na podnebí a také případný vliv na lidské zdraví a životní prostředí (Spielvogel et al. 2010).

Aerosoly rozptýlené v plynném disperzním prostředí, resp. ve vzduchu lze měřit a monitorovat mnoha metodami v závislosti na podmínkách, charakteristice a dalších parametrech, které mají být předmětem výzkumu. Následující text se zabývá monitorováním aerosolů při jejich transportu ve vzdušné mase prostřednictvím modelu Hysplit a dále text popisuje měření určitých charakteristik aerosolů na lokální úrovni.

3.6.1 HYSPLIT

HYSPLIT (Hybrid Single – Particle Langrangian Integrated Trajectory) je nástroj k získání informací o meteorologické charakteristice zájmového území. Jedná se o aplikaci, která je umístěná na internetových stránkách NOAA (National Oceanic And Atmospheric Administration). Aplikace slouží k identifikaci původce určitého znečištění za podmínek, že je znám směr a síla větru nebo konkrétní meteorologické podmínky v době odběru konkrétního vzorku. Metoda vychází z třírozměrného pohybu, který je počítán z výstupných větrných polí modelu NGM (National Meteorological Center´s Nested Grid Model (TESO 2004). Model je určen na podporu celé řady simulací týkajících se ovzduší a rozptylu znečišťujících látek a nebezpečných materiálů (např. rtuti) na zemském povrchu. Některé aplikace zahrnují sledování a předpověď uvolňování radioaktivního odpadu, sopečného popela, kouře a škodlivin z různých stacionárních a mobilních zdrojů emisí. Náhodné nebo záměrné vypouštění chemických, biologických či jaderných látek má významný vliv na zdraví, bezpečnost, hospodářské a ekologické důsledky. Hysplit model je tedy nástroj, který pomáhá vysvětlit jakým způsobem, kde a v jakou dobu chemické látky a materiály v atmosféře vznikají, rozptylují se a kde se deponují. Je tedy nezbytné včas reagovat a zabránit případným katastrofám (ARL 2011).

Předpokladem využití tohoto modelu je třírozměrná částice s určitou velikostní distribucí (Dracler et Rolph 2012). a existence dobře promíchané vrstvy vzduchu, ve které dochází k transportu a rozptylu daného znečištění (TESO 2004). S využitím meteorologických dat na pravidelné trojrozměrné doméně s popisem orografie je model schopen určit depozici a disperzi daného postulantu i v komplexním terénu (Řimnářová et al. 2008). Model je možné spouštět interaktivně na webu NOAA prostřednictvím READY systému (Dracler et Rolph 2012).

READY systém (Real time Enviromental Applications and Display System) je environmentální aplikace a grafický systém v reálném čase. Tento webový systém byl vyvinut pro přístup a zobrazování meteorologických dat. Systém spojuje rozptylové modely, grafické programy a zobrazení textových předpovědí do snadno využitelné formy (Dracler et Rolph 2012).

Aplikace Hysplit používá langrangeovský přístup, kde disperze znečišťující látky je reprezentována jako sekvence výdechů, tvz. puffů, nebo jako velké množství částic. Tato disperze je popsána v rámci pohybujícího se souřadnicového systému (Řimnářová et al. 2008). Hysplit umožňuje po zadání vstupních dat získat zpětné i dopředné trajektorie vzdušné masy. Vstupní data představují souřadnice zájmového bodu, výška vzdušné masy, počáteční čas a další volitelná nastavení. Při určování zpětných trajektorií aplikace vychází ze sítě meteorologických stanic a z údajů na těchto stanicích. Určování dopředných trajektorií je rozšířeno matematickými modely. U zpětné trajektorie jsou výstupními daty mapový zákres trasy vzdušné

masy směrem k receptoru. V případě dopředné trajektorie se jedná o trasu šíření vzdušné masy směrem od zdroje (TESO 2004). Výstupem modelu je pak trajektorie středu vlečky znečištění a rozložení koncentrace v definovaných vertikálních hladinách (Řimnářová et al. 2008). Pomocí této aplikace lze tak provést prvotní výběr potenciálních původců znečištění v dané lokalitě a konkrétním období (TESO 2004).

Model Hysplit zároveň umožňuje propojení s aplikací Google Earth. S pomocí této aplikace znázorní pozici konkrétní vzdušné masy v daném místě prostřednictvím satelitních snímků Země. Trajektorie jsou nejčastěji sestaveny pro dobu 12 hod před dosažením cílového bodu s finální výškou 10 m nad úrovní terénu (TESO 2004).

Hysplit model je v lokálním měřítku využitelný jen z části. Využívá se spíše na rozsáhlejší oblasti, např. Evropa (TESO 2004).

Na základě dlouhodobého měření aerosolů se zjišťují informace o koncentracích aerosolových částic všech frakcí a o vývoji velikostní distribuce částic v čase. Identifikují se významné události, které souvisí se zdroji atmosférických aerosolů. Například se zjišťuje, zda se jedná o aerosoly vzniklé lidskou činností nebo o aerosoly přírodního původu (Řimnářová et al. 2008).

Vznik nových aerosolových částic přímo v atmosféře (nukleace) výrazně přispívá ke zvýšení regionálních koncentrací částic a ovlivňuje velikostní rozdělení částic. Nastává na různých místech za rozmanitých podmínek. Dynamika rozdělení velikostí částic během těchto událostí je odlišná od běžných dnů. Naměřené hodnoty je pak nutné zahrnout do celkových průměrných dlouhodobých koncentrací z důvodu, že k těmto událostem dochází každý rok a mají vliv na životní prostředí (Řimnářová et al. 2008).

Zjišťovat množství aerosolových částic v ovzduší a studovat jejich vlastnosti lze realizovat způsobem oddělení částic od plynné fáze a dále je pozorovat izolované. Lze použít i přímé metody (nejčastěji optické), kterými se sleduje množství i vlastnosti částic v určitém objemu daného plynného prostředí, aniž by došlo měřící metodou k podstatnému ovlivnění kinetiky aerosolového oblaku (Spurný et al. 1961).

Metody, kterými se odděluje tuhá, příp. kapalná fáze od fáze plynné, jsou založeny nejčastěji na sedimentaci, filtraci, ultrafiltraci, impakci, difúzi nebo elektrostatickém srážení. Pro přímé měření se využívá absorpce a rozptylu světla na jemných částečkách hmoty (Spurný et al. 1961). Důležitým měřítkem pro hodnocení jednotlivých způsobů stanovení aerosolů je účinnost, s jakou se tuhá fáze odděluje od fáze plynné, příp. přesnost při zjišťování množství aerosolu v objemové jednotce (Spurný et al. 1961).

Rozeznávají se metody absolutní a selekční. Absolutní metody spočívají v zachycování aerosolových částic všech biologicky významných velikostí (asi 0,1-30 μ) v ovzduší. Naproti tomu selekčními metodami se z celého širokého spektra velikostí zachycuje určitý velikostní obor. Další významnou metodou je vyjadřování koncentrace aerosolu, resp. počet částic v objemové jednotce. Metody stanovení koncentrace se dělí na více skupin podle několika hledisek, např. fyzikálního jevu, účinnosti, způsobu vyjadřování koncentrace apod. (Spurný et al. 1961).

Existuje mnoho měřících metod, které monitorují kvalitu ovzduší po celém světě. Tato měření se realizují v různých ročních obdobích, na místech s různou hustotou osídlení a s různými klimatickými podmínkami. Dlouhodobá měření aerosolů v Evropě probíhají např. ve Finsku a v Německu, kde se sledují atmosférické aerosoly a především vznik nových aerosolových částic. Na monitorování aerosolů se používají skenovací třídiče částic (SMPS), aerodynamické třídiče částic (APS) a vzorkování na filtrech, které představuje základní pozorování závislosti charakteristik aerosolů na meteorologických podmínkách, lokálních zdrojích aerosolů, roční době i denní aktivitě obyvatel. Dlouhodobé kontinuální měření aerosolů probíhá v areálu Akademie Věd v Praze prostřednictvím Automatizovaného imisního monitoringu (AIM) ve vlastnictví ČHMÚ. Tato stanice monitoruje změny koncentrací částic z antropogenních zdrojů (např. ze spalovacích procesů) nebo ze zdrojů sekundárních. Zde se pozoruje rozdělení velikostí částic atmosférických aerosolů, odhad mechanismu vzniku nových aerosolových částic (proces nukleace) a zjišťování souvislostí s meteorologickými podmínkami a dalšími parametry. Dlouhodobé měření poskytuje velké množství dat, která se třídí a vyhodnocují. Dále je potřeba provést korelace s meteorologickými daty a navrhnout základní parametrizace (Řimnářová et al. 2008).

Vzhledem k faktu, že bylo vypracováno mnoho různých měřících metod, nelze s absolutní přesností v daném místě a čase zjistit např. koncentraci aerosolů. Každá dosavadní metoda více či méně zasahuje do stavu aerosolového oblaku. V případě optických metod je zásah do stability aerosolového oblaku minimální, avšak je nutno počítat se závislostí rozptylu světla na velikosti a tvaru aerosolových částic. U klasických metod, při kterých se aerosolové částice oddělují od plynné fáze, je zdrojem chyb oddělování částic i metoda jejich identifikace. Při oddělování částic od plynné fáze může docházet k jejich koagulaci, některé velikostní frakce mohou být oddělovány velmi účinně a jiné, zejm. jemně disperzní frakce se vůbec neoddělují apod. Způsoby identifikace částic jsou nepřesné např. důsledkem chyb ve vážení, nedostatečné rozlišovací schopnosti mikroskopu, chyb chemických analytických metod. I když nelze s absolutní přesností stanovit např. koncentraci aerosolů, poskytují i relativní výsledky dostatečné informace o aerosolech. Pokud se použije při měření několik metod současně, z výsledků komplexního měření lze sestavit přesný obraz skutečnosti. Pro získání spolehlivých a reálných hodnot je dále třeba dodržovat pracovní předpisy a volit vhodné metody vždy individuálně na základě daného úkolu (Spurný et al. 1961).

V současné době se v ovzduší stále více objevují nanočástice (Spielvogel et al. 2010)., resp. částice v nano velikostním rozsahu. Důvodem rostoucího množství těchto částic je jejich velký povrch, který způsobuje nárůst koncentrace adsorbovaných a kondenzovaných těžkých a toxických látek z antropogenních zdrojů na jednotku hmotnosti (Spielvogel et al. 2010). Z toho důvodu se vyvíjí a používá mnoho druhů měřících přístrojů od různých výrobců a jejich modifikace, pracujících na podobných principech, které se liší nastavením teploty, tlaku, relativní vlhkosti, volbou velikostního rozmezí a koncentrace částic, příp. dalšími nastaveními. Níže uvádím vybrané měřící přístroje.

3.6.2. WRAS SYSTÉM

WRAS systém (Wide Range Aerosol Spectrometer) je mobilní spektrometr, který slouží k měření částic ve vzduchu s širokým rozsahem. Skládá se z kombinace

zařízení, které měří počet a velikost částic. Tuto kombinaci přístrojů představují SMPS+C (Scanning Mobility Particle Sizer + Condensation Particle Counter) a optický spektrometr OPC (Optical Particle Counter). Další součástí systému je odběrová hlavice, systém pro odstranění vlhkosti vzorku a doplňkové meteorologické senzory na měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Systém je přizpůsoben k nasazení do venkovního prostředí (Spielvogel et al. 2010).

OPC spektrometr určuje počet jednotlivých částic na základě principu rozptylu světla. Zdrojem světla je polovodičový laser. Signál rozptýlený od částice prochází přes laserový paprsek a je zachycen zrcadlem v úhlu přibližně 90°. Dále je přenesen na detekční diodu. Zjištěný signál je dále analyzován a klasifikován do 31 velikostních kanálů. Tímto přístrojem je možné měřit distribuci částic v rozsahu 250 nm – 32 μm (Spielvogel et al. 2010).

SMPS+C přístroj obsahuje zařízení DMA (Differential Mobility Analyser) pro klasifikaci velikosti částic na základě jejich pohyblivosti a zařízení na měření počtu částic v CPC (Condensation Particle Counter) (Spielvogel et al. 2010). SMPS je tedy kombinací přístrojů kondenzačního čítače, který je dnes velmi rozšířený a používá se pro měření koncentrace částic od velikosti 3 nm, a diferenciálního třídiče pohyblivosti částic. Při odběru vzorku aerosolu se ve skenovacím režimu na vnitřní elektrodě DMA mění plynule napětí v celém pracovním rozsahu (Ždímal et al. 2001). Během měření jsou při vstupu do DMA nejprve odstraněny pomocí impaktoru větší částice, které by mohly komplikovat analýzu dat. Existuje mnoho různých typů ompaktorů podle druhu zkoumaného aerosolu. Posléze jsou zbylé ultrajemné částice klasifikovány prostřednictvím DMA. Způsob jejich klasifikace se realizuje průchodem těchto částic bipolárním nabíječem (neutralizér), který zajistí přesně definované rozložení napětí na částicích, resp. nabití částice. Výběr nadefinovaných frakcí z rozsáhlé velikostní distribuce, resp. vlastní klasifikace nastává v elektrostatickém poli v prstenci mezi vnitřní a vnější elektrodou DMA. Dále se částice dostávají do úzkého výstupního prostoru ve spodní části vnitřní elektrody. Jedná se o částice určité velikosti, resp. pohyblivosti, které projdou do výstupního prostoru (Spielvogel et al. 2010). Jednotlivě vybrané velikosti částic jsou během procesu posílány do CPC. CPC posléze určí koncentraci každé velikostní frakce (Ždímal et al. 2001). Tímto způsobem lze postupně změnou napětí DMA způsobovat změny v rozsahu 5,38 – 30 kV a získat velikostní distribuci částic v rozsahu 4,5 nm – 350 nm (Spielvogel et al. 2010).

Sady dat z OPC a SMPS+C jsou automaticky synchronizovány a kombinovány softwarem, který provádí efektivní analýzu a zpracování dat. Na základě tohot postupu systém WRAS ,ěří široké velikostní spektrum částic, tedy v rozsahu 4,5 nm – 32 μm (Spielvogel et al. 2010).

WRAS systém je nejjednodušší aerosolový spektrometr, který se v současné době využívá v Ústavu chemických procesů AV v ČR (Ždímal et al. 2001).

3.6.3 APS

APS (Aerodynamic Particle Sizer) představuje aerodynamický třídič částic. Částice se v tomto aerosolovém spektrometru třídí podle aerodynamického průměru. Metoda spočívá ve velkém zrychlení proudu aerosolu ve zužující se trysce, kde rychlost proudu činí více než 10^6 m/s. Za tryskou jsou kolmo k její ose umístěné dva paralelní laserové svazky, které jsou od sebe vzdáleny přibližně 100 μm. Je měřen čas, za

který projde částice vzdálenost mezi oběma svazky. Tato doba je úměrná aerodynamickému průměru částice. Částice, jejichž velikost je menší než 0,3 μm, jsou urychleny přibližně stejně jako proud vzduchu a nelze je tedy třídit a částice o velikosti více než 20 μm je nesnadné odebrat pro vzorkování. V aerosolové laboratoři Ústavu chemických procesů se kvalitativně měří koncentrace částic ve velikostním intervalu 0,3 – 20 μm a kvantitativně v rozmezí 0,5 – 10 μm (Ždímal et al. 2001).

V průběhu měřících kampaní, které zahrnují vzorkování vnitřních i venkovních aerosolů, je potřeba monitorovat velikostní distribuce částic v širokém rozsahu jejich průměrů, tedy od jednotek nanometrů až k několika mikrometrům. Jednotlivé přístroje SMPS a APS, užívané pro měření velikostních distribucí aerosolových částic, nepokrývají široký rozsah velikostí. Řešením je pokrýt požadované velikostní rozmezí částice použitím několika přístrojů souběžně. Skenovací třídič pohyblivosti částic (SMPS) měří velikost částic od jednotek nanometrů až po jeden mikrometr a aerodynamický třídič částic (APS) měří částice větší než 0,5 μm. Problémy mohou nastat v případě vyhodnocování naměřených dat a pak při spojování těchto dat do jedné souvislé velikostní distribuce. Měření jednotlivých přístrojů je založeno na různých fyzikálních principech, kdy jsou měřeny různé fyzikální veličiny: APS měří aerodynamický průměr, SMPS měří průměr částic odpovídající jejich elektrostatické pohyblivosti. Je to tedy jeden z faktorů způsobujících výše zmíněné problémy. I použití měřících přístrojů, které jsou založeny na stejném fyzikálním principu nebo použití stejného typu přístroje vždy nezaručuje nejlepší výsledky (Ondráček et Lazaridis 2007).

3.7. SUSPENDOVANÉ ČÁSTICE

3.7.1 PM (particulate matter)

Anglický výraz *„particulate matter“* je nesprávný překlad českého pojmu „polétavý prach (PM_{10})“. Termín *„particulate matter“* se překládá do češtiny dvěma způsoby, podle oblasti využití tohoto pojmu. Při hodnocení znaku kvality volného ovzduší (venkovního, vnitřního a pracovního) se tento pojem překládá jako aerosolové částice, resp. všechny částice v daném objemu vzduchu. Při posuzování odpadních plynů se pojem překládá do češtiny jako tuhé znečišťující látky (zákon č. 86/2002 o ochraně ovzduší, příloha 1). Určitá nejednotnost panuje i v mezinárodních normách, např. mezinárodní norma (CSN ISO 4225) uvádí pojem *„prach“ (dust)* jako malé tuhé částice o průměru pod 75 μm, které se vlastní hmotností usazují a mohou zůstat po určitou dobu v suspendovaném stavu. Dále *„prach“ (grit)* znamená polétavé tuhé částice přenášené v ovzduší nebo odpadních plynech. Výraz PM_{10} je označení pro vzorkování thorakálních částic ve volném ovzduší. Thorakální částice (thoracic particles) jsou částice pronikající za hrtan (Skácel et Tekáč 2007).

Následující část práce se zabývá všeobecným popisem tuhých znečišťujících látek, resp. jejich vlastnostmi, složením, účinky na organismy a životní prostředí. Dále jsou uvedeny různé způsoby měřících metod na jejich detekci. Protože měřících metod je velké množství, jsou zde jmenovány ty, které se běžně využívají. Dále je text

soustředěn na prašný aerosol, tedy bližší popis vlastností, velikostního složení prachu a jeho účinků na organismus jako tuhé znečišťující látky a základní popis metodiky analýzy a měření, které jsou vesměs stejné jako metody na detekci TZL.

3.7.2. TUHÉ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Tuhé znečišťující látky představují suspendované částice a patří mezi základní ZL (Holoubek et Komárek 1982). Tvoří částice různé velikosti. Částice větší než 100 μm setrvávají ve vzduchu velmi krátkou dobu a sedimentují jako prach. Menší částice tedy setrvávají v ovzduší delší dobu a jsou schopny dálkového transportu. Částice o velkosti menší než 5 μm vykazují vlastnosti aerosolu (nesedimentující, polétavý prach) a zůstávají v ovzduší, dokud se z nich nevytvoří fyzikálními a chemickými procesy větší částice. Se zmenšujícími se rozměry nejen roste respirabilita částic, ale také schopnost na sebe vázat sorpcí či kondenzací jiné látky. V atmosféře jsou na ně vázány těžké kovy. Rozdíly v obsahu jednotlivých kovů jsou dány původem částic. Na částice tuhých látek se vážou vedle těžkých kovů i perzistentní organické potulanty (POP_s). Vystupují z řady zdrojů do prostředí a jejich výsledné účinky se mohou projevovat na národní, regionální i globální úrovni. Účinky zahrnují především:

- karcinogetu
- reprodukční poruchy
- změny vývojového a imunitního systému
- endokrinní narušení (v extrémním případě narušení biologické diverzity) (Fiala et al. 2003).

Tuhé znečišťující látky v ovzduší ve formě tuhého aerosolu, polétavého prachu či celkové prašnosti, jsou sledovány od počátku hodnocení přízemní vrstvy atmosféry. Mohou být původu anorganického, organického nebo biologického. Jsou zařazeny mezi rizikové potulanty. Škodlivý účinek těchto látek je odvislý od jejich velikosti, složení, příp. morfologie (Fiala et al. 2003).

Pro charakterizaci tuhých částic se používají různé parametry, např. koncentrace (pro nejjemnější frakci), velikost povrchu (pro střední frakci), objem a hmotnost částic (pro střední a hrubou frakci) (Fiala et al. 2003).

Zdroje tuhých znečišťujících látek, které mohou ohrozit lidský organismus, jsou především v antropogenních procesech (Fiala et al. 2003), kde jejich podíl činí v globálním měřítku asi 10% (Maznová et al. 2009). Dále zdroje biologického původu (bakterie, plísně nebo pyly), jejichž působení může vést až k alergickým recidivám (Fiala et al. 2003). Mohou být emitovány přímo jako částice ve formě primárního aerosolu nebo vznikají v ovzduší chemickými reakcemi z emitovaných prekurzorů (sekundární aerosol). Hlavními zdroji přírodních primárních emisí jsou sopky, prach z písečných bouří, požáry travních a lesních porostů, mořský aerosol (Maznová et al. 2009) a v menší míře průnik kosmických částic do atmosféry nebo přirozená radioaktivita (Fiala et al. 2003). Nejvýznamnějšími zdroji antropogenních emisí jsou spalovací procesy ze stacionárních zdrojů (výroba tepla a elektřiny) a mobilních (doprava). Další zdroje představují průmyslové procesy, stavební činnost a

zemědělství (Maznová et al. 2009). Znečištění ovzduší tuhými částicemi, pokud se nejedná o částice s dráždivými účinky, se projevuje pozvolna a často nenápadně (i při vysokých hladinách znečištění). Existují dva možné způsoby ohrožení organismu těmito látkami: vznik zánětlivých ložisek v místě uložení tuhých částic a vstřebávání jednotlivých látek do organismu, kdy jsou látky na tuhých částicích adsorbované či látky uvolněné rozpouštěcím či reakčním mechanismem na vlastních částicích (Fiala et al. 2003).

Sledování tuhých znečišťujících látek v emisích se především soustřeďuje na velikostní frakce, resp. na částice o velikosti do 2,5 μm a 10 μm (Fiala et al. 2003). Rozlišují se tedy podle velikosti částic na PM_{10} (částice menší než 10 μm) a $PM_{2,5}$ (< 2,5 μm) (Holoubek et Komárek 1982). Sledují se i částice submikronové, které se značí PM_1 (Fiala et al. 2003). V současné době je větší pozornost věnována částicím o velikosti (aerodynamického průměru) pod PM_{10}, které mohou pronikat do dýchacího traktu (inhalovatelná frakce). Částice této frakce jsou rozdělovány do dvou skupin na základě odlišné velikosti, mechanismu vzniku, složení i chování v atmosféře (Holoubek et Komárek 1982).

$PM_{2,5}$

$PM_{2,5}$ představují částice o velikosti pod 2,5 μm. Jedná se o jemnou respirabilní frakci. Vznikají důsledkem chemických reakcí, nukleací, kondenzací plynných emisí na povrchu vzniklých částic či koagulací nejjemnějších částic. Hlavními zdroji těchto částic bývá spalování uhlí, pohonných hmot, dřeva, chemická výroba, transformace NO_x a SO_2 v atmosféře (nukleace) a přeměna organických látek. V základním složením těchto jemných částic převládají sírany, dusičnany, amonné ionty, elementární uhlík, organické látky a kovy. Tyto částice v atmosféře setrvávají dlouhou dobu, která umožňuje jejich transport i na velké vzdálenosti v rámci pohybu vzdušných mas (Holoubek et Komárek 1982).

$PM_{2,5-10}$

Do této skupiny náleží částice v rozmezí velikosti 2,5 až 10 μm. Jedná se o hrubou frakci. Částice vznikají mechanickým obrušováním (drcením, mletím, otěrem povrchu) a vířením prachu. Mezi hlavní zdroje těchto částic v ovzduší patří různé průmyslové prachy, těžba v lomech, stavební činnost, prach z vozovek a obdělávání půdy. Tato frakce rovněž zahrnuje různé biotické částice: bakterie, spory, pyl, částečky rostlin. Významným zdrojem jsou i spalovací procesy (uhlí, oleje, nafta) spojené s emisemi částeček paliva a sazí. Hlavní složkou částic je krystalický materiál, oxidy kovů (Si, Al, Fe), $CaCO_3$, uhlíkaté agregace sazí a částečky pneumatik. Tyto částice setrvávají v ovzduší kratší dobu a jejich výskyt je omezen na blízké okolí zdroje (Holoubek et Komárek 1982).

Suspendované částice těchto frakcí jsou kondenzačními jádry pro srážky. Přítomnost částic v ovzduší pak přispívá k výskytu srážek. Výskyt srážek působí mokrou depozici, a tedy klesá koncentrace PM_{10} (Knozová et Skeřil 2011).

Škodlivé účinky tuhých látek v ovzduší jsou podle hledisek Mezinárodní organizace WHO posuzovány jako krátkodobé a dlouhodobé. Na krátkodobé účinky mají větší vliv částice PM2,5 než částice PM10. Důvod spočívá v tom, že na jemnější frakce se vážou sulfáty a látky silně kyselé povahy (Fiala et al. 2003). Dlouhodobé účinky

tuhých látek se projevují bronchiálním a plicním onemocněním (převážně u dětí) (Fiala et al. 2003).

3.7.3. MĚŘENÍ EMISÍ TUHÝCH ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK

Emise tuhých znečišťujících látek (TZL) lze stanovit manuálními měřícími metodami a instrumentálními on-line metodami (Skácel et Tekáč 2007). Měření TZL patří mezi nejkomplikovanější metodiky analýzy odpadních plynů a zahrnuje posloupnost těchto operací:

- rekognoskace vzorkovacího stanoviště
- odběr vzorku
- úprava vzorku před analýzou
- analýza vzorku (Skácel et Tekáč 2007).

Základem experimentálního měření je určení hmotnostního toku těchto látek. První fáze analýzy představuje shromáždění reprezentativního vzorku tuhých částic. Realizuje se separací pevné a kapalné fáze heterogenní matrice, resp. aerosolu, která je doprovázena imobilizací částic na vhodném materiálu a úpravou zachyceného vzorku. Druhá (zpravidla poslední) fáze představuje stanovení celkové hmotnosti depozitu. U vzorku se v některých případech zjišťuje dále jeho složení, resp. stanovení jednotlivých analytů ve shromážděné hmotě částic, případné určení velikostní distribuce částic, jejich morfologie, původ apod. Předpokladem pro správné provedení analýzy je odběr emisních či imisních vzorků (Skácel et Tekáč 2007).

Základní postup stanovení obsahu tuhých látek v ovzduší je manuální gravimetrická metoda, používající vhodné filtry. Vzorkování tuhých částic je nejsvízelnějším problémem analýzy ovzduší. Je to dáno charakterem proudění v uzavřeném profilu a ve volném ovzduší, charakterem tuhých částic, vlivem gravitace a dalších faktorů, které se týkají velké hmotnosti částic (Fiala et al. 2003).

K získání údajů o morfologii a složení částic slouží metody elektronové rastrovací mikroskopie a disperzní rentgenové spektrometrie, příp. rentgenové fluorescenční analýzy, které pracují s filtrační podložkou, a dále metody založené na výluhu zachycených částic a na rozkladu odfiltrovaných částic, jejich převedení do roztoku, atomové absorpční spektrometrie (AAS) nebo metodami spektrofotometrickými (UV-VIS) (Fiala et al. 2003).

V České republice se dlouhodobě využívá metoda PIXE (*Proton Induced X- ray Emission)* v Ústavu jaderné fyziky AV ČR (Fiala et al. 2003).
Pro stanovení poměru částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} v odebraných vzorcích se v České republice využívá odběrové zařízení certifikované americkou agenturou EPA (Fiala et al. 2003).
Pro on-line stanovení TZL v odpadních plynech se využívá mnoho metod, které jsou založeny na různých principech, např. turbidimetrie, absorpce elektromagnetického záření v různých oblastech spektra (Skácel et Tekáč 2007).

3.7.4. POLÉTAVÝ PRACH

Polétavý prach, resp. prachové částice, jsou tuhé pevné částice (Šuta 2010) různých látek (Schallerová 2007) libovolného tvaru, struktury nebo hustoty rozptýlené v plynné fázi (Skácel et Tekáč 2007) a unášené vzduchem s průměrem částic pod 10 μm (Šuta 2010). Jedná se o atmosférický aerosol přirozeného i antropogenního původu (MŽP, IRZ 2012b). Částice polétavého prachu jsou velmi lehké, proto trvá dlouhou dobu, než se usadí na povrchu. Obsah prachu v ovzduší se podle velikosti částic vyjadřuje hodnotou PM_{10}, $PM_{2,5}$ a PM_1. PM_{10} jsou částice o velikosti do 10 μm (tisícin milimetru) a poletují ve vzduchu několik hodin. PM_1 poletují i několik týdnů do doby, než jsou smyty srážkami (Schallerová 2007). Částice velikosti od 2,5 μm do 10 μm ($PM_{2,5-10}$) patří mezi hrubé frakce. Prachové částice $PM_{2,5}$, tedy částice s největším rozměrem nepřesahujícím 2,5 μm, představují jemnou frakci a v současné době je jim věnována velká pozornost v důsledku jejich prokazatelného vlivu na lidské zdraví (Šuta 2010). Platí, že se zmenšujícím se průměrem částice roste doba její přítomnosti v ovzduší.

Chemické složení prachu je odrazem zdroje znečištění (Šuta 2010). Polétavý prach tvoří většinou sírany, amonnné soli, uhlík, některé kovy, dusičnany, příp. i těkavé organické látky nebo polyaromatické uhlovodíky (Schallerová 2007).

Na koncentraci a velikostní složení prachových částic, zejm. částic do $PM_{2,5}$ μm, mají patrný vliv sezónní změny, a to především teplota a stabilita atmosféry (Libčinský et al. 2007), počasí a roční doba. Průměrná prachová koncentrace se pohybuje okolo 0,05 mg/m^3. 1 m^3 vzduchu obvykle obsahuje 82 000 vláknitých prachových částic (Freudenberg Vilene 2010).

Příčiny vzniku polétavého prachu

Polétavý prach přirozeně vzniká např. při sopečných erupcích nebo lesních požárech. V současné době vzniká polétavý prach především jako důsledek negativního projevu antropogenní činnosti. K nadměrnému vytváření prachu dochází nejvíce vysokoteplotními spalovacími procesy různého charakteru (Schallerová 2007).

Antropogenní zdroje polétavého prachu

Nadměrnou produkci polétavého prachu způsobuje :

- nárust automobilové dopravy
- domácí vytápění nekvalitními tuhými palivy
- spalování odpadu
- těžební činnost
- tavení rud a kovů (Schallerová 2007)
- odnos částice větrem ze stavebních ploch a ploch zbavených vegetace (MŽP, IRZ 2012b).

Hlavní zdroje částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ (vč. submikronových částic)

- spalovací procesy s fosilními palivy
- spalovací procesy s biomasou

- spalovací motory
- spalování dřeva v domácnostech
- požáry
- vypalování za účelem mýcení
- cesty
- zpracování rud
- zpracování kovů
- eroze (Fiala et al. 2003).

Klasifikace prachových částic podle obsahu škodlivých příměsí

1) prachové částice s obsahem toxických látek (těžké kovy, perzistentní organické látky, biologicky aktivní toxické látky) (Fiala et al. 2003).

2) prachové částice bez obsahu toxických látek

- s *fibrogenním účinkem* (azbestový prach, černouhelný prach, grafit, mastek, slída, keramické jíly, živec, kaolin, šamot, prachy v metalurgickém průmyslu)
- *bez fibrogenního účinku s výrazným dráždivým účinkem* (bavlna, len, konopí, juta, srst, peří, čedičová a skleněná vlákna, uhličitany alkálií, pálené vápno apod.)
- *bez fibrogenního a dráždivého účinku* (hnědouhelný prach, jiné než výše jmenované průmyslové a neprůmyslové prachy) (Fiala et al. 2003).

Prašný aerosol je ukazatelem znečištění ovzduší pevnými částicemi, které působí jako aktivní nosič pro různé částice včetně virů, pylů, těžkých kovů apod. Polétavý prach je vždy významným polutantem zatěžující ovzduší (Rožnovský et Litschmann 2005).

Vliv polétavého prachu na lidské zdraví

Polétavému prachu je člověk vystaven vdechováním znečištěného ovzduší (Šuta 2010). Míru vdechování prachových částic zvyšuje jejich dlouhá přítomnost v ovzduší. Nebezpečnost polétavého prachu pro zdraví člověka závisí na zdroji a chemickém složení prachu. Například dýchání sazí z dieselových motorů automobilových vozidel v městských oblastech je kvůli vysokému obsahu karcinogenních látek nebezpečnější než vdechování rozvířených zrn půdy z pole v přírodě (Schallerová 2007).

Částice prachu větší než 10 μm se v těle obvykle zachycují na nosní sliznici. Částice velikosti pod 10 μm se usazují dále v průduškách (Schallerová 2007). Poškozují zejm. kardiovaskulární a plicní systém (MŽP, IRZ 2012b). Především jemná frakce prachu $PM_{2,5}$ a PM_1 se vdechováním aplikuje při hlubším nádechu (Schallerová 2007) přímo do plicních alveol (Rožnovský et Litschmann 2005), což představuje ze zdravotního hlediska největší nebezpečí (Schallerová 2007). Tyto jemné frakce často obsahují adsorbované karcinogenní sloučeniny (MŽP, IRZ 2012b). Prachové částice v průduškách a plicích škodí mechanickým zaprášením.

Větší zdravotní problémy pak způsobuje obsah jedovatých a karcinogenních látek v prachu, např. arzen, kadmium, chrom, nikl, olovo, mangan (Schallerová 2007). Dlouhodobá expozice snižuje délku života a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. Může způsobovat chronickou bronchitidu a chronické plicní choroby. V důsledku adsorpce organických látek s mutagenními a karcinogenními účinky může expozice PM_{10} způsobit rakovinu plic (MŽP, IRZ 2012b).

Značná variabilita vlastností polétavého prachu vede k obtížím při hodnocení jeho vlivu na zdraví člověka (Šuta 2010). Rizikovost polétavého prachu pro lidskou populaci je definována limitními koncentracemi, které v kumulaci s dalšími škodlivými látkami vytvářejí celkové riziko sledovaného místa (Rožnovský et Litschmann 2005). Pro stanovení zdravotních rizik je tedy klíčové zjistit, jak nebezpečný je z hlediska zdraví člověka prach určitého složení či z konkrétního zdroje (Šuta 2010).

Vliv polétavého prachu na životní prostředí

Polétavý prach, resp. prašný aerosol se z ovzduší dostává do ostatních složek životního prostředí suchou nebo mokrou depozicí. Jak bylo zmíněno výše, platí, že čím menší má částice průměr, zůstane déle v ovzduší. Větší částice o průměru nad 10 μm sedimentují na zemský povrch během několika hodin. Jemnější částice velikostí pod 1 μm mohou v atmosféře setrvávat týdny, dokud nejsou odstraněny depozicí. Prašný aerosol působí na organismy mechanickým zaprášením, např. u rostlin snižuje jejich aktivní listovou plochu. U živočichů vstupuje prach do dýchacích cest. Problémy dále způsobují toxické látky obsažené v prašném aerosolu (MŽP, IRZ 2012b).

V atmosféře pevné částice prachu ovlivňují energetickou bilanci Země rozptylem slunečního záření zpět do prostoru. Tyto částice svým účinkem ovlivňují podnebí tvorbou oblaků. Pokud jsou při tvorbě oblaku přítomny prachové částice ve velkém množství, vzniklý oblak bude sestávat z velkého množství menších kapek. Tento oblak pak bude více odrážet sluneční záření než oblak obsahující větší částice. Vliv na klima se spíše projevuje v regionálním měřítku (MŽP, IRZ 2012b).

Zjišťování, měření a analýza prachu

Prach je dlouhodobě sledovanou charakteristikou znečištění ovzduší. Na území České republiky se sleduje mnoho let (Fiala et al. 2003). Pro polétavý prach platí v ČR čtyřiadvacetihodinový limit 50 $\mu g/m^3$. Tento limit může být ročně překročen 35krát. Další platný limit stanovuje průměrnou roční koncentraci 40 $\mu g/m^3$. Nejnovější studie ukazují škodlivé zdravotní účinky i nižší koncentrace polétavého prachu a Světová zdravotnická organizace (WHO) doporučuje snížení limitu na 20 $\mu g/m^3$ (Schallerová 2007).

Přítomnost prachových částic ve vypouštěném vzduchu lze při jejich vysokém obsahu indikovat vizuálně. Nižší koncentrace nemusí být takto pozorovatelné. Pak se množství prachu zjišťuje čerpáním analyzovaného vzduchu přes filtr o určité velikosti pórů (pro analýzu PM_{10} se použijí filtry s velikostí pórů 10 μm). Množství zachyceného prašného aerosolu se stanovuje gravimetricky vážením. Jinou alternativou může být metoda Black Smoke, která využívá změny reflektance

(odrazivosti) světla v závislosti na množství zachyceného prachu. Toto měření mohou provádět komerční laboratoře či výzkumná pracoviště (MŽP, IRZ 2012b). Vyhodnocení rizik negativních účinků prachu se konkrétně realizuje stanovením kvalitativního a kvantitativního složení prachu, kde se určují:

a) morfologické parametry: velikost, tvar a habitus částic

b)chemické složení: obsahy hlavních, vedlejších a stopových chemických složek

c) fázové složení: majoritní, minoritní a akcesorické fáze

d) obsahy amorfních látek (Eichler 2002).

Komplikace v analýze prachu nastávají v případě průmyslového prachu, který obsahuje pestrou směs různých částic. Takový heterogenní vzorek nelze spolehlivě analyzovat jednou metodou. Je tedy nutné prachové částice separovat na podskupiny s přibližně shodnými znaky (Eichler 2002). Existují tyto běžné metody separace prachových částic:

- síťování: dělení částic podle velikosti sadou sít
- magnetická separace: separace podle magnetických vlastností
- statické elektrické pole: podle elektrických vlastností
- dělení v kapalinách podle hustoty částic (Archimédův zákon)
- dělení podle sedimentační rychlosti
- dělení podle různé rozpustnosti pevných látek v rozpouštědlech
- manuální separace optickou mikroskopií (Eichler 2002).

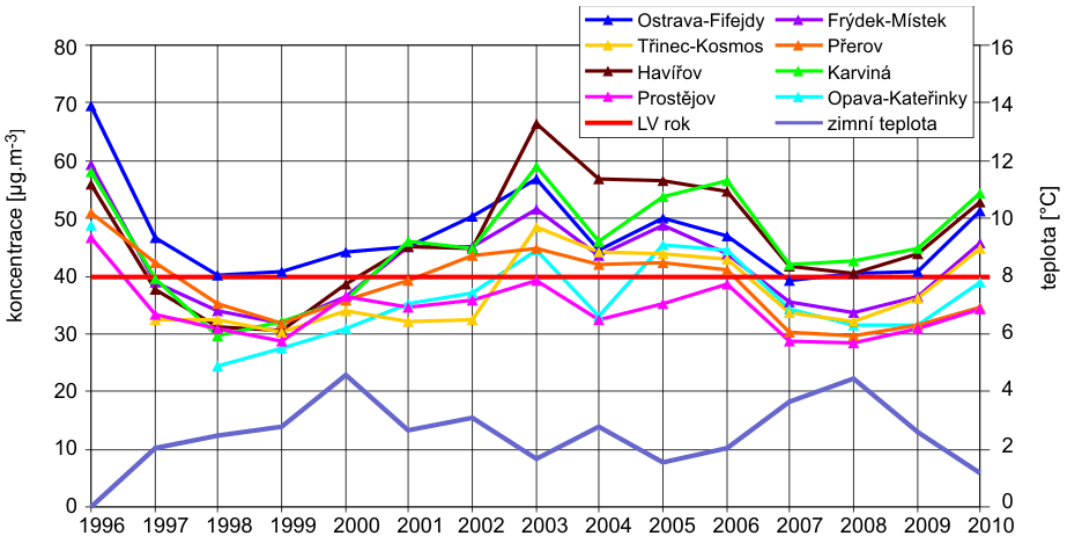
Vhodná metoda se volí individuálně podle předpokládaného nebo přibližně stanoveného kvalitativního složení prachu (Eichler 2002), daného zastoupením např. kovů, aniontů, polyaromatických uhlovodíků či radioaktivitou (Rožnovský et Litschmann 2005). Optimální cesta ke kvalitativní a kvantitativní analýze průmyslového prachu představuje:

- studium preparátů optickou mikroskopií – Stanovují se morfologické parametry prachových částic, provádí se předběžné kvalitativní a semikvantitativní identifikace a volí se další postup úpravy vzorků nebo vhodné analytické metody
- rentgenová prášková difrakční analýza – kvalitativní a kvantitativní analýza krystalických fází celého vzorku prachu či jeho vytříděných částí
- rentgenová fluorescenční analýza – kvalitativní a kvantitativní stanovení chemického složení celého vzorku prachu či jeho vytříděných částí (Eichler 2002).

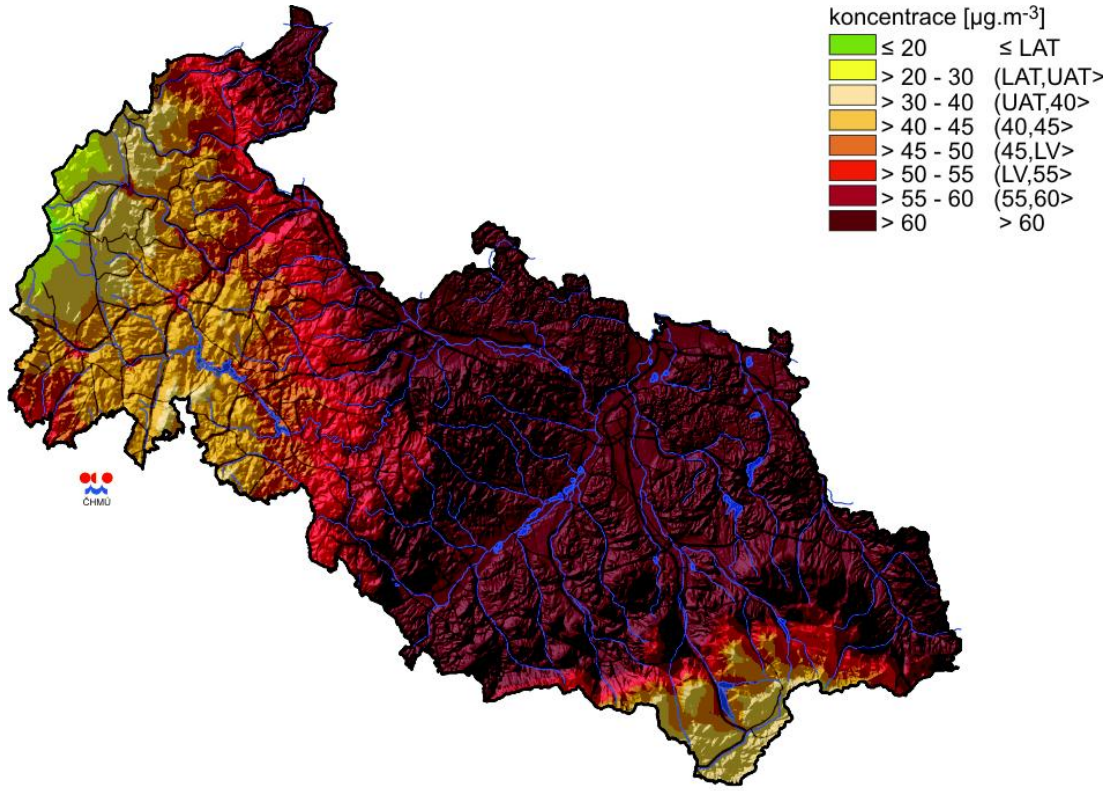
4. ZÁJMOVÁ OBLAST: MORAVSKOSLEZSKÝ KRAJ

Následující text se zabývá oblastí Moravskoslezského kraje, která patří mezi lokality nejvíce znečištěné emisemi z antropogenních zdrojů, především prachovými částicemi PM_{10}. Pozornost v tomto kraji je soustředěna na oblast Třinecka, kde působí Třinecké železárny jako jeden z několika velkých znečišťovatelů ovzduší v posledních letech.

V současné době pro Českou republiku představují koncentrace částic PM_{10} závažný problém. Pravidelně publikovaná hodnocení Českého hydrometeorologického ústavu prokazují výskyt nadlimitních koncentrací zejm. v Moravskoslezském kraji a dále v Praze (Maznová et al. 2009). Imisní koncentrace PM_{10} v Moravskoslezském kraji v chladných měsících roku 2010 několikanásobně překračovaly hodnotu denního imisního limitu 50 $\mu g.m^{-3}$. Tyto nadlimitní koncentrace ovlivnily i průměrné roční hodnoty. Po několika imisně příznivějších letech došlo ke zvýšení průměrných ročních koncentrací. Zvýšil se i počet dnů s nadlimitními denními hodnotami částic PM_{10}. Roční průměrné koncentrace suspendovaných částic frakce PM_{10} oblasti Severní Moravy mezi lety 1996-2010 níže uvádí tabulka (ČHMÚ 2011a).



Obr. 1. Roční průměrné koncentrace frakce PM_{10}, 1996-2010 (ČHMÚ 2011a)



Obr. 2: Nejvyšší 24.hod. koncentrace PM_{10} Moravskoslezské aglomerace, 2010 (ČHMÚ 2011a)

Vyšší koncentrace PM_{10} se v ovzduší objevují zejména v chladnějším období roku. Mohou být způsobeny vyššími emisemi částic do ovzduší ze sezónních zdrojů i se zhoršenými rozptylovými podmínkami. Překračování imisního limitu PM_{10} se stále významně podílí na zařazení obcí mezi oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší. Je patrné, že hlavními zdroji celkových emisí, resp. primárních částic a prekurzorů částic sekundárních je v České republice veřejná energetika (výroba elektrické a tepelné energie), doprava a výrobní procesy (ČHMÚ 2011b).

Z uvedeného mapového výstupu pořízeného z ČHMÚ vyplývá, že do přehledu nejvíce znečištěných lokalit České republiky lze zahrnout zejména oblast Moravskoslezského kraje (ČHMÚ 2011c).

4.1. TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY

V oblasti Moravskoslezského kraje působí také jeden z největších znečišťovatelů ovzduší částicemi prachu s velikostí PM_{10}, kterým jsou v posledních letech Třinecké železárny. V žebříčku největších znečišťovatelů podle IRZ pro Moravskoslezský kraj

za rok 2010 se řadí na druhé místo. Za rok 2010 Třinecké železárny uvolnily do ovzduší PM_{10} v množství 667439 kg.[1] V současné době tato emise vykazuje rostoucí tendenci. Tyto koncentrace částic PM_{10} a koncentrace jiných znečišťujících látek významných z hlediska jejich vlivu na životní prostředí a zdraví obyvatel sleduje a zpracovává Integrovaný registr znečištění, který je veřejně přístupnou databází znečišťovatelů v České republice.

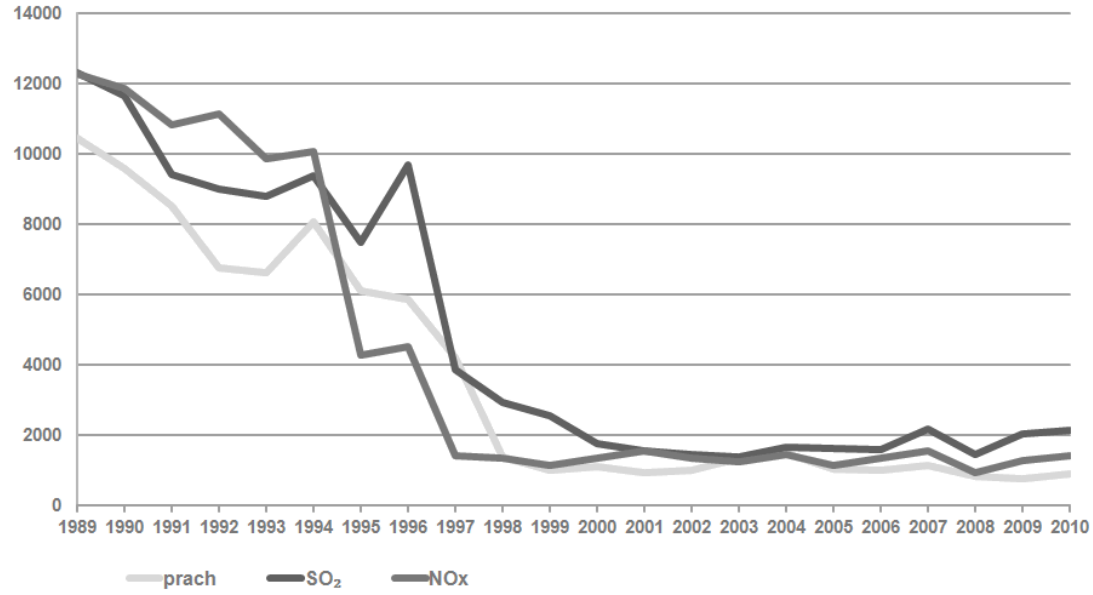
Třinecké železárny jsou průmyslovým podnikem města Třince s nejdelší tradicí hutní výroby v České republice působící od roku 1839. Představují výrobce ocelových výrobků. Na celkové výrobě oceli se v České republice podílejí více než jednou třetinou. V současné době jsou hutním podnikem s uzavřeným hutním výrobním cyklem, kde hlavní výrobní program tvoří dlouhé válcované výrobky (Třinecké železárny-Moravia Steel 2005).

Součástí programu podniku je ochrana životního prostředí a snižování ekologické zátěže v přilehlém okolí péčí o přilehlý biokoridor, přírodní zeleň na území hutě, nakládání s odpady a další opatření. Pro oblast ochrany ovzduší podnik uvádí, že neustále snižuje vypouštění plynných emisí a prachu (Třinecké železárny-Moravia Steel 2005), a to moderními odprašovacími zařízeními, které splňují emisní limity (Arnika 2011), což se projevuje např. v postupné regeneraci okolních beskydských lesů (Třinecké železárny-Moravia Steel 2005).

[1] údaj 667439 kg za rok 2010: MŽP, 2010: Integrovaný registr znečišťování. Vyhledávání úniků a přenosů, Praha, online: http://www.irz.cz/node/108, cit. 28.3.2012

5.VÝSLEDKY

Emise v tunách za rok vypouštěné do ovzduší v letech 1989 až 2010 níže uvádí Třinecké železárny grafem, který zobrazuje zastoupení hlavních znečišťujících látek: prach, SO_2 a NO_x. Předmětem zájmu z těchto látek pro následující zhodnocení je polétavý prach: Z grafu vyplývá, že v roce 1989 ovzduší vykazovalo vysokou koncentraci prachu v množství 10 000 až 11 000 tun/rok, a po roce 1989 se postupně snižovalo zastoupení škodlivin. Od roku 1994 se výrazně snížily emise prachu v ovzduší hodnotám pod 2000 tun/rok do roku 1998. Do roku 2007 koncentrace těchto látek vykazuje téměř konstantní průběh se slabými výkyvy. Počínaje rokem 2008 je koncentrace emisí charakterizovaná opět pomalým růstem až do současnosti.



Obr. 3: Emise vypouštěné do ovzduší v letech 1989-2010 (t/rok) (Třinecké železárny-Moravia Steel 2005).

Na základě dlouhodobě i aktuálně hodnocených imisních údajů ČHMÚ a IRZ pro oblast Třinecka lze konstatovat, že provozovna hutního průmyslu Třinecké železárny obsazuje první místa v produkci několika skupin látek včetně nebezpečných prachových částic. Vedoucí ostravské pobočky Arniky Vendula Krčmářová uvádí: „Tento růst souvisí zejména se zvýšením výroby po uplynulé době krize, kdy podniky snižovaly výrobu.“ (Arnika 2011).

6. DISKUZE

Údaje o emisích prachu, které uvádí Třinecké železárny mezi lety 1989 až po současnost naznačují, že došlo k poklesu emisí této znečišťující látky přibližně o 82 % z původního stavu v roce 1989. Tento fakt strmého poklesu do roku 1998 zřejmě souvisel zřízením samostatného Ministerstva životního prostředí a schválením ekologické legislativy a dále povinnými opatřeními pro provozovatele znečištění na snížení emisí základních znečišťujících látek. Podnik Třinecké železárny uvádí, že realizuje mnohá opatření na snížení emisí prachu. Toto tvrzení však neodpovídá zcela hodnotám v posledních dvou letech, které sám podnik prezentuje v grafu a také se neslučuje s hodnotami uváděných v databázi IRZ. Je třeba dále podotknout, že podíl zbylých výše uvedených emisí vypouštěných podnikem se v posledních letech zvýšil více než v případě polétavého prachu. Na druhou stranu je třeba znovu potvrdit, že ještě v roce 1989 byly hodnoty emisí na mnohonásobně vyšší úrovni než dnes. Přesto současné emise polétavého prachu představují značné zdravotní riziko a závažný problém v životním prostředí, a proto je třeba tyto emise nadále snižovat.

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámit se s pojmem aerosoly, které jsou v mnoha směrech zdaleka neprobádanou oblastí výzkumu. Jejich vlastnosti a měření byly popsány již před několika desítkami let, kdy byl především v polovině 20. století v době Československa jejich výzkum předmětem velkého zájmu. Jsou stavěny na základních teoriích o pohybech molekul při určité velikosti, tvaru částic a dalších charakteristikách. Velikost částice považuji za vůbec nejdůležitější parametr aerosolové částice, který určuje její vlastnosti a chování v atmosféře. Pro zasvěcení do problematiky aerosolů bylo tedy zásadní uvést jednotlivé vlastnosti a projevy. Nedílnou součástí je popis jejich vlivu na organismy a životní prostředí. V této práci jsem nastínila několik metod na zjišťování aerosolů v globálním i lokálním měřítku. Monitorování aerosolů modelem Hysplit se doporučuje jako metoda vhodná na zjištění původce zdroje znečištění z makroskopického pohledu, tedy z pohledu družice NOAA, která snímá trajektorie pohybu aerosolových částic ve vzduchu. Pro zjištění konkrétních charakteristik aerosolů, např. tvaru, velikostní distribuce, přesnější koncentrace aerosolových částic, slouží metody, které měří velikostní frakce aerosolů na lokální úrovni (v laboratorních podmínkách). Tyto metody jsou mnohem přesnější, ale v závislosti na typu metodiky měření v různé míře ovlivňují vzorek aerosolu svým zásahem. Aerosoly, zejména antropogenní aerosoly představují rozsáhlou oblast částic různého chemického složení a různého podílu velikostních frakcí. V této práci jsem tudíž nadále soustřeďovala pozornost na tuhé znečišťující látky, tedy uvedla jsem konkrétní případ aerosolu ve formě polétavého prachu, jeho popis, měření a účinek na životní prostředí. Jelikož je polétavý prach významným polutantem v ovzduší, zaměřila jsem se na oblast Moravskoslezského kraje, ve kterém se nachází významný znečišťovatel vypouštějící prašný aerosol v nadlimitních koncentracích do ovzduší, což prokázala data z ČHMÚ a IRZ.

9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

ARNIKA, 2011: U pravidelných znečišťovatelů došlo k navýšení emisí, Ostrava, online: http://arnika.org, cit.28.3.2012

BARTOVSKÁ L., ŠIŠKOVÁ M., 2005a: Co je v povrchové a koloidní chemii, online: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/, cit. 16.3.2012

BARTOVSKÁ L., ŠIŠKOVÁ M. 2005b: Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. *VSCHT, Praha*

BENCKO, V. *Hygiena*. Praha: Karolinum, 2002. ISBN 80-7184-551-5

CASSILAS-ITUARTE N.N., CALLAHAN K.M., TANG C.Y., CHEN X., ROESELOVÁ M., TOBIAS D.J., ALLEN H.C. 2010*: Surface organization of aqueous $MgCl_2$ and aplication to atmospheric marine aerosol chemismy, proc. natl. Acad. Sci.* U.S.A., 107(15), 6616-6621

ČHMÚ, 2011a: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2010, Praha, online:http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/kap241.html, cit.29.3.2012

ČHMÚ, 2011b: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2010: Suspendované částice frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$, Praha, online: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/kap2421.html, cit.29.3.2012

ČHMÚ, 2011c: Závěry, Praha, online: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr10cz/kap2421.html, cit.29.3.2012

DRACLER R.R., ROLPH G.D. 2012: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory. Model access via NOAA ARL READY NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, online: http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php, cit. 15.3.2012

EICHLER, F. 2002: Kvalitativní a kvantitativní identifikace průmyslového prachu. Krystalografická společnost, Liberec, online: http://www.xray.cz/xray/csca/kol2002/doc/f_eichler.htm, cit. 20.3.2012

FIALA J., MACHÁLEK P., FARA M. 2003: Toxikologicky závažné látky v emisích PM_{10}. Problematika emisí prachu. *Český hydrometeorologický ústav. Praha*

FISCHER O., KIŠOVÁ L., MIADOKOVÁ M., MOLLIN J. 1984: Fyzikální chemie. *Státní pedagogické nakladatelství, Praha*

FREUDENBERG VILENE, 2010. In: *Filtry pro povrchové technologie,* online: http://www.vilene.cz/Viledon/lakovny/lakovna01.html, cit. 21.3.2012

HINDS C. W. 1999: Aerosol technology: Properties, behavior and measurement of airborne particles. *Wiley, New York*

HOLOUBEK I., KOMÁREK J. 1982: Chemie životního prostředí. *UJEP, Brno*

HOLOUBEK I., HOVORKA J., HŮNOVÁ I., KALVOVÁ J., MPLDAM B., PŘIBIL R. 2004: Aktuální otázky znečištění ovzduší . *Karolinum, Praha*

HOLOUBEK I., BEDNÁŘ J., FARA M., FIALA J., HOVORKA J., HÚNOVÁ J., KLÁN P., KOHOUTEK J., KOMPRDA J., LENÍČEK J., SKYBLOVÁ M., VOKOUNOVÁ Š., ZÁVODSKÝ D. 2005: Troposférická chemie. *Masarykova univerzita, Brno*

JUNGWIRTH P. 2003: Aerosoly a chemie atmosféry. *Vesmír 82:* 196 - 198

KNOZOVÁ G., SKEŘIL R. 2011: Koncentrace tuhých částic v ovzduší v bezesrážkových epizodách. *ČHMÚ, Brno*

LIBČINSKÝ R., ADAMEC V., HUZLÍK J., SCHWARZOVÁ M. *Vliv klimatických podmínek na koncentrace pevných částic.* Brno: Česká aerosolová společnost, 2007. ISBN 978-80-86186-00-9

MOTL L., KUTÍLEK M., GERLICH G., SVOBODA J., KURC L., PETRISKO M., MORRIS J., WALLKER M., SINGER F.S., KLAUS V., BABČAN J., MIHULKA S., TŘÍSKA D., BŘEZINA I., JAKL L., MIZ J., MACH P., LOUŽEK M., PETŘÍK M. 2008: Globální oteplování. realita nebo bublina? *In: LOUŽEK M. (eds): Sborník textů. Centrum pro ekonomiku a politiku, Praha*

MAZNOVÁ J., HŮNOVÁ I., VLČEK O., HNILICOVÁ H. 2009: Zlepšení metod hodnocení znečištění ovzduší částicemi pm_{10} na území České republiky. *Ochrana ovzduší 2*: 3-5

MŽP, 2012a: Integrovaný registr znečištění. Polétavý prach, Praha, online: http://www.irz.cz/latky/poletavy_prach, cit. 28.3.2012

MŽP, 2012b: Integrovaný registr znečištění. Polétavý prach PM10, Praha, online: http://www.irz.cz/node/85, cit. 22.3.2012

MŽP, 2010: Integrovaný registr znečišťování. Vyhledávání úniků a přenosů, Praha, online: http://www.irz.cz/node/108, cit. 28.3.2012

NOSRETI D., 2002: Prach. In: *Darius*, Ostrava, online:http://www.darius.cz/, cit.15.3.2012

OBČANSKÉ SDRUŽENÍ HLOUČELA., 2012: Víme co dýcháme?. In: *Pro Prostějov,* online: http://www.proprostejov.eu/up2012/, cit.12.2.2012

ONDRÁČEK J., LAZARIDIS M. *Algoritmus pro spojování velikostních distribucí aerosolových částic.* Brno: Česká aerosolová společnost, 2007. ISBN978-80-86186-00-9

PETRLÍK, J, 2010: Polétavý prach - PM10: Limity pro ovzduší. In: *Arnika,* online: http://arnika.org/poletavy-prach-pm10 cit.103.2012

ROLPH, G.D., 2003. Real-time Environmental Applications and Display sYstem

(READY) Website (http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
ARL. 2011: Hysplit model Research. [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: http://www.arl.noaa.gov/documents/Summaries/

ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T. *Prašnost - globální problém*: *Bioklimatologie současnosti a budoucnosti*. Křtiny, 2005. ISBN 80-86 690-31-08

ŘIMNÁŘOVÁ, D., V. ŽDÍMAL, J. SMOLÍK a J. ŠILHAVÝ. *Vybrané výsledky z kontinuálních měření atmosférických aerosolů v Praze-Suchdole*. Praha: Česká aerosolová společnost, 2008. ISBN 978-80-86186-17-7.

SCHALLEROVÁ, E. 2007:Polétavý prach - neviditelná hrozba. In: *Hluk emise*, online: http://hluk.eps.cz/hluk/emise/poletavy-prach-%E2%80%93-neviditelna-hrozba/, cit.19.4.2012

SKÁCEL F., TEKÁČ V. 2007: Podklady pro Ministerstvo životního prostředí k provádění Protokolu p PRTR. Přehled metod měření a identifikace látek sledovaných podle protokolu o registrech úniku a přenosu znečišťujících látek v únicích do ovzduší, VŠCHT. *MŽP, Praha*

SPIELVOGEL J., GUO X., PESCH M., KECK L., PROKOP T. 2010: Měření částic ve vzduchu pomocí spektrometru s širokým rozsahem. *Chemagazín 3:* 16 - 17

SPURNÝ K., JECH Č., SEDLÁČEK B., ŠTORCH O. 1961: Aerosoly. *Státní nakladatelství technické literatury, Praha*

ŠČUKIN E.D., PERCOV A.V., AMELINOVÁ E.A. 1990: Koloidní chemie. *Academia/Československá akademie věd, Praha*

ŠUTA M. 2010: Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví. *ZO ČSOP Veronica, Brno*

TESO, 2004: Metodika identifikace původců znečištění, online: http://www.teso.cz/article.asp?nLanguageID=1&nArticleID=319, cit. 23.2.2012 DOI: 2B08040

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY-MORAVIA STEEL, 2005: Životní prostředí, Třinec, online:http://www.trz.cz/oskd/FA06467ECB705233C125707C001D3206, cit.29.3.2012

U.S. EPA. Air Quality Criteria for Particulate Matter (Final Report, April 1996). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 600/P-95/001

VOJUCKIJ SERGEY S. 1984: Kurs koloidní chemie. *SNTL/Nakladatelství technické literatury, Praha*

VOKOUNOVÁ Š., ZÁVODSKÝ D. 2005: Troposférická Chemie. *Masarykova univerzita, Brno*

ŽDÍMAL V., MORAVEC P., DOLEŽAL B., BROŽEK V., NEUFUSS K. 2001: Aerosolové nanočástice vznikající při plazmové depozici. *Aprochem:* 592 - 594

10. PŘÍLOHY

Příloha 1:

Roční průměrné koncentrace frakce PM_{10}, 1996-2010

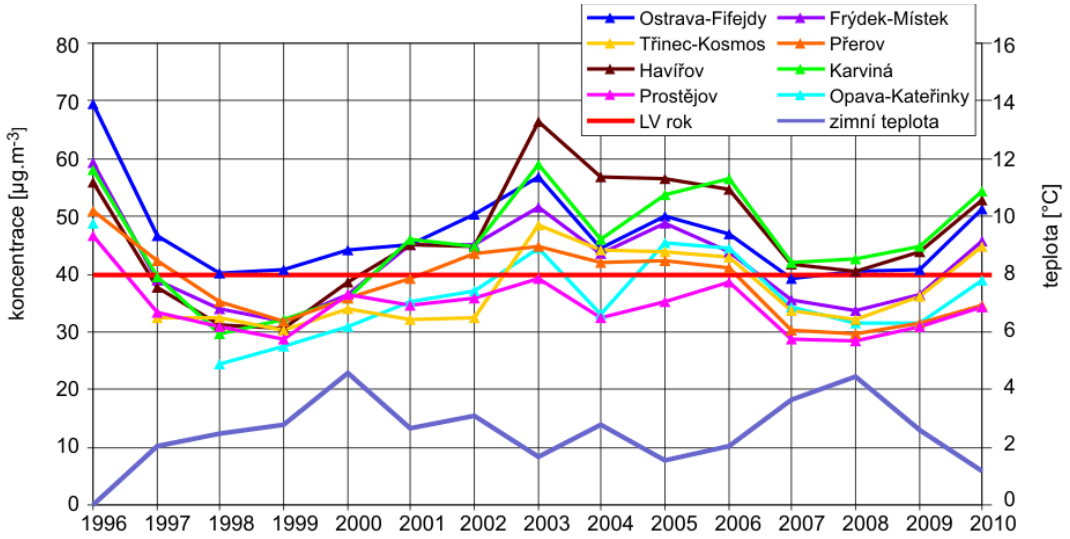
Příloha 2:

Nejvyšší 24.hod. koncentrace PM_{10} Moravskoslezské aglomerace, 2010

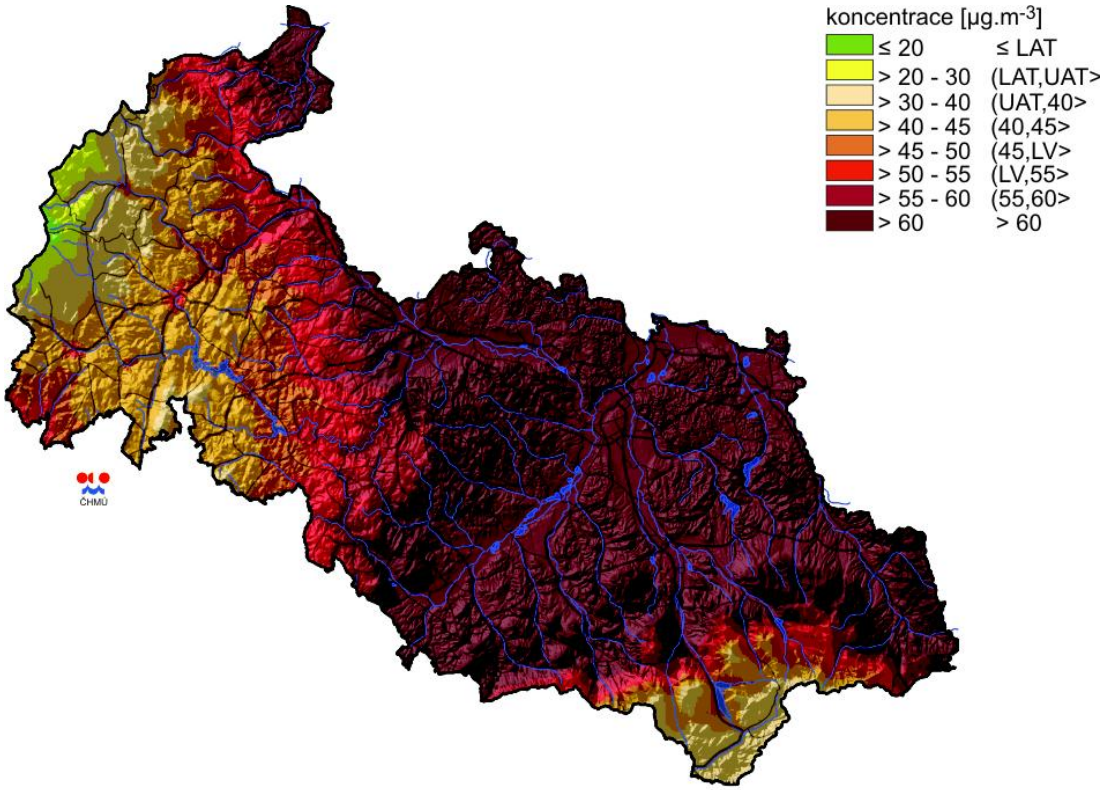
Příloha 3:

Emise vypouštěné do ovzduší v letech 1989-2010 (t/rok)

Příloha 1: Roční průměrné koncentrace frakce PM_{10}, 1996-2010



Příloha 2: Nejvyšší 24.hod. koncentrace PM_{10} Moravskoslezské aglomerace, 2010



Příloha 3: Emise vypouštěné do ovzduší v letech 1989-**2010 (t/rok)**