



PŘÍLOHA ČASOPISU OCHRANA OVZDUŠÍ

Aplikace metodiky identifikace původců znečištění na oblast pražské aglomerace

Ing. Jan Velišek, Technické služby ochrany ovzduší Praha a. s., velisek@teso.cz

Projekt MŠMT 2B08040 – Výzkum původu znečištění

Odpovědný řešitel projektu: Ing. Vladimír Bureš, TESO Praha a. s., bures@teso.cz

ABSTRAKT

Článek popisuje metodiku identifikace majoritních původců znečištění navrženou v rámci projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy 2B08040 – Výzkum původu znečištění společností TESO Praha a. s. a její aplikaci na oblast pražské aglomerace. Základním stavebním prvkem zmiňované metodiky je receptorové modelování (konkrétně model Chemical Mass Balance 8.2) doplněné řadou dalších nástrojů. Prezentovány jsou závěry pro oblasti Prahy Smíchov, Libuš a Suchdol a to vždy odděleně pro těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky a těžké organické látky.

Klíčová slova: identifikace původců znečištění, receptorové modelování, znečištění ovzduší, emise, imise, Chemical Mass Balance, těžké kovy, polycyklické aromatické uhlovodíky, těžké organické látky.

ABSTRACT

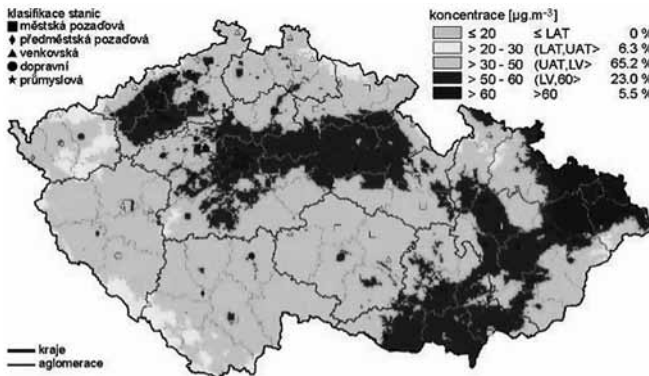
This article describes a methodology for the identification of polluters proposed by the state project of the Ministry of Education, Youth and Sport 2B08040 – Research on origin of pollution by Technical services of air protection Prague and its application in the area of the Prague agglomeration. The basic element of the methodology is referred to the receptor modeling (specifically, the Chemical Mass Balance Model 8.2), supplemented by a number of other instruments. Presented are the findings in the Smíchov, Libuš and Suchdol district of Prague, always separately for heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds.

Key words: methodology for the identification of polluters, receptor modeling, air pollution, emission, ambient air, Chemical Mass Balance, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, volatile organic compounds

1. Úvod

Identifikace původců znečištění je jednou z nejpálčivějších otázek ochrany ovzduší. Imisní situace v mnoha lokalitách České republiky není zcela ideální, zejména v zimním období (a) při zhoršených rozptylových podmínkách. Např. imisní limit pro polétavý prach PM_{10} byl v roce 2006 překročen na 29% území, kde žije 62% obyvatel ČR. [1]

Obrázek 1
Mapa – $IL PM_{10}$ 2006

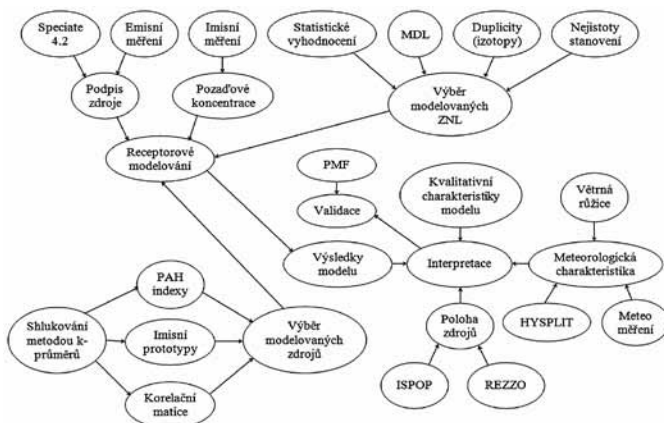


Chceme-li tuto neutěšenou situaci zlepšit, je nutno přijmout taková opatření, která budou při minimalizaci nutně vydaných finančních prostředků znamenat maximální možný efekt na výsledné imisní koncentrace dané znečišťující látky. V rámci projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy 2B08040 – Výzkum původu znečištění byla proto navržena metodika pro identifikaci původců znečištění, která má za cíl identifikovat majoritní původce znečištění na emisní straně pro získání relevantní informace o směřování vhodných opatření ke zlepšení imisní situace v zájmovém území právě na ty zdroje, kde bude mít případná redukce emisí maximální imisní efekt.

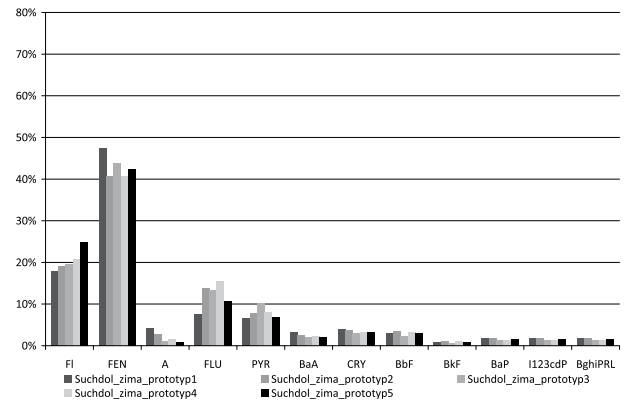
2. Použitá metodika

Metodika používá jako základního nástroje matematický receptorový model Chemical Mass Balance, jehož použití je doplněno o řadu dalších nástrojů, které slouží zejména pro přípravu experimentálních dat pro použití v tomto matematickém modelu, kvalifikované rozhodnutí o výběru modelovaných znečišťujících látek a modelovaných emisních zdrojů a interpretaci a validaci modelem prezentovaných výsledků. Stěžejní informace o navržené metodice prezentuje na obrázku 2 uvedený vývojový diagram, shrnující jednotlivé nástroje do logicky navazujícího celku.

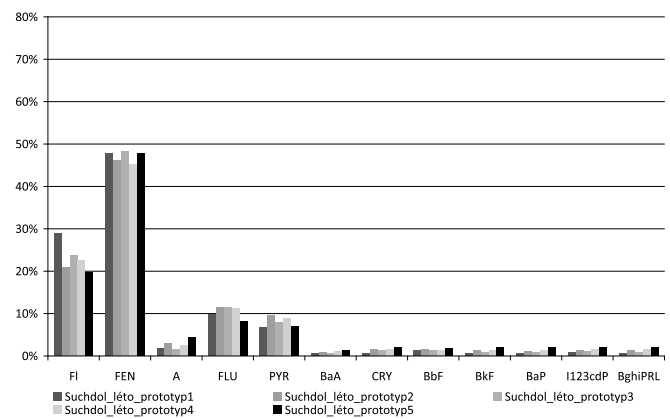
Obrázek 2
Metodika identifikace majoritních původců znečištění



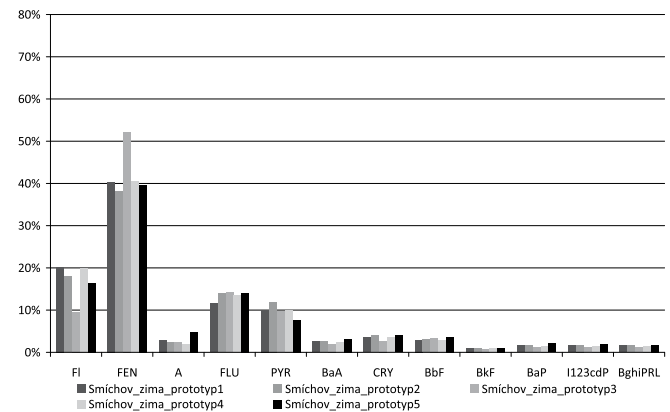
Obrázek 3
Poměrné zastoupení PAU v prototypu Suchdol_zima



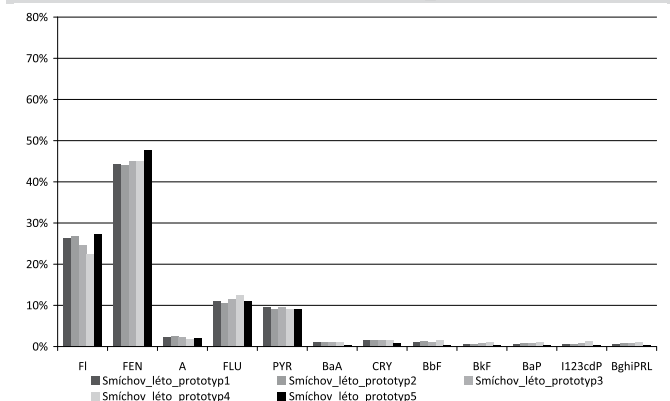
Obrázek 4
Poměrné zastoupení PAU v prototypu Suchdol_léto



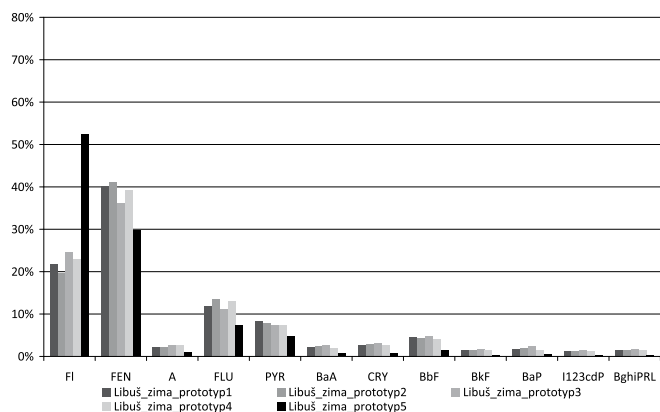
Obrázek 5
Poměrné zastoupení PAU v prototypu Smíchov_zima



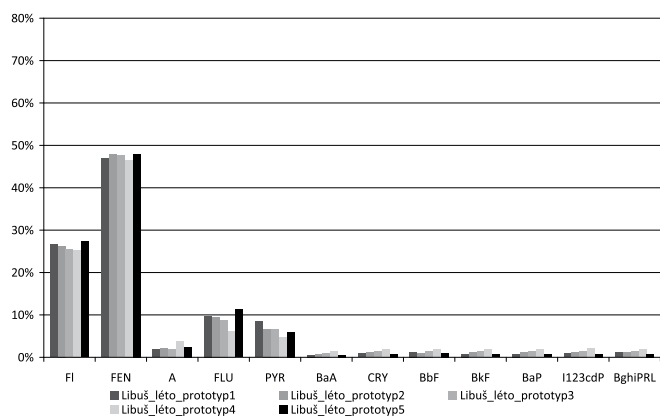
Obrázek 6
Poměrné zastoupení PAU v prototypu Smíchov_léto



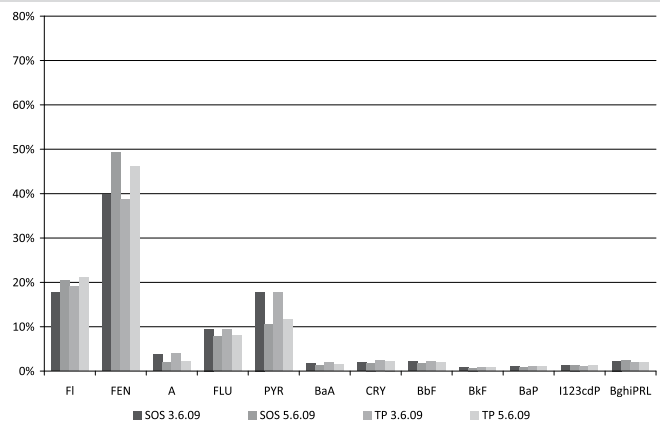
Obrázek 7
Poměrné zastoupení PAU v prototypu Libuš_zima



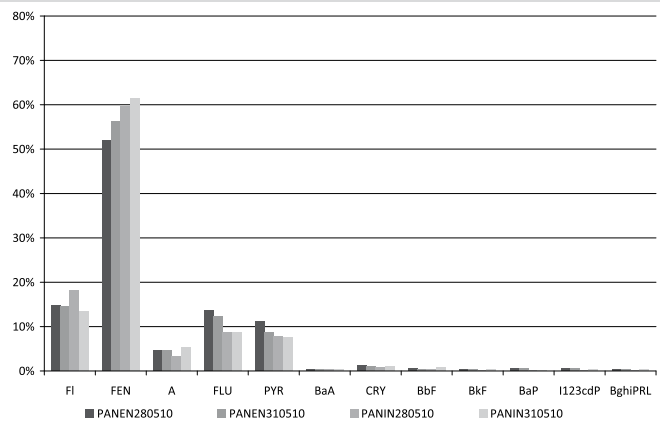
Obrázek 8
Poměrné zastoupení PAU v prototypu Libuš_léto



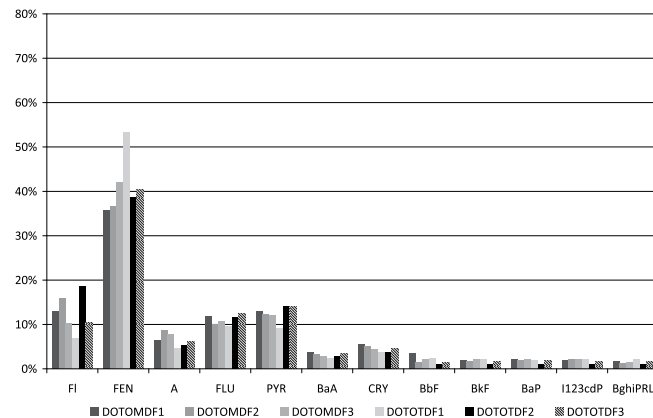
Obrázek 9
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – městská doprava



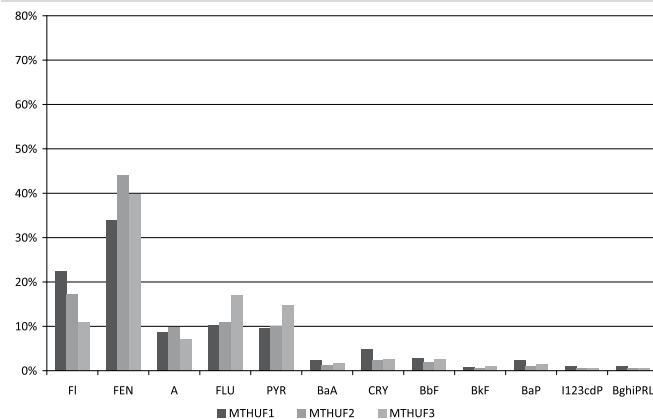
Obrázek 10
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – tranzitní doprava



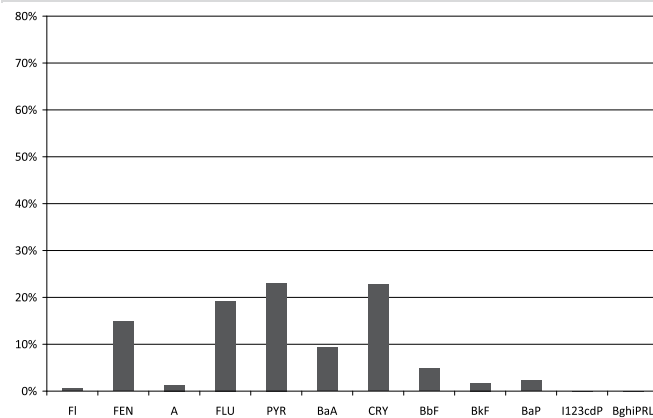
Obrázek 11
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – domácí topeniště (dřevo)



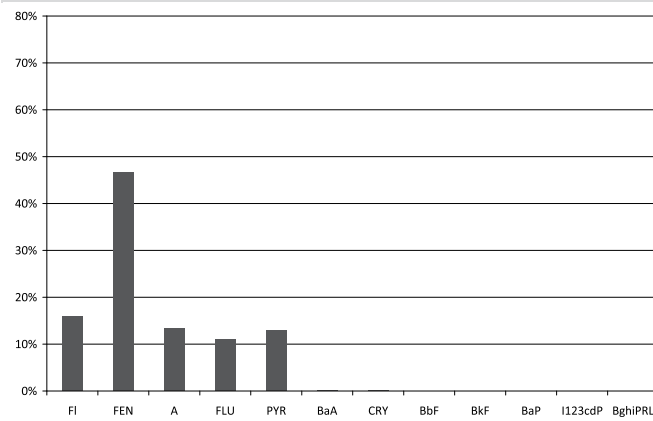
Obrázek 12
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – domácí topeniště (HU)



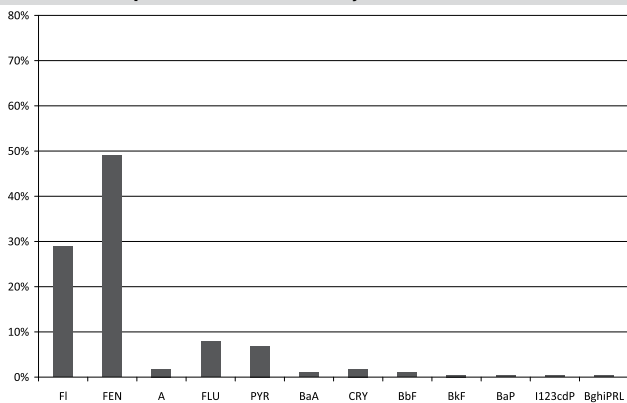
Obrázek 13
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – energetický zdroj (HU)



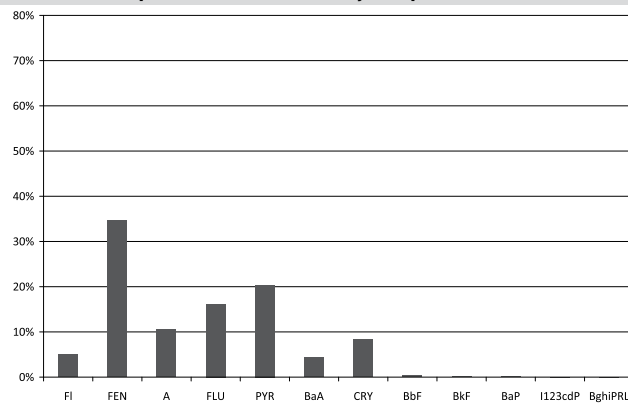
Obrázek 14
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – slévárna



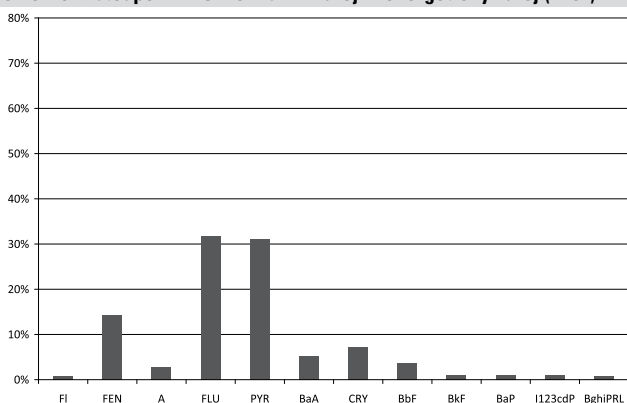
Obrázek 15
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – kamenolom¹



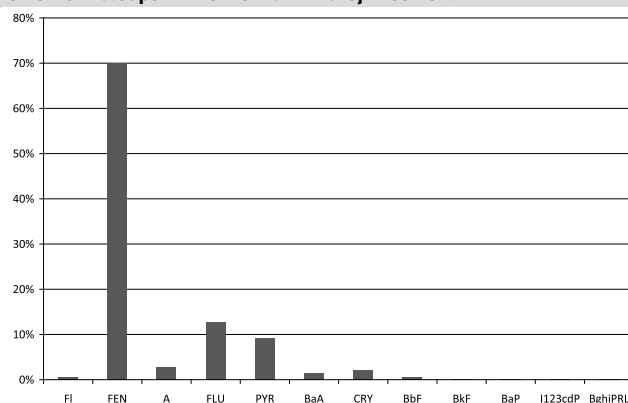
Obrázek 19
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – vápenka³



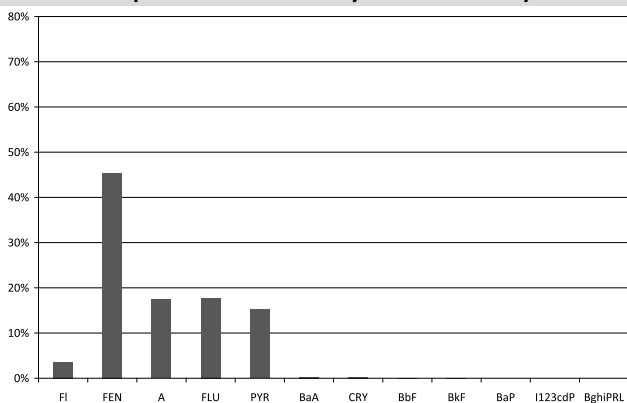
Obrázek 16
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – energetický zdroj (BIO²)



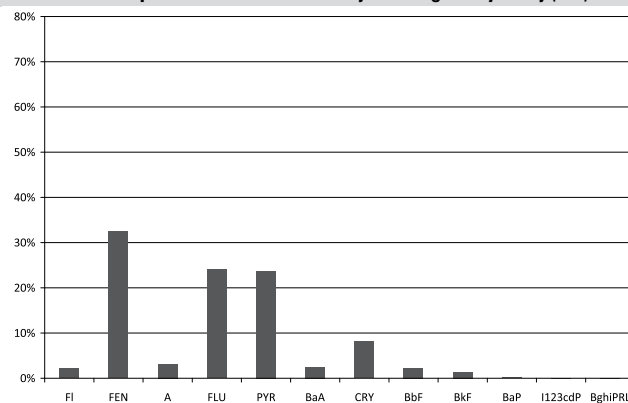
Obrázek 20
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – cementárna



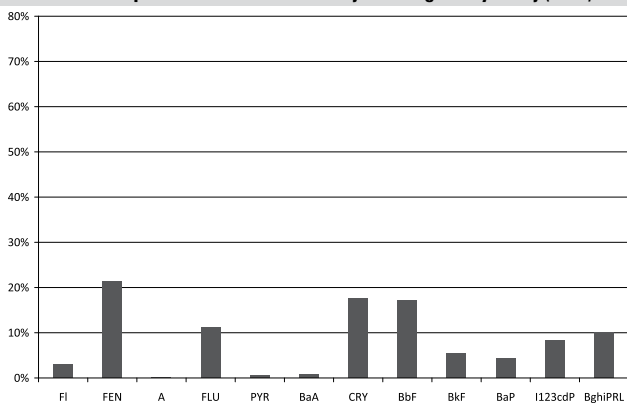
Obrázek 17
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – obalovna živичných směsí



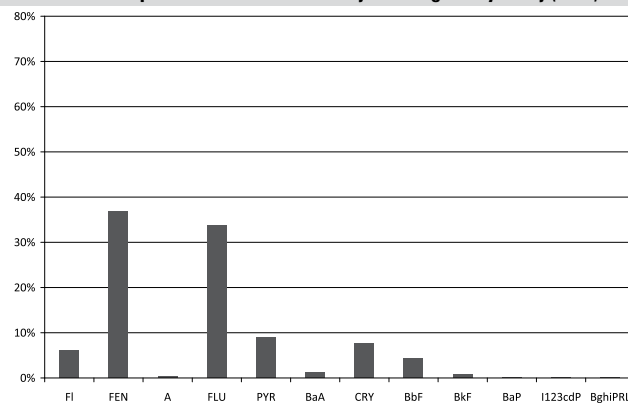
Obrázek 21
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – energetický zdroj (HU)



Obrázek 18
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – energetický zdroj (TTO)



Obrázek 22
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – energetický zdroj (TTO)

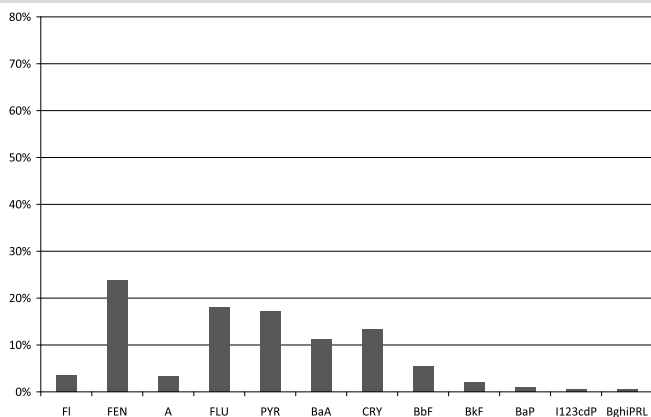


¹s ohledem na způsob měření (imisní sampler umístěný v prostoru třídiřny) se v tomto případě jedná spíše o imisní pozadí PAU

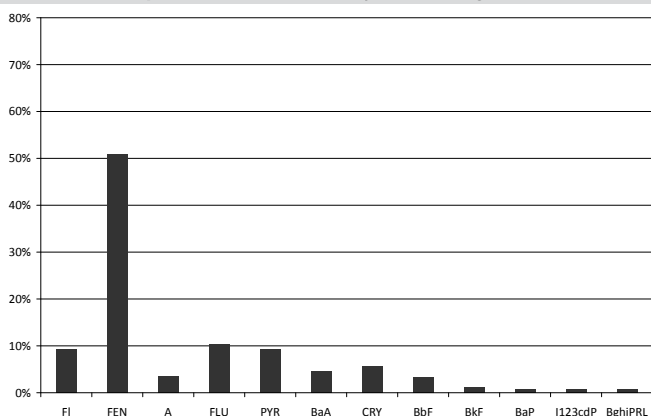
²černý výluh pocházející z vaření dřevní hmoty pro výrobu celulózy

³palivo hnědouhelný dehet

Obrázek 23
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – energetický zdroj (PP⁴)



Obrázek 24
Poměrné zastoupení PAU v emisním zdroji – technologie obalovna



3. Srovnání prototypů jednotlivých souborů s podpisem zdroje

Na **obrázcích 3–58** je uvedeno porovnání shluků (imisních prototypů) s emisními podpisy zdrojů. Ve všech případech je použito poměrné zastoupení jednotlivých složek a to jak v prototypech, tak v emisních podpisech zdrojů.

3.1 Polycyklické aromatické uhlovodíky

Z prezentovaných grafů je patrné, že prototypy imisních dat ze všech sledovaných stanic AIM vykazují značnou podobnost s profily emisních dat pro dopravu a spalování v malém topeništi, naproti tomu jsou zcela rozdílné než profily ostatních zdrojů. Výjimkou v této oblasti může do jisté míry představovat obalovna.

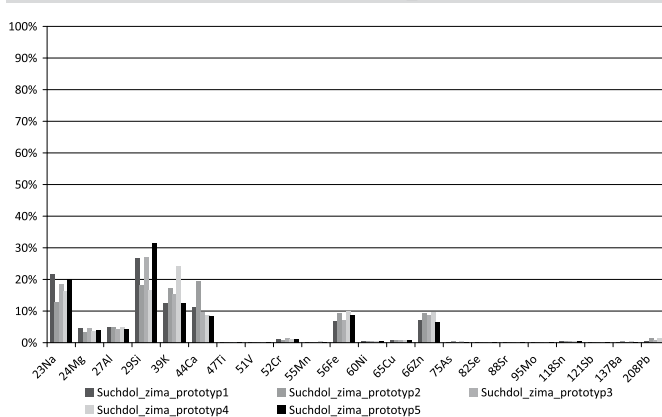
U skupiny látek PAU je obecně menší variabilita poměrů (nikoliv absolutních hodnot!) mezi letními a zimními imisními daty, než je tomu např. u skupiny těžkých kovů. To může být způsobeno, za předpokladu, že nejvýznamnějšími zdroji PAU ve sledovaných lokalitách jsou doprava a lokální topeniště, značnou podobností zdrojových profilů pro tyto dvě skupiny zdrojových profilů.

3.2 Těžké kovy

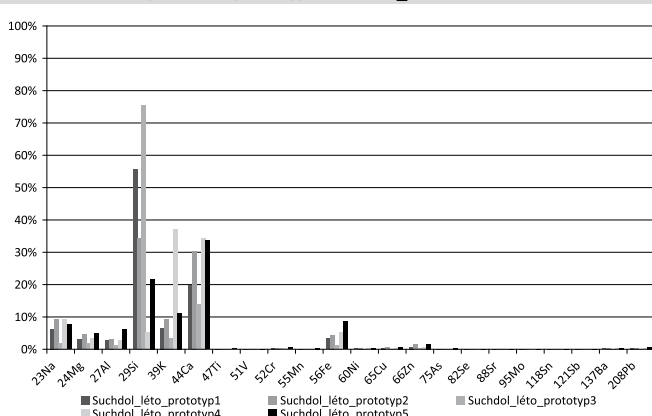
Porovnání níže prezentovaných imisních prototypů s emisními podpisy zdrojů je pro skupinu znečišťujících látek těžké kovy provedeno pro vybrané znečišťující látky, jejichž podíl v emisích/imisích je významný a naměřené hodnoty jsou nad mezí detekce. Ve všech případech je opět použito poměrné zastoupení jednotlivých složek a to jak v prototypech, tak v emisních podpisech zdrojů.

⁴HU + ČU + biopalivo

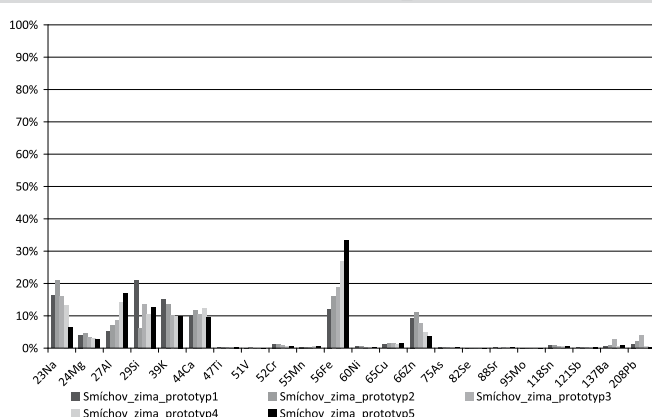
Obrázek 25
Poměrné zastoupení TK v prototypu Suchdol_zima



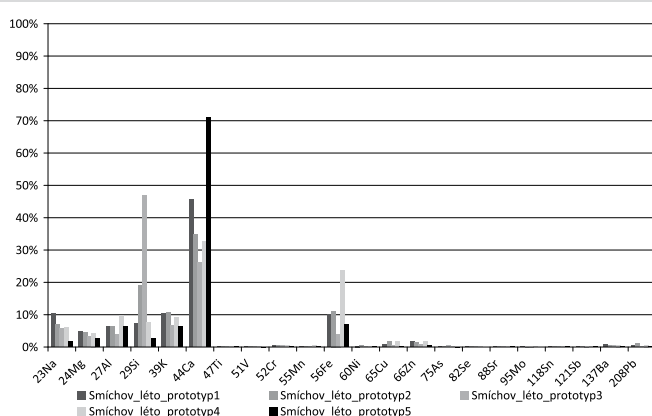
Obrázek 26
Poměrné zastoupení TK v prototypu Suchdol_léto



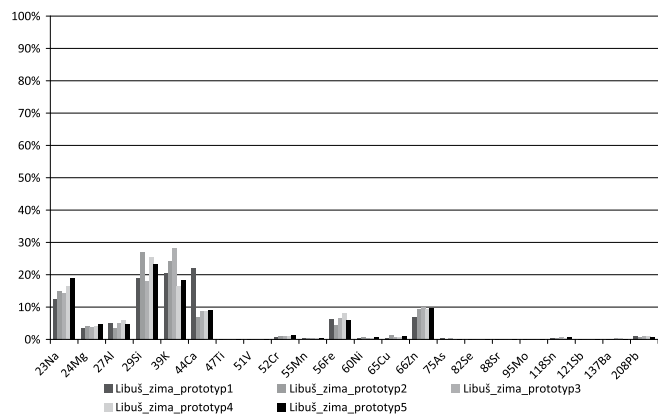
Obrázek 27
Poměrné zastoupení TK v prototypu Smíchov_zima



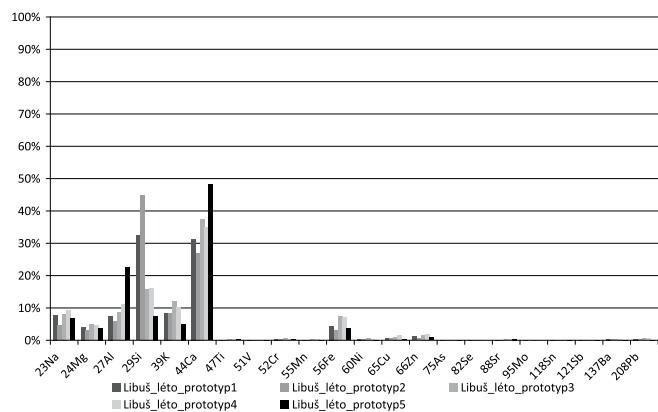
Obrázek 28
Poměrné zastoupení TK v prototypu Smíchov_léto



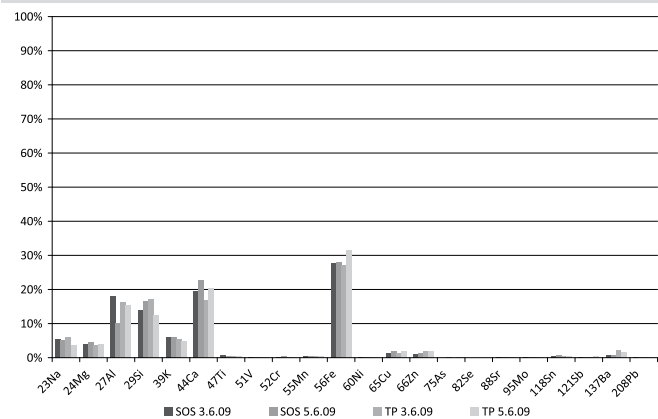
Obrázek 29
Poměrné zastoupení TK v prototypu Libuš_zima



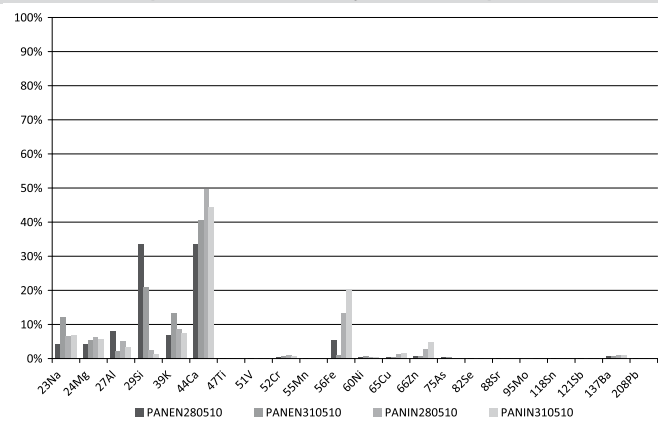
Obrázek 30
Poměrné zastoupení TK v prototypu Libuš_léto



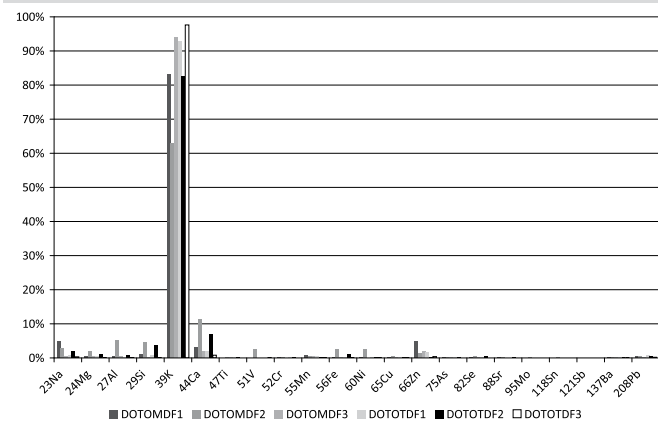
Obrázek 31
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – městská doprava



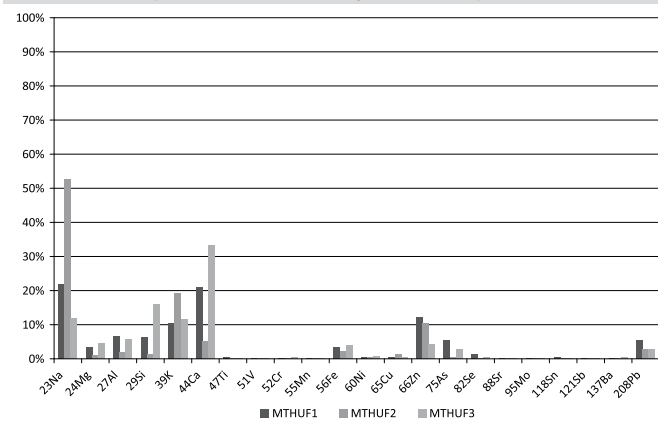
Obrázek 32
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – tranzitní doprava



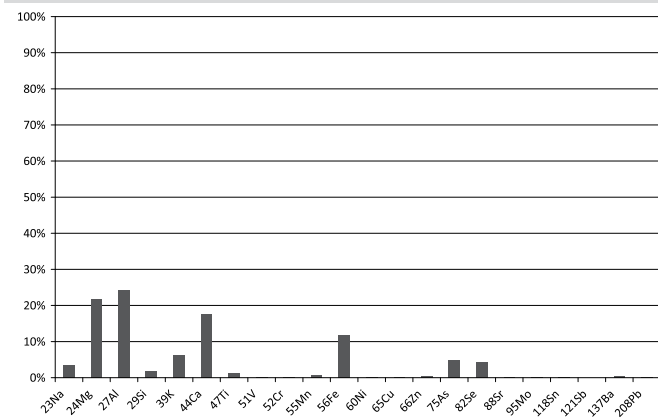
Obrázek 33
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – domácí topeniště (dřevo)



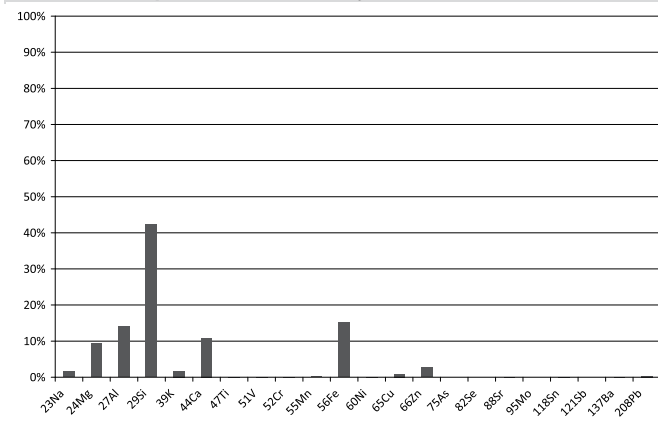
Obrázek 34
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – domácí topeniště (HU)



Obrázek 35
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – energetický zdroj (HU)

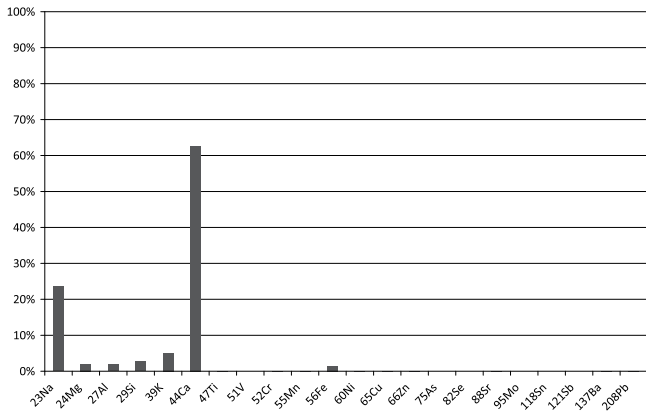


Obrázek 36
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – slévárna



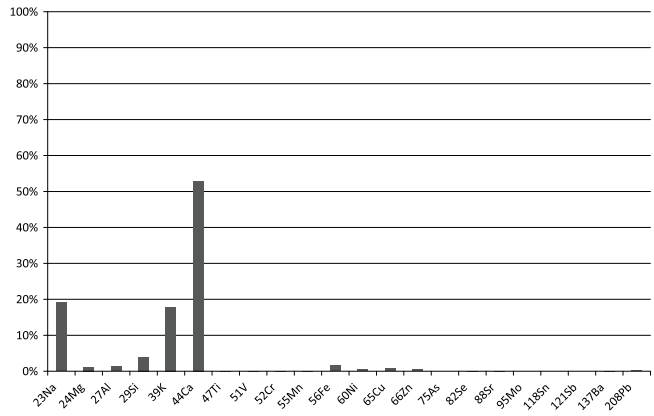
Obrázek 37

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – kamenolom



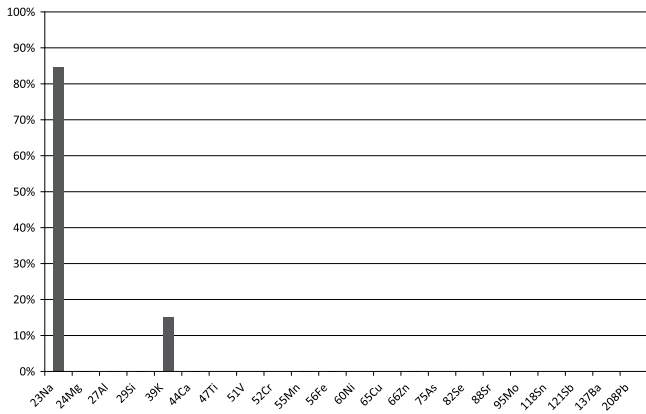
Obrázek 41

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – vápenka⁶



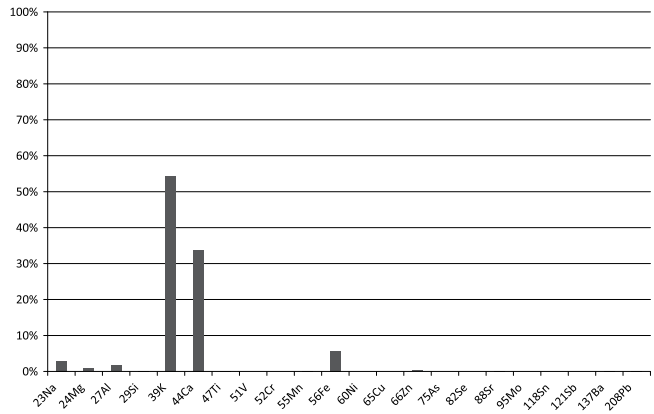
Obrázek 38

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – energetický zdroj (BIO)⁵



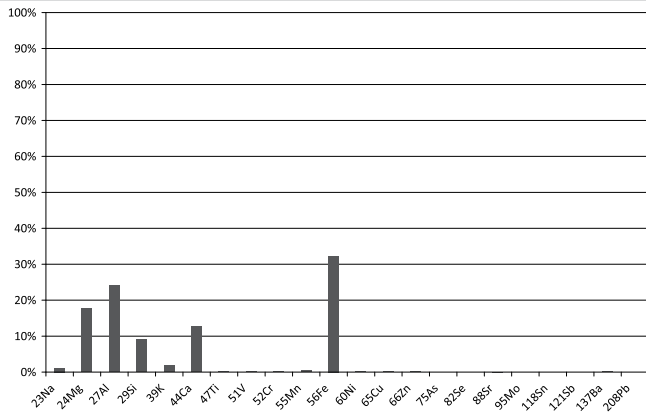
Obrázek 42

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – cementárna



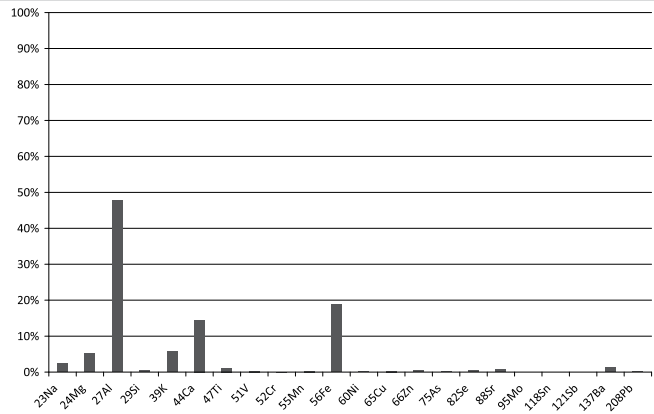
Obrázek 39

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – obalovna živičných směsí



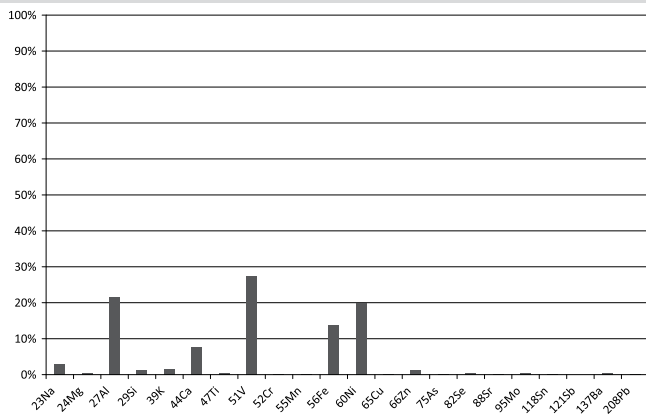
Obrázek 43

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – energetický zdroj (HU)



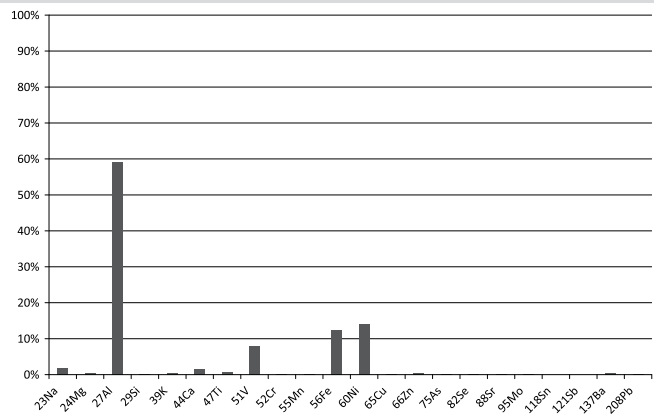
Obrázek 40

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – energetický zdroj (TTO)



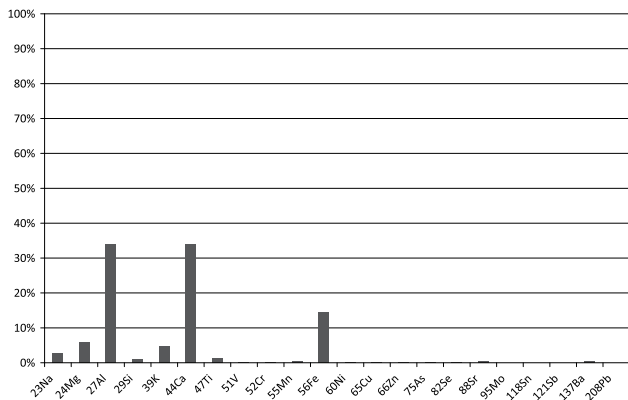
Obrázek 44

Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – energetický zdroj (TTO)

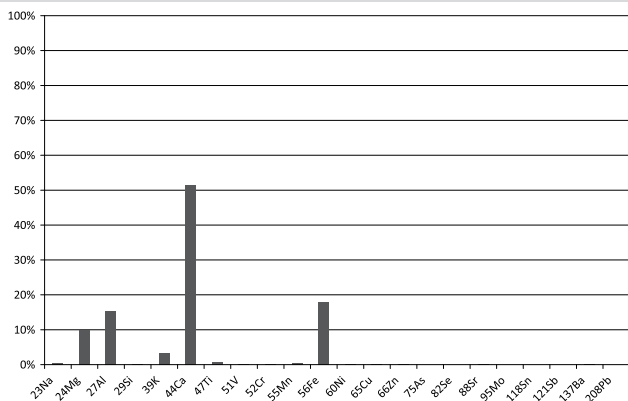


⁵černý výluh pocházející z vaření dřevní hmoty pro výrobu celulózy, ⁶palivo hnědouhelný dehet

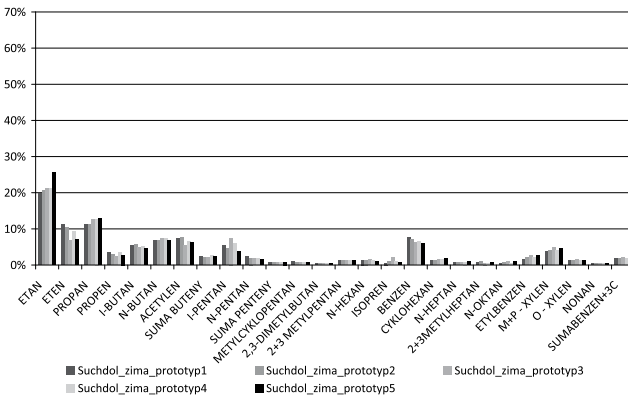
Obrázek 45
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – energetický zdroj (PP)⁷



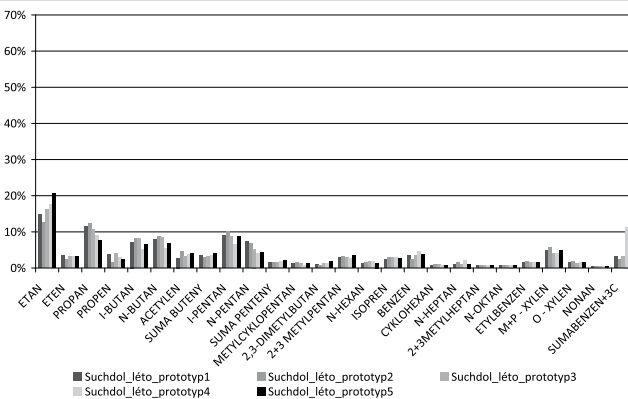
Obrázek 46
Poměrné zastoupení TK v emisním zdroji – technologie obalovna 2



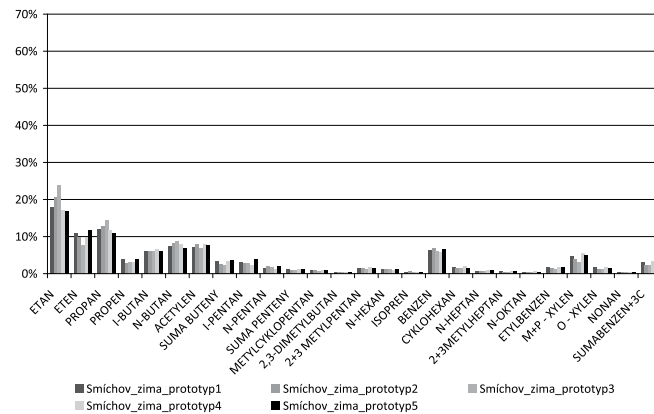
Obrázek 47
Poměrné zastoupení VOC v prototypu Suchdol_zima



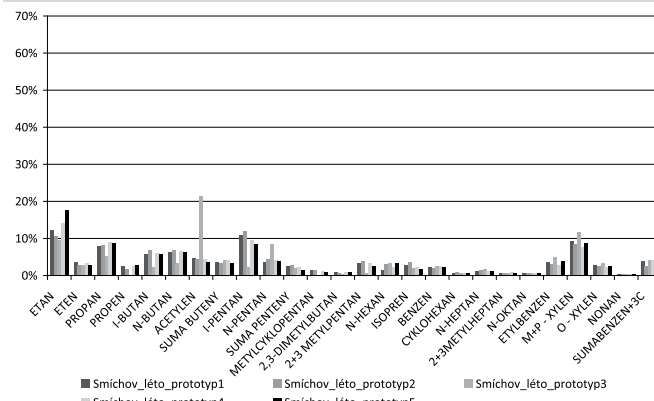
Obrázek 48
Poměrné zastoupení VOC v prototypu Suchdol_léto



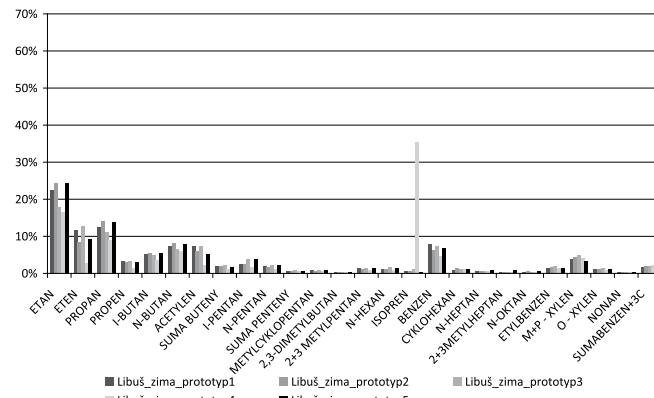
Obrázek 49
Poměrné zastoupení VOC v prototypu Smíchov_zima



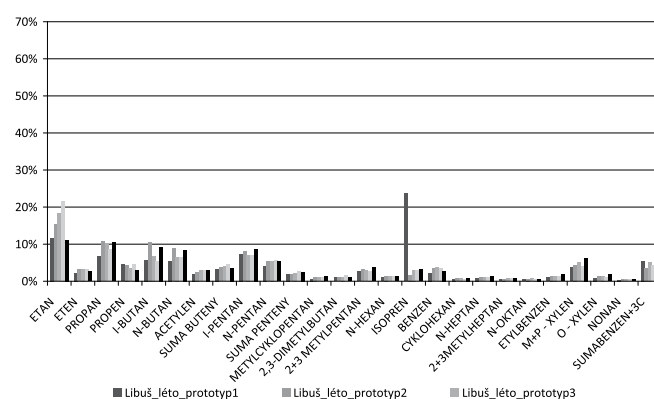
Obrázek 50
Poměrné zastoupení VOC v prototypu Smíchov_léto



Obrázek 51
Poměrné zastoupení VOC v prototypu Libuš_zima

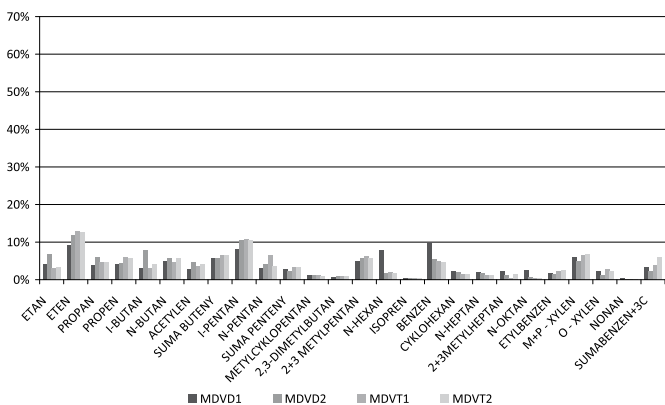


Obrázek 52
Poměrné zastoupení VOC v prototypu Libuš_léto

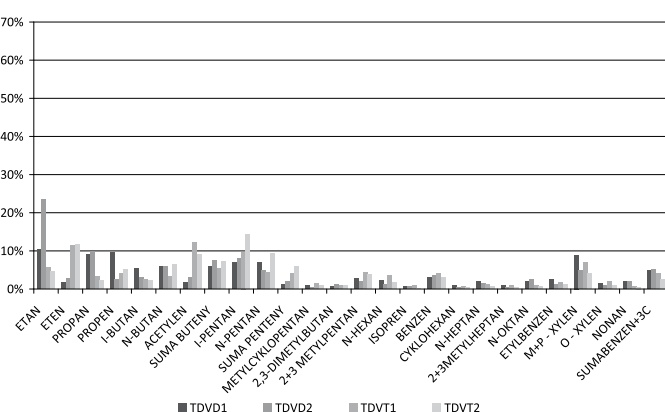


⁷HU + ČU + biopalivo

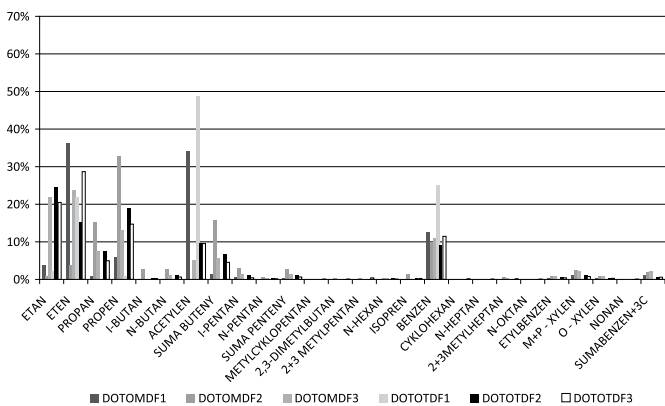
Obrázek 53
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – městská doprava



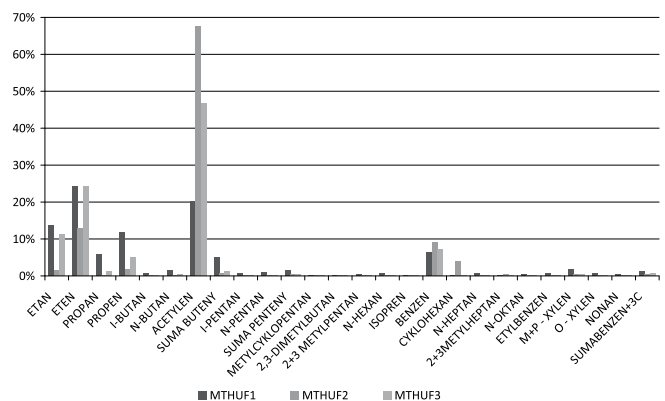
Obrázek 54
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – tranzitní doprava



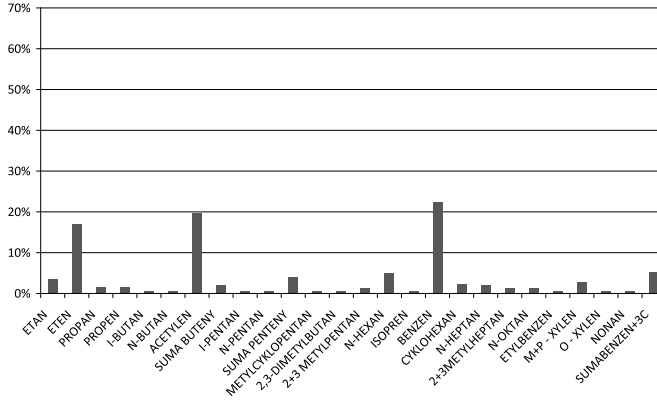
Obrázek 55
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – domácí topeniště (dřevo)



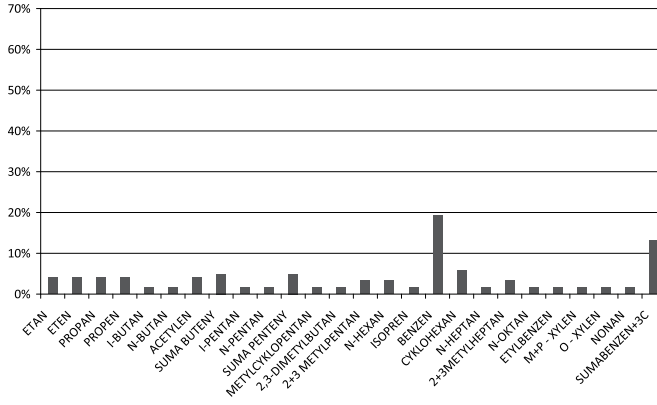
Obrázek 56
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – domácí topeniště (HU)



Obrázek 57
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – cementárna



Obrázek 58
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – energetický zdroj (HU)



Z prezentovaných grafů je patrné, že prototypy imisních dat ze všech stanic AIM vykazují značnou vzájemnou podobnost, což může indikovat obdobné původce znečištění v jednotlivých lokalitách.

V zimním období je patrný významný příspěvek spalování hnědého uhlí v malých topeništích k imisním koncentracím **Na**, **Pb** a **Zn**, podíl zastoupení těchto látek je na všech stanicích v zimním období výrazně vyšší, než je tomu v období letním.

V létě je pak patrný zvýšený podíl imisních koncentrací **Si** a **Ca** oproti zimnímu období, způsobený patrně resuspencí prachu.

Pro letní i zimní období vykazují průběhy imisních prototypů na všech sledovaných stanicích AIM značnou podobnost se zdrojovými profily pro dopravu.

3.3 Těkavé organické látky

Z prezentovaných grafů je patrné, že prototypy imisních dat ze všech stanic AIM vykazují jistou podobnost se zdrojovými profily emisních dat pro skupinu VOC. Nutno však podotknout, že databáze zdrojových profilů pro skupinu VOC je méně rozsáhlá, než je tomu u skupiny PAU a TK a není tak možné porovnat imisní prototypy se všemi zdrojovými profily, které jsou k dispozici pro skupinu znečišťujících látek PAU a TK.

4. Charakteristické PAU indexy

Pro odhad původu zdroje emisí PAU se někdy používají tzv. indexy. Jedná se o poměry koncentrací některých polycyklických aromatických uhlovodíků. Tyto „markery“ mohou indikovat, jaký typ emisních zdrojů je původcem imisního znečištění v dané lokalitě. Využitelné jsou zejména pro identifikaci zdrojů jako benzinové a naftové motory, domácí topeniště, spalování dřeva a některé další zdroje znečištění.

Nejčastěji jsou pro tyto účely používány poměry **IP/(IP + BghiP)**, **Phe/(Phe + Ant)**, **BaA/(BaA + Chry)**, **Fl/(Fl + Pyr)** a některé další. Odborná literatura [8], [9], [10], [11], [12] uvádí řadu „typických“ indexů, stručný přehled uvádíme v **tabulce 1**.

Tabulka 1
Diagnostické indexy PAU

Index	Hodnota	Interpretace
IP/(IP+BghiP) ⁸	0,18–0,22	benzinové motory
	0,37–0,7	dieselové motory
	0,56	uhelný prach
	0,62	spalování dřeva
BaA/(BaA+Chry) ⁹	0,16	venkovské zdroje
	0,33	městské zdroje – automobily s katalyzátory
	0,55	průmyslové emise a emise z těžkých nákladních automobilů
	0,38–0,65	dieselové motory
	0,43	benzinové motory
FI/(FI + Pyr) ⁹	0,4–0,5	spalování kapalných paliv
	> 0,5	spalování dřeva a uhlí
FI/Pyr ⁹	< 1	benzinové a naftové motory
	1–1,4	spalování uhlí
BaP/BghiP ¹⁰	0,3–0,44	benzinové a naftové motory
	0,9–6,6	spalování uhlí
BaP/(BaP+Chry) ¹⁰	0,49	benzinové motory
	0,73	dieselové motory
	0,07–0,24	uhelný prach
IP/BghiP ¹⁰	~ 1	dieselové motory
	0,4	benzinové motory
Pyr/BaP ¹¹	~ 10	dieselové motory
	~ 1	benzinové motory
FI/Pyr ^d	0,6	dopravní emise
FI/(FI+Pyr) ¹²	0,57	spalování uhlí
	0,40	dieselové motory
	0,52	benzinové motory
	0,49	spalování zemního plynu
	0,52	spalování kapalných paliv
	0,49	spalování biopaliv
	0,51	spalování dřeva
BaA/(BaA + Chry) ⁵	0,46	spalování uhlí
	0,65	dieselové motory
	0,50	benzinové motory
	0,39	spalování zemního plynu
	0,50	spalování kapalných paliv
	0,59	spalování dřeva
IP/(IP+BghiP) ⁵	0,48	spalování uhlí
	0,19	dieselové motory
	0,32	benzinové motory
	0,32	spalování zemního plynu
	0,36	spalování kapalných paliv
	0,35	spalování biopaliv
	0,42	spalování dřeva
Fen/(Fen+A) ⁵	0,85	spalování uhlí
	0,73	dieselové motory
	0,77	benzinové motory
	0,88	spalování zemního plynu
	0,89	spalování kapalných paliv
	0,84	spalování dřeva

⁸Polycyclic aromatic hydrocarbons and their molecular diagnostic ratios in urban atmospheric respirable particulate matter – María del Rosario Sierra, Nelson G. Rosazza, Margarita Préndez, 277–278

⁹Characterization and Source Identification of PM₁₀-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air of Tíjin, China – Jianwu Shi, Yue Peng, Weifang Qiu, Zhipeng Bai, Shaofei Kong, Taosheng Jin, 515

¹⁰Particle associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Agra, Nirat Rajput & Anita Lakhani, 2008, 102

¹¹Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factor and regulation, Khawal Ravindra, Ranjeet Sokhi, René Van Grieken, Atmospheric Environment 42 (2008), 2895–2921

¹²Source specificity and atmospheric processing of airborne PAHs: Implications for source apportionment, Elisabeth Galarnau, Atmospheric Environment 42 (2008), 8139–8149

4.1 Vyhodnocení

Porovnání charakteristických PAU indexů se skutečnými imisními poměry jednotlivých polycyklických aromatických uhlovodíků je potřeba chápat pouze jako informativní. Aplikace podává základní přibližnou informaci o charakteru imisních dat a závěry učiněné na základě aplikace tohoto nástroje jsou dále využity v receptorovém modelování jako jedno z kritérií výběru modelovaných zdrojových profilů.

Základním nedostatkem použití charakteristických PAU indexů je, že polycyklické aromatické uhlovodíky po uvolnění do atmosféry podléhají řadě atmosférických procesů (degradace samovolná, fotochemická, mikrobiální), které mohou mít (a mají) významný vliv na změny hodnot poměrů jednotlivých PAU v čase na cestě od zdroje k receptoru. Přesto, pro indexy sestavené za pomoci „stabilnějších“ PAU případně pro sledování časových trendů, jsou jako nástroj pro přípravu dat pro receptorové modelování užitečným pomocníkem.

5. Receptorový model Chemical Mass Balance 8.2

Model Chemical Mass Balance (dále jen CMB) je jedním z matematických modelů sloužících k receptorovému modelování. CMB je prezentován na internetových stránkách U.S. Environmental Protection Agency (www.epa.gov). Receptorové modelování používá fyzikální a chemické charakteristiky plynů a tuhých částic změřené na zdroji znečišťování a v místě příjemce (receptoru) k identifikaci a kvantifikaci příspěvku konkrétního zdroje (zdrojového typu) ke koncentraci znečišťující látky v místě příjemce (imisní odběrové místo). [2]

Výsledky receptorového modelování mohou být porovnávány s výsledky disperzních modelů (rozptylové studie), které používají emisní parametry zdroje, meteorologická data a popis mechanismů chemické transformace k odhadu příspěvku každého emisního zdroje znečišťování ke koncentraci dané znečišťující látky v místě příjemce.

Základními požadavky pro uskutečnění receptorového modelování s dobrými výsledky je:

- stabilita emisních zdrojů v monitorovaném období
- nalezení všech významných emisních zdrojů, které přispívají k charakterizaci imisních míst
- chemické látky spolu nereagují, sčítají se lineárně
- počet zdrojů (kategorií zdrojů) je menší nebo roven počtu znečišťujících látek
- nejistoty měření jsou náhodné, není mezi nimi korelace a jsou normálně rozložené

V tomto matematickém modelu je koncentrace C_i látky i naměřená v receptoru vyjádřena jako:

$$C_i = \sum a_{ij} S_j + e_i$$

kde

C_i je koncentrace látky i naměřená v receptoru

a_{ij} je frakce látky i ve zdroji j

e_i je rozdíl mezi naměřenou a vypočtenou koncentrací látky i

S_j je hmotnostní příspěvek zdroje j

Účelem receptorového modelování je „přidělit“ imisní koncentrace PM_{2,5}, PM₁₀ (případně jiné skupiny polutantů – PAU, TK, VOC apod.) emisním zdrojům, tedy na základě imisního monitoringu identifikovat

příspěvek emisního původce k danému znečištění. CMB model vyjadřuje všechny měřené koncentrace znečišťujících látek jako lineární součet produktů zdrojových profilů a příspěvků zdrojů a následně řeší sadu lineárních rovnic.

Vstupní informace do modelu obsahují:

- zdrojové profily znečišťujících látek (source profile) obsahující normalizovaná množství znečišťujících látek
- koncentrace znečišťujících látek zjištěné v místě receptoru (příjemce) – tedy údaje o imisních koncentracích
- reálné nejistoty pro zdrojové a receptorové hodnoty pro každou znečišťující látku, každý den imisního monitoringu a každý emisní zdroj

Výstupní informace z modelu obsahují:

- příspěvek každého zdrojového profilu k imisnímu zatížení

Práce s modelem představuje zejména:

- **zhodnocení použitelnosti modelu** (dostatečný počet znečišťujících látek, identifikace majoritních emisních znečišťovatelů v zájmové oblasti, existence vstupních hodnot s „rozumnými“ nejistotami)
- **výběr zdrojových profilů** s ohledem na potenciální původce (výsledky předběžných analýz jako korelační matice, meteorologická data, poloha jednotlivých zdrojů, typy zdrojů či technologií, které se vyskytují v zájmových oblastech, sezónní emitenti, nekolineární profily)
- **stanovení počátečního příspěvku zdroje (SCE)** – použití různých kombinací zdrojových profilů a volba vhodných znečišťujících látek (fitting species), stanovení vlivu změny kombinace těchto proměnných na výsledky receptorového modelování
- **zkoumání výstupů z modelu** – vyhodnocení smyslu prostorově a časově závislých výsledků s ohledem na převládající meteorologické podmínky a typy emisních zdrojů
- **ověření**, jak přidání či odstranění některých znečišťujících látek či zdrojových profilů ovlivní výsledky receptorového modelování
- **identifikace odchylek od požadavků modelu** (viz výše) – stabilita emisních zdrojů v čase, znalost emisních podpisů majoritních zdrojů, nezávislé zdrojové profily atd.)
- **identifikace a korekce** chyb vstupů do modelu (zvýšení nejistot, identifikace a označení chybějících dat -99., rozdělení zdrojů dle meteorologických dat)
- **ověření shody a stability SCE** (nahrazení různých profilů pro stejné zdrojové typy, přidání či odebrání znečišťujících látek z kategorie fit (vhodné), zkoumání příspěvků zdrojů pro individuální znečišťující látky)
- **vyhodnocení výsledků** modelu CMB8.2 s ohledem k metodám stanovení původců znečištění (porovnání SCE mezi různými imisními stanicemi, aplikace jiných receptorových metod a porovnání výsledků, aplikace disperzních modelů (rozptylová studie) a porovnání výsledků apod.)

5.1.1 Vyhodnocení výstupů z modelu CMB8.2

Součástí výstupních souborů modelu CMB8.2 je řada ukazatelů, charakterizujících kvalitu a spolehlivost prezentovaných výsledků, jedná se zejména o:

- **R²** je využito k posouzení odchylky v imisních koncentracích znečišťujících látek, která je vyjádřena jako vypočtené koncentrace znečišťujících látek prostřednictvím lineární regrese. Maximální hodnota je 1,0, lepší SCE vysvětlí změřené koncentrace
- **standard error** je odchylka SCE
- **chi square** (χ^2) je použito k posouzení nejistoty vypočtených koncentrací znečišťujících látek (vážená suma mocnin rozdílů mezi vypočtenou a změřenou koncentrací). Hodnoty menší než 1,0 indikují velmi dobrou shodu

Tabulka 2

Cílové hodnoty výsledkových parametrů

Parametr	Cílová hodnota
R ²	0,8 – 1
Standard error (STDERR)	< SCE
χ^2	< 4,0
percent mass	80 – 120 %
degrees of freedom	> 5
t-statistic (TSTAT)	> 2,0
ratio C/M (calculated/measured)	0,5 – 2,0
ratio R/U (residuals/uncertainties)	-2,0 – 2,0

- **percent mass** je procentní podíl sumy modelem spočítaných SCE k celkové naměřené koncentraci, hodnota blízko 100 % může být matoucí, protože někdy i nekvalitní údaje mohou vést k velké percent mass
- **t-statistic** je poměr mezi SCE k její standardní odchylce. Standardní odchylka SCE je indikátorem precizního odhadu modelu. Hodnoty < 2,0 identifikují odhad modelu, který není významně rozdílný od 0
- **degrees of freedom** je počet znečišťujících látek označených jako fit (vstupujících do modelu) mínus počet zdrojů označených jako fit. Některé výzkumy doporučují degrees of freedom >> 5
- **ratio of the mass** je poměr mezi vypočtenou koncentrací (C) a změřenou koncentrací (M) a slouží k identifikaci znečišťujících látek pod či nad hodnotou vypočtenou modelem. Ratio > 1,0 znamená, že více hmoty pro danou znečišťující látku bylo spočteno modelem než bylo naměřeno v imisním monitoringu
- **ratio of the residuals to the uncertainty** je rozdíl mezi C a M dělený nejistotou. Používá se k identifikaci znečišťujících látek pod či nad hodnotou vypočtenou modelem.
- **MPIN** (normalizovaná modifikovaná pseudo-inverzní matice) diagnostikuje výstupy, indikuje stupeň vlivu každé znečišťující látky k příspěvku a standardní chybu odpovídající kategorie zdroje. MPIN je normalizována tak, že dává hodnoty od -1,0 do 1,0. Hodnoty v MPIN s absolutní hodnotou od 0,5 do 1,0 jsou spojeny se znečišťující látkou mající vliv na celkový příspěvek

5.1.2 Vstupní soubory AD

Jedná se o vstupní soubor modelu Chemical Mass Balance 8.2 popisující imisní část zdrojových dat (AD – Ambient Data), obsahující koncentrace a nejistoty sledovaných znečišťujících látek. Soubor byl vytvořen na základě výsledků imisních kampaní realizovaných na imisních stanicích v Praze zahrnutých do projektu, konkrétně

- Smíchov
- Libuš
- Suchdol

Tyto imisní kampaně probíhaly z důvodu předpokládaného vlivu různých původců znečištění v letním a zimním období, přičemž každá z kampaní byla v trvání 30 dní. Výsledkem je tak matice 180denních imisních koncentrací jednotlivých sledovaných znečišťujících látek, vždy 30denních imisních koncentrací pro příslušnou stanici pro zimní období a 30denních imisních koncentrací pro příslušnou stanici pro letní období.

Soubor byl vytvořen v několika variantách:

- AD_PHA_PAU

Soubor obsahuje údaje o imisních koncentracích polycyklických aromatických uhlovodíků, jako TM je použita SUMA PAU

- AD_PHA_TK_SUMATK

Soubor obsahuje údaje o imisních koncentracích těžkých kovů a OC/EC, jako TM je použita SUMA TK + OC/EC

- AD_PHA_VOC

Soubor obsahuje údaje o imisních koncentracích těkavých organických látek jako TM je použita SUMA VOC

Soubory odpovídají svým formátem požadované struktuře, která je sestavena následujícím způsobem:

ID, DATE, DUR, STHOUR, SIZE, TMAC, TMAU, OCC, OCU, ...

LIBUS, 02/02/09, 24, 0, FINE, 6457.02780, 1291.40556, 5190.07294, 1038.01459, ...

kde:

- ID – identifikace imisní stanice (do 12 znaků)
- DATE – datum měření (do 8 znaků)
- DUR - doba trvání vzorkování (do 2 znaků)
- STHOUR – počáteční hodina vzorkování (do 2 znaků)
- SIZE – frakce částic (do 6 znaků)
- TMAC – celková koncentrace
- TMAU – nejistota celkové koncentrace
- OCC – imisní koncentrace dané znečišťující látky (zde organický uhlík)
- OCU – nejistota imisní koncentrace dané znečišťující látky

5.1.3 Vstupní soubory PR

Tyto soubory obsahují údaje o emisních parametrech sledovaných zdrojů znečišťování ovzduší ve formě zdrojových profilů (source profile). Ty byly vytvořeny na základě v experimentální části projektu změřených emisních charakteristik jednotlivých zdrojů. Jedná se o emisní koncentrační údaje, převedené do podoby vstupních dat pro modelování v programu Chemical Mass Balance (CMB 8.2). Jsou to „normalizované“ koncentrace a nejistoty jednotlivých skupin znečišťujících látek. Soubory byly pro zajištění kompatibility s imisními daty prezentovanými soubory AD vytvořeny v těchto variantách:

- PR_TESO_PAU

Soubor obsahuje hodnotou SUMA PAU normalizované emisní koncentrace příslušných zdrojových profilů pro skupinu znečišťujících látek polycyklické aromatické uhlovodíky

- PR_TESO_TK_SUMATK

Soubor obsahuje hodnotou SUMA TK + OC/EC normalizované emisní koncentrace příslušných zdrojových profilů pro skupinu znečišťujících látek těžké kovy a OC/EC

- PR_TESO_TK_VOC

Soubor obsahuje hodnotou SUMA VOC normalizované emisní koncentrace příslušných zdrojových profilů pro skupinu znečišťujících látek těkavé organické látky

Soubory odpovídají svým formátem požadované struktuře, která je sestavena následujícím způsobem:

PNO, SID, SIZE, OCC, OCU, ...

MTHUF1, MTHUF1, FINE, 0.8110, 0.0811, ...

kde:

- PNO – číselné či kódové označení zdrojového profilu (do 6 znaků)
- SID – popis zdrojového profilu (do 8 znaků)
- SIZE – frakce částic (do 6 znaků)
- OCC – normalizovaná hodnota emisní koncentrace příslušné znečišťující látky v daném zdrojovém profilu (zde organický uhlík)
- OCU – nejistota normalizované hodnoty emisní koncentrace příslušné znečišťující látky v daném zdrojovém profilu

6. Instrumentace pro experimentální část projektu

6.1 Emise

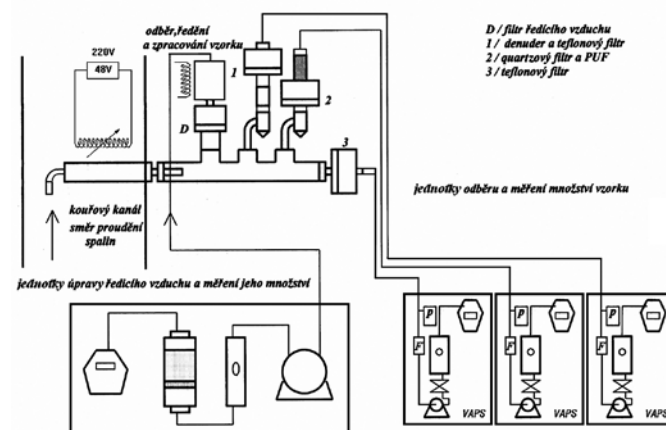
Emisní šetření na konkrétních vytipovaných zdrojích znečištění v zájmové lokalitě je nutnou podmínkou aplikace dat v receptorovém modelu. Do budoucna se předpokládá, že bude vytvořena databáze „běžných“ zdrojových profilů (domácí topeniště, doprava, velké energetické zdroje, rozšířené technologické zdroje) a pro účely aplikace metodiky v konkrétní zájmové lokalitě bude již emisní šetření zaměřeno pouze na zdroje specifické pro danou oblast (např. Ostravsko – koksovny, železárny apod.). Pro realizaci emisních šetření byla použita aparatura VAPS (E) a to z několika důvodů:

- 1) je nutné zaručit kompatibilitu mezi jednotlivými zdrojovými profily
- 2) je nutné zaručit kompatibilitu dat mezi imisní a emisní částí (díky doporučení na využití aparatury VAPS (I) pro imisní odběrové kampaně je tato podmínka z důvodu využití shodného fyzikálního principu třídění a použitých matric zaručena)
- 3) v rámci jednoho odběru je možné exponovat matrice pro analýzu všech zájmových skupin znečišťujících látek dle zadání (typicky $PM_{2,5}$, PM_{10} , PAU, TK, VOC, OC/EC)

6.1.1 Popis odběrové aparatury

Emisní verze aparatury VAPS (Versatile Air Pollution Sampler) fy URG Co. USA, je využívána k měření emisí agenturou US EPA, mimo jiné např. i při řešení projektu PHARE v programech TEPLICE a SILESIA. Aparatura VAPS (E) pracuje na principu větrné gravitačního třídění částic, který je odvozen od mechanismu třídění, probíhajícího v atmosféře na trase od výstupu částic ze zdroje směrem k příjemci a na simulaci mechanismu průniku částic do dýchacích cest příjemce.

6.1.2 Schéma aparatury a princip třídění



6.1.3 Popis funkce aparatury

Znečištěný odpadní plyn je ve směru proudnic plynu, zjištěných sondáží profilu rychlostní Prandtlou sondou, odebírán z potrubí (proudově správný odběr) skleněnou nebo titanovou vytápěnou odběrovou sondou s výměnnou odběrovou hubicí. Množství odebíraného plynu musí být takové, aby byla zajištěna rychlost odsávání v ústí odběrové hubice v intervalu 95 až 115 % rychlosti proudění v okolí hubice (izokinetické odsávání).

Odpadní plyn je dále veden vytápěným nástavcem do skleněného, temperovaného rozdělovače, do kterého je přes čistící filtr s identickými mechanickými vlastnostmi, jako mají expoziční filtry, zaústěn přívod venkovního, upraveného (vysušeného a vyčištěného) vzduchu. V manifoldu dochází k nařazení plynu odebraného z potrubí takovým množstvím ředícího vzduchu, aby

teplota rosného bodu vodní páry obsažené v plynu byla spolehlivě nižší, než je teplota třídění (cca 30–40 °C) a současně aby charakteristický objemový průtok směsi plynu a vzduchu za normálních termodynamických podmínek (n. p.) byl cca 32 l/min. ± 10%, při zachování izokinetických podmínek odsávání.

V rozdělovači dochází ke zpomalení proudění a ke gravitačnímu třídění částic dle jejich hybnosti, při teplotě nad rosným bodem vodní páry obsažené v plynu, přičemž hrubé částice nad PM₁₀ sedimentují a jsou z dalšího zpracování vyloučeny.

Centrální proud je odebírán ve směru kolmém k působení gravitační síly v množství 2 l/min. n.p. Částice v intervalu PM_{2,5}–PM₁₀, vzhledem ke své hybnosti procházejí rozdělovačem beze změny směru proudění a jsou zachyceny na filtru hrubých částic. Malé množství jemných částic si zachová směr proudění centrálního proudu (v poměru objemu centrálního proudu a součtu objemů dílčích proudů). O tuto hodnotu musí být výsledná veličina opravena.

Po průchodu centrálního proudu filtrem, na kterém jsou zachyceny tuhé částice, je plyn pomocí skleněného kříže rozdělen do dalších tří směrů. Hlavní část centrálního proudu je v množství 120 l/hod. vedena dál přes čerpadlo do atmosféry. Druhá část centrálního proudu je pomocí restriktoru vedena do 400 ml pasivovaného evakuovaného kanystru. Odebraný vzorek je následně analyzován na těkavé organické látky.

Zbývajících 30 l/min. za n. p. je odsáváno proti směru působení gravitační síly a rozděleno na dva stejné proudy. Jemné částice menší než PM_{2,5} sledují dráhu obou dílčích proudů plynu (15 l/min. n. p.) a procházejí cyklonovými odlučovači, kde jsou odloučeny proniklé částice v intervalu PM_{2,5} až PM₁₀. Částice PM_{2,5} jsou zachycovány na filtru, jehož materiál je volen s ohledem na případné další sledované parametry znečištěného vzduchu, jako je např. morfologie nebo složení částic, stanovení těžkých kovů fixovaných na granulometrickou frakci částic, stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků atd. Zde byly z důvodu následných analýz na obsah těžkých kovů resp. polycyklických aromatických uhlovodíků zvoleny matrice celulózy filtr millipore na větví 1 resp. křemenný filtr Quartz následovaný PUF patronou na větví 2. Po průchodu centrálního proudu v množství 120 l/hod. sklovláknovým filtrem, na kterém jsou zachyceny tuhé částice frakce PM₁₀, a který je následně podroben gravimetrickému vyšetření, je plyn veden dál přes čerpadlo do atmosféry.

Odebrané vzorky je možné následně analyzovat pro stanovení následujících látek:

- suspendované částice (PM_{2,5}; PM₁₀; TSP)
- těžké kovy
- polycyklické aromatické uhlovodíky
- organický / elementární uhlík OC/EC
- těkavé organické látky

6.1.4 Charakteristiky metody

- koncentrační oblast 0,3–200 mg/m³ částic ve frakci PM_{2,5} a PM₁₀
- koncentrace TSP v plynu 1–500 mg/m³,
- koncentrace vodní páry v plynu do 15 % hm.,
- kombinovaná nejistota stanovení koncentrací jednotlivých frakcí 20,5 % rel.,
- pokud je změřená koncentrace TSP pod hodnotou 1 mg/m³, uvažuje se při dalším vyhodnocení minimálně rovna koncentraci PM₁₀

6.2 Imise

Realizace imisních odběrových kampaní v zájmové lokalitě je další nutnou podmínkou aplikace dat v receptorovém modelu. S přihlédnutím na konkrétní parametry zadání aplikace je nutné značnou pozornost věnovat výběru místa/míst pro realizaci imisní odběrové kampaně a zejména délce jejího trvání. Minimem pro úspěšnou aplikaci metodiky je realizace dvou imisních odběrových kampaní (letní a zimní) pro oddělení majoritních původců znečištění v době topné sezony a mimo ni, z pohledu délky trvání těchto kampaní je za absolutní minimum považován systém 2 + 5 + 2 (tedy dva dny pracov-

ního klidu + pět pracovních dní + dva dny pracovního klidu). Tento systém v kombinaci s provedením letní a zimní imisní odběrové kampaně je schopen rozlišit specifika jednotlivých „provozních stavů“ zejména lokálních topenišť, ale i např. dopravy a různých technologických zdrojů. Z pohledu tohoto minimálního požadavku již nejde hovořit o následném „statistickém zpracování imisních dat“ a tak vždy, pokud to situace dovolí, by měla být délka imisních odběrových kampaní navýšena alespoň na systém 2 + 5 + 2 + 5.

Pro „správný“ (rozuměno reprezentativní) výběr konkrétního místa pro instalaci aparatury VAPS (I) (a tedy realizaci imisní odběrové kampaně) je třeba věnovat zvýšenou pozornost specifikům dané lokality, rozmístění z pohledu předpokládaného vlivu na imisní znečištění důležitých stacionárních zdrojů, poloze významných komunikací, rezidenčních čtvrtí, existence plynofikace, složení palivové základny v rodinných domech rezidenčních čtvrtí a charakter převládajících směrů větru.

Pro realizaci imisních odběrových kampaní bylo využito aparatury VAPS (I) a to z důvodů shodných jako u emisních zdrojových měření:

- 1) je nutné zaručit kompatibilitu dat mezi imisní a emisní částí (díky doporučení na využití aparatury VAPS (E) pro emisní zdrojová měření je tato podmínka z důvodu využití shodného fyzikálního principu třídění a použitých matic zaručena)
- 2) v rámci jednoho odběru je možné exponovat matrice pro analýzu všech zájmových skupin znečišťujících látek dle zadání projektu (typicky PM_{2,5}, PM₁₀, PAU, TK, VOC, OC/EC)

6.2.1 Popis odběrové aparatury

Univerzální vzorkovač znečištění venkovního vzduchu – VAPS, je sestaven ze součástí umožňujících současně odběry pro analytické stanovení různých parametrů znečištěného venkovního vzduchu.

Znečištěný vzduch v množství 32l za minutu je nasáván hlavicí vybavenou dešťovým krytem potaženým teflonem. Tato hlavice je aerodynamicky upravena pro třídění částic PM₁₀ (částice, které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 10 μm odlučovací účinnost 50 %). Vzduch dále prochází hlavní tělem vzorkovače, které je vyrobeno z hliníku a rovněž potaženo teflonem. Vzduch do něj vstupuje přes kónickou urychlovací trysku, kde jsou odděleny částice PM_{2,5} (částice, které projdou velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr 2,5 μm odlučovací účinnost 50 %) a je rozdělen do tří dílčích proudů, každý proud je zpracováván odlišným systémem.

Vstup odběrové hlavice PM₁₀ je konstruován tak, aby odděloval částice s aerodynamickým průměrem větším než 10 mikrometrů, zatímco částice menší kvantitativně vede do virtuálního impaktoru, kde prochází druhou urychlovací tryskou umístěnou před expanzním prostorem filtrového držáku. Centrální proud je odebírán v množství 2 l/min., částice PM_{2,5}–₁₀ procházejí beze změny směru proudění hlavním tělesem vzorkovače a jsou zachyceny na sklovláknovém filtru. Tento virtuální impaktor je ověřený US EPA pro měření v kombinaci s použitou odběrovou hlavicí PM₁₀. Zbývajících 30 l/min. je rozděleno na dva stejné proudy, které procházejí levým a pravým zachycovačem. Jemné částice PM_{2,5} sledují dráhu obou dílčích proudů plynu (15 l/min.) a jsou podrobeny zpracování v těchto větvích. Všechny části vzorkovače přicházející do styku s odebíraným vzduchem jsou potaženy teflonem.

Pravá větev (15 l/min.) dílčího proudu vzduchu prochází křemenným filtrem podepřeným teflonem potaženým sítkem z nerezové oceli, kde jsou zachyceny jemné částice PM_{2,5} s obsahem anorganických a semivolatilních organických sloučenin. Aerosolových částic zbavená vzdušina s obsahem organických par prochází patronou z polyuretanové pěny (PUF), která účinně zachycuje volatilní vícemolekulární organické látky. Křemenný filtr a PUF patrona musí být po expozici do doby analýzy uloženy za speciálních teplotních podmínek, PUF patrona musí být před expozicí vyčištěna. Zachycovač pro organické látky stejně jako PUF patrona jsou vyrobeny tak, aby je bylo možno spojit bezprostředně před odběrem párovými spojkami. Jedna část filtru byla extrahována pro stanovení obsahu organického aerosolu a druhá část byla podrobena analytickému spalovacímu procesu,

pro stanovení podílu organického/elementárního uhlíku. Z filtru se nejprve vysekne vzorek o standardní velikosti (obdélník) a vloží se do křemíkové pece. Po propláchnutí heliem (99,9999%) vyhřeje teplotní program pec na 870 °C. Produkty vzniklé termálním rozkladem se kvantitativně oxidují oxidem mangančitým (MnO₂) v oxidační peci na CO₂. V proudu helia se pak oxid uhlíčitý mísí s vodíkem. Tato směs je pak vháněna na rozžhavený niklový katalyzátor, kde je kvantitativně konvertována na metan. Obsah metanu je posléze měřen plamenionizačním detektorem (FID). Jakmile je ukončen teplotní program v křemíkové peci, je pec ochlazena na 600 °C a proud spalin je převeden do nosné oxidační směsi (kyslík/helium). Při tomto druhém teplotním programu se zoxiduje všechny elementární uhlík (EC). Elementární uhlík je pak detekován stejným způsobem jako organický uhlík (OC).

PUF materiál byl extrahován pro stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků. Koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků se stanoví plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí. Výsledné množství analytu ve vzorku je při konečném výpočtu koncentrace v ovzduší vztaženo na množství prosátého vzduchu.

Frakce PM₁₀ byla zachycována ve střední větvi dílčího proudu vzduchu na sklovláknovém filtru, který je podepřen teflonem potaženým sítkem z nerezové oceli. Sklovláknový filtr byl před expozicí i po expozici zvážen. Levá větev (15 l/min.) dílčího proudu vzduchu prochází celulózovým filtrem podepřeným teflonem potaženým sítkem z nerezové oceli. Celulózový filtr byl gravimetricky vyšetřován a podroben ICP-MS analýze pro stanovení obsahu kovů. Tato analýza byla provedena na hmotnostním spektrometru s iontově vázanou plazmou – Thermo Electron X-Series (X7). Automatickým dávkovačem nasátý vzorek je v koncentrickém zmlžovači převeden do aerosolové formy a při průchodu plazmovou hlavici dochází postupně k desolvataci, odpaření, atomizaci a ionizaci komponent. Vzorek dále prochází tlakovým rozhraním do vakuové části, kde jsou odděleny nenabitě atomy. Dále je svazek iontů pomocí iontové optiky zaostřen a v kvadrupólu jsou odděleny ionty o určitém poměru hmotnosti a náboje. Kvadrupól funguje v sekvenčním režimu, tedy postupně propouští na elektronový násobič coby detektor vybrané prvky. Tímto způsobem byly analyzovány vybrané prvky z celého hmotnostního spektra.

VAPS byl instalován v uzavřeném boxu, který je teplotně stabilizován s cirkulací vzduchu pro temperaci. Odběrový systém obsahuje tři samostatná čerpadla, každé z nich má samostatný rotametr s regulačním ventilem pro kontrolu nastaveného průtoku a tlakoměr pro kontrolu expozice filtru. Výstup každého čerpadla je zaveden do vlastního suchého plynoměru, který slouží pro stanovení celkového objemu odebraného vzduchu. Začátek a konec odběru může být řízen automatickým časovačem.

6.2.2 Fotodokumentace odběrů aparaturou VAPS (I) a AVOCs

Obrázek 59
VAPS (I)



Obrázek 60
AVOCs a evakuovaný kanystr



7. Modelované znečišťující látky

Pro sledování byly navrženy polutanty v následujícím rozsahu:

- jemné částice PM_{2,5} a PM₁₀
- těžké kovy a organický / elementární uhlík ve frakci PM_{2,5}
- polycyklické aromatické uhlovodíky
- těžké organické látky

Tomu byly přizpůsobeny matrice použité v experimentální části projektu následujícím způsobem¹³:

- Větev 1 – gravimetrické vyšetření PM_{2,5}, analýza těžkých kovů, matrice celulózový filtr
- Větev 2 – polycyklické aromatické uhlovodíky a OC/EC, matrice křemenný filtr + PUF
- Větev 3 – gravimetrické vyšetření, PM₁₀
- evakuovaný kanystř – analýza VOC

Následné analýzy exponovaných matric byly zajištěny v laboratoři ČHMÚ (akreditace c. 301/2010 ze dne 16. 7. 2010). Identifikace původců znečištění pomocí navržené metodiky probíhala vždy odděleně pro jednotlivé sledované skupiny znečišťujících látek PAU, TK a VOC.

7.1.1 Látky vyřazené z modelování

Ze spektra analyzovaných modelovaných látek byly na základě statistického vyhodnocení dat, porovnání dosažených koncentrací s mezí detekce a při uvažování nejistot stanovení z modelování vyloučeny následující znečišťující látky:

- 9Be, 105Pd, 115Ln, 118Sn, 125Te, 133Ce, 159Tb, 169Tm, 175Lu, 181Ta, 195Pt, 202Hg, 238U
imisní hodnoty pod mezí detekce – zimní imisní odběrová kampaň
- 9Be, 105Pd, 115Ln, 125Te, 133Ce, 153Eu, 159Tb, 165Ho, 169Tm, 172Yb, 175Lu, 195Pt, 238U
imisní hodnoty pod mezí detekce – letní imisní odběrová kampaň
- 47Ti, 52Cr, 178Hf, 181Ta, 195Pt, 202Hg
příliš velká nejistota stanovení
- 206Pb, 207Pb, 63Cu
duplicita – hodnoty obsaženy v jiném izotopu
- 77ArCl, 83Kr
nulové hodnoty v emisních profilech
- 165Ho, 169Tm, 175Lu, 185Re
nulové hodnoty v imisních datech
- DBahA
všechny hodnoty z letní imisní odběrové kampaně jsou pod mezí detekce

8. Modelované lokality

Na základě požadavku na aplikaci metodiky v oblasti s instalací imisní stanice definované jako městská pozadová, dopravní a rezidenční, byly na základě konzultací s Českým hydrometeorologickým ústavem vybrány následující lokality pražské aglomerace:

- Praha – Libuš (městská pozadová)
- Praha – Suchdol (rezidenční)
- Praha – Smíchov (dopravní)

na kterých byla v zimě 2009 (2. 2.–3. 3. 2009) a v létě 2010 (19. 5.–17. 6. 2010) realizována imisní odběrová kampaň. Poznatky o pozadových (imisních) koncentracích sledovaných znečišťujících látek na výše uvedených lokalitách byly následně pomocí aplikace prezentované metodiky dávány do souvislosti se zdrojovými profily.

¹³popis vztažen k jednotlivým odsávaným větvím aparatury VAPS (E)

9. Modelované typové zdroje

Databáze emisních podpisů, vytvořená na základě využití výsledků emisních šetření realizovaných aparaturou VAPS (E) v tuto chvíli obsahuje následující zdrojové profily připravené pro aplikaci v receptorovém modelu při identifikaci původců znečištění v jakékoliv zájmové lokalitě dle zadání:¹⁴

- VEZHUS – Velký energetický zdroj – spalování hnědého uhlí s odsiřením
- SLEVAR – Slévárna
- KAMLOM – Kamenolom – třídírna
- VEZBIO – Velký energetický zdroj – spalování biopaliva (černý výluh pocházející z vaření dřevní hmoty pro výrobu celulózy)
- OBALOV – Obalovna živičných směsí
- VEZTO1 – Velký energetický zdroj – spalování TTO1
- VAPHU – Vápenka – pec s otopem hnědouhelným dehtem
- DTMDF1 – Domácí topeniště – spalování měkkého dřeva – fáze 1 (zapalování)
- DTMDF2 – Domácí topeniště – spal. měkkého dřeva – fáze 2 (dýmavé hoření s omez. přívodem vzduchu)
- DTMDF3 – Domácí topeniště – spal. měkkého dřeva – fáze 3 (plné hoření s úplným přívodem vzduchu)
- DTTDF1 – Domácí topeniště – spalování tvrdého dřeva – fáze 1 (zapalování)
- DTTDF2 – Domácí topeniště – spal. tvrdého dřeva – fáze 2 (dýmavé hoření s omez. přívodem vzduchu)
- DTTDF3 – Domácí topeniště – spalování tvrdého dřeva – fáze 3 (plné hoření s úplným přívodem vzduchu)
- CEMRP – Cementárna – rotační pec
- VEZHU – Velký energetický zdroj – spalování HU
- VEZTO2 – Velký energetický zdroj – spalování TTO2
- VEZPP – Velký energetický zdroj – spalování PP (CU + HU + Biopalivo)
- MTHUF1 – Malé topeniště – spalování hnědého uhlí – fáze 1 (rozhořívání)
- MTHUF2 – Malé topeniště – spalování hnědého uhlí – fáze 2 (standardní provoz kotle)
- MTHUF3 – Malé topeniště – spalování hnědého uhlí – fáze 3 (dohořívání)
- OBAL02 – Obalovna živičných směsí 2
- MDVD – Městská doprava
- TDVD – Tranzitní doprava
- SOIL – Složení zemské kůry

10. Meteorologická charakteristika

Důležitou součástí identifikace původce daného znečištění jsou i meteorologická data (i když např. model CMB s meteorologickými daty nepracuje). Známe-li směry a sílu převládajícího větru, případně konkrétní meteorologické podmínky v době odběru konkrétního vzorku, lze skupinu potenciálních původců znečištění zúžit na zdroje ležící ve směru zpětné trajektorie vzdušné masy. Nástroje k získání informací o meteorologické charakteristice zájmového území mohou být zejména:

- HYSPLIT
- větrná růžice
- meteo měření

10.1 Větrná růžice

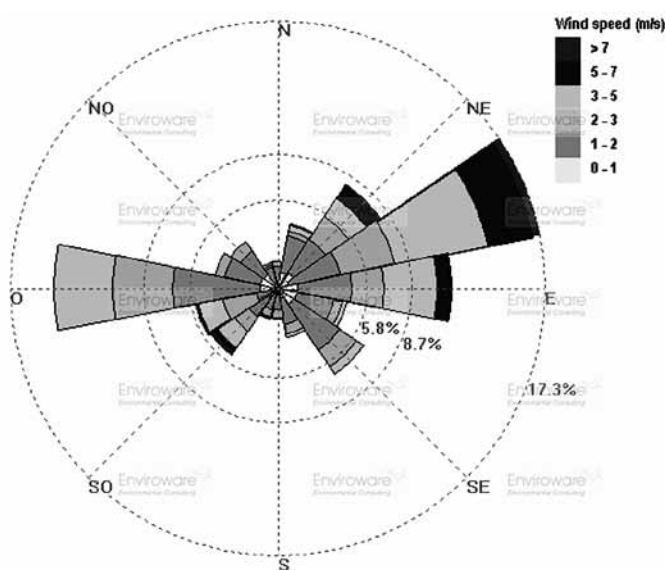
Větrná růžice je standardní nástroj pro grafické znázornění převládajících směrů větru, využívaný např. i v rámci modelu SYMOS'97

¹⁴Zdrojové profily, jejichž název je uveden kurzívou, byly sestaveny na základě výsledků řešení projektu Ministerstva životního prostředí SP/1a3/148/08 – Stanovení chemických a toxikologických vlastností prachových částic a výzkum jejich vzniku, Odpovědný řešitel projektu: Český hydrometeorologický ústav, RNDr. Josef Keder, CSc. Výsledky tohoto projektu byly využity na základě Smlouvy o spolupráci o využití výsledků dosažených v projektu výzkumu a vývoje uzavřené podle ustanovení § 269 zákona č. 513/1991 Sb., obchodní zákoník, mezi společnostmi Technické služby ochrany ovzduší Praha a. s. a Českým hydrometeorologickým ústavem.

používaného pro zpracování rozptylových studií. Jedná se o grafické znázornění četnosti výskytu různých směrů větru daného místa na radiálním diagramu. Od středu kružnice se vynášejí úsečky, jejichž délka je úměrná četnosti výskytu větrů vanoucích z příslušného směru nebo sektoru.

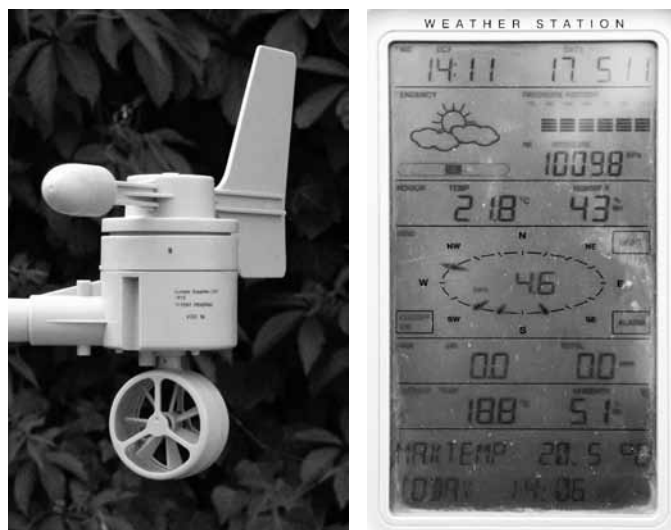
Vhodným softwarovým nástrojem na vizualizaci meteorologických dat je např. program Windrose (ke stažení na internetových stránkách společnosti Enviroware www.enviroware.com). Nevýhodou je, že vstupní data musí mít jinou strukturu než standardní zápis větrné růžice používaný např. pro rozptylové studie a tyto zápisy nejsou navzájem kompatibilní. Naměřená imisní data je následně nutno zpracovávat právě s přihlédnutím na konkrétní meteorologické podmínky a vyhodnocení a závěry činit s přihlédnutím k nim. Větrná růžice je vždy určena v návaznosti na konkrétní lokalitu. Příklad výstupu z programu Windrose je uveden na obrázku níže.

Obrázek 61
Poměrné zastoupení VOC v emisním zdroji – tranzitní doprava



10.2 Meteo měření

Protože, jak je uvedeno níže, aplikace HYSPLIT je využitelná spíše v globálním než lokálním měřítku a větrná růžice představuje vždy „pouze“



statistické rozložení směru a rychlosti větru vztažené k třídám vertikální stability ovzduší v mezní vrstvě atmosféry, je třeba optimální realizaci imisních odběrových kampaní doplnit souběžným meteorologickým měřením, které bude reprezentativní pro konkrétní naměřené imisní koncentrace v daných dnech imisní kampaně. Pro instrumentaci může být použita standardní meteo stanice, umožňující kromě rychlosti a směru větru zaznamenávat i údaje o atmosférické teplotě, srážkách, tlaku apod.

10.3 HYSPLIT

Pod názvem HYSPLIT (Hybrid Single – Particle Lagrangian Integrated Trajectory) se skrývá aplikace umístěná na webových stránkách NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html. Ta vychází z předpokladu existence dobře promíchané vrstvy vzduchu, ve které dochází k transportu a rozptylu. Třírozměrný pohyb je počítán z výstupních větrných polí modelu NGM (National Meteorological Center's Nested Grid Model). Mimo jiné umožňuje po zadání vstupních údajů jako:

- souřadnice zájmového bodu
- výšky vzdušné masy
- počátečního času
- a dalších volitelných nastavení,

získat zpětné i dopředné trajektorie vzdušné masy. Při určování zpětných trajektorií vychází ze sítě meteorologických stanic a údajů na nich zjišťovaných, při určování dopředných trajektorií vstupují do procesu ještě matematické modely. Výstupem je mimo jiné mapový zakres trasy vzdušné masy k receptoru (v případě zpětné trajektorie) nebo trasy šíření vzdušné masy směrem od zdroje (v případě dopředné trajektorie) [3].

Pomocí této aplikace tak lze provést prvotní výběr potenciálních původců znečištění v dané lokalitě a konkrétním období, případně lépe interpretovat výsledky modelu Chemical Mass Balance při zjištění souvislosti imisního znečištění s konkrétním specifickým zdrojovým profilem vyskytujícím se v několika rozdílných lokalitách v okolí imisní stanice, na které byla realizována imisní odběrová kampaň. Model HYSPLIT je však v lokálním měřítku využitelný jen částečně (využitelný je spíše na větší oblasti, např. Evropa).

HYSPLIT též umožňuje propojení s poměrně rozšířenou aplikací Google Earth a tím znázornění pozice konkrétní vzdušné masy v daném čase na daném místě prostřednictvím satelitních snímků Země. Trajektorie jsou nejčastěji sestaveny pro dobu 12 hodin před dosažením cílového bodu s finální výškou 10 m nad úrovní terénu.

11. Poloha zdrojů

Pro využití meteorologické charakteristiky jako nástroje pro prvotní „hrubou“ identifikaci původce znečištění, případně pro interpretaci výsledků receptorového modelu Chemical Mass Balance je pochopitelně nutné znát ještě polohu významných zdrojů znečišťování. K tomu lze, kromě šetření na místě, využít i informací shromážděných v:

- Integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností (ISPOP)
- Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO)

11.1 ISPOP

Legislativa z oblasti životního prostředí ukládá ekonomickým subjektům povinnost hlásit státní nebo veřejné správě informace o vlivu jejich ekonomické činnosti na životní prostředí. Tyto subjekty se tak stávají ohlašovatelé evidencí z oblasti životního prostředí, přičemž povinnost podání hlášení je uložena v příslušných právních normách, které ukládají povinnost evidenci vést a ohlašovat. Evidence obsahují informace o znečišťování ovzduší, vod, půdy, evidence odpadů či např. likvidace elektrozařízení nebo evidence autovraků v příslušných zařízeních.

Účelem sběru informací prostřednictvím uvedených hlášení je získání informací potřebných pro výkon státní správy v oblasti životního prostředí, jejímž primárním cílem je ochrana a zlepšování kvality životního prostředí. Právě tyto informace mohou mít zásadní dopad na výběr zdrojů, na které bude zaměřeno, pro aplikaci metodiky v daném území emisní zdrojové šetření, případně pro interpretaci výsledků receptorového modelu Chemical Mass Balance.

Zřizovatelem integrovaného systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí (ISPOP) je Ministerstvo životního prostředí ČR. Provozovatelem ISPOP je CENIA. [13]

11.2 REZZO

Dalším možným zdrojem informací (nejen) o poloze konkrétních stacionárních zdrojů je databáze REZZO (Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší), která je členěna na:

• REZZO 1 – velké stacionární zdroje znečišťování

Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů. Jedná se hlavně o velké elektrárny, spalovny a další bodové zdroje.

• REZZO 2 – střední stacionární zdroje znečišťování

Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu znečišťujících látek.

• REZZO 3 – malé stacionární zdroje znečišťování

Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu nižším než 0,2 MW, zařízení technologických procesů nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv, surovin, produktů a odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti, výrazně znečišťující ovzduší. Jedná se hlavně o plošné zdroje. Emise z domácích topenišť jsou odhadovány díky informacím poskytnutým regionálními energetickými a teplárenskými závody.

• REZZO 4 – mobilní zdroje znečišťování

Pohyblivá zařízení se spalovacími nebo jinými motory, zejména silniční motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla a letadla.

Registr je zajišťován ze strany Ministerstva životního prostředí. Správou databáze REZZO je pověřen Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). ČHMÚ zároveň provozuje Informační systém kvality ovzduší (ISKO), jehož je REZZO součástí. Potřebná data o velkých a středních zdrojích emisí se získávají přímo od provozovatelů a provádějí se kontroly za pomoci České inspekce životního prostředí (ČIŽP), přičemž výchozí informace pocházejí ze Souhrnné provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší. Údaje o provozu malých zdrojů pocházejí od orgánů obcí, využívá se také dat ze Sčítání lidu, domů a bytů (SLDB). [14]

12. Korelační matice

K odhadu prvotní identifikace možných původců znečištění mohou do jisté míry sloužit i uvedené v **tabulkách 3–5** korelační matice pro skupinu znečišťujících látek PAU, TK a VOC. Jedná se o korelační matice sestavené pro jednotlivé emisní charakteristiky sledovaných zdrojů (podpisy zdrojů) a prototypy charakterizující letní a zimní imisní odběrové kampaně.

12.1 Korelační matice PAU

Do korelační matice pro PAU jsou zahrnuty emisní charakteristiky zdrojů znečišťování ovzduší a tzv. imisní prototypy popisující realizované imisní odběrové kampaně na stanicích Smíchov, Libuš a Suchdol, a to v letním a zimním období. Hladina korelačního koeficientu byla nastavena na 0,95.

Jak je vidět z korelační matice prezentované dále v textu, všechny zimní

imisní prototypy poměrně dobře korelují se spalováním paliv v domácích topeništích, a to jak při spalování dřeva, tak při spalování hnědého uhlí. Pozoruhodná je korelace zdrojových profilů charakterizujících spalování paliv v malém topeništi s některými prototypy letní emisní odběrové kampaně, kdy se ve sledovaném období již nepředpokládá provoz malých topenišť pro lokální vytápění. S ohledem na charakter lokalit Libuš a Suchdol se s největší pravděpodobností jedná o souvislost s emisemi ze spalování dřeva v otevřených ohništích, grilování apod. Tuto závislost již nastínil rozbor dat za využití charakteristických PAU indexů. Výrazná je rovněž korelace emisních prototypů se zdrojovými profily pro tranzitní a městskou dopravu, která opět indikuje dopravu jako významného původce emisního znečištění.

Naproti tomu korelace se zdrojovým profilem pro kamenolom je klamná, způsobená metodou provedení podpisu zdroje v prostorách třídní. V tomto případě se u skupiny PAU jedná spíše o emisní pozadí.

12.2 Korelační matice TK

Do korelační matice pro TK jsou stejně jako v případě PAU zahrnuty emisní charakteristiky zdrojů znečišťování ovzduší a tzv. emisní prototypy popisující realizované emisní odběrové kampaně na stanicích Smíchov, Libuš a Suchdol, a to v letním a zimním období. Hladina korelačního koeficientu pro skupinu látek TK byla nastavena na 0,65.

Jak je vidět z korelační matice uvedené v **tabulce 3**, výsledky nejsou tak „jednoznačné“ jako v případě PAU. Z výsledků je patrná korelace letních i zimních emisních prototypů z lokality Smíchov s emisními podpisy pro tranzitní i městskou dopravu, stejně jako korelace letních emisních dat ze stanice Libuš.

Domácí topeniště při spalování dřeva se objevují v datech pro Suchdol (v letním i zimním období – důvodem je pravděpodobně blízkost vilové zástavby a s ní související spalování (nejen) dřeva v otevřených ohništích a grilování) a v lokalitě Libuš v zimním období.

Z dalších zdrojů stojí za zmínku korelace emisních dat se zdrojovým profilem pro slévárnu (je komentováno v dalších přílohách) a se zdrojovým profilem pro vápenku, zejména v letních měsících na všech sledovaných stanicích AIM, které se dá interpretovat jako znečištění pocházející ze stavební činnosti.

12.3 Korelační matice VOC

Do korelační matice pro VOC jsou zahrnuty emisní charakteristiky zdrojů znečišťování ovzduší a tzv. emisní prototypy popisující realizované emisní odběrové kampaně na stanicích Smíchov, Libuš a Suchdol, a to v letním a zimním období. Hladina korelačního koeficientu byla nastavena na 0,5. Na všech stanicích a to jak v letním, tak zimním období je patrná korelace emisních prototypů se zdrojovými profily pro tranzitní dopravu, městskou dopravu a zejména v zimním období se spalováním paliv v lokálních topeništích. Dá se očekávat, že právě tyto zdroje budou modelem CMB 8.2 identifikovány jako majoritní původci znečištění.

Na datech pro skupinu VOC je výrazně patrné rozložení korelace se zdrojovými profily pro lokální vytápění do zimního období.

13. Aplikace modelu

13.1 Skupina TK

Jako první byla receptorovému modelování podrobena skupina TK + OC/EC. Ve vstupních emisních datech jsou zde zastoupeny konkrétní emisní zdroje, jejichž source profily byly sestaveny na základě provedených emisních šetření. Na základě iteračního přístupu byly vytypovány ty, které se mohou podílet na znečištění v dané lokalitě a pro tyto byl následně spuštěn finální výpočet, jehož výsledky jsou vždy pro čtyři dny z každé modelované varianty prezentovány v následujících kapitolách.

13.1.1 Stanice SMÍCHOV – TK + OC/EC zima

Tabulka 6

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,82	3,46	112,6	02/04/09
0,84	3,23	116,5	02/05/09
0,80	3,82	114,0	03/01/09
0,88	2,07	112,8	03/02/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Model odhaduje jako původce znečištění těžkými kovy pro lokalitu Smíchov v zimním období zejména:

- domácí topeniště, a to jak při spalování
 - dřeva, tak
 - hnědého uhlí
- tranzitní dopravu
- a jako hlavního původce znečištění městskou dopravu

Výrazný vliv dopravy na emisní zatížení lokality Smíchov je dán charakterem emisní stanice, na které byla realizována emisní odběrová kampaň. Tato stanice je definována jako dopravní a je umístěna přímo nad jižním okrajem tubusu Strahovského tunelu, model tak potvrdil předpoklady uskutečněné na základě nástrojů prezentovaných v Přílohách 2–7.

Tabulka 7

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,88	2,75	103,2	05/27/10
0,88	2,42	80,9	05/28/10
0,85	3,10	113,2	06/04/10
0,87	2,96	83,9	06/16/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

13.1.2 Stanice SMÍCHOV – TK + OC/EC léto

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Model odhaduje jako původce znečištění těžkými kovy pro lokalitu Smíchov i v letním období zejména:

- městskou i tranzitní dopravu a
- do jisté míry je patrný i vliv spalování v domácích topeništích

V případě nalezení souvislosti s domácími topeništi v letním období se může jednat jednak o spalování na otevřených ohništích, případně o resuspenzi prachových částic emitovaných v průběhu topné sezony a usazených na povrchu.

Lokalita Smíchov je tak z celoročního pohledu ve skupině těžkých kovů zatěžována zejména emisemi pocházejícími z dopravy, v zimním období se pak přidává ještě vliv lokálních topenišť, byť ne v takové míře, jako je tomu na ostatních sledovaných lokalitách (Suchdol, Libuš). Souvislost emisního znečištění těžkými kovy s velkými energetickými či technologickými zdroji nebyla modelem Chemical Mass Balance prokázána.

13.1.3 Stanice LIBUŠ – TK + OC/EC zima

Je možné konstatovat, že všechny výsledné charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

Tabulka 5

Korelační matice VOC

	SUCH_Z_1	SUCH_Z_2	SUCH_Z_3	SUCH_Z_4	SUCH_Z_5	SUCH_L_1	SUCH_L_2	SUCH_L_3	SUCH_L_4	SUCH_L_5	SIM_Z_1	SIM_Z_2	SIM_Z_3	SIM_Z_4	SIM_Z_5	SIM_L_1	SIM_L_2	SIM_L_3	SIM_L_4	SIM_L_5	LIB_Z_1	LIB_Z_2	LIB_Z_3	LIB_Z_4	LIB_Z_5	LIB_L_1	LIB_L_2	LIB_L_3	LIB_L_4	LIB_L_5
DOTOMDF1	0,44706	0,41742	0,22860	0,33440	0,23939	-0,00824	-0,02667	-0,00069	0,04629	0,04103	0,43433	0,39051	0,26325	0,42870	0,49943	0,04842	-0,01647	0,50160	0,03734	-0,00393	0,41799	0,27351	0,51663	-0,03462	0,28233	-0,08956	-0,02731	0,00640	0,02146	-0,06644
DOTOMDF2	0,17406	0,14058	0,12838	0,17828	0,12077	0,19419	0,08740	0,18747	0,10790	0,06068	0,22091	0,15989	0,16258	0,17907	0,21476	0,08012	0,02395	-0,12389	0,09956	0,07413	0,16652	0,14731	0,17860	-0,00723	0,15154	0,08457	0,21880	0,15984	0,16663	0,16686
DOTOMDF3	0,80947	0,78834	0,67674	0,75911	0,71321	0,46277	0,29491	0,48494	0,52099	0,54275	0,80027	0,75554	0,70354	0,75263	0,82425	0,37283	0,24563	0,19625	0,43978	0,47605	0,81210	0,73021	0,83968	0,18739	0,75150	0,16762	0,45265	0,54503	0,59836	0,30869
DOTOTDF1	0,36315	0,34297	0,18793	0,26144	0,19487	-0,04362	-0,01962	-0,03330	0,03363	0,02438	0,33493	0,32862	0,21748	0,34701	0,39110	0,02091	-0,02013	0,63487	0,01360	-0,03442	0,33552	0,21467	0,40127	-0,03121	0,21067	-0,10907	-0,06260	-0,02831	-0,02184	-0,08182
DOTOTDF2	0,79576	0,78346	0,69748	0,76651	0,74932	0,50653	0,34125	0,54495	0,55964	0,60372	0,79406	0,75961	0,73959	0,74345	0,79680	0,40630	0,28055	0,29784	0,48424	0,53064	0,80183	0,74839	0,79817	0,21294	0,75768	0,21198	0,50636	0,59835	0,67199	0,34702
DOTOTDF3	0,74847	0,72369	0,57964	0,67777	0,61771	0,34672	0,19461	0,37339	0,39916	0,42990	0,73429	0,68712	0,61458	0,68954	0,77146	0,27368	0,15562	0,23030	0,32781	0,35544	0,74605	0,64034	0,79053	0,14483	0,66279	0,11399	0,34082	0,41912	0,47811	0,19848
CEMRP	0,39727	0,36800	0,20685	0,28586	0,21174	-0,05045	-0,08542	-0,04571	0,09697	0,02689	0,37047	0,34636	0,22929	0,36272	0,42356	-0,02175	-0,07762	0,43463	-0,00953	-0,04136	0,37772	0,24327	0,44494	-0,04064	0,25197	-0,13110	-0,06468	-0,00730	-0,00505	-0,10322
VEZHU	0,19172	0,16861	0,11549	0,14289	0,12513	-0,00757	-0,11230	-0,01125	0,29533	0,05698	0,19479	0,17250	0,13519	0,17666	0,19177	-0,07773	-0,15599	0,00954	-0,02261	-0,04998	0,19633	0,14084	0,18803	-0,02851	0,14710	-0,04843	0,00332	0,08335	0,06211	-0,02989
MTHUF1	0,67841	0,65470	0,49012	0,59615	0,52670	0,26117	0,17655	0,28060	0,30771	0,32624	0,67702	0,63254	0,54108	0,65887	0,72320	0,25169	0,14858	0,49592	0,28267	0,27480	0,66442	0,55060	0,72953	0,06799	0,55744	0,04149	0,24750	0,31031	0,35146	0,15285
MTHUF2	0,24755	0,24124	0,11795	0,17407	0,13729	-0,06438	0,00478	-0,04754	0,00360	0,00577	0,23380	0,24138	0,15816	0,26922	0,27739	0,03937	0,01313	0,74864	0,02318	-0,02741	0,22033	0,13909	0,27078	-0,05062	0,11730	-0,10071	-0,08086	-0,05106	-0,04343	-0,07325
MTHUF3	0,47238	0,46081	0,30499	0,38592	0,33544	0,07350	0,08334	0,09711	0,14917	0,16851	0,45571	0,44556	0,34965	0,47142	0,50649	0,14657	0,08472	0,71138	0,14875	0,11766	0,44912	0,34477	0,51037	0,01515	0,33550	-0,03560	0,05604	0,11176	0,13871	0,01689
MVDV1	0,43851	0,39349	0,34750	0,37844	0,26471	0,30601	0,25408	0,28700	0,24584	0,27422	0,41029	0,35211	0,27414	0,36819	0,45844	0,36227	0,37231	0,10516	0,35778	0,31107	0,37777	0,29271	0,46393	-0,13448	0,33286	-0,06727	0,28904	0,25837	0,23725	0,28866
MVDV2	0,67234	0,63141	0,58385	0,62628	0,49428	0,63551	0,61884	0,62271	0,45373	0,55595	0,65698	0,59962	0,52777	0,62770	0,70515	0,65895	0,65721	0,21301	0,64407	0,54079	0,59680	0,52480	0,68507	-0,00566	0,56353	0,15294	0,64535	0,55468	0,51315	0,64727
MVDV1	0,41892	0,36575	0,31705	0,36243	0,22625	0,41239	0,37329	0,34945	0,25796	0,29705	0,41025	0,32444	0,24004	0,36884	0,46774	0,49574	0,47415	0,18346	0,43820	0,33260	0,34225	0,25077	0,46228	-0,13880	0,29080	0,03590	0,35937	0,31460	0,28543	0,40782
MVDV2	0,44267	0,39374	0,34625	0,39009	0,25315	0,41024	0,38075	0,37024	0,33328	0,32611	0,45275	0,35832	0,27380	0,42111	0,50168	0,53521	0,49877	0,17878	0,47415	0,35906	0,28065	0,28065	0,48476	-0,11904	0,31249	0,06291	0,39005	0,33884	0,29465	0,45079
TDV1	0,57524	0,56988	0,64625	0,62157	0,61504	0,81511	0,74395	0,77981	0,69241	0,70954	0,60063	0,57659	0,61171	0,58506	0,57762	0,76995	0,71168	0,29493	0,79457	0,78827	0,55504	0,60657	0,54465	0,11442	0,60209	0,28744	0,79684	0,78124	0,74869	0,79553
TDV2	0,82304	0,83549	0,89933	0,87063	0,90718	0,87131	0,77696	0,88171	0,89655	0,95596	0,80552	0,82652	0,87453	0,79110	0,78148	0,79401	0,71696	0,34757	0,88475	0,90819	0,82135	0,97311	0,76604	0,29928	0,87519	0,37192	0,84216	0,94655	0,96483	0,76565
TDV1	0,53106	0,49755	0,41668	0,46020	0,36024	0,35993	0,36789	0,33539	0,33388	0,37767	0,50623	0,45301	0,35659	0,49756	0,57042	0,54319	0,50866	0,64469	0,49076	0,40204	0,45411	0,36027	0,56597	-0,06307	0,37476	0,04911	0,30788	0,33385	0,32580	0,35284
TDV2	0,40780	0,35987	0,32134	0,35204	0,23149	0,42778	0,42098	0,37887	0,26135	0,36297	0,35759	0,31213	0,24172	0,32414	0,42313	0,50591	0,51859	0,37718	0,46057	0,33943	0,31462	0,23167	0,41408	-0,11997	0,27315	0,07273	0,35997	0,32852	0,35823	0,39931

Tabulka 8
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,80	3,70	93,5	02/09/09
0,80	3,47	112,4	02/13/09
0,82	3,11	84,6	02/28/09
0,81	3,25	82,9	03/02/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Model odhaduje jako původce znečištění těžkými kovy pro lokalitu Libuš v zimním období:

- tranzitní dopravu
- spalování hnědého uhlí v lokálních topeništích
- patrný je i vliv
 - spalování dřeva v lokálních topeništích a
 - městské dopravy

13.1.4 Stanice LIBUŠ – TK + OC/EC léto

Tabulka 9
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,83	3,60	104,5	05/27/10
0,81	3,62	110,7	05/29/10
0,83	3,87	96,8	06/06/10
0,85	3,55	89,3	06/11/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Model odhaduje jako původce znečištění těžkými kovy pro lokalitu Libuš v letním období:

- tranzitní dopravu
- spalování dřeva v lokálních topeništích a v menší míře i
- městskou dopravu

Zajímavý je odhad původce znečištění jako zdrojového typu „slévárna“, který spíše značí výskyt zdrojového profilu svým průběhem podobnému zdrojovému profilu slévárna, který nebyl v experimentální části projektu podroben emisnímu šetření (např. sváření apod.).

Lokalita Libuš je tak z celoročního pohledu ve skupině těžkých kovů zatěžována zejména emisemi pocházejícími z dopravy, v zimním období se pak přidává ještě vliv lokálních topenišť (zejména spalování hnědého uhlí). Souvislost imisního znečištění těžkými kovy s velkými energetickými či technologickými zdroji nebyla modelem Chemical Mass Balance prokázána.

13.1.5 Stanice SUCHDOL – TK + OC/EC zima

Tabulka 10
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,83	3,97	111,9	02/09/09
0,82	3,53	113,0	02/20/09
0,82	3,52	116,3	02/28/09
0,83	3,58	111,3	03/02/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

Model odhaduje jako původce znečištění těžkými kovy pro lokalitu Suchdol v zimním období:

- domácí topeniště a to jak spalování
 - dřeva, tak
 - hnědého uhlí a
- tranzitní a
- městskou dopravu

13.1.6 Stanice SUCHDOL – TK + OC/EC léto

Tabulka 11
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

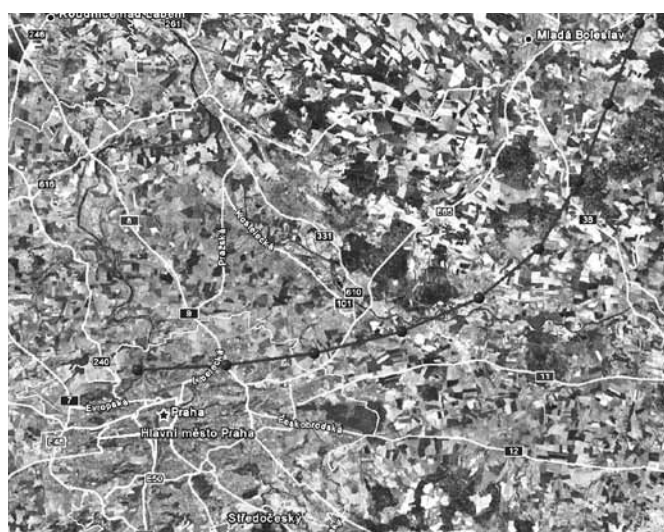
R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,80	3,96	100,2	05/27/10
0,82	3,78	116,5	05/29/10
0,82	3,26	97,4	06/12/10
0,80	3,57	89,4	06/15/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Model odhaduje jako původce znečištění těžkými kovy pro lokalitu Suchdol v letním období:

- zejména tranzitní dopravu
- spalování dřeva v lokálních topeništích a
- kamenolom

Na základě výše uvedených výsledků aplikace dat v receptorovém modelu byla zájmová lokalita Suchdol podrobená opakovanému místnímu šetření a rešeršní práci. Výsledkem byla identifikace konkrétního možného původce znečištění, kterého model definuje jako kamenolom. Jedná se patrně o recyklační středisko stavebního odpadu, které je umístěno cca 400m východním směrem od místa, kde byla realizována imisní odběrová kampaň. Porovnáním se zpětnou trajektorií vzdušných mas získanou z aplikace HYSPLIT – Hybrid Single – Particle Lagrangian Integrated Trajectory, se tento předpoklad potvrzuje.

Obrázek 62
HYSPLIT – Suchdol 06/15/10



13.2 Skupina PAU

Protože model Chemical Mass Balance má, jak již bylo uvedeno, omezení ve smyslu počtu současně modelovaných zdrojů (kategorií zdrojů), který musí být menší nebo roven počtu znečišťujících látek, a protože

počet sledovaných znečišťujících látek ve skupině PAU je výrazně nižší než tomu bylo u skupiny TK, byla na základě iteračního postupu aplikace dílčích skupin zdrojů v modelu CMB 8.2 vytypována skupina zdrojů s potenciálním vlivem na ovzduší ve sledovaných lokalitách a ta byla následně podrobena výpočtu.

13.2.1 Stanice SMÍCHOV – PAU zima

Tabulka 12

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,93	1,91	92,5	02/02/09
0,97	0,88	97,2	02/06/09
0,98	0,83	98,1	02/16/09
0,99	0,39	99,3	02/26/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Pro skupinu látek polycyklické aromatické uhlovodíky model odhaduje v lokalitě Smíchov v zimním období jako původce znečištění tyto zdroje:

- městská doprava
- tranzitní doprava

Tím potvrzuje závěry z modelování této lokality ve skupině látek TK + OC/EC.

13.2.2 Stanice SMÍCHOV – PAU léto

Tabulka 13

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,96	1,42	100,7	05/29/10
0,96	1,24	91,1	06/05/10
0,97	1,00	103,2	06/07/10
0,97	0,73	98,7	06/11/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. V letním období model odhaduje v lokalitě Smíchov pro skupinu látek polycyklické aromatické uhlovodíky shodně se zimním obdobím jako původce znečištění:

- městskou dopravu a
- tranzitní dopravu

Z pohledu ročních imisních koncentrací polycyklických aromatických uhlovodíků je tak v dané lokalitě jednoznačně převládající vliv emisí pocházejících z dopravy.

13.2.3 Stanice LIBUŠ – PAU zima

Tabulka 14

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,94	1,73	96,9	02/11/09
0,95	1,23	98,3	02/22/09
0,96	0,93	99,2	02/23/09
0,95	1,63	97,6	02/25/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. V lokalitě Libuš v zimním období je pro skupinu látek polycyklické aromatické uhlovodíky imisní znečištění dle výsledků modelu Chemical Mass Balance způsobeno

- zejména městskou a
- tranzitní dopravou a také
- spalováním hnědého uhlí v lokálních topeništích obyvatelstvem

13.2.4 Stanice LIBUŠ – PAU léto

Tabulka 15

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,94	1,57	94,4	05/20/10
0,93	1,60	93,0	05/28/10
0,93	1,64	103,9	06/03/10
0,94	1,38	101,5	06/05/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Model odhaduje jako původce znečištění polycyklickými aromatickými uhlovodíky pro lokalitu Libuš v letním období:

- tranzitní dopravu
- městskou dopravu
- a patrný je i vliv spalování dřeva v domácích topeništích, jedná se patrně o souvislost s emisemi ze spalování dřeva v otevřených ohništích, grilování apod.

13.2.5 Stanice SUCHDOL – PAU zima

Tabulka 16

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,92	1,78	95,7	02/03/09
0,93	1,44	87,8	02/14/09
0,93	1,67	97,2	02/16/09
0,96	1,05	100,2	03/03/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

V lokalitě Suchdol převládá v zimním období pro skupinu polycyklických aromatických uhlovodíků vliv:

- městské a do jisté míry i
- tranzitní dopravy, stejně jako
- spalování hnědého uhlí v lokálních topeništích

13.2.6 Stanice SUCHDOL – PAU léto

Tabulka 17

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,97	0,74	100,2	05/23/10
0,94	1,41	102,6	05/24/10
0,92	2,19	87,6	06/06/10
0,97	0,68	99,1	06/12/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

V lokalitě Suchdol je i v letním období pro skupinu látek polycyklické aromatické uhlovodíky znečištění dle výsledků modelu způsobeno z větší části městskou a tranzitní dopravou, na rozdíl od zimního období se další pozornost přesouvá od lokálních topenišť a spalování hnědého uhlí ke spalování dřeva, patrně zejména v otevřených ohništích.

13.3 Skupina VOC

Poslední modelovanou skupinou znečišťujících látek jsou těkavé organické látky. Protože významným producentem emisí v této skupině jsou i kategorie zdrojů, které nemohly být podrobeny zdrojovému šetření v rámci experimentální části projektu, jako [13]:

- používání barev – cca 20 % podíl kategorie na celkové emisí VOC ČR
- odmašťování a suché čištění – cca 11 % podíl
- a některé další,

pohybují se kvalitativní charakteristiky (zejména %Mass) těsně u spodní hranice požadované hodnoty. To indikuje, že model neměl k dispozici veškeré zdrojové profily všech významných zdrojů emisí VOC v zájmové lokalitě. Pozitivní je skutečnost, že model na tento fakt dokázal zareagovat a „uživatele“ prostřednictvím nižších hodnot %Mass na tuto skutečnost upozornit.

13.3.1 Stanice SMÍCHOV – VOC zima

Tabulka 18
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ^2	% Mass	Datum
0,83	3,28	82,0	02/03/09
0,82	3,69	88,2	02/07/09
0,82	3,11	85,0	02/13/09
0,84	3,47	86,8	02/28/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Pro skupinu látek těkavé organické látky model odhaduje v lokalitě Smíchov v zimním období jako původce znečištění:

- domácí topeniště a
- městskou dopravu

13.3.2 Stanice SMÍCHOV – VOC léto

Tabulka 19
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ^2	% Mass	Datum
0,88	2,45	83,4	05/20/10
0,82	3,65	81,3	05/24/10
0,81	3,53	85,3	06/05/10
0,82	3,12	88,3	06/10/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

V letním období se v lokalitě Smíchov při modelování skupiny látek těkavé organické látky přesouvá pozornost čistě do oblasti městské a tranzitní dopravy. Na výše prezentovaných výsledcích je dobře patrný rozdíl, mezi modelováním skupiny VOC oproti TK + OC/EC, kdy v případě VOC je v letním období identifikována jako původce znečištění čistě doprava, naproti tomu ve skupině TK + OC/EC dochází k „falešným korelacím“ s lokálními topeništi vlivem resuspenze prachu, jak je komentováno již v předcházejícím textu.

13.3.3 Stanice LIBUŠ – VOC zima

Tabulka 20
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ^2	% Mass	Datum
0,85	2,93	85,0	02/21/09
0,83	3,32	82,8	02/24/09
0,88	2,16	93,1	03/02/09
0,89	2,34	93,0	03/03/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. Pro skupinu látek těkavé organické látky model odhaduje v lokalitě Libuš v zimním období jako původce znečištění:

- domácí topeniště a
- městskou a v menší míře také
- tranzitní dopravu

13.3.4 Stanice LIBUŠ – VOC léto

Tabulka 21
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ^2	% Mass	Datum
0,87	2,27	88,6	05/25/10
0,84	3,06	81,0	05/26/10
0,83	3,25	83,2	06/08/10
0,84	3,06	83,2	06/16/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné kvalitativní charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot. V letním období se stejně jako v lokalitě Smíchov i v lokalitě Libuš při modelování skupiny látek těkavé organické látky přesouvá pozornost čistě do oblasti městské a tranzitní dopravy.

13.3.5 Stanice SUCHDOL – VOC zima

Tabulka 22
Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ^2	% Mass	Datum
0,88	2,45	84,0	02/04/09
0,83	3,35	82,5	02/20/09
0,89	2,12	93,3	03/02/09
0,88	2,58	90,4	03/03/09
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

Je možné konstatovat, že všechny výsledné charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

V lokalitě Suchdol je v zimním období ve skupině těkavých organických látek patrný převládající vliv domácích topenišť, a dále městské a tranzitní dopravy.

13.3.6 Stanice SUCHDOL – VOC léto

Je možné konstatovat, že všechny výsledné charakteristiky provedeného modelování se pohybují v oblasti požadovaných hodnot.

I v lokalitě Suchdol se při modelování skupiny látek těkavé organické látky v letním období přesouvá pozornost čistě do oblasti městské a tranzitní dopravy. Nižší, ale přesto patrné příspěvky spalování dřeva v lokálních topeništích, mohou být způsobeny spalováním v otevřených ohništích, grilováním (což se v lokalitě Suchdol předpokládá) apod.

Tabulka 23

Kvalitativní charakteristiky výsledků receptorového modelování

R ²	χ ²	% Mass	Datum
0,86	2,52	83,2	05/22/10
0,86	2,73	86,6	05/27/10
0,84	3,28	80,9	06/02/10
0,85	2,62	83,8	06/05/10
0,8 – 1	< 4	80 – 120	Požadovaná hodnota

14. Závěr

Soubor emisních a imisních dat byl pomocí programu Chemical Mass Balance 8.2 podroben receptorovému modelování. Závěry prezentované v kapitole 8 poměrně dobře korespondují s dílčími hypotézami učiněnými na základě odhadu původu zdroje emisí pomocí charakteristických indexů PAU, korelačních matic sestavených pro emisní podpisy zdrojů a prototypy reprezentující provedená imisní šetření i srovnání prototypů jednotlivých souborů imisních dat (PAU/TK/VOC) s emisními podpisy zdrojů.

Do budoucna je tak možno s nevrženou metodikou počítat jako s jedním z nástrojů identifikace klíčových znečišťovatelů, i když je vždy nutné výsledky porovnávat v kontextu s dalšími metodami.

Za využití metodiky a jako nejvýznamnější původci znečištění v zimním období na všech sledovaných stanicích identifikována spalování v domácích topeništích s různě významným podílem znečištění pocházejícího z dopravy. Naproti tomu v žádné ze sledovaných lokalit se neukázala výraznější souvislost imisního znečištění s velkými energetickými či technologickými zdroji, přestože jejich source profile měl řešitel (a samozřejmě i model v prvním iteračním kroku) k dispozici. Důležitým poznatkem vyplývajícím z provedené aplikace modelu Chemical Mass Balance 8.2 je i fakt, že model dokáže „uživatelé“ upozornit na významný emisní zdroj vyskytující se v zájmové lokalitě, který původně nebyl uvažován (pokud je příslušný source profile k dispozici) – viz lokalitu Suchdol a identifikace zpracování stavebního odpadu jako významného zdroje znečištění.

Uvedené závěry se v žádném případě nedají zobecňovat pro celou Českou republiku, váží se výhradně na modelované lokality, zcela rozdílná bude patrně situace v silně průmyslem exponovaných oblastech, jako je např. Moravskoslezský kraj apod., což potvrdila i aplikace modelu Chemical Mass Balance 8.2 realizovaná v rámci projektu VaV SM 9/14/04 – Omezování emisí znečišťujících látek do ovzduší zaměřená právě na oblast Ostravské aglomerace.

Jako obecný závěr lze však přijmout, že zhoršené imisní podmínky v oblastech bez převládajícího vlivu průmyslu jsou v zimním období způsobeny spolu se zhoršenými rozptylovými podmínkami právě spalováním paliv (a ne vždy jen paliv) v domácích topeništích. V letním období pak sehrává svou nezastupitelnou úlohu tranzitní a městská doprava.

Nutno ovšem podotknout, že modelování byly podrobeny pouze vybrané skupiny látek (PAU, VOC a TK+OC/EC v PM_{2,5}) a těch se také provedené šetření se svými závěry dotýká. Rozdílná bude patrně situace pro jiné významné znečišťující látky jako SO₂, NO_x, CO a další.

15. Seznam použitých zkratk

US EPA	US Environmental Protection Agency
CMB	Chemical Mass Balance
PMF	Positive Matrix Factorization
HYSPLIT	Hybrid Single – Particle Lagrangian Integrated Trajectory
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PM	Prachové částice
PM _{2,5}	Částice s aerodynamickým průměrem 2,5 μm
PM ₁₀	Částice s aerodynamickým průměrem 10 μm
VAPS	Versatile Air Pollution Sampler

TK	Těžké kovy
VOC	Těkavé organické látky
OC	Organický uhlík
EC	Elementární uhlík
TSP	Celkový prach
AD	Vstupní soubory do modelu CMB popisující imisní situaci
PR	Vstupní soubory do modelu CMB obsahující zdrojové profily
MDL	Detekční limit metody
SYMOS	Systém modelování stacionárních zdrojů
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NGM	National Meteorological Center's Nested Grid Model
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
SLBD	Sčítání lidu, domů a bytů
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
Fl	Fluoren
Fen	Fenantren
A	Antracen
Flu	Fluoranten
Pyr	Pyren
BaA	Benzo[a]antracen
Cry	Chrysen
BbF	Benzo[b]fluoranten
BkF	Benzo[k]fluoranten
BaP	Benzo[a]pyren
I123cdP	Indeno[1,2,3,c,d]pyren
DahA	Dibenzo[a,h]antracen
BghiPRL	Benzo[g,h,i]perylene

16. Literatura

- [1] <http://vitejtenazemi.cenia.cz/vzduch/index.php?article=144>, 17-5-2011
- [2] EPA – CMB8.2 Users Manual, EPA-452/R-04-011, C.Thomas Coulter, Air Quality Modeling Group, Emissions, Monitoring & Analysis Division, Office of Air Quality Planning & Standards, Research Triangle Park, NC 27711
- [3] Alice Dvorská – Ivan Holoubek, RECETOX, Masarykova univerzita Brno: Určování zdrojů atmosférických polutantů – problematika zpětných trajektorií vzdušných mas
- [4] Manson: Abundance of Elements in the Earth's Crust & In The Sea by Manson
- [5] StatSoft, Inc. (1999). Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>
- [6] StatSoft, Inc. (2005). STATISTICA Cz [Softwarový systém na analýzu dat], verze 10.0. <http://www.StatSoft.cz>
- [7] Polycyclic aromatic hydrocarbons and their molecular diagnostic ratios in urban atmospheric respirable particulate matter – María del Rosario Sienra, Nelson G. Rosazza, Margarita Préndez, 277–278
- [8] Characterization and Source Identification of PM₁₀-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Air of Tijing, China – Jianwu Shi, Yue Peng, Weifang Qiu, Zhipeng Bai, Shaofei Kong, Taosheng Jin, 515
- [9] Particle associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Agra, Nirat Rajput & Anita Lakhani, 2008, 102
- [10] Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factor and regulative, Khawal Ravindra, Ranjeet Sokhi, René Van Grieken, Atmospheric Environment 42 (2008), 2895–2921
- [11] Source specificity and atmospheric processing of airborne PAHs: Implications for source apportionment, Elisabeth Galarneau, Atmospheric Environment 42 (2008), 8139–8149
- [12] Národní program snižování emisí České republiky, Ministerstvo životního prostředí, 2007
- [13] <https://www.ispop.cz/magnoliaPublic/cenia-project/uvod/oispop.html>, 17-5-2011
- [14] <http://www.enviwiki.cz/wiki/REZZO>, 17-5-2011