

Vývoj imisní koncentrace BTEX na vybraných lokalitách ve Zlíně v roce 2010-2011

Bc. Pavel Ujčík

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel UJČÍK**
Osobní číslo: **T09634**
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**

Téma práce: **Vývoj imisní koncentrace BTEX na vybraných lokalitách ve Zlíně v roce 2010–2011**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši týkající se měření imisí těkavých organických látek (VOCs) v městských aglomeracích se zaměřením na stanovení skupiny BTEX.
2. Na základě této studie zvolte vhodné podmínky odběru a analýzy vybraných vzorků imisí benzenu, toluenu, ethylbenzenu a xylenu ve městě Zlín. S ohledem na dostupnou metodiku stanovení a dobu odběru navrhnete odběrová místa pro vzorky imisí.
3. Provedte odběry vzorků imisí BTEX ve Vámi vybraných lokalitách ve městě Zlín v období duben 2010 až březen 2011, a to minimálně čtyři vzorky pro jednu lokalitu za měsíc.
4. Získané výsledky přehledně zpracujte do diplomové práce, porovnejte s koncentracemi benzenu naměřenými ČHMÚ a zaujměte stanovisko k imisím benzenu ve městě Zlín.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Vědecké práce zahrnuté v databázích Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, InterScience, Medline nebo SciFinder Scholar, případně práce dostupné z dalších zdrojů vědecké literatury.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 14. února 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.
ředitel ústavu



Příjmení a jméno: Ujčík Pavel


Obor: Inženýrství ochrany životního prostředí

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 13.5.2011


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požítovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá imisním monitorováním skupiny vybraných těkavých organických látek, souhrnně označované jako BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen, p-xylen, m-xylen a o-xylen), ve zvolených lokalitách (firma EKOME, spol. s r.o., Zlín – Malenovice a Fakulta technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně) po dobu jednoho roku. Jednotlivé vzorky vzduchu byly odebírány příslušnými aparaturami na sorpční trubičky s aktivním uhlím SKC 226-09 po dobu 24 hodin, s následnou extrakcí do 2 ml sirouhlíku a GC analýzou s FID detekcí. Výsledky ukazují na vyšší koncentrace BTEX v podzimních a zimních měsících, což je vzhledem k daným meteorologickým podmínkám a stavům ovzduší v tomto období, vývoj očekávaný.

Klíčová slova: BTEX, těkavé organické látky, imise, EKOME, FT UTB, plynová chromatografie

ABSTRACT

This thesis is aimed at air pollution monitoring of the group of selected volatile organic compounds, collectively known as BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, p-xylene, m-xylene and o-xylene), in selected locations (company EKOME, Ltd., Zlin – Malenovice and Faculty of Technology of Tomas Bata University in Zlin) for one year. Individual air samples were obtained every 24 hours by using special apparatuses on sorbent tubes with active charcoal SKC 226-09 with following extraction into 2 ml of carbon disulfide and GC analysis with FID detection. The results indicate higher concentrations of BTEX in the autumn and winter months which is given current weather conditions and states of air in this period.

Keywords: BTEX, volatile organic compounds, air pollution, EKOME, FT UTB, gas chromatography

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Marii Dvořáčkové, Ph.D. a také svému konzultantovi Ing. Jaroslavu Šilhákovi za jejich ochotu, odbornou pomoc a trpělivost, kterou se mnou měli při psaní této práce. Mé velké poděkování patří rovněž vedení a všem zaměstnancům firmy EKOME, spol. s r.o. a Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, kteří mi vytvořili výborné pracovní podmínky pro realizaci experimentální části této diplomové práce. A v neposlední řadě musím také poděkovat své rodině za podporu, které se mi od ní po celou dobu mého studia dostávalo.

„Každý člověk se dokáže učit z vlastních zkušeností a chyb, ale jen moudrý člověk se dokáže poučit z chyb druhých.“

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY	12
1.1 DEFINICE TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK	12
1.2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK.....	13
1.3 DĚLENÍ TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK.....	13
1.4 ZDROJE TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK	14
1.4.1 Biogenní zdroje těkavých organických látek.....	14
1.4.2 Antropogenní zdroje těkavých organických látek.....	14
1.5 REAKTIVITA TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK	15
1.6 NEGATIVNÍ ÚČINKY TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK V ATMOSFÉRE	17
1.7 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK.....	18
1.7.1 Benzen.....	18
1.7.2 Toluen	18
1.7.3 Ethylbenzen.....	19
1.7.4 Xyleny	19
1.8 BTEX A LEGISLATIVA	20
2 METODY STANOVENÍ BENZENU V OVZDUŠÍ	22
3 IMISNÍ MONITORING TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK	26
3.1 IMISNÍ MONITORING TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK V ČESKÉ REPUBLICE	26
3.2 STUDIE VÝVOJE IMISNÍ KONCENTRACE BTEX VE SVĚTĚ.....	28
4 CÍL PRÁCE	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
5 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A CHEMIKÁLIE	35
5.1 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ A POMŮCKY	35
5.2 CHEMIKÁLIE	37
6 LOKALIZACE ODBĚROVÝCH MÍST	38
6.1 LOKALITA FIRMY EKOME, SPOL. S R.O.....	38
6.2 LOKALITA FAKULTY TECHNOLOGICKÉ UNIVERZITY TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ	42
6.3 LOKALITA POZAŘOVÉ PŘEDMĚSTSKÉ STANICE AIM PRO ZLÍN.....	44
7 PRACOVNÍ POSTUPY	45

7.1	PŘÍPRAVA KALIBRAČNÍCH STANDARDŮ	45
7.2	ODBĚR VZORKŮ	45
7.3	PŘÍPRAVA VZORKŮ K ANALÝZE	46
7.4	ANALÝZA VZORKŮ A KALIBRAČNÍCH STANDARDŮ	46
8	ANALÝZA VZORKŮ	47
8.1	KALIBRAČNÍ KŘIVKY STANOVOVANÝCH LÁTEK.....	47
8.2	RETENČNÍ ČASY STANOVOVANÝCH LÁTEK	50
8.3	CHROMATOGRAFICKÉ ZÁZNAMY Z JEDNOTLIVÝCH ODBĚROVÝCH LOKALIT.....	51
8.3.1	Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.	51
8.3.2	Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.....	52
8.3.3	Blank	52
8.4	POUŽITÉ VZORCE PRO VÝPOČTY	53
9	EXPERIMENTÁLNÍ DATA.....	55
9.1	METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY	55
9.1.1	Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.	55
9.1.2	Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.....	57
9.2	NAMĚŘENÉ KONCENTRACE BTEX	59
9.2.1	Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.	60
9.2.2	Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.....	64
10	VÝSLEDKY A DISKUZE	68
10.1	VÝVOJ KONCENTRACÍ JEDNOTLIVÝCH BTEX.....	68
10.2	VLIV METEOROLOGICKÝCH PODMÍNEK NA KONCENTRACE BTEX	76
10.3	STATISTICKÁ ANALÝZA	80
10.3.1	Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.	80
10.3.2	Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.....	81
	ZÁVĚR	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	96

ÚVOD

Těkavé organické látky patří spolu s oxidy dusíku, síry, uhlíku a tuhými znečišťujícími látkami do skupiny polutantů, které objemově nejvíce zatěžují životní prostředí. Společně s oxidy dusíku přispívají k tvorbě troposférického ozonu, svým působením poškozují ozon stratosférický a také přispívají ke globálnímu skleníkovému efektu. Pro člověka představují díky své toxicitě a karcinogenitě výrazné zdravotní riziko. Významnou skupinu těchto kontaminantů ovzduší tvoří aromatické uhlovodíky, souhrnně označované jako BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen, p-xylen, m-xylen a o-xylen). Do ovzduší se dostávají především z mobilních zdrojů (automobilové dopravy) díky výfukovým plynům z vozidel při nedokonalém spalování paliv s příměsmi těchto přísad zvyšujících jejich oktanové číslo. Mezi hlavní stacionární zdroje můžeme zařadit procesy výroby a používání rozpouštědel a ztráty vypařováním při manipulaci, skladování a distribuci benzínů.

S rostoucí intenzitou automobilové dopravy a s rozšiřující se průmyslovou činností roste význam sledování znečištění ovzduší těmito látkami, které je realizováno přímým měřením, tedy imisním monitorováním. V České republice je stanoven imisní limit pouze pro jedinou látku ze skupiny BTEX, a to pro benzen. Jedná se o roční imisní limit pro ochranu zdraví lidí, jehož hodnota je $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

V této práci se zabývám imisním monitorováním BTEX ve vybraných odběrových lokalitách ve Zlíně, které jsou zatěžovány působením výše zmíněných zdrojů znečišťování ovzduší.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TĚKAVÉ ORGANICKÉ LÁTKY

Těkavé organické látky (Volatile Organic Compounds – VOCs) jsou významnou složkou polutantů ovzduší, které byly nalezeny v nižších vrstvách atmosféry všech velkých měst a průmyslových center. K jejich označení se kromě VOCs používá také dalších termínů jako např. uhlovodíky (HCs), reaktivní organické plyny (ROGs) nebo ne-methanové těkavé organické látky (NM VOCs) [1, 2].

1.1 Definice těkavých organických látek

Definice dle zákona č. 472 ze dne 5. prosince 2005, kde předseda vlády vyhláší úplné znění zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší) říká, že *těkavou organickou látkou (VOC) je jakákoliv organická sloučenina nebo směs organických sloučenin, s výjimkou methanu, jejíž počáteční bod varu je menší nebo roven 250 °C, při normálním atmosférickém tlaku 101,3 kPa* [3].

Definice dle Směrnice Rady 1999/13/ES ze dne 11. března 1999 o omezování emisí těkavých organických sloučenin vznikajících při používání organických rozpouštědel při některých činnostech a v některých zařízeních říká, že *těkavou organickou sloučeninou je jakákoliv organická sloučenina, která má při teplotě 293,15 K tlak par 0,01 kPa nebo vyšší nebo která za konkrétních podmínek použití vykazuje odpovídající těkavost* [4].

Definice dle Protokolu Evropské hospodářské komise OSN (UNECE) říká, že *těkavé organické látky jsou všechny organické sloučeniny antropogenního původu, jiné než methan, které jsou schopné vytvářet fotochemické oxidanty reakcí s NO_x v přítomnosti slunečního záření*.

Definice dle Agentury pro ochranu životního prostředí (US EPA) říká, že *těkavé organické látky jsou látky, jejichž tenze nasycených par při 20 °C je rovna nebo větší než 0,13 kPa* [1, 2].

Definice dle Richarda G. Derwenta říká, že *organické sloučeniny, které jsou v atmosféře ve formě plynu, ale za podmínek nižší teploty a nižšího tlaku než je normální stav, jsou kapalné nebo pevné – tedy takové organické látky, jejichž tenze nasycených par při teplotě 20 °C je menší než 760 torr (101,3 kPa) a větší než 1 torr (0,13 kPa)* [5].

1.2 Obecná charakteristika těkavých organických látek

Těkavé organické látky představují poměrně široce definovanou skupinu, jejichž společnou vlastností je, že se snadno vypařují již při pokojové teplotě (jsou těkavé). Mnohé z těchto látek představují přímý vliv na lidské zdraví, kdy některé VOCs vykazují narkotické účinky a některé jsou dokonce toxické (chloroform, formaldehyd) či karcinogenní (PAHs, PCDD/PCDF, benzen). Nepřímý vliv na lidské zdraví je u těchto látek dokumentován prostřednictvím fotochemického smogu vytvářejícího troposférický (přízemní) ozon, jež je produktem fotochemických reakcí tzv. prekurzorů, kterými právě tyto těkavé organické látky jsou. Narozdíl od stratosférického ozonu, který je jedním z nejdůležitějších stopových prvků v atmosféře a chrání naši planetu před nebezpečným UV zářením, je tento troposférický ozon člověku nebezpečný a způsobuje mu bolesti hlavy, dráždění a nemoci dýchacích cest. Je také prokázána přímá účast těkavých organických látek na destrukci ozonové vrstvy Země pomocí freonů [6, 7].

1.3 Dělení těkavých organických látek

Mezi těkavé organické látky můžeme zahrnout:

- uhlovodíky – alkany, alkeny, aromáty (monojaderné nechlorované aromatické uhlovodíky, tj. BTEX);
- deriváty uhlovodíků – Cl, O, N, S, P – alkoholy, ethery, aldehydy, ketony, kyseliny, estery, aminy a heterocykly.

Jiný způsob klasifikace těchto látek je založen na dělení do různých skupin na:

- reaktivní organické plyny – plyny, které mohou potencionálně reagovat s látkami a reaktivními částicemi nacházejícími se v atmosféře, patří sem např. •OH radikály a výsledkem těchto reakcí je vznik ozonu a sekundárních organických aerosolů;
- celkové organické plyny – plyny, které přednostně reagují hlavně s •OH radikály, patří sem převážná část reaktivních organických plynů spolu s methanem a halogenovanými uhlovodíky;
- uhlovodíky detekované fotochemicky – do této skupiny patří těkavé organické látky neobsahující methan spolu s ostatními uhlovodíky detekovanými tímto způsobem;

- uhlovodíky nezahrnující methan (lehké uhlovodíky s délkou řetězce C_2 až C_{12}) detekované plynovou chromatografií – látky z této skupiny jsou považovány za nejčastější prekurzory ozonu, nepatří sem karbonylové sloučeniny, halogenové uhlovodíky a oxidy uhlíku;
- těžké uhlovodíky (uhlovodíky s délkou řetězce C_{10} až C_{20}) – uhlovodíky s $C > 15$ se vyskytují jednak ve formě plynné a jednak ve formě tuhých aerosolových částic, na něž jsou adsorbovány;
- aldehydy a ketony – mezi nejvýznamnější patří formaldehyd, acetaldehyd, aceton a kyslíkaté sloučeniny s délkou řetězce C_1 až C_7 , většina z nich je detekována kapalinovou chromatografií;
- polotěkavé organické látky – látky lehce extrahovatelné různými rozpouštědly a stanovitelné metodami plynové nebo kapalinové chromatografie, patří sem PAHs, methoxyfenoly, pesticidy a další polární a nepolární organické látky;
- uhlovodíky nezahrnující methan, těžké uhlovodíky a halogenové uhlovodíky s délkou řetězce obvykle $< C_{20}$.

1.4 Zdroje těkavých organických látek

1.4.1 Biogenní zdroje těkavých organických látek

Rostliny produkují široký rozsah uhlovodíků zahrnující izopreny, terpeny, hemiterpeny a kyslíkaté sloučeniny. Jejich emitovaná množství jsou odhadována na $1,2 \cdot 10^{15}$ g uhlíku za rok. Mezi hlavní biogenní zdroje patří:

- emise z vegetace;
- emise z volně žijících živočichů;
- přírodní lesní požáry;
- anaerobní procesy v močálech a bažinách.

1.4.2 Antropogenní zdroje těkavých organických látek

Mezi hlavní antropogenní zdroje patří:

- výfukové plyny z dopravních prostředků;
- používání rozpouštědel;
- evaporace benzínových par;
- skladování a distribuce benzínu;
- petrochemický průmysl;
- zemní plyn a jeho distribuce;
- spalování fosilních a biogenních paliv;
- potravinářský průmysl;
- chemický průmysl;
- rafinace minerálních olejů;
- skládky odpadů;
- zemědělství;
- materiály z vnitřního zařízení budov (lepidla, nátěrové hmoty, konstrukční materiály apod.) [1,2].

1.5 Reaktivita těkavých organických látek

Skupina těkavých organických látek je charakteristická velmi rozmanitou reaktivitou. Rozdíly v reaktivitě vycházejí ze strukturní rozmanitosti od lineárních alifatických řetězců, přítomnosti násobných vazeb, cyklů, aromatických jader až po látky s několika různými funkčními skupinami a vazbami. To se poté v atmosféře projevuje jejich odlišnými reakčními schopnostmi.

Společnými charakteristikami pro všechny tyto látky jsou snadné atmosférické reakce s NO_x , kdy přispívají k přeměně NO na NO_2 . Hodnocení reaktivity se často provádí na základě jejich reakce s $\bullet\text{OH}$ radikálem (Tab. 1). Základem stupnice je reaktivita nejméně reaktivního plynného uhlovodíku methanu – 1,0. Methan je však v atmosféře zastoupen ve značném množství, a proto se i přes nízkou reaktivitu významně podílí na celkové reakci s tímto radikálem. Méně reaktivní sloučeniny setrvávají v atmosféře delší dobu a pronikají do větších vzdáleností od místa jejich vstupu do atmosféry.

Tab. 1 Relativní reaktivita uhlovodíků s $\bullet\text{OH}$ radikálem

Třída reaktivity	Rozsah reaktivity	Přibližný poločas setrvání v atmosféře	Sloučeniny podle rostoucí reaktivity
I	< 10	> 10 dnů	methan
II	10 – 100	24 hod. – 10 dnů	oxid uhelnatý, ethan
III	100 – 1 000	2,4 hod. – 24 hod.	benzen, propan, n-butan, isopentan, methylethylketon, 2-methylpentan, toluen, n-propylbenzen, isopropylbenzen, ethen, n-hexan, 3-methylpentan, ethylbenzen
IV	1 000 – 10 000	15 min. – 2,4 hod.	p-xylen, p-ethyltoluen, o-ethyltoluen, o-xylen, methylisobutylketon, m-ethyltoluen, m-xylen, 1,2,3-trimethylbenzen, cis-2-buten, β -pinen, 1,3 - butadien
V	> 10 000	< 15 min.	2-methyl-2-buten, 2,4-dimethylbuten,

Doba života jednotlivých VOCs v atmosféře je odvislá od rychlostních konstant reakcí těkavých organických látek s $\bullet\text{OH}$ radikály, $\bullet\text{NO}_3$ radikály a ozonem a také od předpokládaných koncentrací těchto radikálů v ovzduší.

Tato doba života většiny VOCs, pokud jde o reakci s $\bullet\text{OH}$ radikály a s ozonem, je v rozmezí od cca 1 hod. až po cca 10 let. V důsledku této rozdílné doby setrvání v troposféře a rozdílných reakčních rychlostí vykazuje skupina těkavých organických látek různou reaktivitu pokud jde o tvorbu ozonu. Proto byla zavedena jejich klasifikace podle fotochemického potenciálu tvorby ozonu – POCP (Photochemical Ozone Creation Potential), který vyjadřuje, jak významně se daná látka podílí na vzniku troposférického ozónu. Hodnota POCP pro ethen byla stanovena jako 100 (referenční hodnota). Intervaly hodnot POCP jsou uvedeny v Tab. 2. V první skupině látek jsou reaktivní uhlovodíky s krátkou dobou setrvání v ovzduší. Tyto látky v rozhodující míře ovlivňují lokální produkci ozonu. Naproti tomu v poslední skupině jsou látky s dlouhou dobou setrvání v ovzduší. Tyto látky

spolu s oxidem uhelnatým ovlivňují tvorbu ozonu ve velkých prostorových měřících, např. v celém pásmu mírných zeměpisných šířek včetně volné troposféry [1, 2].

Tab. 2 Klasifikace VOCs podle jejich fotochemického potenciálu tvorby ozonu

VOCs	POCP
1. nejvýznamnější: ethen, propen, xyleny, izopren	> 100
2. středně významné: alkany > C ₆ , ostatní alkeny, aldehydy s výjimkou formaldehydu a benzaldehydu	50 – 99
3. méně významné: alkany C ₃ až C ₅ , formaldehyd, ethanol, většina ketonů a esterů	25 – 49
4. málo významné: methan, ethan, acetylen, benzen, benzaldehyd, aceton, methanol	< 25

1.6 Negativní účinky těkavých organických látek v atmosféře

Mezi nejvýznamnější nepříznivé účinky těkavých organických látek v atmosféře patří:

- *zásadní podíl na tvorbě fotochemického smogu, resp. troposférického (přízemního) ozonu*, kdy se účinky tohoto nepříznivého stavu atmosféry projevují negativními vlivy na lidské zdraví a komfort (dráždivé účinky na sliznice očí a dýchacích cest, alergie), poškozováním materiálů (především gumy, kdy se ozon aduje na dvojné vazby tohoto polymeru a štěpí je), negativními efekty na atmosféru (vznik aerosolů, snížení viditelnosti) a nakonec toxickým působením na vegetaci (zpomalení růstu rostlin a vývinu kořenového systému);
- *poškození stratosférického ozonu*, kdy přítomnost některých VOCs (organických halogenovaných sloučenin) blokuje reakce vedoucí ke vzniku ozonu, protože halogenové atomy přednostně reagují s atomárním kyslíkem i s molekulami ozonu;
- *příspěvek ke globálnímu skleníkovému efektu*, kdy řada halogenovaných uhlovodíků patří ke skupině radiačně aktivním (skleníkovým) plynům, a proto jejich nárůst v atmosféře přispívá ke zvýšení skleníkového efektu [8, 9].

1.7 Charakteristika vybraných těkavých organických látek

1.7.1 Benzen

Benzen je čirá a bezbarvá kapalina s charakteristickým zápachem, chemicky dosti stabilní. Je těkavý, hořlavý, slabě rozpustný ve vodě, ale dobře rozpustný ve většině organických rozpouštědel. Získává se z ropy, černouhelného dehtu nebo jako produkt rektifikace a rafinace. Používá se hlavně jako surovina pro výrobu celé řady chemických látek (barviva, detergenty, syntetická vlákna a tkaniny, pryskyřice, plastové hmoty, výbušniny, léčiva, insekticidy, přísady do maziv, nátěry a některé typy pryže). Slouží také jako rozpouštědlo a odmašťovací prostředek. Je součástí automobilového benzínu. Proto mezi hlavní zdroje emisí benzenu do atmosféry řadíme výfukové plyny automobilů, dále emise způsobené těkáním benzínu z palivových nádrží nebo během tankování. Další významné úniky pocházejí z chemického průmyslu, rafinerií ropy a plynu a ze spalování paliv. V atmosféře se benzen vyskytuje hlavně v plynné fázi, kdy může reagovat, stejně jako ostatní těkavé organické látky, s hydroxylovými radikály za vzniku organických peroxyradikálů. Tyto radikály jsou spolu s oxidy dusíku příčinou fotochemického smogu. Benzen je obecně velmi toxická látka. Je toxický jak akutně, tak i chronicky. Dlouhodobá expozice benzenu má negativní vliv na krev, kdy může vést ke snížení počtu červených krvinek vedoucí až k anémii či leukémii. Zvyšuje krvácivost a oslabuje imunitní systém člověka. Chronická otrava vyvolává také poškození jater, ledvin a úbytek bílých krvinek. Klasifikace dle IARC hodnotí benzen jako látku karcinogenní pro člověka (skupina 1) [10, 11, 12].

1.7.2 Toluén

Toluén je čirá bezbarvá kapalina s aromatickým zápachem. Při pokojové teplotě je těkavý a hořlavý, jeho páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Může se rozpouštět v tucích a dobře se rozpouští v organických rozpouštědlech. Přirozeně se vyskytuje v ropě. Používá se jako rozpouštědlo a také jako výchozí surovina při výrobě polymerů, ze kterých se potom vyrábí nylon, plastové lahve a polyuretany. Přidává se do benzínu ke zvyšování oktanového čísla. Nejvíce toluenu se do prostředí dostává právě z benzínu, kdy se uvolňuje během jeho výroby, transportu a spalování i při nakládání s ostatními palivy. Uvolňuje se při výrobě, používání a zneškodňování průmyslových i domácích produktů obsahujících toluén, jako jsou nátěry, ředidla, laky, pryskyřice, inhibitory koroze nebo lepidla. Páry to-

luenu působí narkoticky, způsobují bolesti hlavy, žaludeční nevolnost, dráždění očí a dýchacích cest. Vysoké koncentrace jeho par silně dráždí sliznici očí. Klasifikace dle IARC hodnotí toluen jako látku, jejíž karcinogenitu pro člověka nelze klasifikovat (skupina 3) [13, 14].

1.7.3 Ethylbenzen

Ethylbenzen je bezbarvá hořlavá kapalina s charakteristickým zápachem. Je dobře rozpustný v organických rozpouštědlech a také je lehce vznětlivý. Je obsažen v ropných látkách a tvoří příměs v benzínech. Primárně se používá jako surovina při výrobě styrenu, dále jako rozpouštědlo a ředidlo. Největším zdrojem ethylbenzenu v prostředí je těžba a zpracování ropy a používání ropných produktů, hlavně spalování benzínu. Uvolňuje se také při aplikaci nejrůznějších ředidel, barev a laků. Je prokázán jeho negativní vliv na nervovou a dýchací soustavu. Lidé vystaveni jeho vysokým koncentracím v ovzduší trpí závratěmi, podrážděním či pálením očí a problémy s dýcháním. Klasifikace dle IARC hodnotí ethylbenzen jako látku s možným karcinogenním účinkem pro člověka (skupina 2B) [15].

1.7.4 Xyleny

Xyleny tvoří tři izomery s různou polohou dvou methylových skupin navázaných na benzenové jádro: para-xylen (p-xylen, 1,4-dimethylbenzen), meta-xylen (m-xylen, 1,3-dimethylbenzen) a ortho-xylen (o-xylen, 1,2-dimethylbenzen). Xyleny jsou bezbarvé hořlavé kapaliny s aromatickým zápachem, jejich páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Jsou jen nepatrně rozpustné vodě, ale dobře rozpustné v nepolárních rozpouštědlech. Přes 90% vyprodukovaných směsí xylenových isomerů se přidává do benzínu pro zvýšení oktanového čísla, a proto je hlavním zdrojem znečištění těmito látkami automobilová doprava. Zbývající část se používá jako rozpouštědla pro nejrůznější účely a k výrobě jednotlivých izomerů. Nejvýznamnějším izomerem je para-xylen. Tento izomer slouží k výrobě vláken, filmů a pryskyřic, které se vyskytují v kobercích, tkaninách a oděvech. Ortho-xylen se používá jako výchozí surovina pro výrobu ftalanhydridu a meta-xylen slouží k výrobě polyesterových pryskyřic a fungicidů. Inhalace xylenů ovlivňuje centrální nervovou soustavu. Způsobuje příznaky jako jsou závratě, zvracení, bolesti hlavy, poruchy dýchání, ztrátu vědomí i smrt. Opakovaná expozice může poškodit kostní dřeň a tím snížit počet krvinek. Klasifikace dle IARC hodnotí xyleny jako látky, jejichž karcinogenitu pro člověka nelze klasifikovat (skupina 3) [16, 17].

1.8 BTEX a legislativa

Automobilová doprava v posledním desetiletí významně ovlivňuje životní prostředí člověka, a to jak v pozitivním, tak i v negativním směru. Jedním z negativních účinků je kontaminace ovzduší emisemi, především aromatickými uhlovodíky (BTEX). Emise z mobilních zdrojů představují cca 85 % celkových emisí aromatických uhlovodíků, přičemž převládající část připadá na emise z výfukových plynů. Zbývajících 15 % emisí pochází ze stacionárních zdrojů, rozhodující podíl přitom připadá na procesy produkující aromatické uhlovodíky a procesy, kde se tyto sloučeniny používají k další výrobě. Množství VOCs a jejich zastoupení ve výfukových plynech závisí na typu motoru, druhu použitého paliva a na režimu a seřízení motoru. Dieslové motory se podílejí na emisích těkavých organických látek v rozsahu 17 až 18 %, benzínové motory 67 až 72 % a odpařením pohonných hmot se jich do ovzduší dostává 12 až 14 %. Výše zmíněné aromatické uhlovodíky se do benzínů přidávají jako přísady pro zvýšení jejich oktanového čísla, jelikož kvalita benzínu má zásadní vliv na výkon motoru. Benzen jako složka surové nafty byl v Evropě přítomen v automobilovém benzínu v podílu kolem 5 %, někdy i více než 10 %. V současné době se jeho obsah v České republice pohybuje kolem 1 %. V USA tento obsah nepřekračuje 1,5 až 2 % [18, 19, 20].

Pro benzen je v ČR stanoven Nařízením vlády č. 597/2006 Sb. o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší a také Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2000/69/ES ze dne 16. listopadu 2000 o mezních hodnotách pro benzen a oxid uhelnatý v ovzduší roční imisní limit $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vztažený na normální teplotu 293,15 K a tlak 101,325 kPa). Limitní hodnoty benzenu pro ochranu zdraví jsou uvedeny v Tab. 3. Pro zbývajících sledované těkavé organické látky (toluen, ethylbenzen, p-xylen, m-xylen a o-xylen) není v ČR imisní limit stanoven, výše zmíněným nařízením vlády je pouze doporučeno jejich měření. Pro toluen je ovšem stanoven čichový práh (minimální koncentrace, která vyvolá čichový vjem u 50 % zkoumaných osob), který má hodnotu $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ [21, 22].

Tab. 3 Limitní hodnoty benzenu pro ochranu zdraví

Doba průměrování	Hodnota imisního limitu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Maximální počet překročení za kalendářní rok	Mez tolerance [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			Termín dosažení imisního limitu
			2007	2008	2009	
kalendářní rok	5	–	3	2	1	1.1.2010

Mez tolerance je procento imisního limitu, nebo část jeho absolutní hodnoty, o které může být imisní limit překročen, tato hodnota se pravidelně v po sobě následujících rocích snižuje až k nulové hodnotě [23].

2 METODY STANOVENÍ BENZENU V OVZDUŠÍ

Ke stanovení benzenu ve volném ovzduší lze použít řady manuálních metod založených na různých principech v závislosti na cílech analýzy a obsahu zkoumaného analytu.

2000/69/ES Směrnice Evropského parlamentu a Rady ze dne 16. listopadu 2000 o mezních hodnotách pro benzen a oxid uhelnatý v ovzduší.

Tato směrnice stanovuje mezní hodnoty koncentrací benzenu a oxidu uhelnatého v ovzduší za účelem vyvarování se, předcházení nebo snížení škodlivého působení na lidské zdraví a životní prostředí jako celek. Slouží k posouzení koncentrací benzenu a oxidu uhelnatého v ovzduší na základě jednotných metod a kritérií, dále k získání vhodných informací o koncentracích benzenu a oxidu uhelnatého v ovzduší a zajištění, aby tyto údaje byly zpřístupněny veřejnosti a nakonec k udržení kvality ovzduší tam, kde je dobrá a zlepšení kvality ovzduší v ostatních případech s ohledem na benzen a oxid uhelnatý. Jako referenční metodu pro stanovení benzenu v ovzduší tato směrnice stanovuje metodu odběru vzorku čerpáním přes vložku se sorbentem s následným stanovením plynovou chromatografií, kterou v současné době normalizuje CEN (European Committee for Standardization). Pokud není normalizovaná metoda CEN k dispozici, mohou členské státy používat vnitrostátní normalizované metody založené na stejném postupu měření [22].

ČSN EN 14662-1 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení benzenu – Část 1: Odběr vzorku prosáváním sorpční trubicí s následnou tepelnou desorpcí a analýzou plynovou chromatografií.

Tato norma odpovídá obecné metodice určené jako základ referenční metody stanovení benzenu ve venkovním ovzduší, vydané 2000/69/ES, pro účely porovnání výsledků měření s určenými ročními limitními hodnotami. Podává obecný návod pro odběr vzorků a analýzu benzenu v ovzduší prosáváním sorpční trubicí, tepelnou desorpcí a kapilární plynovou chromatografií [24].

ČSN EN 14662-2 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení benzenu – Část 2: Odběr vzorku prosáváním sorpční trubicí s následnou desorpcí rozpouštědlem a analýzou plynovou chromatografií.

Tato norma odpovídá obecné metodice stanovení benzenu ve venkovním ovzduší, vydané 2000/69/ES, pro účely porovnání výsledků měření s určenými ročními limitními hodnotami. Podává obecný návod pro odběr vzorků a analýzu benzenu v ovzduší prosáváním

sorpční trubicí, desorpcí rozpouštědlem a kapilární plynovou chromatografií. Lze ji použít ke stanovení benzenu ve venkovním ovzduší v rozmezí $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ až $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve vzorku vzduchu objemu 1 m^3 odebraném zpravidla v období 24 hodin. Horní mez uvedeného rozsahu stanovitelnosti je dána sorpční kapacitou sorbentu, lineárním dynamickým rozsahem kolony plynového chromatografu a detektoru nebo charakteristikou děliče vzorku použitého analytického zařízení. Dolní mez uvedeného rozsahu stanovitelnosti závisí na úrovni šumu detektoru a na hodnotě slepého pokusu pro benzen nebo vlivu rušivých složek uvolňovaných ze sorbentu a rozpouštědla použitého k desorpci. Popsaná metoda je založena na odběru vzorků vzorkovacími trubicemi naplněnými zpravidla 100 mg aktivního uhlí a desorpci za použití sirouhlíku. Kromě aktivního uhlí lze použít i jiných sorbentů a kromě sirouhlíku lze použít i jiných rozpouštědel za předpokladu, že se prokáže shoda charakteristik použitých postupů.

Popis metodiky dle ČSN EN 14662-2

Měřený objem vzorku vzduchu je prosáván sorpční trubicí naplněnou aktivním uhlím. Za předpokladu, že byly zvoleny vhodné podmínky odběru vzorku, je benzen odlučován z proudícího vzorku vzdušiny a zachycován v sorpční trubicí. Zachycené páry se desorbují za použití sirouhlíku a analyzují se v plynovém chromatografu vybaveném kapilární kolonou s plamenovým ionizačním detektorem nebo jiným vhodným detektorem. Kalibrace analytického systému se provádí kalibračními standardy. Při vlastní analýze se používá výhradně chemikálií zaručené analytické čistoty. Vlastní vzorkovací zařízení musí být schopno udržet nastavený průtok v rozmezí 500 ml/min až 2 000 ml/min s odchylkou $\pm 5 \%$ v průběhu požadované doby odběru (běžně 24 hodin). Vzorkovací zařízení musí být v požadované výšce a vzdálenosti od překážek, která zajišťuje nerušený odběr vzorku. Vzorkovací zařízení se musí po zapnutí ponechat dostatečně dlouhou dobu v chodu do ustálení průtoku v rozmezí 500 ml/min až 1 000 ml/min, který se nastavuje se zapojenou sorpční trubicí, u které musí být oba konce odstraněny tak, aby vzniklé otvory přesáhly polovinu vnitřního průměru trubice. Doporučený odebraný objem vzorku vzduchu pro stanovení benzenu je 1 m^3 po dobu 24 hodin. Doba odběru každého vzorku se zaznamenává. K výpočtu hmotnostní koncentrace vztažené na normální podmínky je nutná znalost průměrné teploty a barometrického tlaku. Pokud nebudou vzorky analyzovány bezprostředně po odběru, musí být uschovány v čistém a suchém prostředí. Slepé vzorkovací pokusy se realizují způsobem, že s identickými trubicemi jako pro odběr vzorku se manipuluje stejně

jako s trubicemi použitými pro odběr vzorku vyjma tohoto odběru. Desorpce je realizuje tak, že sorpční trubice se vzorkem se nařizne v části obsahující hlavní náplň, jež se převede do vialky, do které se následně odpipetuje 1,0 ml sirouhlíku. Vialka se septem se ihned uzavře a po dobu 30 minut se příležitostně protřepává, aby byla zajištěna maximální desorpce. Finální analýza se provádí GC s FID (nebo jinou) detekcí [25].

ČSN EN 14662-3 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení benzenu – Část 3: Automatizovaný odběr vzorku prosáváním sorpční trubicí a analýza plynovou chromatografií.

Tato norma odpovídá obecné metodice určené jako základ referenční metody stanovení benzenu ve venkovním ovzduší, vydané 2000/69/ES, pro účely porovnání výsledků měření s určenými ročními limitními hodnotami. Uvádí návod k měření automatizovanými plynovými chromatografy a k jejich typovému schválení [26].

ČSN EN 14662-4 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení benzenu – Část 4: Difúzní vzorkování s následnou tepelnou desorpcí a analýzou plynovou chromatografií.

Tato norma odpovídá obecné metodice určené jako základ referenční metody stanovení benzenu ve venkovním ovzduší, vydané 2000/69/ES, pro účely porovnání výsledků měření s určenými ročními limitními hodnotami. Podává obecný návod pro odběr vzorků a analýzu benzenu v ovzduší difúzním vzorkováním, tepelnou desorpcí a kapilární plynovou chromatografií [27].

ČSN EN 14662-5 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení benzenu – Část 5: Difúzní vzorkování s následnou desorpcí rozpouštědlem a analýzou plynovou chromatografií.

Tato norma odpovídá obecné metodice určené jako základ referenční metody stanovení benzenu ve venkovním ovzduší, vydané 2000/69/ES, pro účely porovnání výsledků měření s určenými ročními limitními hodnotami. Podává obecný návod pro odběr vzorků a analýzu benzenu v ovzduší difúzním vzorkováním, desorpcí rozpouštědlem a kapilární GC [28].

Method TO-1 Method for the determination of volatile organic compounds in ambient air using TENAX[®] adsorption and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

Tato metoda pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší dle US EPA je založena na záchytu analytu na pevném sorbentu (TENAX) s následnou termickou desorpcí a stanovením plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí (GC/MS) [29].

Method TO-2 Method for the determination of volatile organic compounds in ambient air by carbon molecular sieve adsorption and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

Tato metoda pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší dle US EPA je založena na záchytu analytu na uhlíkovém molekulovém sítu s následnou termickou desorpcí a stanovením plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí (GC/MS) [30].

Method TO-3 Method for the determination of volatile organic compounds in ambient air using cryogenic preconcentration techniques and gas chromatography with flame ionization and electron capture detection.

Tato metoda pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší dle US EPA je založena na kryogenní prekoncentraci analytu a následném stanovení plynovou chromatografií s plamenionizační detekcí (GC/FID) nebo detekcí elektronového záchytu (GC/ECD) [31].

Method TO-14A Determination of volatile organic compounds (VOCs) in ambient air using specially prepared canisters with subsequent analysis by gas chromatography.

Tato metoda pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší dle US EPA je založena na záchytu analytu v kanystrech z korozivzdorné oceli s následnou termickou desorpcí a stanovením plynovou chromatografií s různými typy detekcí [32].

Method TO-15 Determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected in specially-prepared canisters and analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

Tato metoda pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší dle US EPA je založena na záchytu analytu v kanystrech z korozivzdorné oceli s následnou termickou desorpcí a stanovením plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí (GC/MS) [33].

Method TO-17 Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes.

Tato metoda pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší dle US EPA je založena na záchytu analytu na vhodném sorbentu s následnou termickou desorpcí a stanovením plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí (GC/MS) [34].

3 IMISNÍ MONITORING TĚKAVÝCH ORGANICKÝCH LÁTEK

3.1 Imisní monitoring těkavých organických látek v České republice

Imisním limitem je hodnota nejvýše přípustné úrovně znečištění ovzduší vyjádřená v jednotkách hmotnosti na jednotku objemu při normální teplotě a tlaku. Jedná se o úroveň určenou na základě vědeckých poznatků, jejímž cílem je ochránit lidské zdraví a nebo životní prostředí jako celek před škodlivými účinky znečišťujících příměsí ve venkovním ovzduší. Této hodnoty musí být dosaženo v souladu s předem stanoveným časovým harmonogramem a jakmile jí bude dosaženo, nesmí již dojít k jejímu překročení. Aby nedošlo k takovému překročení, je dodržování imisních limitů kontrolováno přímými měřeními pro jednotlivé sledované látky (imisním monitoringem) [35].

Český hydrometeorologický ústav zabezpečuje ze zákona, mimo jiné, i provoz celostátní sítě měření znečištění ovzduší v naší republice, jejíž součástí je i automatizovaný imisní monitoring (AIM), jehož stanice pracují v nepřetržitém provozu a předávají naměřené údaje v reálném čase do příslušných center ČHMÚ.

Na území České republiky pracuje k roku 2009 celkem 134 stanic automatického imisního monitoringu, provozovaných ČHMÚ. Kromě nich jsou do informačního systému zahrnuty i výsledky měření na stanicích dalších organizací (celkem 219 stanic). Většina měřících stanic je osazena analyzátory na měření koncentrací oxidu siřičitého, oxidu dusnatého, oxidu dusičitého a prašného aerosolu PM₁₀. Na menším počtu stanic jsou stanovovány koncentrace ozonu a oxidu uhelnatého. Vybrané stanice automatického imisního monitoringu měří i koncentrace některých těkavých organických látek (benzen, toluen, xylen) [36].

Provozovatelé staničních sítí sledování kvality venkovního ovzduší poskytují naměřená data k zanesení do imisní databáze Informačního systému kvality ovzduší (ISKO). V posledních letech jsou do této databáze ukládána i data poskytovaná z německé a polské strany. V imisní databázi ISKO jsou každoročně aktualizovány údaje o registrovaných stanicích včetně údajů o druhu měření na nich. Data shromažďovaná a tříděná v databázích ISKO jsou každoročně vydávána ve formě souhrnného ročního tabelárního přehledu (Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika) a ročenky (Znečištění ovzduší na území České republiky) [37].

V roce 2009 byly koncentrace benzenu, jako jediné sledované látky ze skupiny BTEX se stanoveným imisním limitem definovaným jako roční průměrná koncentrace $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, měřeny celkem na 27 lokalitách s platným ročním průměrem. Tohoto limitu mělo být dosaženo do 31.12.2009. Mez tolerance pro rok 2009 byla rovna hodnotě $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Například na lokalitě ČHMÚ Ostrava-Přívoz byla v roce 2009 naměřena nejvyšší roční průměrná koncentrace benzenu v ČR, která činila $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, stejně tomu bylo v roce 2008 ($6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a v roce 2007 ($8,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Je tedy zřejmé, že na Ostravsku dochází k opětovnému překračování imisního limitu pro benzen (nebereme-li v úvahu zvýšení o mez tolerance pro jednotlivé roky). Vyšší koncentrace souvisejí v této oblasti kromě intenzivní automobilové dopravy s průmyslovou činností (především s výrobou koksu). Počet lokalit, na kterých došlo oproti roku 2008 k mírnému poklesu průměrné roční koncentrace, byl srovnatelný s počtem lokalit, na kterých byl zaznamenán mírný nárůst [38].

V Praze, jako v jednom z nejméně zatížených měst Evropy z hlediska znečištění ovzduší, proběhla v letech 2006 a 2007 rozsáhlá monitorovací kampaň zaměřená na personální monitoring VOCs, konkrétně látek ze skupiny BTEX. První část tohoto monitoringu (léto a zima 2006) probíhala ve spolupráci s řidiči autobusů městské hromadné dopravy v Praze. Do studie bylo zapojeno 50 řidičů, 50 kontrol (jednalo se o administrativní pracovníky a muže, kteří tráví většinu své pracovní doby v uzavřených prostorách) a jako zátěžová skupina bylo zvoleno 20 pracovníků v garážích. Druhá část personálního monitoringu (zima a léto 2007) se uskutečnila ve spolupráci se strážníky hlavního města Prahy. Studie se zúčastnilo 60 strážníků. V obou částech této kampaně se expozice měřila 24 hodin pomocí difúzních pasivních dozimetrů Radiello. Analýza všech vzorků byla provedena termální desorpčí s následnou GC-FID koncovkou, její výsledky jsou uvedeny v Tab. 4. Nejvyšší koncentrace benzenu a dalších BTEX byly zjištěny u pracovníků garáží v létě 2006. U kontrol nebyly mezi létem a zimou výrazné rozdíly, u řidičů i strážníků byly koncentrace benzenu výrazně vyšší v zimě. V zimě byly také vyšší koncentrace benzenu u skupiny řidičů ve srovnání se skupinou kontrol. Obecně expozice všech sledovaných látek, zejména benzenu, byly u řidičů autobusů v zimě i v létě 2006 vyšší než u městských strážníků v zimě i v létě 2007. Po srovnání získaných výsledků (koncentrací benzenu) se stacionárním monitoringem ČHMÚ za období 2002-2006 ze stanic Praha 5-Smíchov je zřejmé, že koncentrace zjišťované personálním monitoringem jsou cca 3-5krát vyšší [19].

Tab. 4 Hodnoty (median) a rozmezí koncentrací ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) z personálního monitoringu BTEX v Praze

skupiny	benzen	toluen	ethylbenzen	m+p-xylen	o-xylen
řidiči (léto 2006)	5,5 (2,4-16)	15,5 (8,1-430)	2,7 (1-37)	8,0 (2,8-85)	2,6 (1-14)
řidiči (zima 2006)	7,9 (2,6-110)	22,5 (5,5-410)	3,8 (1,3-21)	11 (4,1-66)	3,4 (1,4-19)
kontroly (léto 2006)	4,9 (1,1-35)	26 (4-1 700)	3,1 (1-47)	9,3 (3,3-150)	3 (1-45)
kontroly (zima 2006)	5,1 (2,3-31)	24 (5,9-780)	4,1 (1,0-79)	12 (2,8-320)	3,4 (1,1-140)
pracovníci garáží (léto 2006)	18,5 (5-280)	335 (11-8 600)	19,5 (4,6-4 700)	55 (11-450)	17,5 (4,5-110)
pracovníci garáží (zima 2006)	6,8 (4,7-76)	63 (15-19 000)	5,8 (2,8-36)	15,5 (8-66)	6,2 (2,8-35)
strážníci (zima 2007)	5 (3,4-38)	8,8 (3,8-490)	2,2 (0,6-160)	7,5 (1,7-580)	2,7 (0,6-200)
strážníci (léto 2007)	3,4 (1,7-47)	7,7 (2,5-339)	2 (0,5-78)	6,6 (1,6-266)	2,3 (0,5-100)

3.2 Studie vývoje imisní koncentrace BTEX ve světě

V městské oblasti Rio de Janeiro v okrese Tijuca, který je charakteristický vysokým tokem osobních a lehkých užitkových vozidel, byla během jednoho roku (březen 2002 až únor 2003) provedena komplexní monitorovací kampaň k posouzení koncentrací těkavých organických látek ze skupiny BTEX v ovzduší. Pro jednotlivé látky byly naměřeny tyto průměrné koncentrace na základě analýzy 30 odebraných vzorků na sorpční trubičky s aktivním uhlím pomocí desorpce rozpouštědlem a plynové chromatografie s hmotnostní detekcí: benzen ($1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen ($4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylbenzen ($3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen ($10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a o-xylen ($3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Výsledky byly srovnávány s hodnotami získanými z téhož místa z roku 1996. Je z nich patrné, že koncentrace benzenu a toluenu vzhledem k roku 1996 poklesly, kdežto koncentrace ethylbenzenu a xylenů zůstaly téměř na stejné úrovni. Tato skutečnost je přičítána změnám ve složení pohonných hmot, kdy je např. od roku

2002 ze zákona v Brazílii kontrolován obsah benzenu v palivu (maximální hodnota smí být v rozmezí 1 až 1,5 % dle druhu benzínu) [39].

V centrální oblasti Rio de Janeira byla v letech 2004 a 2005 provedena podobná studie, a to dvouroční monitorovací program aromatických uhlovodíků (BTEX). Jejich hlavním zdrojem emisí v této oblasti je automobilová doprava poháněná především hydratovaným ethanolem, gasoholem (směsí benzínu a ethanolu), naftou a v menší míře také zemním plynem. Pro sledované látky byly zjištěny tyto průměrné koncentrace na základě analýzy 90 odebraných vzorků na sorpční trubičky s aktivním uhlím (SKC 226-09) pomocí desorpce rozpouštědlem a plynové chromatografie s FID detekcí: benzen ($14,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen ($22,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylbenzen ($9,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen ($19,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a o-xylen ($8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Získané koncentrace jsou velmi podobné průměrným koncentracím, které byly zjištěny ve městech Porto Alegre, Volta Redonda a Sao Paulo, používající stejné typy pohonných hmot [40].

V Kolkatě v Indii byla provedena studie zaměřená na zjištění expozice těkavých organických látek (skupiny BTEX) uvnitř a vně osobních automobilů s a bez katalyzátorů používajících různá paliva. Cílem bylo ověřit vliv snížení obsahu benzenu v pohonných hmotách vzhledem k produkovaným emisím a jejich příspěvek na okolní úroveň těchto těkavých organických látek. Studie byla realizována ve dvou fázích. Během první fáze experimentu (prosinec 2001 až leden 2002) byla přípustná hranice benzenu v benzínu 5 % a koncentrace benzenu uvnitř automobilu bez katalyzátoru činila $721,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Průměrná okolní silniční koncentrace dosáhla hodnoty $214,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Během druhé fáze experimentu (prosinec 2003 až leden 2004) byla přípustná hranice benzenu v benzínu $< 3 \%$ a koncentrace benzenu uvnitř automobilu s katalyzátorem činila $112,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Průměrná okolní silniční koncentrace dosáhla hodnoty $30,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vyhodnocení cílových látek bylo provedeno desorpcí rozpouštědlem a následnou plynově chromatografickou analýzou s FID detekcí. Ze získaných výsledků je jasně patrné snížení koncentrací sledovaných látek vzhledem k používanému druhu paliva či katalyzátoru [41].

Ve čtyřech městech Latinské Ameriky: Caracas (Venezuela), Quito (Ekvádor), Santiago (Chile), Sao Paulo (Brazílie) a ve dvou městech v Asii: Bangkok (Thajsko), Manila (Filipíny) byl proveden v letech 1995 a 1996 odběr vzorků VOCs pomocí sběrného vaku s přenosným odběrovým zařízením. Cílem studie bylo v těchto městech zjistit obvyklé koncentrace vybraných těkavých organických látek, které by sloužily jako podklad ke stanovení priorit pro zlepšení ovzduší v těchto lokalitách. Po provedení analýzy příslušných vzorků

pomocí tepelné desorpce a plynové chromatografie s FID detekcí bylo zjištěno, že průměrné koncentrace sledovaných látek jsou ve všech městech Latinské Ameriky povětšinou stejné (např. benzen se pohyboval v rozmezí 5 až 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), s výjimkou Quita v Ekvádoru, kde byly jeho hladiny mnohem nižší. Důvodem je nízká hodnota oktanového čísla paliv používaných v tomto městě vzhledem k jeho vysoké nadmořské výšce. Koncentrace VOCs v asijských městech byly obecně vyšší než koncentrace ve sledovaných latinskoamerických městech (průměrná koncentrace benzenu tam činila 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [42].

Ve městě Kaohsiung, nacházejícím se na jihu ostrova Tchaj-wan, byla v období od srpna do října 2005 provedena studie vývoje koncentrací těkavých organických látek přítomných v ovzduší. Pro účely této studie byla vybrána čtyři monitorovací místa reprezentující jednotlivé oblasti městské i průmyslové (Nan-tz, Tso-ying, San-min a Hsiao-kang). Cílem tohoto experimentu bylo pomocí kontinuálního imisního monitoringu (ve dvou po sobě jdoucích dnech) zhodnotit přítomné koncentrace hlavních VOCs v ovzduší a případně přijmout vhodná opatření k jejich snížení. Rozmezí průměrných koncentrací sledovaných látek po provedení GC analýzy s FID detekcí bylo následující: benzen (8,88 až 15,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen (22,23 až 36,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylbenzen (16,20 až 23,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen (14,68 až 18,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a o-xylen (19,45 až 30,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pořadí monitorovaných oblastí dle klesajících koncentrací VOCs: San-min > Nan-tz > Hsiao-kang > Tso-ying. Výsledky také ukázaly, že koncentrace sledovaných látek byly vyšší v noci nežli v průběhu dne a rovněž byly vyšší v průmyslových oblastech, nežli v oblastech městské aglomerace [43].

V regionu Mortsel (Antverpy, Belgie) byla provedena studie zkoumající vliv modernizace a rekonstrukce stávající vytěžované dopravní tepny na koncentraci vybraných těkavých organických sloučenin (BTEX). Původním záměrem bylo snížení počtu jízdnicích pruhů na této rušné komunikaci s cílem zlepšení kvality ovzduší v regionu. Pro vlastní porovnání byla provedena dvoufázová monitorovací kampaň před začátkem rekonstrukce (červen a září 2003) a po jejím skončení (září a říjen 2005). Vzorkování bylo realizováno na 12 odběrových místech podél této silnice pomocí sorpčních trubic s náplní aktivního uhlí a jejich analýza byla provedena desorpcí rozpouštědlem pomocí plynové chromatografie s hmotnostní detekcí. Průměrné koncentrace BTEX při první fázi kampaně v roce 2003 byly následující: benzen (1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen (7,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylbenzen (0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen (2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a o-xylen (0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Průměrné koncentrace BTEX při druhé fázi kampaně v roce 2005 byly však mírně vyšší: benzen (2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen (9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylben-

zen ($1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen ($3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a o-xylen ($1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Po vyloučení vlivu pozadových koncentrací na tento přírůstek se jako jediné možné vysvětlení nabízí, že v důsledku snížení počtu jízdnic pruhů v obou směrech došlo k navýšení dopravních zácp v tomto regionu, a tak i nepřímo k zhoršení kvality ovzduší [44].

V období od února 2007 do listopadu 2007 byla na dvou lokalitách (průmyslová zóna a centrum města) v Padově v Itálii provedena dlouhodobá monitorovací kampaň na sledování těkavých organických látek ze skupiny BTEX pomocí radiálních pasivních vzorkovačů Radiello s týdenními odběry a s rozlišením pro letní a zimní období. Cílem této kampaně bylo postihnout převládající koncentrace těchto kontaminantů a prokázat jejich závislost na meteorologických podmínkách. Po provedení analýzy všech vzorků pomocí tepelné desorpce a plynové chromatografie s hmotnostní detekcí byly zjištěny tyto závěry: minimální koncentrace BTEX pro obě lokality byly naměřeny od května do srpna (letní omezení dopravy a nejvyšší rychlost fotochemických reakcí), nejvyšší pak v říjnu a listopadu (smog, inverze, spalování fosilních paliv); vliv koncentrace BTEX vzhledem k meteorologickým podmínkám byl dokumentován výše uvedenými skutečnostmi, kdy silné sluneční záření je schopno podporovat fotochemické přeměny VOCs, stejně tak vítr a déšť mohou snížit jejich koncentrace v ovzduší [45].

V Neapoli byla v blízkosti dvou silně vytížených tunelových portálů (Via Caio Duillio a Via Fluorigrotta) provedena monitorovací kampaň těkavých organických látek zaměřená na skupinu BTEX s cílem ověřit kvalitu ovzduší u tohoto typu městských lokalit. Odběr vzorků probíhal pomocí aktivní adsorpce vždy jednu hodinu během vybraných monitorovaných měsíců (květen až říjen) a jejich analýzou, která byla provedena tepelnou desorpcí s následnou GC-FID koncovkou, byly získány následující průměrné hodnoty koncentrací jednotlivých BTEX: benzen ($14,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen ($180,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylbenzen ($58,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen ($208,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o-xylen ($71,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pro lokalitu Via Caio Duillio a benzen ($11,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen ($141,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ethylbenzen ($49,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), m+p-xylen ($173,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o-xylen ($62,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pro lokalitu Via Fluorigrotta. Pro benzen je dle Směrnice 2000/69/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 16. listopadu stanovena mezní hodnota $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za normálních podmínek, která, jak je zřejmé, je u obou odběrových míst překročena. Navíc od 1.1.2010 je tato mezní hodnota ještě snížena na $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, čímž je překročení ještě zatelejší. Úrovně koncentrací dalších BTEX jsou ve srovnání s podobnými studii z jiných měst rovněž velmi vysoké [46].

V Bari, na jihovýchodě Itálie v regionu Puglia, byla v roce 2008 provedena studie zaměřená na vyhodnocení dopadu automobilové dopravy na kvalitu ovzduší u hlavních příjezdových komunikací do města. Tato studie byla rozdělena na dvě monitorovací období, a to od 21. do 28. dubna 2008 (první období) a od 30. září do 7. října 2008 (druhé období). Odběry vzorků byly prováděny pomocí difúzních vzorkovačů Radiello, sestávajících z válcové adsorpční kazety uchycené koaxiálně uvnitř válcového difúzního těla z polykarbonátu a mikroporézního polyethylenu. Současně byly sledovány aktuální meteorologické podmínky (teplota, rychlost a směr větru, atmosférický tlak a přirozená radioaktivita). Všechny vzorky byly analyzovány tepelnou desorpcí s následnou GC/MS koncovkou. Průměrná koncentrace sumy BTEX pro první období byla $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $15,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro období druhé. Po porovnání získaných koncentrací s hodnotami z imisních stanic z jiných italských regionů bylo možné konstatovat, že vysoké budovy a místní stavby, včetně meteorologických podmínek mají významný podíl na atmosférickém rozptylu těchto znečišťujících látek v ovzduší [47].

Výše uvedené studie prokazují závislost koncentrace sledované skupiny těkavých organických látek (BTEX) na hustotě automobilového provozu, kvalitě používaných pohonných hmot, meteorologických podmínkách, stavech ovzduší a lokalizaci odběrových míst. Pro vyhodnocení získaných vzorků se nejčastěji používá metod termální desorpce nebo desorpce rozpouštědlem s následnou plynově chromatografickou analýzou s MS či FID detekcí, kdy se jako neoptimalnější postup vyhodnocení vzorků, s cílem dosáhnout vysoké citlivosti a výtěžnosti, jeví metodika termální desorpce s GC/MS koncovkou.

4 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této práce je monitorování vybrané skupiny těkavých organických látek BTEX (benzen, toluen, ethylbenzen, p-xylen, m-xylen a o-xylen) ve zvolených lokalitách na území města Zlína, které jsou zatěžovány potenciálními zdroji těchto škodlivin, dále porovnat získané výsledky a vyhodnotit závěry vztahující se k příslušným odběrovým místům.

Dále je to ověření vlivu aktuálních meteorologických podmínek (oblačnosti, teploty, vlhkosti, tlaku a rychlosti větru) na koncentrace příslušných stanovovaných látek.

Cílem je rovněž odzkoušení zvolené vzorkovací metodiky vycházející z ČSN EN 14662-2 (normovaná metoda pro stanovení benzenu) při použití sorpčních trubiček SKC typu 226-09 o průměru 8 mm a délky 110 mm s následnou desorpcí do 2 ml sirouhlíku a finální GC koncovkou s FID detekcí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE A CHEMIKÁLIE

5.1 Přístrojové vybavení a pomůcky

Plynový chromatograf

- Typ: Dani GC 1000 DPC
- Kolona: kapilární, Quadrex Carbowax/BTR na bázi PEG
- Detektor: FID 86/10
- Autosampler: HT 310A

Mikrostříkačka

- Typ: Hamilton 7002 N, PST 2, (ostrá jehla)
- Výrobce: Hamilton Bonaduz AG, Switzerland
- Objem: 2 μ l

Sorpční trubičky SKC 226-09

- Sorbent: Anasorb CSC, 200/400 mg
- Výrobce: SKC Inc., USA
- Rozměry: průměr x délka 8 mm x 110 mm

Mokrý plynoměr (EKOME)

- Typ: G 01
- Výrobce: Spektrum s.r.o., Skuteč
- Výrobní číslo: 3668
- Rok výroby: 2003

Mokrý plynoměr (FT UTB)

- Typ: G 01
- Výrobce: Východočeské Plynárny K.P., Závod 13 Skuteč
- Výrobní číslo: 1672
- Rok výroby: 1986

Membránové čerpadlo (EKOME)

- Typ: M401
- Výrobce: Kovovýroba F. Novotný, Kojetice na Moravě
- Výrobní číslo: 1563

Membránové čerpadlo (FT UTB)

- Typ: MP1
- Výrobce: CHEMOPROJEKT Ú.A., Praha - Satalice
- Výrobní číslo: 3491

Digitální termohygrobarometr (EKOME)

- Typ: COMMETER C4130
- Výrobce: COMET SYSTÉM, s.r.o., Rožnov pod Radhoštěm
- Sériové číslo: 03900074
- Rozsah měření: teplota -10 až +60 °C
relativní vlhkost 5 až 95 % RV
atmosférický tlak 800 až 1 100 hPa

Digitální termohygrometr (FT UTB)

- Typ: HygroPalm s měřicí sondou HygroClip HP28
- Výrobce: ROTRONIC AG, Switzerland
- Sériové číslo: 60150619
- Rozsah měření: teplota -40 až +85 °C
relativní vlhkost 0 až 100 % RV

Bezdrátová digitální meteostanice (FT UTB)

- Typ: TFA IQ-WS 35.1040
- Výrobce: TFA Dostmann GmbH & Co. KG, Germany
- Rozsah měření: atmosférický tlak 920 až 1 080 hPa

Vialky

- Objemy: 1,5 ml; 10 ml
- Materiál sept: PTFE

Dělené pipety

- Objemy: 1 ml; 2 ml; 5 ml; 10 ml

Ostatní běžné laboratorní pomůcky a vybavení**5.2 Chemikálie**

- sirouhlík čistoty p.a. $\geq 99,9$ % (GC), Riedel-de Häen CS_2
- benzen čistoty p.a. $\geq 99,5$ % (GC), Fluka C_6H_6
- toluen čistoty p.a. $\geq 99,8$ % (GC), Fluka C_7H_8
- ethylbenzen čistoty p.a. $\geq 99,0$ % (GC), Fluka C_8H_{10}
- p-xylen čistoty p.a. $\geq 99,0$ % (GC), Merck C_8H_{10}
- m-xylen čistoty p.a. $\geq 99,0$ % (GC), Merck C_8H_{10}
- o-xylen čistoty p.a. $\geq 99,0$ % (GC), Merck C_8H_{10}
- vodík čistoty 5.0 $>99,999$ %, Messer H_2
- dusík čistoty 5.0 $>99,999$ %, Messer N_2
- syntetický vzduch, Messer směs N_2/O_2
- destilovaná voda H_2O

6 LOKALIZACE ODBĚROVÝCH MÍST

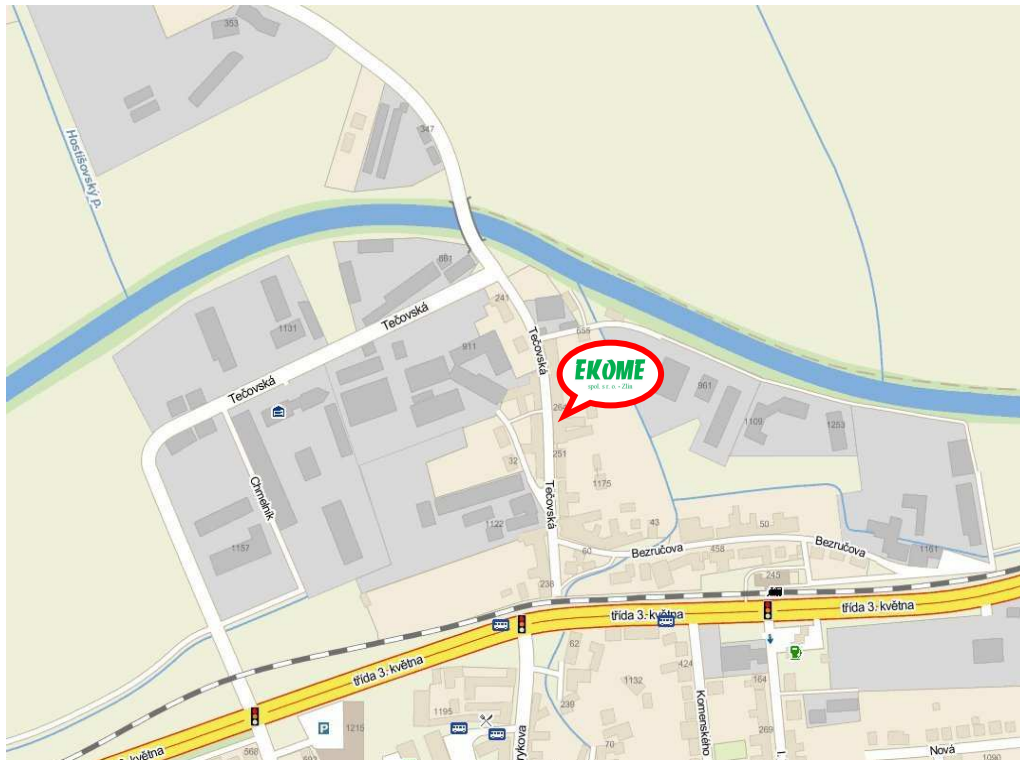
Vzorky pro imisní monitoring BTEX byly odebírány na dvou místech (ve Zlíně – Malenovicích a v centru Zlína). Tím prvním byla firma EKOME, spol. s r.o. (Obr. 1 až 6), kde se vzhledem k její lokalizaci, umístění odběrové aparatury a směřování sorpčních trubiček s aktivním uhlím předpokládaly relativně nízké koncentrace těchto sledovaných látek. Druhým místem byla Fakulta technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně (Obr. 7 až 10), kde byl na druhou stranu zase předpoklad zvýšených hodnot koncentrací BTEX v důsledku intenzivní automobilové dopravy v těsné blízkosti této odběrové lokality, jelikož právě emise z výfukových plynů automobilů představují až 85 % celkových emisí aromatických uhlovodíků do volného ovzduší.

6.1 Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.

Firma EKOME, spol. s r.o. se zabývá autorizovaným měřením emisí, měřením prašnosti a chemických látek v pracovním ovzduší, měřením expozice hluku v pracovním a mimo-pracovním prostředí, prováděním zkoušek v oblasti stavební akustiky, zpracováváním rozptylových studií, odborných posudků, hlukových studií, ověřováním emisí skleníkových plynů a posuzováním vlivů na životní prostředí.

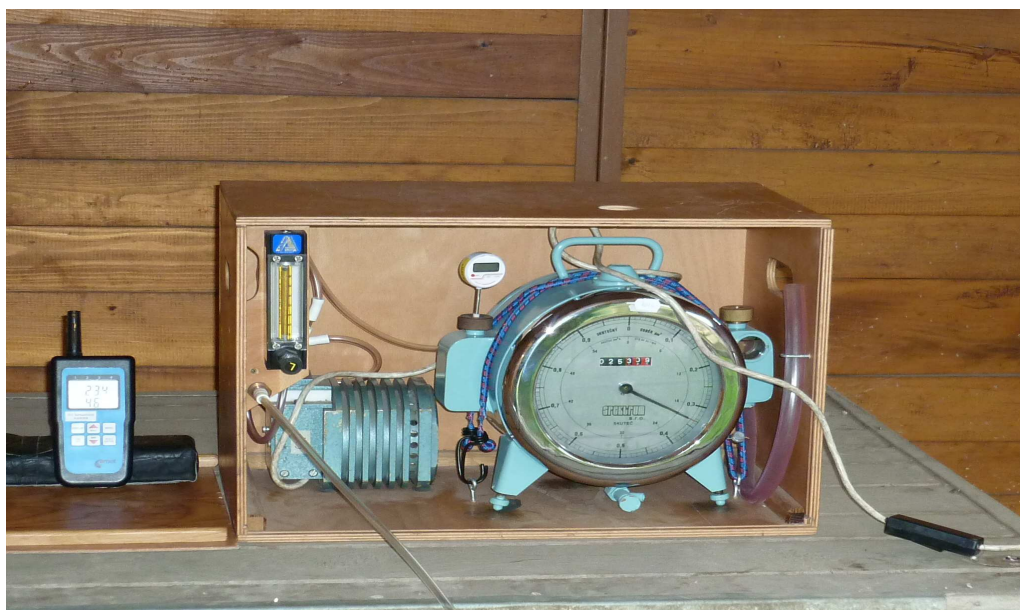
Adresa: EKOME, spol. s r.o.
Tečovská 257
763 02 Zlín – Malenovice

GPS souřadnice: +49°12'41.20"N
+17°35'49.18"E



Obr. 1 Mapa odběrového místa

Odběrové místo se nacházelo v dřevěném přístavku umístěném v zahradní části pozemku firmy. Od nejfrekventovanější pozemní komunikace v nejbližším okolí (silnice I. třídy číslo 49) bylo vzdáleno 194 m. Měřicí aparatura pro odběr vzorků byla umístěna a zapojena uvnitř dřevěného přístavku s mřížovým oplocením, skrze které byla ve výšce 2 m nad zemí vystrčena sorpční trubička s aktivním uhlím, směřující do volného prostoru zahrady.



Obr. 2 Detail odběrové aparatury



Obr. 3 Umístění odběrové aparatury a sorpční trubičky s aktivním uhlím



Obr. 4 Směřování sorpční trubičky s aktivním uhlím do prostoru zahrady



Obr. 5 Vyrobený tepelně izolační box s odběrovou aparaturou



Obr. 6 Uzavřený tepelně izolační box pro odběry v zimních měsících

6.2 Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně (FT UTB) je nejstarší zlínskou fakultou poskytující vysokoškolské vzdělání ve studijních oborech bakalářských, magisterských a doktorských a má právo provádět habilitace docentů a jmenovací řízení profesorů. Vzdělávací činnost této fakulty zahrnuje inženýrské oblasti chemické, chemicko-technologické, procesní, materiálové, potravinářské a řídicí.

Adresa: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

náměstí T. G. Masaryka 275

762 72 Zlín

GPS souřadnice: +49°13'29.35"N

+17°39'40.02"E



Obr. 7 Mapa odběrového místa

Odběrové místo se nacházelo v laboratoři UIOZP č. 106. Vzdálenost od nejbližších pozemních komunikací činila 80 m (silnice III. třídy číslo 49016) a 100 m (silnice I. třídy číslo 49). Měřící aparatura pro odběr vzorků byla umístěna a zapojena uvnitř laboratoře na okenním parapetu. Sorpční trubička s aktivním uhlím byla vystrčena skrze okenní rám ve výšce 1 m nad zemí do volného prostoru okolní zástavby – směrem do ulice Trávník (s přilehlým parkovištěm), tvořící příjezdovou komunikaci do průmyslového areálu Svit.



Obr. 8 Detail odběrové aparatury



Obr. 9 Vyústění sorpční trubičky a digitálního termohygrometru



Obr. 10 Směrování sorpční trubičky s aktivním uhlím do prostoru ulice Trávník

6.3 Lokalita pozad'ové předměstské stanice AIM pro Zlín

Pro porovnání imisní zatíženosti sledovaných lokalit sloužily i hodnoty koncentrací benzenu a toluenu naměřené pozad'ovou předměstskou stanicí AIM ve vlastnictví ČHMÚ (Obr. 11). Stanice se nachází na vyvýšeném svahu nad městem Zlín v blízkosti obytné a přírodní zástavby sídliště Jižní Svahy (+49°13'58.463"N; +17°40'1.831"E). Její reprezentativnost platí v rámci oblastního měřítka 4 až 50 km, proto srovnání podléhají obě lokality.



Obr. 11 Pozad'ová předměstská stanice AIM pro Zlín

7 PRACOVNÍ POSTUPY

Podstatou samotné metody je prosávání měřeného objemu vzorku vzduchu sorpční trubicí naplněnou aktivním uhlím. Za předpokladu vhodně zvolených podmínek odběru jsou stanovované látky (benzen, toluen, ethylbenzen, p-xylen, m-xylen a o-xylen) odlučovány z proudícího vzorku vzdušiny a zachycovány v této trubicí. Zachycené páry se desorbují za použití sirouhlíku pro GC a analyzují se v plynovém chromatografu s FID detekcí. Kalibrace analytického systému se provádí příslušnými kalibračními standardy.

Veškeré analýzy vzorků a kalibračních standardů byly prováděny v akreditované laboratoři firmy EKOME, spol. s r.o., Zlín – Malenovice.

7.1 Příprava kalibračních standardů

Směsné kalibrační standardy byly připraveny odměrným postupem kalibrovaným odměrným nádobím do tří připravených 10 ml vialek s PTFE septem pomocí chemikálií určených pro GC analýzu. Nejprve byl připraven kalibrační standard S3 (ředěný 1x) nepipetováním 9 ml sirouhlíku a přidáním vždy 1 μ l příslušné stanovované látky pomocí mikrostříkačky Hamilton 7002 N (ostrá jehla) do první vialky. Z tohoto zásobního roztoku byl připraven kalibrační standard S2 (ředěný 5x) nepipetováním 4 ml sirouhlíku a 1 ml kalibračního standardu S3 do druhé vialky a také kalibrační standard S1 (ředěný 10x) nepipetováním 4,5 ml sirouhlíku a 0,5 ml kalibračního standardu S3 do vialky třetí. Z takto připravených kalibračních standardů byly odpipetovány vždy 2 ml do další sady tří 10 ml vialek, do kterých byly desorbovány první sekce čistých sorpčních trubiček. Po půlhodinovém příležitostném protřepávání pro zajištění maximální desorpce byly objemy těchto tří vialek slity do vialek o objemu 1,5 ml, které byly následně umístěny do příslušných pozic autosampleru a podrobeny GC analýze.

7.2 Odběr vzorků

Pro počáteční optimalizaci systému odběrů vzorků a jejich vyhodnocení byla použita ČSN EN 14662-2. Odběry vzorků na jednotlivých lokalitách byly prováděny vždy jeden týden (od pondělí do pátku) v každém měsíci (duben 2010 až březen 2011), byly zahajovány a ukončovány ve stejný čas (8:00 AM) a doba jednoho odběru byla přesně 24 hodin. Záchyt BTEX ze vzduchu byl realizován na sorpční trubičky typu SKC 226-09 s náplní Anasorb

CSC. Vlastní odběr probíhal tak, že se vždy oba konce této trubičky odstranily takovým způsobem, aby vzniklé otvory přesáhly polovinu jejího vnitřního průměru. Trubička se poté připojila silikonovou spojkou na PE hadičku vedoucí z odběrové aparatury skládající se z mokrého plynoměru a membránového čerpadla a umístila se na příslušné odběrové místo chráněné proti srážkám. Na čerpadle se nastavil průtok 42 l/hod tak, aby odebrané množství vzdušiny za 24 hodin činilo 1 m³. Po ukončení odběru se trubička uzavřela plastovými uzávěry a uchovala se v lednici do doby provedení analýzy.

7.3 Příprava vzorků k analýze

Pro provedení vlastní analýzy byl vždy obsah první sekce sorpční trubičky z každého odběrového dne (včetně blanku) kvantitativně převeden do vialky o objemu 10 ml. Tyto vzorky byly extrahovány ve 2 ml sirouhlíku pro GC. Vialka byla ihned uzavřena a po dobu 30 minut příležitostně protřepávána tak, aby byla zajištěna maximální desorpce. Stejným způsobem byly extrahovány i druhé sekce sorpčních trubiček, a to vždy jedna ze stejného dne z každého odběrového místa. Takto získané extrakty byly převedeny do vialek o objemu 1,5 ml, a poté byly umístěny do příslušných pozic autosampleru a podrobeny GC analýze.

7.4 Analýza vzorků a kalibračních standardů

K analýze vzorků a kalibračních standardů byl použit plynový chromatograf Dani GC 1000 DPC s kapilární kolonou Quadrex Carbowax/BTR na bázi PEG délky 30 m, vnitřního průměru 0,53 mm a tloušťky filmu 0,5 μm. Jako nosný plyn byl použit vodík s průtokem kolonou 4 ml/min, dusík jako pomocný plyn (make-up – 25 ml/min) sloužil k čištění komponent detektoru. Teplota pece plynového chromatografu byla 80 °C. K detekci byl použit FID detektor zahřátý na teplotu 260 °C s přívodem vodíku a syntetického vzduchu. K přesnému a rychlému dávkování všech vzorků i standardů byl použit autosampler HT 310A, jež je nedílnou součástí GC. Injektor byl vyhříván na teplotu 220 °C a nastaven byl v režimu SPLIT (1:20). Objem nástřiku všech vzorků a standardů byl vždy přesně 1 μl. Vyhodnocení kalibračních křivek (Obr. 12 až 17) a kvantifikování získaných chromatogramů (Obr. 18 až 23) s retenčními časy stanovovaných látek (Tab. 5) bylo realizováno programem Clarity, jež je součástí softwaru k používanému plynovému chromatografu.

Celkem bylo z obou popisovaných lokalit ve Zlíně odebráno a analyzováno 96 vzorků venkovního ovzduší.

8 ANALÝZA VZORKŮ

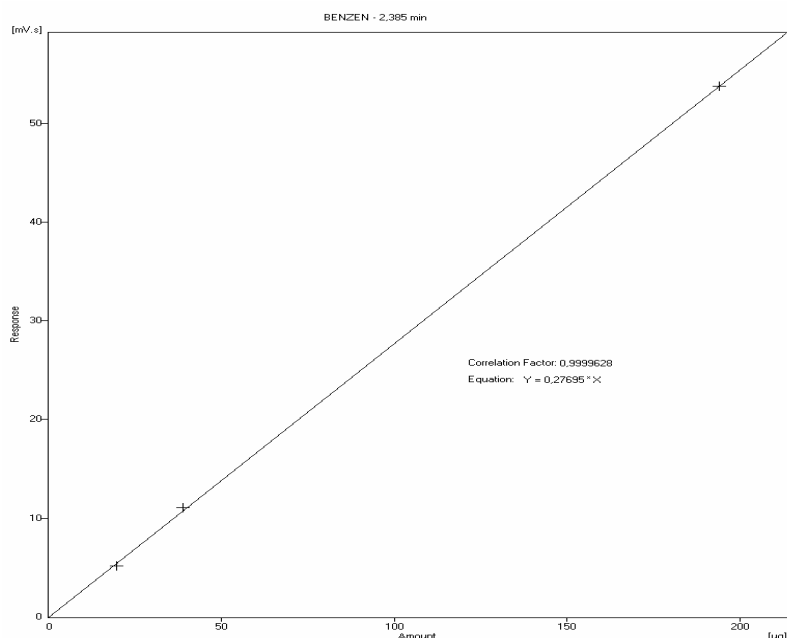
8.1 Kalibrační křivky stanovovaných látek

Z hlediska kvantitativní analýzy byly veškeré chromatografické signály vyhodnocovány zmiňovaným programem Clarity. Vlastní kalibrace se prováděla metodou vnějšího standardu s pomocí kalibračních křivek, sestávajících ze tří koncentračních úrovní (standards S3, S2 a S1). Po zadání vypočtených množství jednotlivých stanovovaných látek v těchto standardech byly programem Clarity vykresleny odpovídající kalibrační křivky pro jednotlivé látky ze skupiny BTEX ve tvaru:

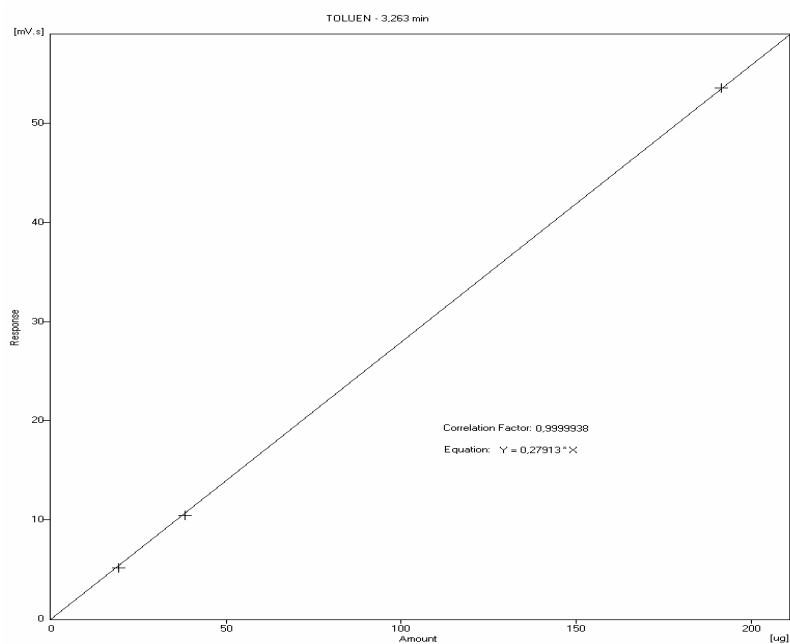
$$Y = \textit{konstanta} * X \quad (1)$$

Y odezva stanovované látky [mV/s]

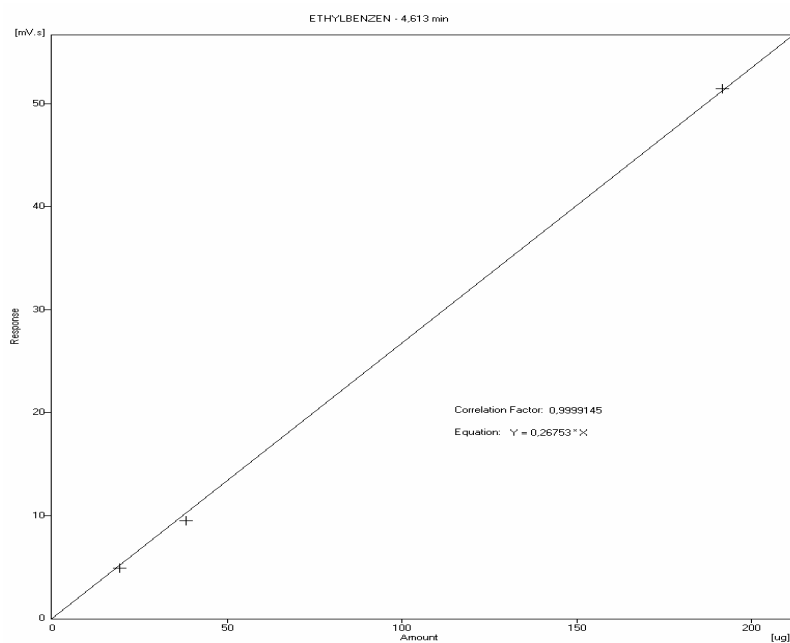
X množství stanovované látky v odebraném objemu vzduchu po extrakci do 2 ml sirouhlíku [μg]



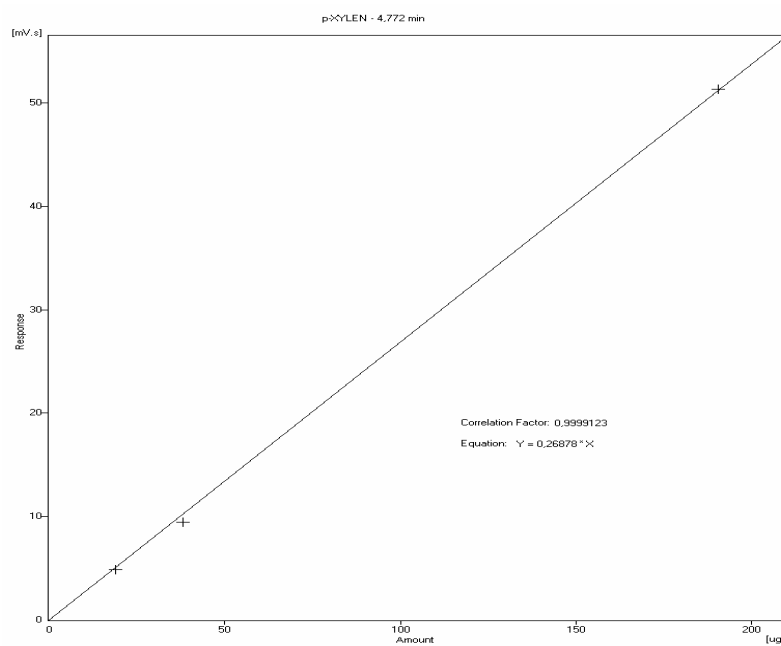
Obr. 12 Průběh kalibrační křivky benzenu



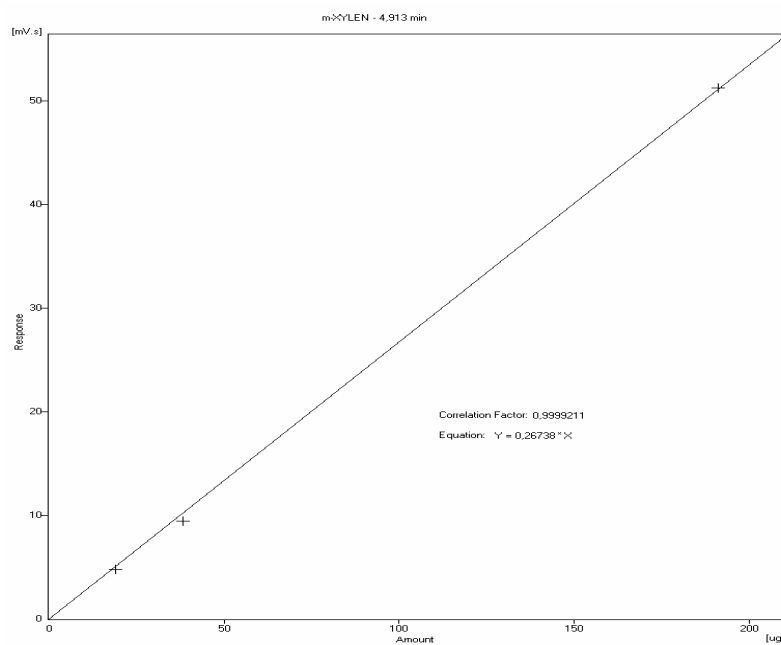
Obr. 13 Průběh kalibrační křivky toluenu



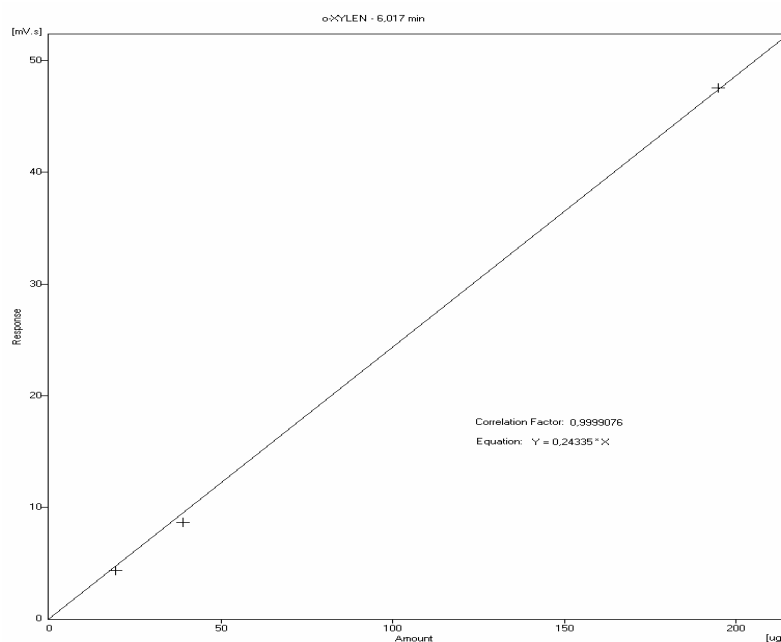
Obr. 14 Průběh kalibrační křivky ethylbenzenu



Obr. 15 Průběh kalibrační křivky p-xylenu



Obr. 16 Průběh kalibrační křivky m-xylenu

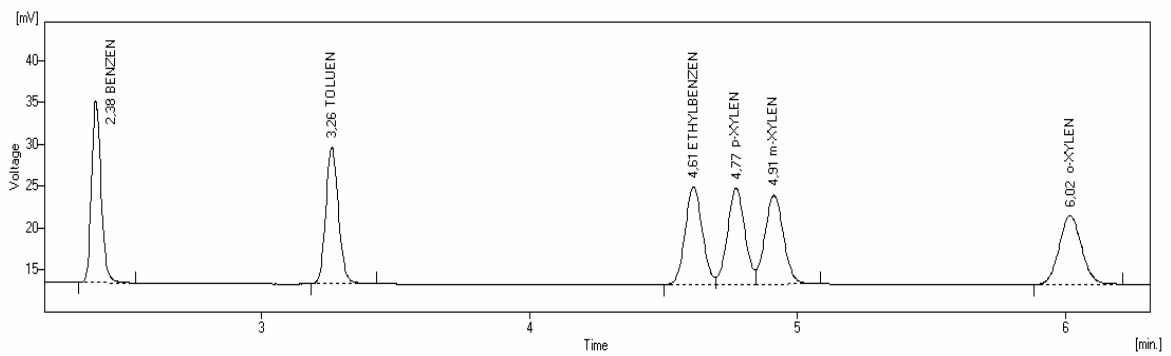


Obr. 17 Průběh kalibrační křivky o-xylenu

8.2 Retenční časy stanovovaných látek

Tab. 5 Přehled retenčních časů stanovovaných látek

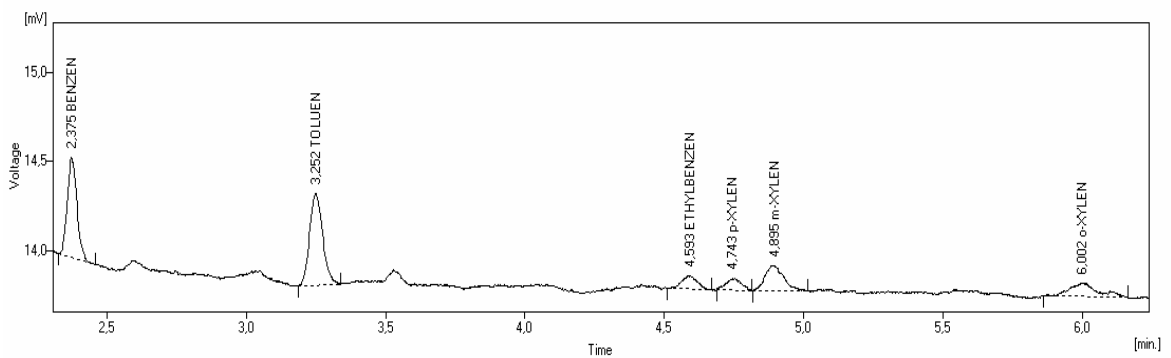
Stanovovaná látka	Retenční čas [min]
benzen	2,385
toluen	3,263
ethylbenzen	4,613
p-xylen	4,772
m-xylen	4,913
o-xylen	6,017



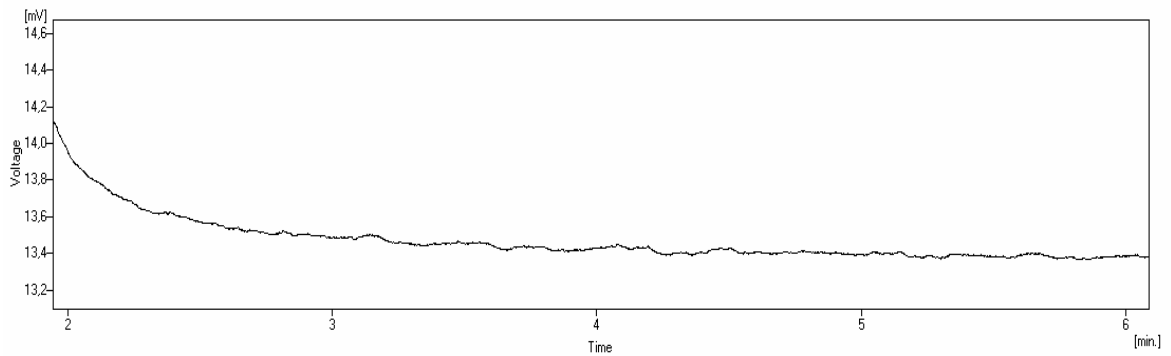
Obr. 18 GC záznam připraveného kalibračního standardu S3 s vyznačením stanovovaných látek a jejich retenčních časů

8.3 Chromatografické záznamy z jednotlivých odběrových lokalit

8.3.1 Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.

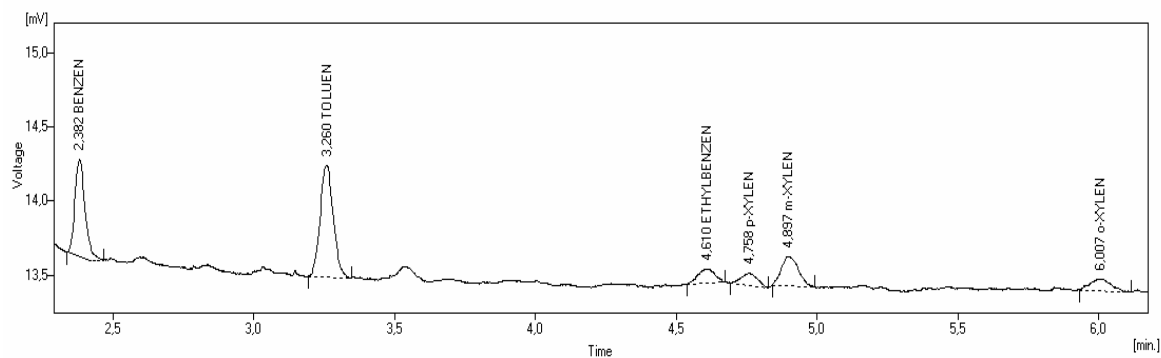


Obr. 19 GC záznam analýzy první sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010

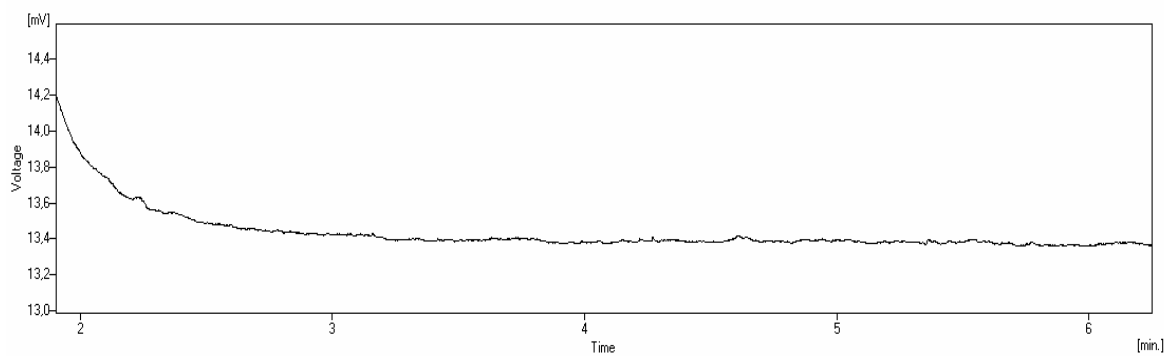


Obr. 20 GC záznam analýzy druhé sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010

8.3.2 Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně

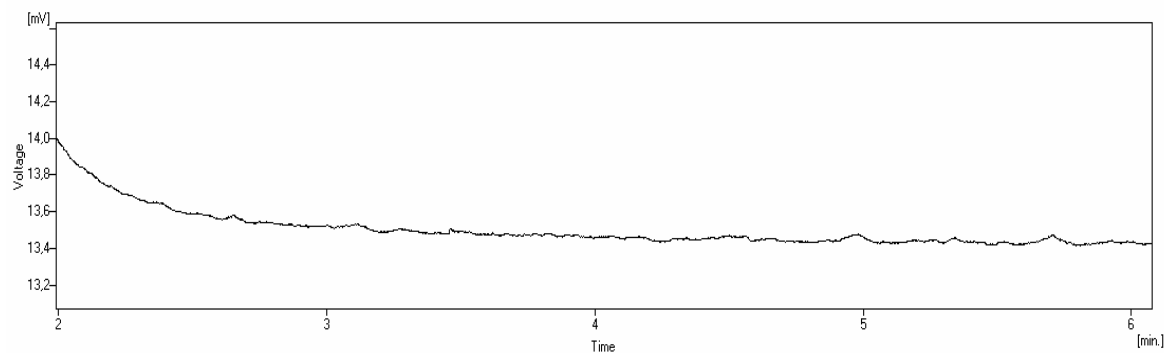


Obr. 21 GC záznam analýzy první sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010



Obr. 22 GC záznam analýzy druhé sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010

8.3.3 Blank



Obr. 23 GC záznam blanku z 6-10.12.2011

8.4 Použité vzorce pro výpočty

Vzorec pro přepočten množství odebraného vzduchu na normální podmínky:

$$V_N = V_Z \cdot \frac{T_N \cdot P_a}{P_N \cdot T_a} \quad (2)$$

V_N objem odebraného vzduchu za normálních podmínek [l]

V_Z odebraný objem vzduchu [l]

T_N teplota za normálních podmínek [273,15 K]

T_a teplota okolního vzduchu při odběru vzorku [K]

P_N atmosférický tlak za normálních podmínek [101325 Pa]

P_a atmosférický tlak při odběru vzorku [Pa]

Vzorec pro přepočten koncentrace stanovované látky na 1 m³ odebraného vzduchu za normálních podmínek:

$$c_{vz} = \frac{m_{BTEX,CS_2}}{V_N \cdot 10^{-3}} \quad (3)$$

c_{vz} koncentrace stanovované látky v 1 m³ odebraného vzduchu za normálních podmínek [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

m_{BTEX,CS_2} množství stanovované látky v odebraném objemu vzduchu po extrakci do 2 ml sirouhlíku, resp. (X) [μg]

V_N objem odebraného vzduchu za normálních podmínek [l]

Vzorec pro výpočet množství jednotlivých stanovovaných látek v kalibračním standardu S3 (ředěného 1x):

$$m_{BTEX,S3} = \frac{(\rho_A^{25^\circ C} \cdot V_A)}{V_{CS_2} \cdot 10^{-6}} \cdot V_{des.} \quad (4)$$

$m_{BTEX,S3}$ množství stanovované látky v kalibračním standardu S3 [μg]

$\rho_A^{25^\circ C}$ hustota příslušného dávkovaného analytu při 25 °C [g/cm^3]

V_A objem příslušného dávkovaného analytu [cm^3]

$V_{des.}$ desorpční objem CS_2 [2 ml]

V_{CS_2} objem pipetovaného CS_2 do první vialky [9 ml]

Vzorce pro výpočet množství jednotlivých stanovovaných látek v kalibračním standardu S2 (ředěného 5x), resp. S1 (ředěného 10x):

$$m_{BTEX,S2(S1)} = \frac{m_{BTEX,S3}}{f} \quad (5)$$

$m_{BTEX,S2(S1)}$ množství stanovované látky v kalibračním standardu S2, resp. S1 [μg]

f faktor zředění pro příslušný standard [5, resp. 10]

9 EXPERIMENTÁLNÍ DATA

9.1 Meteorologické podmínky

V důsledku potřeby přepočtu množství odebraného vzduchu na normální podmínky a zhodnocení vlivů aktuálního stavu počasí na koncentrace sledovaných látek byly každý odběrový den pomocí digitálního termohygrobarometru, resp. digitálního hygrobarometru dvakrát zaznamenávány aktuální meteorologické podmínky (oblačnost, teplota, relativní vlhkost, atmosférický tlak a rychlost větru), které byly pro potřeby výpočtů zprůměrnovány (Tab. 6 a Tab. 7).

Průměrné rychlosti větru byly převzaty ze stránek The Weather Underground podle naměřených dat povětrnostní stanice Zlín – Štípa, která je od lokality firmy EKOME, spol. s r.o. vzdálena cca 10 km a od lokality Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně cca 6 km. Reprezentativnost jejich údajů je tak pro obě odběrová místa téměř stejná.

9.1.1 Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.

Tab. 6 Přehled meteorologických podmínek

Měsíc	Datum	Oblačnost	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Tlak [hPa]	Průměrná rychlost větru [m/s]
duben 2010	19-20.4.	polojasno	20,8	41	990	0,2
	20-21.4.	polojasno	17,1	40	990	0,4
	21-22.4.	polojasno	14,1	38	993	0,6
	22-23.4.	polojasno	15,4	38	995	0,4
květen 2010	10-11.5.	polojasno	16,0	71	986	0,3
	11-12.5.	polojasno	17,3	69	986	0,2
	12-13.5.	zataženo	16,8	72	985	0,4
	13-14.5.	zataženo	15,1	77	984	0,5

červen 2010	14-15.6.	zataženo	16,1	85	991	0,5
	15-16.6.	zataženo, déšť	17,2	72	995	1,0
	16-17.6.	zataženo, déšť	18,9	66	995	1,0
	17-18.6.	zataženo	20,4	62	992	0,4
červenec 2010	12-13.7.	jasno, slunečno	24,5	72	991	0,2
	13-14.7.	jasno, slunečno	24,2	73	989	0,0
	14-15.7.	jasno, slunečno	24,1	69	990	0,0
	15-16.7.	jasno, slunečno	25,9	62	993	0,0
srpen 2010	2-3.8.	polojasno	18,5	86	991	0,2
	3-4.8.	oblačno	20,0	77	991	0,3
	4-5.8.	polojasno	17,3	72	996	0,3
	5-6.8.	jasno	18,2	74	993	0,1
září 2010	6-7.9.	jasno	10,8	74	998	0,6
	7-8.9.	oblačno	15,1	70	993	0,3
	8-9.9.	zataženo, déšť	17,0	83	991	0,3
	9-10.9.	zataženo	16,9	82	995	0,1
říjen 2010	11-12.10.	jasno	3,2	75	995	0,1
	12-13.10.	zataženo, mlha	3,3	78	995	0,2
	13-14.10.	zataženo, mlha	2,6	92	992	0,3
	14-15.10.	zataženo, mlha	6,0	92	990	0,2
listopad 2010	8-9.11.	zataženo, déšť	12,4	75	968	1,0
	9-10.11.	oblačno	12,0	74	968	0,7
	10-11.11.	zataženo	10,2	80	978	0,6
	11-12.11.	zataženo, déšť	9,5	81	981	1,5
prosinec	6-7.12.	zataženo, déšť	1,3	79	981	0,2

2010	7-8.12.	zataženo, mlha	2,0	89	982	0,2
	8-9.12.	zataženo	2,0	79	985	1,3
	9-10.12.	oblačno	-0,2	65	991	2,2
leden 2011	24-25.11.	sníh	-2,9	69	995	0,3
	25-26.11.	sníh	-1,4	76	988	0,3
	26-27.11.	sníh	-2,1	75	988	0,3
	27-28.11.	oblačno	-6,5	72	998	0,2
únor 2011	14-15.2.	zataženo	0,1	62	992	0,4
	15-16.2.	zataženo	0,6	62	988	0,4
	16-17.2.	zataženo	2,6	62	985	0,3
	17-18.2.	zataženo, déšť	3,2	75	987	0,4
březen 2011	7-8.3.	polojasno	-2,6	56	1012	1,3
	8-9.3.	jasno	-1,9	53	1007	0,8
	9-10.3.	zataženo	0,8	57	999	0,7
	10-11.3.	zataženo, sníh	3,6	65	996	0,6

9.1.2 Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně

Tab. 7 Přehled meteorologických podmínek

Měsíc	Datum	Oblačnost	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Tlak [hPa]	Průměrná rychlost větru [m/s]
duben 2010	19-20.4.	polojasno	24,4	37	988	0,2
	20-21.4.	polojasno	24,7	36	988	0,4
	21-22.4.	polojasno	25,4	35	990	0,6

	22-23.4.	jasno	25,4	34	993	0,4
květen 2010	10-11.5.	jasno	16,0	48	981	0,3
	11-12.5.	polojasno	16,9	51	984	0,2
	12-13.5.	zataženo	17,4	52	983	0,4
	13-14.5.	zataženo	14,7	54	982	0,5
červen 2010	14-15.6.	polojasno	17,4	63	994	0,5
	15-16.6.	polojasno	17,5	50	994	1,0
	16-17.6.	zataženo	18,2	58	994	1,0
	17-18.6.	zataženo	19,7	55	991	0,4
červenec 2010	12-13.7.	jasno,slunečno	24,9	65	990	0,2
	13-14.7.	jasno,slunečno	24,9	64	988	0,0
	14-15.7.	jasno,slunečno	24,8	65	989	0,0
	15-16.7.	jasno,slunečno	26,0	62	992	0,0
srpen 2010	2-3.8.	jasno	20,2	70	990	0,2
	3-4.8.	polojasno	19,3	80	988	0,3
	4-5.8.	polojasno	17,0	77	987	0,3
	5-6.8.	jasno	18,0	82	989	0,1
září 2010	6-7.9.	jasno	10,9	48	996	0,6
	7-8.9.	oblačno	12,0	52	991	0,3
	8-9.9.	zataženo, déšť	14,4	57	989	0,3
	9-10.9.	oblačno	13,5	58	993	0,1
říjen 2010	11-12.10.	jasno	5,3	73	994	0,1
	12-13.10.	oblačno	4,8	78	994	0,2
	13-14.10.	zataženo	4,3	81	992	0,3
	14-15.10.	zataženo	5,0	82	989	0,2

listopad 2010	8-9.11.	zataženo, déšť	15,5	65	965	1,0
	9-10.11.	oblačno	15,8	58	965	0,7
	10-11.11.	zataženo	12,3	66	977	0,6
	11-12.11.	zataženo, déšť	11,5	51	980	1,5
prosinec 2010	6-7.12.	zataženo, déšť	3,6	72	973	0,2
	7-8.12.	zataženo, mlha	4,0	84	981	0,2
	8-9.12.	zataženo	3,3	78	992	1,3
	9-10.12.	oblačno	1,2	49	997	2,2
leden 2011	24-25.11.	sníh	1,0	63	1002	0,3
	25-26.11.	sníh	1,0	70	995	0,3
	26-27.11.	sníh	-0,8	73	995	0,3
	27-28.11.	polojasno	-3,8	68	1005	0,2
únor 2011	14-15.2.	zataženo	2,4	41	998	0,4
	15-16.2.	zataženo	2,4	29	994	0,4
	16-17.2.	zataženo	3,2	30	991	0,3
	17-18.2.	zataženo, déšť	3,3	32	993	0,4
březen 2011	7-8.3.	polojasno	-0,9	45	1010	1,3
	8-9.3.	jasno	-0,5	44	1005	0,8
	9-10.3.	zataženo	0,8	59	997	0,7
	10-11.3.	zataženo, sníh	3,4	73	993	0,6

9.2 Naměřené koncentrace BTEX

Za základě vzájemného porovnávání odezvy připravených kalibračních standardů a analyzovaných vzorků byla, po propojení vytvořených kalibračních a datových chromatografických souborů, programem Clarity vypočítána příslušná množství stanovovaných látek

v odebraném objemu vzduchu po extrakci do 2 ml sirouhlíku (odečtem ze získaných kalibračních křivek). Pomocí objemu prosáté vzdušiny korigovaného na aktuální meteorologické podmínky byly poté vypočteny koncentrace stanovovaných látek v 1 m³ odebraného vzduchu za normálních podmínek (Tab. 8 a Tab. 9).

Z takto získaných hodnot byl pro každou jednotlivou látku ze skupiny BTEX, z hlediska jejich vzájemného srovnávání, vypočten aritmetický průměr (včetně směrodatné odchylky).

9.2.1 Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.

Tab. 8 Vypočítané koncentrace stanovovaných látek v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtené na normální podmínky

Měsíc	Datum	Odebraný objem V _N [l]	c _{vz} [μg/m ³]					
			benzen	toluen	ethylbenzen	p-xylen	m-xylen	o-xylen
duben 2010	19-20.4.	1020,9	1,279	2,885	0,564	0,769	1,260	0,467
	20-21.4.	998,8	0,827	1,625	0,471	0,266	1,230	0,559
	21-22.4.	981,5	1,170	3,556	0,815	0,470	0,629	0,139
	22-23.4.	982,6	1,223	2,327	0,937	0,869	1,006	0,331
BTEX _{duben 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,125 ± 0,203			p-xylen = 0,594 ± 0,276		
			toluen = 2,598 ± 0,821			m-xylen = 1,031 ± 0,291		
			ethylbenzen = 0,697 ± 0,216			o-xylen = 0,374 ± 0,183		
květen 2010	10-11.5.	1285,0	0,619	1,520	0,348	0,360	0,633	0,664
	11-12.5.	1340,8	0,361	0,780	0,330	0,069	0,269	0,380
	12-13.5.	1382,8	0,521	1,400	0,149	0,189	0,275	0,996
	13-14.5.	1337,6	1,089	1,305	1,003	0,015	0,372	0,413
BTEX _{květen 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 0,648 ± 0,313			p-xylen = 0,158 ± 0,153		
			toluen = 1,251 ± 0,326			m-xylen = 0,387 ± 0,170		
			ethylbenzen = 0,457 ± 0,375			o-xylen = 0,613 ± 0,285		

červen 2010	14-15.6.	973,5	1,048	1,142	0,370	0,042	0,139	0,194
	15-16.6.	936,6	0,962	0,861	0,196	0,439	0,251	0,063
	16-17.6.	998,4	0,789	1,273	0,540	0,125	0,494	0,394
	17-18.6.	1012,7	0,826	1,842	0,537	0,197	0,884	0,685
BTEX _{červen 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 0,906 ± 0,120			p-xylen = 0,201 ± 0,171		
			toluen = 1,279 ± 0,413			m-xylen = 0,442 ± 0,330		
			ethylbenzen = 0,411 ± 0,164			o-xylen = 0,334 ± 0,271		
červenec 2010	12-13.7.	957,6	0,278	2,683	1,990	1,533	4,204	0,227
	13-14.7.	917,5	0,722	3,449	1,171	1,040	1,937	0,346
	14-15.7.	953,5	0,655	2,563	0,426	0,390	1,330	0,432
	15-16.7.	892,6	0,697	2,581	0,441	0,304	0,667	0,747
BTEX _{červenec 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 0,588 ± 0,209			p-xylen = 0,817 ± 0,580		
			toluen = 2,819 ± 0,423			m-xylen = 2,034 ± 1,537		
			ethylbenzen = 1,007 ± 0,742			o-xylen = 0,438 ± 0,222		
srpen 2010	2-3.8.	933,4	0,418	2,403	0,804	0,441	0,752	0,268
	3-4.8.	980,9	0,461	1,984	0,736	0,186	0,365	0,595
	4-5.8.	1072,2	1,078	4,213	0,493	0,310	0,921	0,397
	5-6.8.	1047,4	0,580	1,701	0,574	0,322	0,412	0,221
BTEX _{srpen 2010} = aritmetický prů- měr ± směrodatná odchylka			benzen = 0,634 ± 0,304			p-xylen = 0,315 ± 0,104		
			toluen = 2,575 ± 1,129			m-xylen = 0,613 ± 0,268		
			ethylbenzen = 0,652 ± 0,143			o-xylen = 0,370 ± 0,167		
září 2010	6-7.9.	1118,5	0,937	2,144	0,887	0,450	0,882	0,494
	7-8.9.	1036,7	0,784	1,824	0,820	0,278	1,369	0,655
	8-9.9.	999,3	0,978	2,915	0,515	0,475	1,710	0,587
	9-10.9.	1017,4	0,880	3,143	0,663	0,344	1,126	1,329

BTEX _{září 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 0,895 ± 0,084			p-xylen = 0,387 ± 0,092		
			toluen = 2,507 ± 0,624			m-xylen = 1,272 ± 0,353		
			ethylbenzen = 0,721 ± 0,166			o-xylen = 0,766 ± 0,381		
říjen 2010	11-12.10.	1094,6	3,931	5,259	1,169	0,728	1,253	0,737
	12-13.10.	1097,5	4,605	7,424	1,099	0,583	1,554	0,413
	13-14.10.	1077,0	4,217	6,158	1,071	0,625	0,836	0,424
	14-15.10.	1040,3	4,875	6,750	1,589	0,736	1,800	2,322
BTEX _{říjen 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 4,407 ± 0,417			p-xylen = 0,668 ± 0,076		
			toluen = 6,398 ± 0,919			m-xylen = 1,361 ± 0,415		
			ethylbenzen = 1,232 ± 0,242			o-xylen = 0,974 ± 0,911		
listopad 2010	8-9.11.	934,4	1,045	3,085	0,355	0,515	0,629	0,367
	9-10.11.	897,7	2,983	15,901	1,378	1,615	2,643	1,104
	10-11.11.	979,8	1,721	5,511	0,955	0,487	1,545	0,704
	11-12.11.	874,2	1,075	4,725	0,062	0,230	0,340	0,809
BTEX _{listopad 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,706 ± 0,907			p-xylen = 0,712 ± 0,616		
			toluen = 7,306 ± 5,819			m-xylen = 1,289 ± 1,038		
			ethylbenzen = 0,688 ± 0,592			o-xylen = 0,746 ± 0,304		
prosinec 2010	6-7.12.	1153,1	4,297	5,206	0,940	0,782	2,136	1,970
	7-8.12.	1121,9	8,583	7,041	1,510	0,827	2,112	1,411
	8-9.12.	1081,6	8,384	18,793	3,123	2,437	5,985	3,264
	9-10.12.	1111,5	0,840	6,935	1,163	0,371	1,422	0,517
BTEX _{prosinec 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 5,526 ± 3,696			p-xylen = 1,104 ± 0,912		
			toluen = 9,494 ± 6,256			m-xylen = 2,914 ± 2,074		
			ethylbenzen = 1,684 ± 0,988			o-xylen = 1,791 ± 2,074		
leden	24-25.11.	1073,0	1,974	2,656	0,588	0,485	1,477	0,509

2011	25-26.11.	972,1	1,881	1,458	0,351	0,418	0,535	0,355
	26-27.11.	930,9	2,919	3,196	0,545	0,202	0,979	0,598
	27-28.11.	1058,6	3,599	4,790	0,648	0,607	1,446	0,961
BTEX _{leden 2011} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 2,593 ± 0,818			p-xylen = 0,428 ± 0,170		
			toluen = 3,025 ± 1,383			m-xylen = 1,109 ± 0,445		
			ethylbenzen = 0,533 ± 0,128			o-xylen = 0,606 ± 0,257		
únor 2011	14-15.2.	1110,4	5,438	14,954	1,441	1,240	2,340	2,169
	15-16.2.	1078,1	2,490	2,287	0,827	0,518	0,379	1,498
	16-17.2.	1074,4	1,962	1,726	0,146	0,630	0,642	0,778
	17-18.2.	1042,4	3,288	12,592	1,477	0,933	2,845	1,605
BTEX _{únor 2011} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 3,294 ± 1,529			p-xylen = 0,831 ± 0,325		
			toluen = 7,890 ± 6,865			m-xylen = 1,552 ± 1,224		
			ethylbenzen = 0,973 ± 0,627			o-xylen = 1,512 ± 0,571		
březen 2011	7-8.3.	1163,9	2,536	3,490	0,478	0,383	1,105	1,015
	8-9.3.	1161,3	3,356	7,751	1,227	1,253	2,056	1,339
	9-10.3.	1132,9	1,687	3,056	0,591	0,603	1,185	1,038
	10-11.3.	1125,5	1,743	1,981	0,546	0,226	0,451	0,446
BTEX _{březen 2011} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 2,330 ± 0,786			p-xylen = 0,616 ± 0,452		
			toluen = 4,069 ± 2,535			m-xylen = 1,199 ± 0,659		
			ethylbenzen = 0,710 ± 0,347			o-xylen = 0,959 ± 0,373		

9.2.2 Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně

Tab. 9 Vypočítané koncentrace stanovovaných látek v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtené na normální podmínky

Měsíc	Datum	Odebraný objem V _N [l]	c _{vz} [μg/m ³]					
			benzen	toluen	ethylbenzen	p-xylen	m-xylen	o-xylen
duben 2010	19-20.4.	1471,9	3,349	9,719	1,559	1,963	4,402	0,747
	20-21.4.	1460,2	1,561	3,876	0,403	0,334	0,724	0,430
	21-22.4.	1426,2	1,180	1,917	0,301	0,109	0,202	0,228
	22-23.4.	1446,5	1,299	2,991	0,546	0,555	0,810	0,417
BTEX _{duben 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,847 ± 1,014			p-xylen = 0,740 ± 0,835		
			toluen = 4,626 ± 3,489			m-xylen = 1,534 ± 1,930		
			ethylbenzen = 0,702 ± 0,580			o-xylen = 0,456 ± 0,215		
květen 2010	10-11.5.	959,3	1,636	3,705	0,922	0,525	1,080	1,002
	11-12.5.	972,8	0,853	2,116	1,044	0,442	0,803	0,711
	12-13.5.	975,1	1,082	2,888	1,174	0,283	1,337	0,632
	13-14.5.	983,7	1,788	1,623	0,692	0,313	0,288	0,155
BTEX _{květen 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,340 ± 0,444			p-xylen = 0,391 ± 0,113		
			toluen = 2,583 ± 0,911			m-xylen = 0,877 ± 0,449		
			ethylbenzen = 0,958 ± 0,205			o-xylen = 0,625 ± 0,351		
červen 2010	14-15.6.	1009,9	1,547	3,900	0,557	0,705	1,257	1,491
	15-16.6.	1070,9	1,557	2,113	0,679	0,608	0,482	0,884
	16-17.6.	161,0	0,764	1,967	0,883	0,356	0,971	0,766

	17-18.6.	306,8	1,198	2,388	0,805	0,769	0,918	0,660
BTEX _{červenec 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,266 ± 0,374			p-xylen = 0,609 ± 0,181		
			toluen = 2,592 ± 0,889			m-xylen = 0,907 ± 0,320		
			ethylbenzen = 0,731 ± 0,143			o-xylen = 0,950 ± 0,372		
červenec 2010	12-13.7.	1059,0	2,922	4,484	0,636	0,808	1,257	0,720
	13-14.7.	1038,8	1,634	10,729	0,792	0,617	1,248	0,344
	14-15.7.	1080,9	2,044	3,563	1,052	0,813	1,077	0,748
	15-16.7.	999,6	2,676	4,348	0,695	1,089	0,895	0,533
BTEX _{červenec 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 2,319 ± 0,588			p-xylen = 0,832 ± 0,194		
			toluen = 5,781 ± 3,324			m-xylen = 1,119 ± 0,171		
			ethylbenzen = 0,794 ± 0,184			o-xylen = 0,586 ± 0,188		
srpen 2010	2-3.8.	1064,2	0,775	2,410	0,800	0,452	0,939	0,365
	3-4.8.	971,7	0,830	2,717	0,871	0,398	0,894	0,242
	4-5.8.	1116,9	0,877	3,066	0,641	0,645	0,971	0,928
	5-6.8.	1067,8	0,998	2,532	0,598	0,485	1,384	0,529
BTEX _{srpen 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 0,870 ± 0,095			p-xylen = 0,495 ± 0,106		
			toluen = 2,681 ± 0,286			m-xylen = 1,047 ± 0,227		
			ethylbenzen = 0,727 ± 0,129			o-xylen = 0,516 ± 0,299		
září 2010	6-7.9.	1178,6	1,534	2,400	1,119	0,626	1,567	0,891
	7-8.9.	1184,0	1,401	2,836	0,786	0,612	1,604	1,144
	8-9.9.	1188,7	0,992	2,536	0,977	0,650	1,423	0,957
	9-10.9.	1198,9	1,686	4,698	1,234	0,689	1,657	0,879
BTEX _{září 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,403 ± 0,298			p-xylen = 0,644 ± 0,034		
			toluen = 3,118 ± 1,069			m-xylen = 1,563 ± 0,100		
			ethylbenzen = 1,029 ± 0,193			o-xylen = 0,968 ± 0,122		

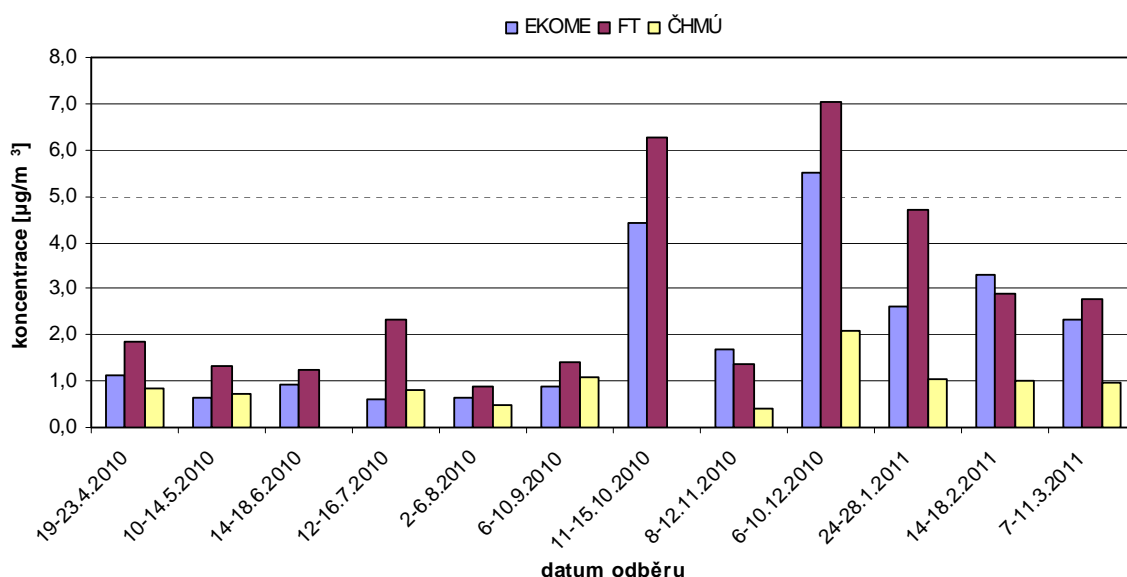
říjen 2010	11-12.10.	1124,5	4,694	6,310	1,570	0,908	2,261	1,279
	12-13.10.	1109,9	7,268	8,301	1,590	1,702	3,626	1,407
	13-14.10.	1053,8	5,277	5,632	1,778	1,905	2,572	1,504
	14-15.10.	1046,7	7,914	8,111	2,105	1,277	3,614	2,323
BTEX _{říjen 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 6,288 ± 1,546			p-xylen = 1,248 ± 0,445		
			toluen = 7,089 ± 1,322			m-xylen = 3,018 ± 0,706		
			ethylbenzen = 1,761 ± 0,248			o-xylen = 1,628 ± 0,472		
listopad 2010	8-9.11.	1091,9	1,238	3,838	0,734	0,440	1,033	0,812
	9-10.11.	1169,3	1,243	1,556	0,422	0,221	0,889	1,025
	10-11.11.	1173,4	1,603	3,799	0,893	1,135	1,599	0,984
	11-12.11.	1159,0	1,408	4,200	0,755	0,567	1,568	0,569
BTEX _{listopad 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 1,373 ± 0,172			p-xylen = 0,591 ± 0,390		
			toluen = 3,348 ± 1,208			m-xylen = 1,272 ± 0,364		
			ethylbenzen = 0,701 ± 0,199			o-xylen = 0,848 ± 0,207		
prosinec 2010	6-7.12.	1072,3	6,330	8,251	1,372	1,123	2,944	1,638
	7-8.12.	1047,8	9,245	13,433	3,148	2,549	6,293	2,649
	8-9.12.	1064,1	10,998	28,836	4,683	4,583	10,888	4,209
	9-10.12.	1110,4	1,291	2,687	0,497	0,459	0,855	0,509
BTEX _{prosinec 2010} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 7,023 ± 4,245			p-xylen = 2,196 ± 1,825		
			toluen = 13,410 ± 11,247			m-xylen = 5,288 ± 4,378		
			ethylbenzen = 2,445 ± 1,866			o-xylen = 2,270 ± 1,571		
leden 2011	24-25.11.	1055,2	3,524	5,381	1,032	0,977	1,547	0,625
	25-26.11.	1126,5	3,631	12,475	1,443	1,291	2,204	2,104
	26-27.11.	1130,4	5,917	17,258	2,322	1,726	4,149	2,196
	27-28.11.	1203,0	5,781	5,824	1,162	1,042	2,645	1,586

BTEX _{leden 2011} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 4,713 ± 1,313			p-xylen = 1,259 ± 0,339		
			toluen = 10,235 ± 5,697			m-xylen = 2,636 ± 1,105		
			ethylbenzen = 1,490 ± 0,581			o-xylen = 1,628 ± 0,720		
únor 2011	14-15.2.	1171,1	4,392	4,138	1,488	0,912	1,621	1,651
	15-16.2.	1210,7	2,807	8,372	0,773	1,061	1,231	1,033
	16-17.2.	1190,2	2,199	2,587	0,643	0,532	0,833	0,546
	17-18.2.	1259,1	2,244	2,720	0,479	0,479	0,870	0,359
BTEX _{únor 2011} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 2,910 ± 1,026			p-xylen = 0,746 ± 0,285		
			toluen = 4,454 ± 2,705			m-xylen = 1,139 ± 0,368		
			ethylbenzen = 0,846 ± 0,445			o-xylen = 0,897 ± 0,577		
březen 2011	7-8.3.	1024,2	2,526	3,086	1,021	0,869	1,487	0,570
	8-9.3.	1114,1	3,332	4,561	1,322	0,994	2,615	2,450
	9-10.3.	1072,2	2,604	4,200	1,133	0,846	2,417	1,131
	10-11.3.	1044,9	2,705	3,946	0,937	1,134	1,438	1,025
BTEX _{březen 2011} = aritmetický průměr ± směrodatná odchylka			benzen = 2,792 ± 0,368			p-xylen = 0,961 ± 0,133		
			toluen = 3,948 ± 0,628			m-xylen = 1,989 ± 0,614		
			ethylbenzen = 1,103 ± 0,166			o-xylen = 1,294 ± 0,808		

10 VÝSLEDKY A DISKUZE

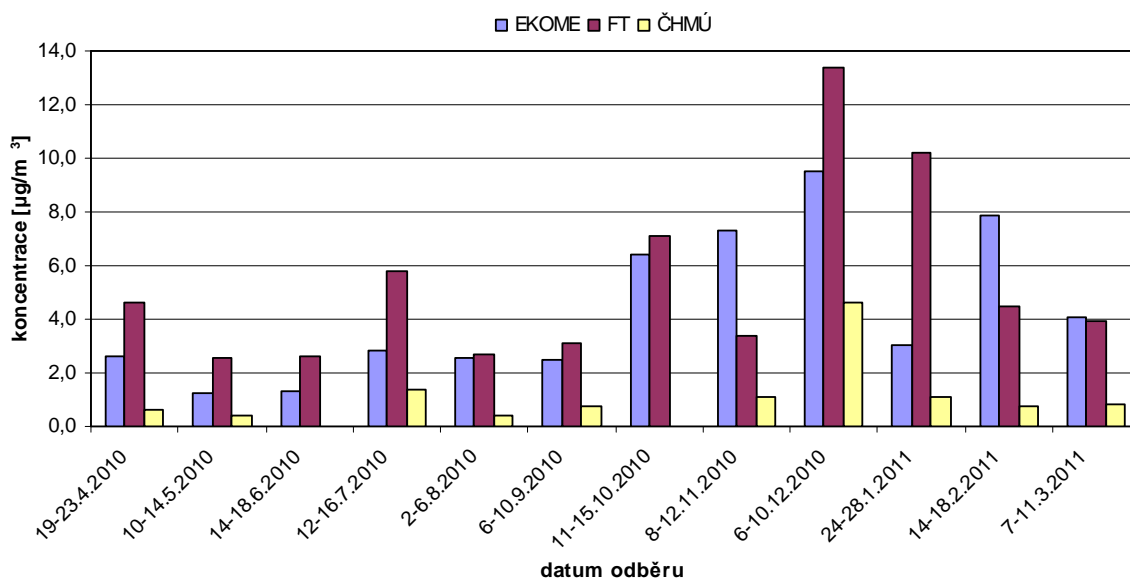
Ze získaných výsledků je obecně patrné, že vyšších koncentrací bylo v průběhu jednotlivých měřených období dosahováno na odběrové lokalitě Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, jelikož sorpční trubička je zde směřována k frekventované ulici tvořící příjezdovou komunikaci do průmyslového areálu Svit s přilehlým, hojně využívaným parkovištěm, kdežto ve firmě EKOME, spol. s r.o. směřuje tato trubička do volných zahradních prostor. Od nejbližších, silně dopravně vytěžovaných pozemních komunikací, jsou obě odběrová místa vzdálena cca 100, resp. 200 m, tudíž za největší potenciální zdroje, tvořící hlavní emisní příspěvek, můžeme považovat automobilovou dopravu. Mezi další významné producenty BTEX patří také průmyslové závody v nejbližším okolí. Z naměřených hodnot lze vypožorovat, že vyšších koncentrací bylo dosahováno v podzimních a zimních měsících, což je vzhledem se stavům atmosféry v tomto období (časté inverze, smogové zatížení, zvýšené spalování fosilních paliv atd.) vývoj očekávaný. V jarních a letních měsících totiž silné sluneční záření podporuje fotochemické přeměny VOCs, v důsledku čehož by měl být obsah BTEX v ovzduší v létě nejnižší, což se také potvrdilo. Rovněž vítr a déšť přispívá ke snižování koncentrací těchto látek.

10.1 Vývoj koncentrací jednotlivých BTEX



Obr. 24 Vývoj koncentrací benzenu na jednotlivých odběrových lokalitách (včetně hodnot z ČHMÚ) v době od dubna 2010 do března 2011

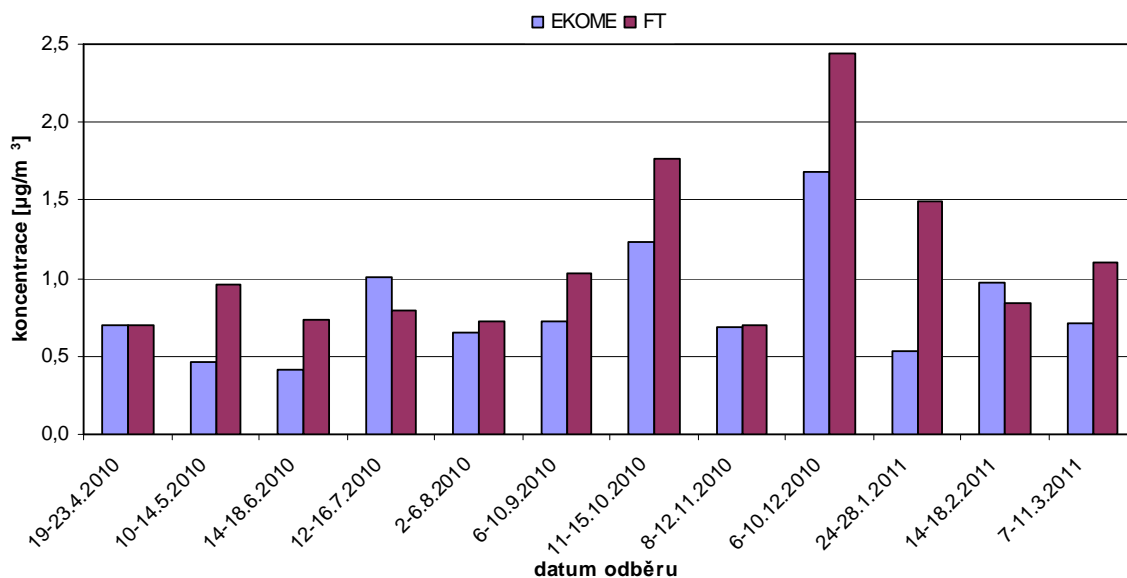
Na Obr. 24 je znázorněn vývoj koncentrací benzenu v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách, včetně hodnot naměřených pozadřovou předměstskou stanicí (ve vlastnictví ČHMÚ) pro Zlín. Pro benzen je v České republice, jako pro jedinou látku ze skupiny BTEX, stanoven imisní limit 5 µg/m³. K jeho překročení došlo na lokalitě firmy EKOME, spol. s r.o. pouze při odběrech v měsíci prosinci (5,526 µg/m³) a na lokalitě FT UTB v měsících říjnu (6,288 µg/m³) a prosinci (7,023 µg/m³). Pozadřové koncentrace ze stanice ČHMÚ jsou oproti koncentracím naměřeným pro účely této práce ve většině případů (kromě odběrů v měsících květnu, červenci a září pro lokalitu firmy EKOME, spol. s r.o.) výrazně nižší (v měsících červnu a říjnu měla tato stanice výpadek v důsledku čehož nebyla data k dispozici).



Obr. 25 Vývoj koncentrací toluenu na jednotlivých odběrových lokalitách (včetně hodnot z ČHMÚ) v době od dubna 2010 do března 2011

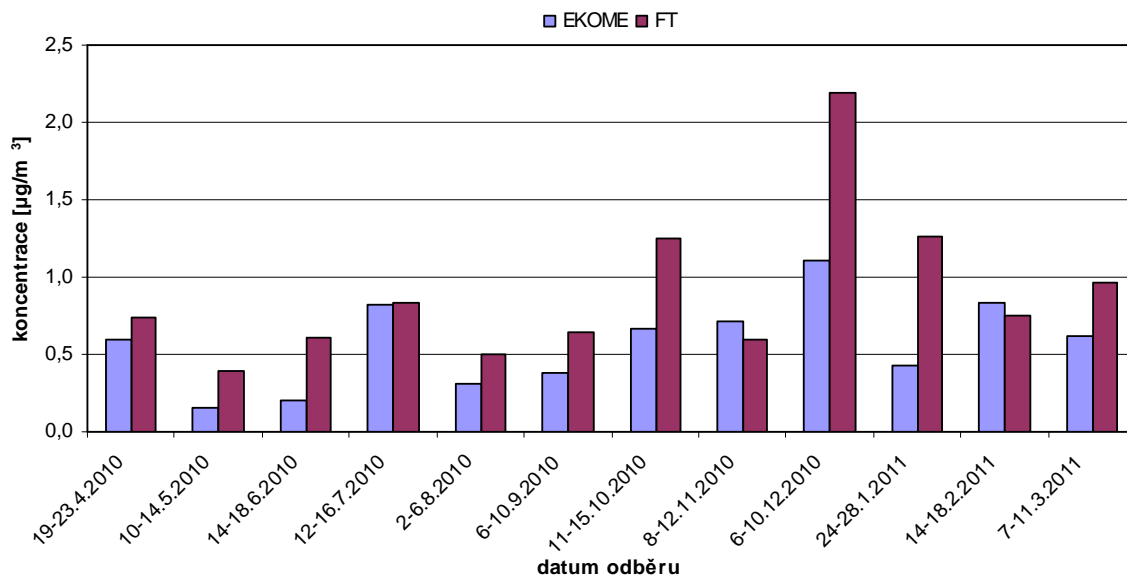
Na Obr. 25 je znázorněn vývoj koncentrací toluenu v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách, včetně hodnot naměřených pozadřovou předměstskou stanicí (ve vlastnictví ČHMÚ) pro Zlín. Právě hodnoty z této stanice jsou oproti koncentracím naměřeným v uvažovaných lokalitách mnohonásobně nižší (v měsících červnu a říjnu měla stanice výpadek v důsledku čehož nebyla data k dispozici). Toluén byl v analyzovaných vzorcích ze všech látek skupiny BTEX zastoupen suverénně nejvíce. Nejvyšší koncentrace tohoto aromatického uhlovodíku, dostávajícího se do volného ovzduší především ze spalování automobilových benzínů

a používání přípravků na jeho bázi, byly zaznamenány na obou odběrových místech v měsíci prosinci (9,494 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na lokalitě firmy EKOME, spol. s r.o. a 13,410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na lokalitě FT UTB).



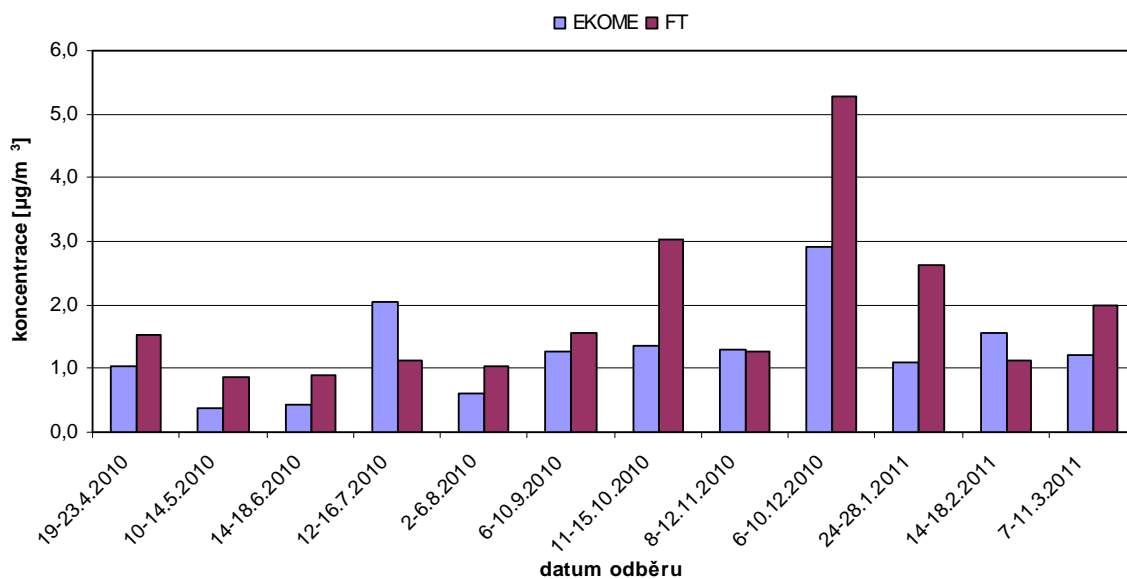
Obr. 26 Vývoj koncentrací ethylbenzenu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011

Na Obr. 26 je znázorněn vývoj koncentrací ethylbenzenu v 1 m^3 odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách. Jeho nejvyšší naměřené koncentrace (1,684 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve firmě EKOME, spol. s r.o. a 2,445 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na FT UTB) byly, jako u každé látky ze skupiny BTEX, zaznamenány na obou vzorkovacích místech při odběrech v měsíci prosinci, jež se vyznačoval (v ranních hodinách) pozorovanými inverzními stavy atmosféry, zataženou oblohou s občasnými dešťovými přeháňkami, nižšími teplotami blížíící se nule a značně nevyrovnanými povětrnostními podmínkami.



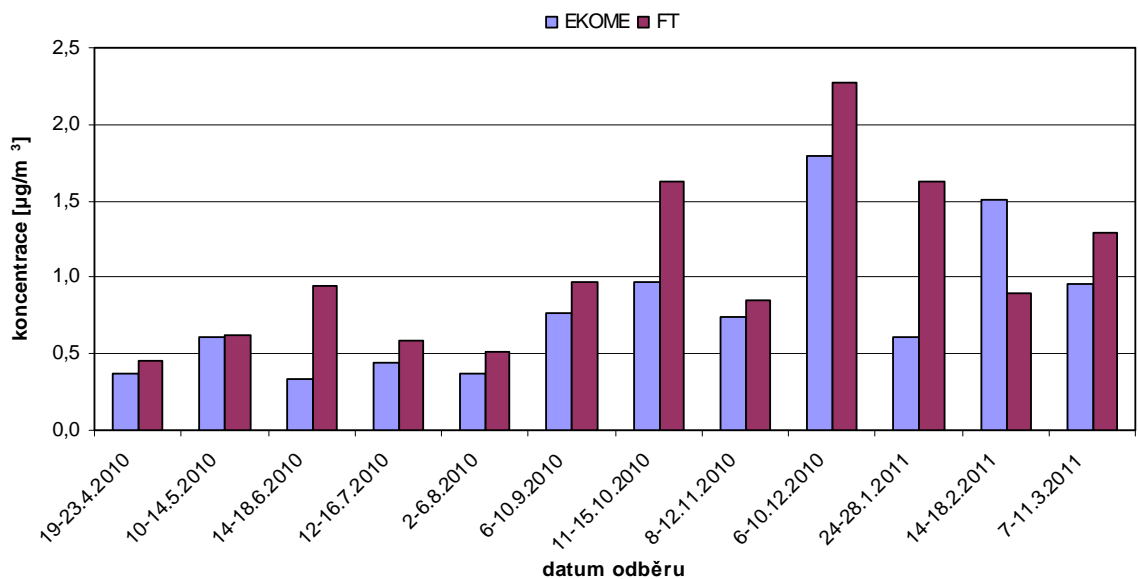
Obr. 27 Vývoj koncentrací p-xylynu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011

Na Obr. 27 je znázorněn vývoj koncentrací p-xylynu v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách. Na rozdíl od toluenu, který byl v analyzovaných vzorcích zastoupen nejvíce byl naopak p-xylen, který je ze všech tří izomerů xylynu považován za nejvíce toxický, zastoupen nejméně. Při odběrech v měsíci květnu byla na měřícím místě firmy EKOME, spol. s r.o. naměřena nejnižší koncentrace v rámci všech sledovaných látek ze skupiny BTEX, která činila 0,158 µg/m³. Naopak maximální koncentrace z měsíce prosince pro tuto těkavou organickou látku měly hodnotu 1,104 µg/m³ (firma EKOME, spol. s r.o.) a 2,196 µg/m³ (FT UTB). Obecně je z tohoto grafu (ale i ze všech ostatních) patrné, že vyšších koncentrací bylo dosahováno na odběrové lokalitě FT UTB, kromě měsíců listopadu a února, kdy byly zaznamenány vyšší hodnoty ve firmě EKOME, spol. s r.o.



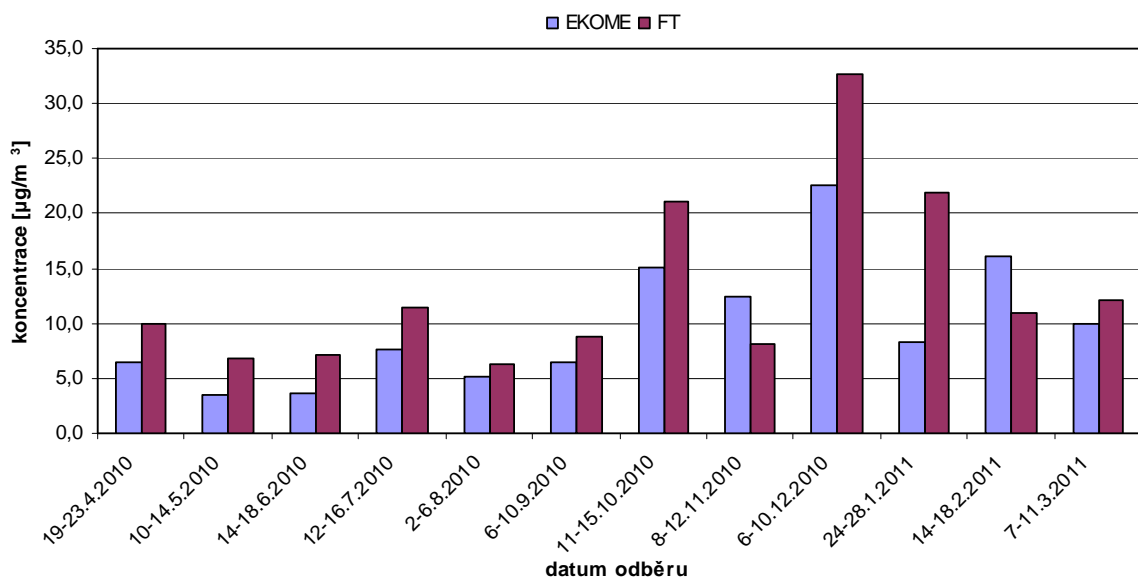
Obr. 28 Vývoj koncentrací m-xylynu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011

Na Obr. 28 je znázorněn vývoj koncentrací m-xylynu v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách. Ze všech tří izomerů xylynu byl právě m-xylen, jež je považován za nejméně toxický izomer, v analyzovaných vzorcích zastoupen nejvíce (hodnoty jeho naměřených koncentrací byly oproti p-xylynu a o-xylynu v průměru dvakrát až třikrát vyšší). Nejvyšší koncentrace tohoto aromatického uhlovodíku, dostávajícího se do volného ovzduší díky exhalacím automobilová dopravy v důsledku jeho přidávání do benzínů pro zvýšení jejich oktanového čísla, byly naměřeny na obou měřících místech při odběrech v měsíci prosinci (2,914 µg/m³ na lokalitě firmy EKOME, spol. s r.o. a 5,288 µg/m³ na lokalitě FT UTB).



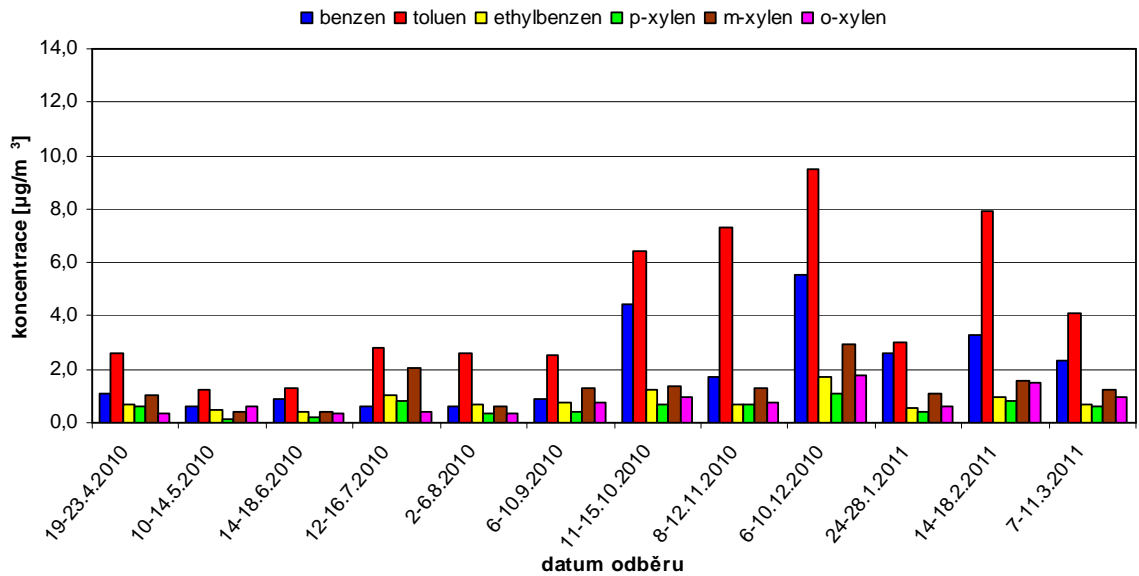
Obr. 29 Vývoj koncentrací o-xylenu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011

Na Obr. 29 je znázorněn vývoj koncentrací o-xylenu v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách. Jeho nejvyšší naměřené koncentrace (1,791 µg/m³ ve firmě EKOME, spol. s r.o. a 2,270 µg/m³ na FT UTB) byly zaznamenány na obou místech při odběrech v měsíci prosinci.

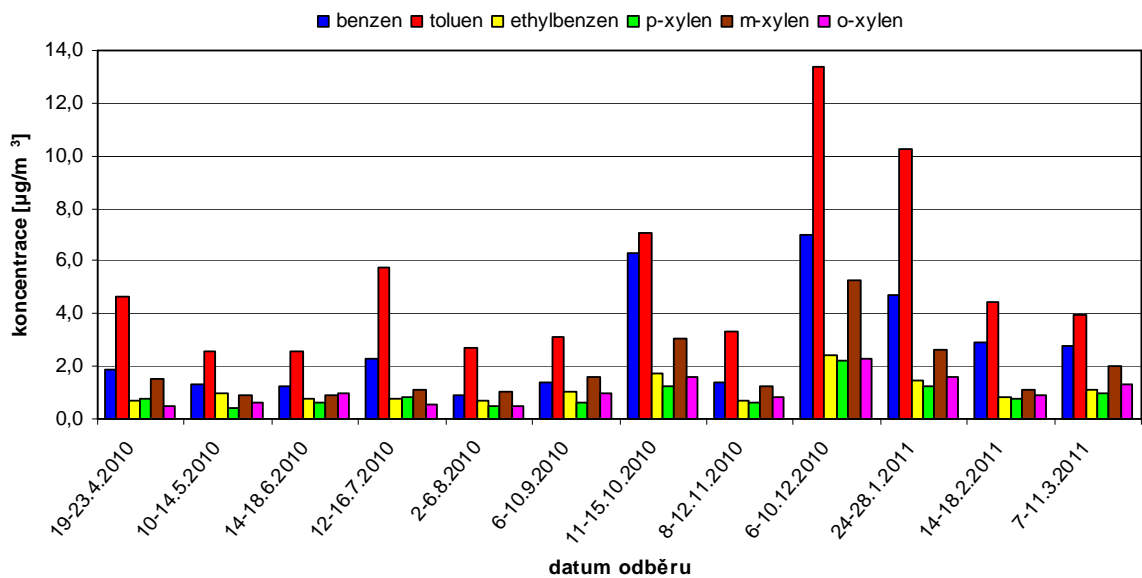


Obr. 30 Vývoj koncentrací sumy BTEX na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011

Na Obr. 30 je znázorněn vývoj koncentrací sumy BTEX, tedy součtu všech sledovaných látek (benzenu, toluenu, ethylbenzenu, p-xylynu, m-xylynu a o-xylynu) v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na obou odběrových lokalitách. Je z něj patrné, že kromě odběrů v měsících listopadu a únoru byla suma BTEX vyšší na lokalitě FT UTB, jež by měla být více zatěžována případnými emisemi těkavých organických látek. Rovněž můžeme pozorovat výrazný nárůst koncentrací sumy BTEX v podzimních a zimních měsících oproti měsícům jarním a letním. V období duben 2010 až září 2010, kdy bylo dosahováno oproti měsícům zbývajícím vyšších průměrných denních teplot, byly nejvyšší naměřené hodnoty sumy BTEX pro obě uvažované lokality zaznamenány při odběrech v měsíci červenci. Tato suma pro lokalitu firmy EKOME, spol. s r.o. činila 7,703 μg/m³ a pro lokalitu FT UTB 11,431 μg/m³. Koncentrace součtu BTEX látek ve všech ostatních odběrových dnech uvažovaného období se pohybovaly v rozmezí 3,515 μg/m³ až 6,548 μg/m³ pro lokalitu firmy EKOME, spol. s r.o. a 6,337 μg/m³ až 9,906 μg/m³ pro lokalitu FT UTB. Významný vliv na koncentrace znečišťujících látek v ovzduší mají i povětrnostní a rozptylové podmínky. V odběrových dnech měsíce července panovalo téměř absolutní bezvětří, a tak je předpoklad, že mohlo dojít k případnému nahromadění a zakoncentrování znečištěných vzduchových mas nad celým uvažovaným územím, jelikož Zlín se nachází v údolní kotlině otevřené ve směru od východu k západu. V období říjen 2010 až březen 2011 byly nejvyšší naměřené hodnoty sumy BTEX pro obě uvažované lokality zaznamenány při odběrech v měsíci prosinci. Tato suma pro lokalitu firmy EKOME, spol. s r.o. činila 22,512 μg/m³ a pro lokalitu FT UTB 32,630 μg/m³. Koncentrace součtu BTEX látek ve všech ostatních odběrových dnech uvažovaného období se pohybovaly v rozmezí 8,294 μg/m³ až 16,052 μg/m³ pro lokalitu firmy EKOME, spol. s r.o. a 8,133 μg/m³ až 21,960 μg/m³ pro lokalitu FT UTB. Vzhledem k vrcholící topné sezóně, inverzních stavech atmosféry a smogovému zatížení se jedná o vývoj očekávaný. Naproti tomu nejnižší koncentrace sumy BTEX z uvažovaného období byly naměřeny v odběrových dnech měsíce ledna (lokalita EKOME, spol. s r.o.) a listopadu (lokalita FT UTB). V těchto měsících byly oproti ostatním zaznamenány vyšší průměrné rychlosti větru a společně s dešťovými a sněhovými přeháňkami tak mohly přispět ke snížení koncentrací těchto sledovaných látek v ovzduší.



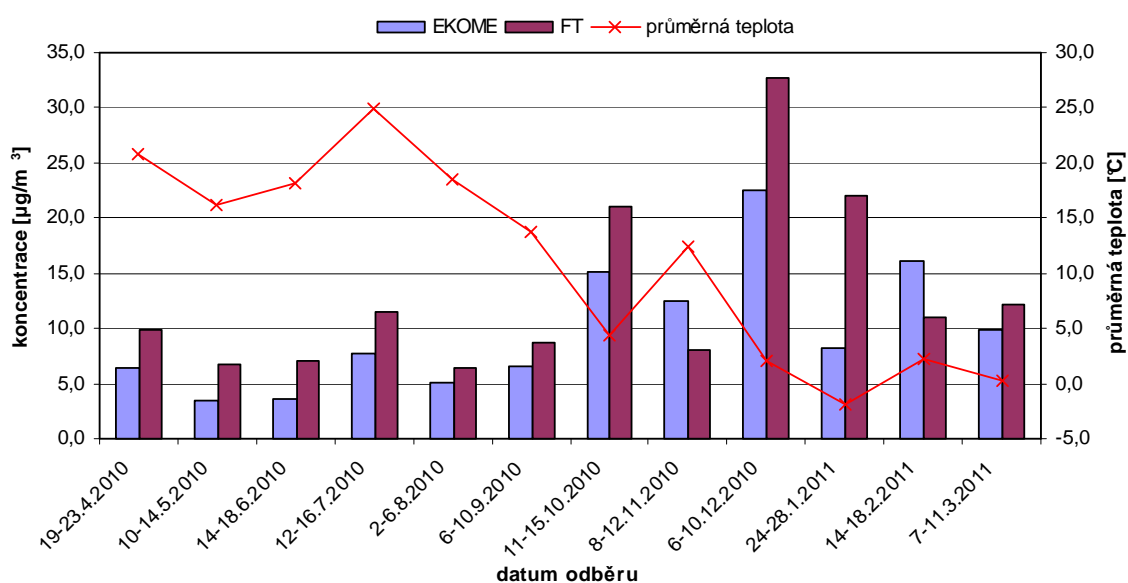
Obr. 31 Vývoj koncentrací jednotlivých stanovovaných látek v době od dubna 2010 do března 2011 (lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.)



Obr. 32 Vývoj koncentrací jednotlivých stanovovaných látek v době od dubna 2010 do března 2011 (lokalita FT UTB)

Na Obr. 31 a Obr. 32 je znázorněn vývoj koncentrací jednotlivých stanovovaných látek ze skupiny BTEX v 1 m³ odebraného vzduchu přepočtených na normální podmínky v daných měřených obdobích na uvažovaných odběrových lokalitách. Z obou těchto grafů je patrné, že největší zastoupení v odebraných vzorcích vzdušiny měl toluen následován benzenem, m-xylenem, ethylbenzenem, o-xylenem a nejnižší zastoupení bylo indikováno u p-xyleny.

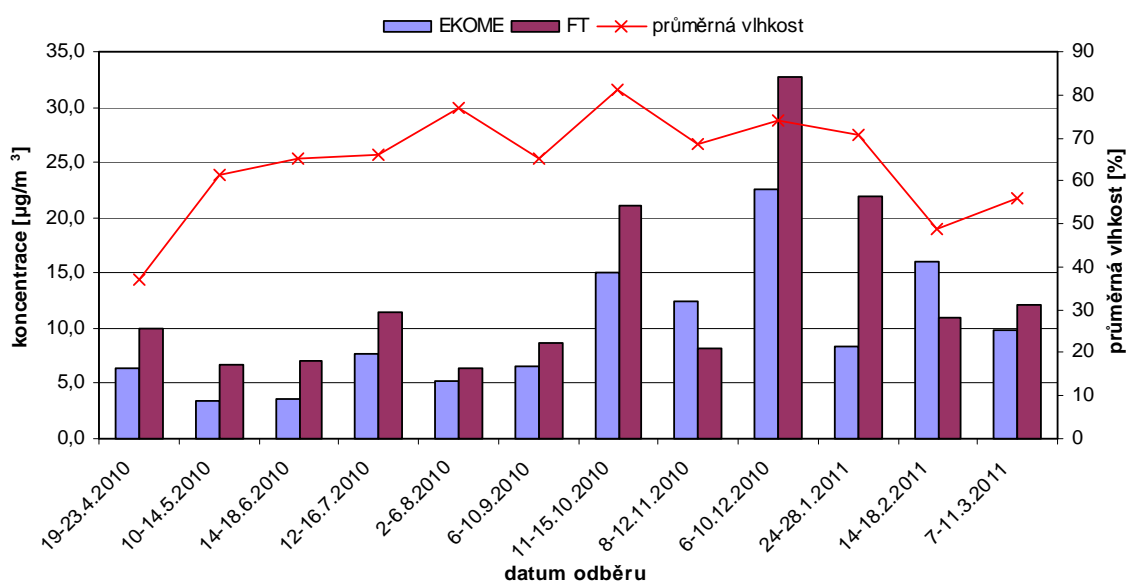
10.2 Vliv meteorologických podmínek na koncentrace BTEX



Obr. 33 Ukázka vlivu průměrné teploty na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011

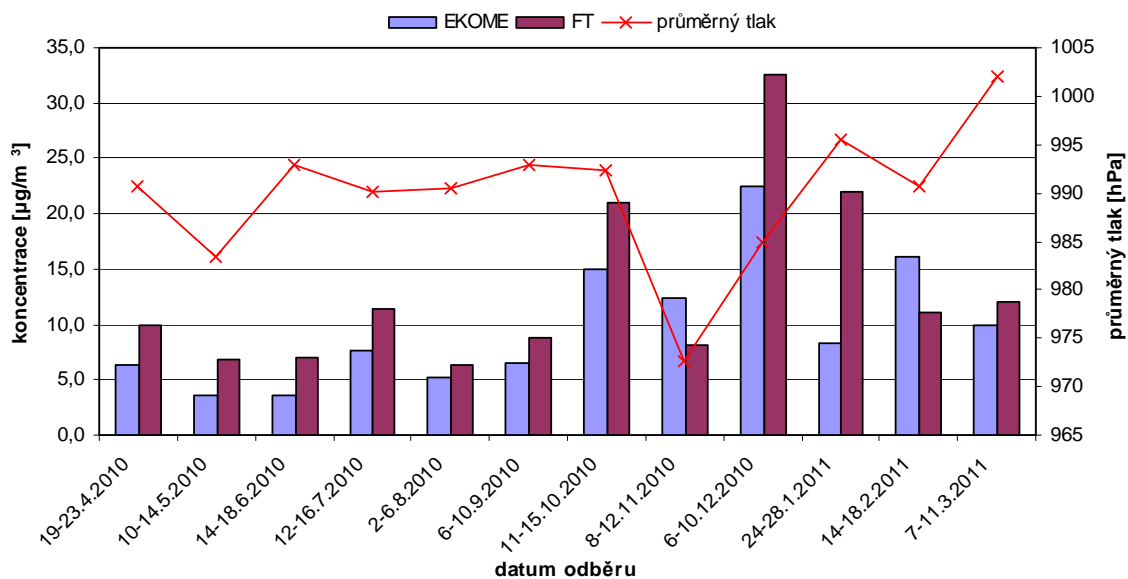
Vliv meteorologických podmínek (průměrné teploty) na koncentrace sledovaných látek (sumy BTEX) je možné pozorovat na Obr. 33. Je z něj patrné, že výrazně nižších koncentrací těchto aromatických uhlovodíků bylo dosahováno v měsících jarních a letních oproti těm podzimním a zimním. V období jara a léta totiž silné sluneční záření podporuje fotochemické přeměny VOCs a v důsledku tohoto jejich odbourávání z atmosféry se obsah BTEX v ovzduší snižuje. Nejvyšší průměrná teplota (24,9 °C) byla zaznamenána při odběrech v měsíci červenci. A právě v tomto měsíci byly paradoxně naměřeny nejvyšší koncentrace sledovaných látek v rámci období duben 2010 až září 2010, vyznačující se vyššími průměrnými teplotami oproti měsícům zbývajícím. Určitý podíl na těchto hodnotách měl

tedy i jiný faktor, než jen samotná teplota. Za zmínku stojí také odběry v měsíci listopadu, kdy je z grafu patrný výrazný pokles koncentrací, jež můžeme přisuzovat právě nezvykle vysokým průměrných teplotám pro toto období (12,4 °C). Nejnižší průměrná teplota (-1,9 °C) byla zaznamenána při odběrech v měsíci lednu, který se vyznačoval vysokými naměřenými hodnotami koncentrací BTEX (pouze však pro lokalitu FT UTB), což je v souvislosti s rychlostí jejich odbourávání průběh očekávaný. Na odběrovém místě firmy EKOME, spol. s r.o. byly právě v tomto měsíci vyhodnoceny nejnižší hodnoty sledovaných látek v rámci období říjen 2010 až březen 2011. Můžeme tedy konstatovat, že teplota ovlivňuje koncentrace těkavých organických látek ve volném ovzduší, avšak není jediným faktorem.



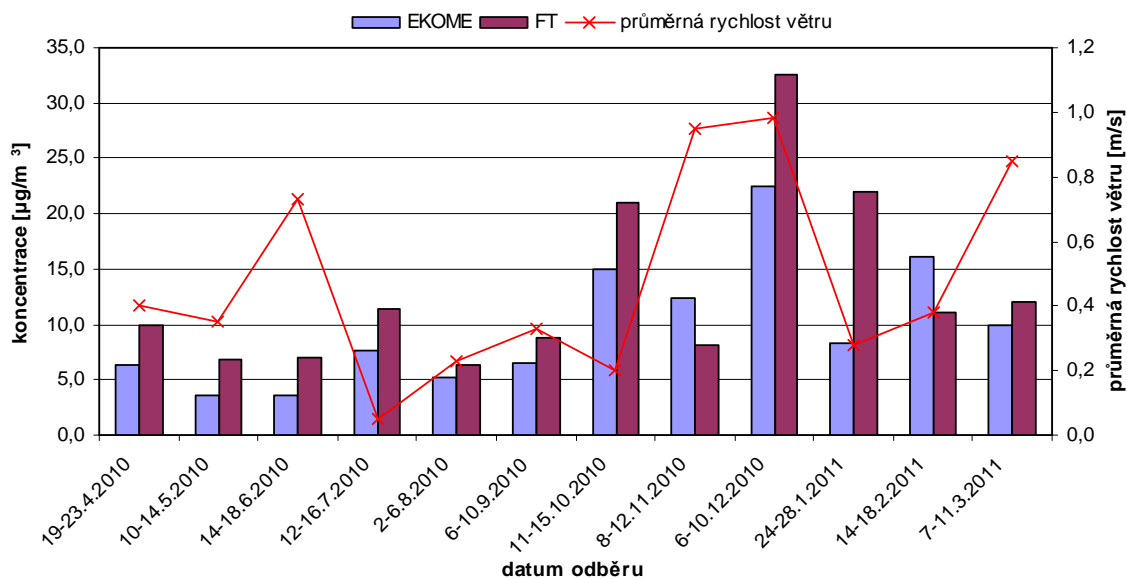
Obr. 34 Ukázka vlivu průměrné vlhkosti na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011

Vliv meteorologických podmínek (průměrné vlhkosti) na koncentrace sledovaných látek (sumy BTEX) je možné pozorovat na Obr. 34. Relativní vlhkost byla pro účely této práce zaznamenávána pouze jako doprovodná veličina, její vliv na koncentrace BTEX se tedy nepředpokládá. Z grafu se však dá vyzorovat, že v měsících s nejvyššími naměřenými koncentracemi těkavých organických látek (říjnu, prosinci a lednu) byly zaznamenány i nejvyšší průměrné relativní vlhkosti. Proto můžeme konstatovat, že určitá závislost mezi těmito veličinami může existovat.



Obr. 35 Ukázka vlivu průměrného tlaku na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011

Vliv meteorologických podmínek (průměrného tlaku) na koncentrace sledovaných látek (sumy BTEX) je možné pozorovat na Obr. 35. Atmosférický tlak je veličina, která byla zaznamenávána pouze pro účely přepočtu množství odebraného vzduchu na normální podmínky. Z uvedeného grafu se žádná významná závislost mezi těmito proměnnými vypočítat nedá. Za povšimnutí však stojí skutečnost, že nejnižší hodnoty průměrného atmosférického tlaku bylo dosaženo při odběrech v měsíci listopadu, vyznačujícího se výrazně nižšími naměřenými koncentracemi BTEX oproti ostatním podzimním a zimním měsícům. Jedná se však o jednu výjimečnou situaci, ze které se nedají vyvodit odpovídající závěry o vlivu této proměnné na imisní koncentrace aromatických uhlovodíků ve volném ovzduší.



Obr. 36 Ukázka vlivu průměrné rychlosti větru na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011

Vliv meteorologických podmínek (průměrné rychlosti větru) na koncentrace sledovaných látek (sumy BTEX) je možné pozorovat na Obr. 36. Povětrnostní a rozptylové podmínky obecně mají významný vliv na všechny kontaminanty ovzduší, avšak není to jediný faktor ovlivňující výsledné koncentrace. Proto při zhodnocení vlivu průměrné rychlosti větru na koncentrace BTEX můžeme vycházet pouze z konkrétních příkladů v dané měřené dny. Např. nejvyšší hodnoty v jarních a letních měsících byly zaznamenány při odběrech v měsíci červenci, který se kromě velmi vysokých teplot vyznačoval také téměř absolutním bezvětřím. Je tak předpoklad, že příčinou těchto vysokých koncentrací mohlo být nahromadění a zakoncentrování znečištěných vzduchových mas nad celým uvažovaným územím, jelikož Zlín se nachází v údolní kotlině otevřené ve směru od východu k západu. Další vliv povětrnostních podmínek můžeme pozorovat při odběrech v listopadu, kdy byly zaznamenány výrazně nižší koncentrace BTEX oproti ostatním podzimním a zimním měsícům z období říjen 2010 až březen 2011. Příčinou tohoto poklesu mohly být vyšší průměrné rychlosti větru pro tuto dobu (ale také i vyšší průměrné teploty). Proto můžeme opět konstatovat, že povětrnostní podmínky do jisté míry ovlivňují přítomné koncentrace sledovaných látek ve volném ovzduší, avšak zcela jistě nejsou jediným a hlavním faktorem.

10.3 Statistická analýza

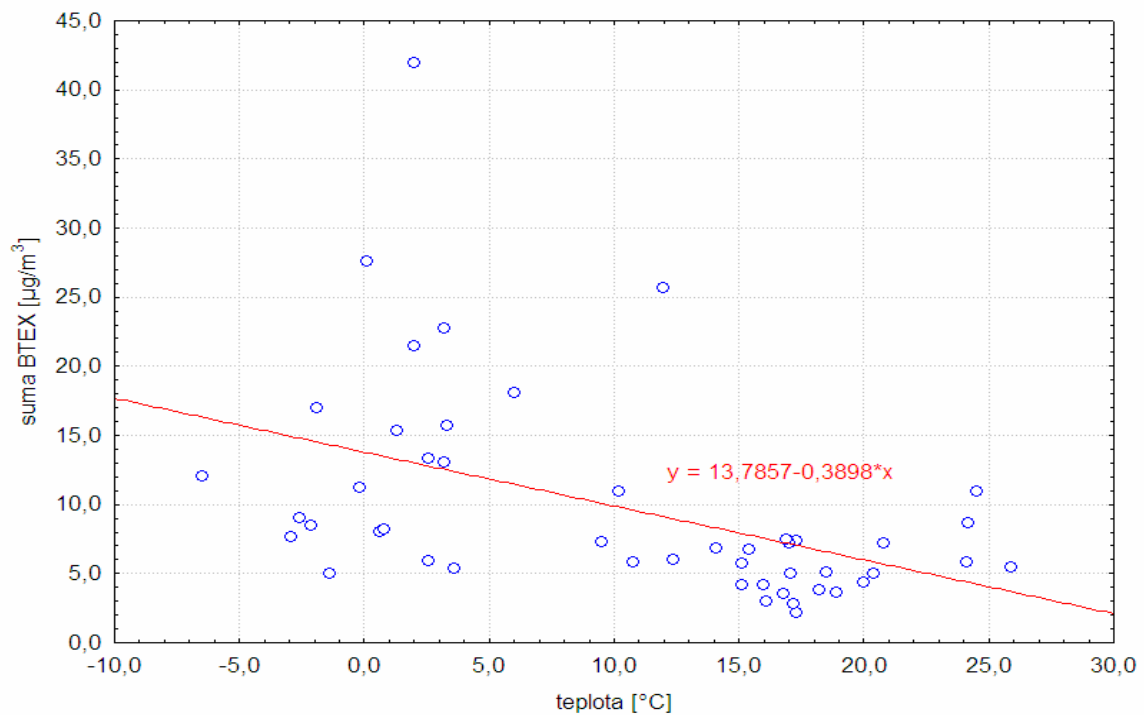
V rámci ověření vlivu aktuálních meteorologických podmínek na koncentrace stanovovaných látek byly naměřené hodnoty sumy BTEX, teploty, vlhkosti, tlaku a rychlosti větru podrobeny statistické analýze programem STATISTICA od společnosti StatSoft. Jednalo se o korelační zhodnocení souvislosti proměnné sumy BTEX na proměnné teplotě, vlhkosti, tlaku a rychlosti větru. Výstupem takovéto analýzy byly poté tabulky s příslušnými korelačními koeficienty (vyjadřující míru těsnosti vzájemné souvislosti mezi testovanými proměnnými) a bodové grafy znázorňující sílu a směr lineárního vztahu mezi nimi.

10.3.1 Lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.

Tab. 10 Velikosti korelačních koeficientů odpovídajících míře závislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a meteorologickými podmínkami

Proměnná	Korelace (lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.) Označené korelace jsou významné na hladině $p < ,05000$ N=48 (Celé případy vynechány u ChD)				
	suma BTEX	teplota	vlhkost	tlak	rychlost větru
suma BTEX	1,00	-0,46	0,20	-0,18	0,17
teplota	-0,46	1,00	-0,08	-0,15	-0,28
vlhkost	0,20	-0,08	1,00	-0,33	-0,12
tlak	-0,18	-0,15	-0,33	1,00	-0,01
rychlost větru	0,17	-0,28	-0,12	-0,01	1,00

Z Tab. 10 je patrné, že po zhodnocení naměřených koncentrací sumy BTEX a jednotlivých meteorologických podmínek z lokality firmy EKOME, spol. s r.o. se významněji jeví pouze korelace mezi hodnotami sumy BTEX a teplotou, čemuž odpovídá hodnota korelačního koeficientu -0,46 (jedná se o středně silný stupeň korelace). U ostatních posuzovaných veličin je tato závislost z hlediska dané hladiny významnosti zanedbatelná. Ověřil se tak předpoklad o vzájemné souvislosti naměřených koncentrací sumy BTEX na teplotě. Z uvedené tabulky je ještě patrné, že existuje i závislost mezi relativní vlhkostí a atmosférickým tlakem. Vzhledem k cílům této práce se však jedná o nepodstatnou skutečnost.



Obr. 37 Bodový graf vyjadřující míru těsnosti a vzájemné souvislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a naměřenými teplotami

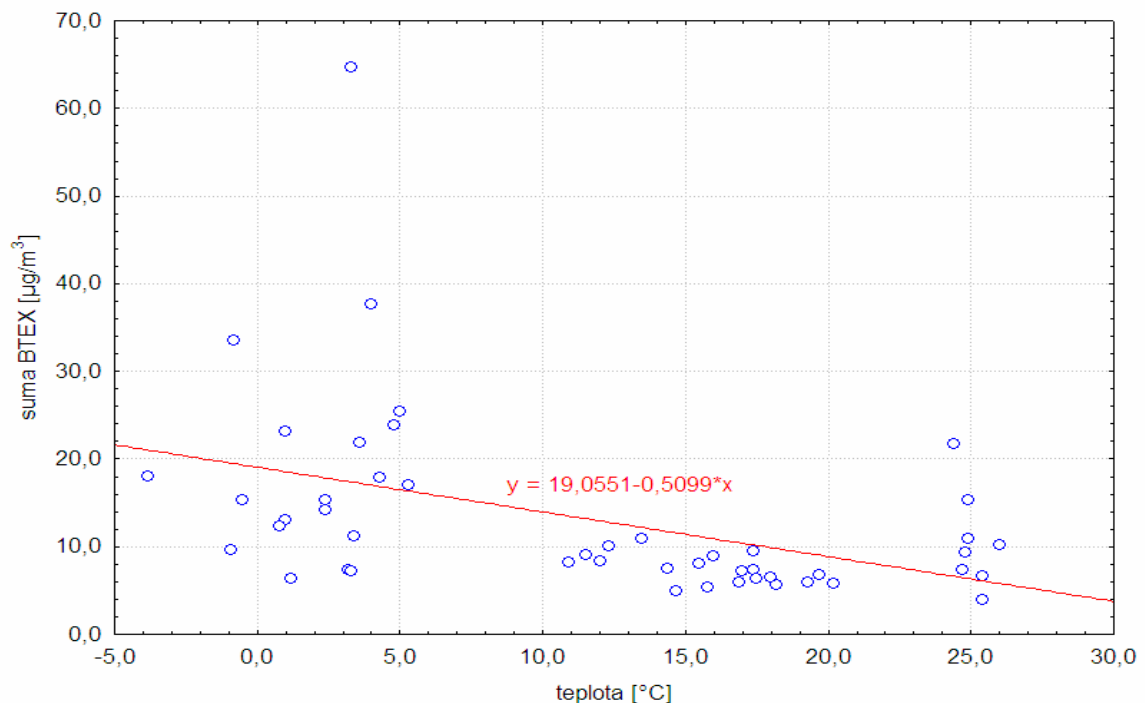
Z Obr. 37 můžeme pomocí lineárního proložení vypočítat, že s rostoucí teplotou skutečně dochází ke snižování koncentrací sumy BTEX. Statisticky se tak potvrdil předpoklad, který byl předmětem diskuzí výše uvedených odborných článků a sestrojených grafů.

10.3.2 Lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně

Tab. 11 Velikosti korelačních koeficientů odpovídajících míře závislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a meteorologickými podmínkami

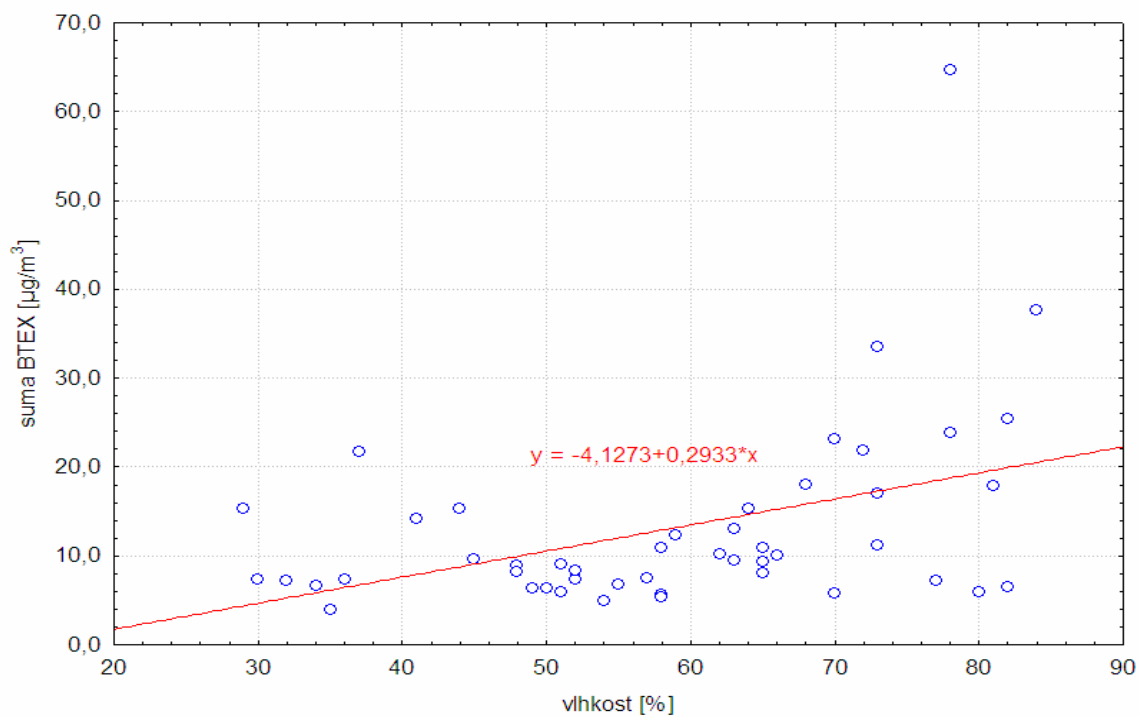
Proměnná	Korelace (lokalita Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně) Označené korelace jsou významné na hladině $p < ,05000$ N=48 (Celé případy vynechány u ChD)				
	suma BTEX	teplota	vlhkost	tlak	rychlost větru
suma BTEX	1,00	-0,44	0,42	0,09	0,00
teplota	-0,44	1,00	-0,13	-0,38	-0,25
vlhkost	0,42	-0,13	1,00	-0,15	-0,22
tlak	0,09	-0,38	-0,15	1,00	0,06
rychlost větru	0,00	-0,25	-0,22	0,06	1,00

Z Tab. 11 je patrné, že po zhodnocení naměřených koncentrací sumy BTEX a jednotlivých meteorologických podmínek z lokality Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně se významněji jeví korelace mezi hodnotami sumy BTEX a teplotou i vlhkostí, čemuž odpovídají hodnoty korelačních koeficientů $-0,44$, resp. $0,42$ (v obou případech se jedná se o středně silný stupeň korelace). U ostatních posuzovaných veličin je tato závislost z hlediska dané hladiny významnosti zanedbatelná. Opět se tak ověřil předpoklad o vzájemné souvislosti naměřených koncentrací sumy BTEX na teplotě, respektive i na relativní vlhkosti. Z uvedené tabulky je ještě patrné, že existuje i závislost mezi teplotou a atmosférickým tlakem. Vzhledem k cílům této práce se však jedná o nepodstatnou skutečnost.



Obr. 38 Bodový graf vyjadřující míru těsnosti a vzájemné souvislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a naměřenými teplotami

Z Obr. 38 můžeme pomocí lineárního proložení stejně jako v případě odběrové lokality firmy EKOME, spol. s r.o. vypočítat, že s rostoucí teplotou skutečně dochází ke snižování koncentrací sumy BTEX. Statisticky se tak opět potvrdil předpoklad, který byl předmětem diskuzí výše uvedených odborných článků a sestavených grafů.



Obr. 39 Bodový graf vyjadřující míru těsnosti a vzájemné souvislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a naměřenými relativními vlhkostmi

Z Obr. 39 můžeme pomocí lineárního proložení vypočítat, že s rostoucí relativní vlhkostí dochází ke zvyšování koncentrací sumy BTEX. Statisticky se tak potvrdil předpoklad rozebíraný a diskutovaný u Obr. 34.

ZÁVĚR

S vlastním monitorováním imisí BTEX ve volném ovzduší jsem začal již na přelomu března a dubna 2010, kdy jsem na lokalitě firmy EKOME, spol. s r.o. odebral první kontrolní vzorek. Po jeho analýze jsem zjistil, že koncentrace jednotlivých stanovovaných látek jsou, zřejmě díky lokalizaci tohoto odběrového místa a směřování sorpční trubičky s aktivním uhlím do volných prostor zahrady, relativně nízké. Vzhledem ke skutečnosti, že výfukové plyny z automobilové dopravy představují až 85 % celkových emisí těkavých organických látek do ovzduší, vybral jsem pro účely této práce i druhou odběrovou lokalitu, a to Fakultu technologickou Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Zde byl totiž předpoklad zvýšených hodnot koncentrací BTEX v důsledku intenzivní automobilové dopravy v těsné blízkosti místa, kde byla umístěna sorpční trubička s aktivním uhlím. Z výsledků této analýzy jsem zjistil, že naměřené koncentrace BTEX jsou oproti prvnímu odběrovému místu téměř dvojnásobné. Proto jsem přistoupil k imisnímu monitoringu také na této lokalitě. Pro vzájemné porovnávání výsledků však bylo nezbytné zajistit, aby vlastní odběry realizované vždy jeden týden (od pondělí do pátku) v každém měsíci (duben 2010 až březen 2011) z obou míst byly zajišťovány ve stejné dny, aby byly zahajovány a ukončovány ve stejný čas a aby množství prosáté vzdušiny za 24 hodin činilo 1m^3 . Všechny analýzy byly prováděny v akreditované laboratoři firmy EKOME, spol. s r.o., Zlín – Malenovice, která disponuje vysoce citlivým plynovým chromatografem Dani GC 1000 DPC s FID detekcí a instalovaným autosamplerem HT 310A. V rámci náplně praktické části této práce jsem zde měl k dispozici také sorpční trubičky SKC 226-09 pro všech 96 odběrů, aparaturu pro odebrání vzorků a veškeré potřebné vybavení pro jejich vyhodnocení vycházející z ČSN EN 14662-2. Tato normovaná metodika pro stanovení benzenu ve venkovním ovzduší se po přizpůsobení na reálné podmínky odběru ukázala jako klíčová z hlediska počáteční optimalizace praktického i analytického systému. V důsledku potřeby přepočtu množství odebraného vzduchu na normální podmínky a zhodnocení vlivů aktuálního stavu počasí na koncentrace BTEX byly každý odběrový den zaznamenávány aktuální meteorologické podmínky (oblačnost, teplota, relativní vlhkost, atmosférický tlak a průměrná rychlost větru).

Výsledky této diplomové práce poskytují ucelený přehled o vývoji jednotlivých sledovaných těkavých organických látek (benzenu, toluenu, ethylbenzen, p-xylenu, m-xylenu a o-xylenu) ve volném ovzduší na širším území města Zlína v průběhu jednoho roku. Při porovnávání uvažovaných lokalit byly naměřeny vyšší koncentrace na odběrovém místě

Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je situována v blízkosti intenzivně využívaného parkoviště a dopravní komunikace, oproti firmě EKOME, spol. s r.o., která není tak výrazně zatížena blízkou dopravou. K překročení imisního limitu pro benzen ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) došlo pouze při odběrech v měsíci říjnu (FT UTB i EKOME) a prosinci (EKOME) roku 2010. Právě v tomto posledním měsíci roku byly zaznamenány na obou místech nejvyšší koncentrace u všech látek ze skupiny BTEX. Rovněž byl ověřen předpoklad vyšších koncentrací měřených látek v podzimních a zimních měsících oproti těm jarním a letním. Největší zastoupení v odebraných vzorcích vzdušiny měl toluen následován benzenem, m-xylenem, ethylbenzenem, o-xylenem a nejnižší zastoupení bylo indikováno u p-xylynu. V neposlední řadě byla prokázána závislost aktuálních meteorologických podmínek na koncentrace stanovovaných látek ve volném ovzduší. Jedná se především o teplotu, kdy silné sluneční záření podporuje fotochemické přeměny VOCs a v důsledku tohoto jejich odbourávání z atmosféry se obsah BTEX v ovzduší snižuje. Tento fakt byl spolu s relativní vlhkostí, u které bylo pozorováno, že s rostoucí hodnotou této veličiny dochází k nárůstu koncentrací měřených látek, ověřen i statisticky pomocí programu STATISTICA od společnosti StatSoft. V konkrétních případech se dal vypozařovat i významný vliv povětrnostních a rozptylových podmínek (průměrných rychlostí větru, dešťových a sněhových přeháněk) a stavů ovzduší (inverzí) na hodnoty koncentrací vybraných těkavých organických látek.

Po porovnání veškerých údajů a naměřených dat můžeme konstatovat, že obsah BTEX ve volném ovzduší závisí na hustotě automobilové dopravy a s ní spjaté kvalitě používaných pohonných hmot, meteorologických podmínkách, stavech ovzduší a také lokalizaci odběrových míst.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HOLOUBEK, I. Organické látky v ovzduší I. : Těkavé organické látky v troposféře. *Ochrana ovzduší : Kompendium ochrany kvality ovzduší - část 7*. 2006, 4, s. 4-10.
- [2] KURFÜRST, J. *Kompendium ochrany kvality ovzduší*. Vyd. 1. Chrudim : Vodní zdroje Ekomonitor, 2008. 407 s. ISBN 978-80-86832-38-8.
- [3] Zákon č. 472 ze dne 5. prosince 2005, kde předseda vlády vyhláší úplné znění zákona č.86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), jak vyplývá ze změn provedených zákonem č. 521/2002 Sb., zákonem č. 92/2004 Sb., zákonem č. 186/2004 Sb., zákonem č. 695/2004 Sb., zákonem č. 180/2005 Sb. a zákonem č. 385/2005 Sb. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2005, částka 165, s. 8791-8836.
- [4] EU. Směrnice Rady 1999/13/ES ze dne 11. března 1999 o omezování emisí těkavých organických sloučenin vznikajících při používání organických rozpouštědel při některých činnostech a v některých zařízeních. In *Úřední věstník Evropské unie*. 1999, 4, 15, s. 118-139.
- [5] DERWENT, R. G. Sources, Distributions, and Fates of VOCs in the Atmosphere : Definitions VOCs. In *Issues in Environmental Science and Technology. Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*. Cambridge (UK) : Royal Society of Chemistry, 1995. s. 1-15. ISBN 0-85404-215-6.
- [6] *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2011-01-23]. Nemethanové těkavé organické sloučeniny (NMVOC). Dostupné z WWW: <<http://irz.cenia.cz/irz/new/node/71>>.
- [7] DOBIÁŠOVÁ, J. Těkavé organické látky jako hlavní prekurzory tvorby fotochemického smogu a národní program jejich omezování. *Zpravodaj MŽP* [online]. 1998, 11, [cit. 2011-01-23]. Dostupný z WWW: <[http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/0A9C69D95AF7CA06C1256FC00043DA38/\\$file/Z_11orglatky.html](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/0A9C69D95AF7CA06C1256FC00043DA38/$file/Z_11orglatky.html)>.

- [8] HOLOUBEK, I. *Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně* [online]. 2007 [cit. 2011-01-23]. Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí. Dostupné z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-atmosfera-11-vocs.pdf>>.
- [9] HEKERA, P. *Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci* [online]. 2005 [cit. 2011-01-23]. Katedra ekologie a životního prostředí. Dostupné z WWW: <http://ekologie.upol.cz/ku/etxo/Toxikologie_orglatky.pdf>.
- [10] Benzen. In *Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě* [online]. ČR : Ministerstvo životního prostředí, 1996 [cit. 2011-01-23]. Dostupné z WWW: <http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice6.htm>.
- [11] *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2011-01-23]. Benzen. Dostupné z WWW: <<http://www.prtr.cz/irz/new/node/16>>.
- [12] ŠVEC, P. *PENTA - Bezpečnostní listy* [online]. 2011 [cit. 2011-01-27]. Bezpečnostní listy. Dostupné z WWW: <http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/b/bezplist_184.pdf>.
- [13] *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2011-01-24]. Toluén. Dostupné z WWW: <<http://irz.cenia.cz/irz/new/node/95>>.
- [14] ŠVEC, P. *PENTA - Bezpečnostní listy* [online]. 2011 [cit. 2011-01-27]. Bezpečnostní listy. Dostupné z WWW: <http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/t/bezplist_211.pdf>.
- [15] *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2011-01-24]. Ethylbenzen. Dostupné z WWW: <<http://irz.cenia.cz/irz/new/node/35>>.
- [16] *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2011-01-24]. Xyleny. Dostupné z WWW: <<http://irz.cenia.cz/irz/new/node/105>>.
- [17] ŠVEC, P. *PENTA - Bezpečnostní listy* [online]. 2011 [cit. 2011-01-27]. Bezpečnostní listy. Dostupné z WWW: <http://www.pentachemicals.eu/bezp_listy/x/bezplist_159.pdf>.
- [18] JEDLIČKA, J. et al. *Životní prostředí - Znečištění ovzduší* [online]. 2006 [cit. 2011-01-24]. Modelování imisí v dopravě. Dostupné z WWW: <<http://www.cdv.cz/text/szp/ovzdusi/tatry04-modelovani.pdf>>.

- [19] ŠVECOVÁ, V.; ŠRÁM, R. J. Personální monitoring VOC. *Ochrana ovzduší*. 2007, 20 (39), 5-6, s. 45-49.
- [20] *Město Kopřivnice - Komplexní hodnocení vlivu dopravy na životní prostředí* [online]. 2002 [cit. 2011-01-24]. Komplexní hodnocení vlivu dopravy na životní prostředí. Dostupné z WWW: <<http://www.koprivnice.cz/index.php?id=vlivdopravy>>.
- [21] Nařízení vlády č. 597 ze dne 12. prosince 2006 o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2006, částka 188, s. 7945-7958.
- [22] EU. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/69/ES ze dne 16. listopadu 2000 o mezních hodnotách pro benzen a oxid uhelnatý ve vnějším ovzduší. In *Úřední věstník Evropské unie*. 2000, 5, 15, s. 262-274.
- [23] *ZÚ Ostrava: Imise* [online]. 2010 [cit. 2011-01-24]. Imisní limity a cílové imisní limity. Dostupné z WWW: <<http://www.zuova.cz/informace/imise.php>>.
- [24] ČSN EN 14662-1. *Kvalita ovzduší - Normovaná metoda stanovení benzenu - Část 1: Odběr vzorku prosáváním sorpční trubicí s následnou tepelnou desorpcí a analýzou plynovou chromatografií*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 36 s.
- [25] ČSN EN 14662-2. *Kvalita ovzduší - Normovaná metoda stanovení benzenu - Část 2: Odběr vzorku prosáváním sorpční trubicí s následnou desorpcí rozpouštědlem a analýzou plynovou chromatografií*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 32 s.
- [26] ČSN EN 14662-3. *Kvalita ovzduší - Normovaná metoda stanovení benzenu - Část 3: Automatizovaný odběr vzorku prosáváním sorpční trubicí a analýza plynovou chromatografií*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 36 s.
- [27] ČSN EN 14662-4. *Kvalita ovzduší - Normovaná metoda stanovení benzenu - Část 4: Difúzní vzorkování s následnou tepelnou desorpcí a analýzou plynovou chromatografií*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 32 s.

- [28] ČSN EN 14662-5. *Kvalita ovzduší - Normovaná metoda stanovení benzenu - Část 5: Difúzní vzorkování s následnou desorpčí rozpouštědlem a analýzou plynovou chromatografií*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 32 s.
- [29] Method TO-1. *Method for the determination of volatile organic compounds in ambient air using TENAX[®] adsorption and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) : Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*. North Carolina : U.S. Environmental Protection Agency, 1984. 34 s.
- [30] Method TO-2. *Method for the determination of volatile organic compounds in ambient air by carbon molecular sieve adsorption and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) : Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*. North Carolina : U.S. Environmental Protection Agency, 1984. 32 s.
- [31] Method TO-3. *Method for the determination of volatile organic compounds in ambient air using cryogenic preconcentration techniques and gas chromatography with flame ionization and electron capture detection : Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*. North Carolina : U.S. Environmental Protection Agency, 1984. 20 s.
- [32] Method TO-14A. *Determination of volatile organic compounds (VOCs) in ambient air using specially prepared canisters with subsequent analysis by gas chromatography : Compendium of Methods for Toxic Organic Air Pollutants*. Cincinnati : U.S. Environmental Protection Agency, 1999. 86 s.
- [33] Method TO-15. *Determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected in specially-prepared canisters and analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) : Compendium of Methods for Toxic Organic Air Pollutants*. Cincinnati : U.S. Environmental Protection Agency, 1999. 63 s.
- [34] Method TO-17. *Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes : Compendium of Methods for Toxic Organic Air Pollutants*. Cincinnati : U.S. Environmental Protection Agency, 1999. 49 s.

- [35] Zákon č. 86 ze dne 14. února 2002 o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší). In *Sbírka zákonů České republiky*. 2002, částka 38, s. 1786-1840.
- [36] HŘEBÍČEK, J.; KUBÁSEK, M. *Environmentální informační systémy I* [online]. Brno : Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, 2004 [cit. 2011-01-24]. Monitoring ovzduší, s. . Dostupné z WWW: <<http://www.fi.muni.cz/~hrebicek/eis/>>.
- [37] VACH, M. *Ochrana ovzduší* [online]. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, 2010 [cit. 2011-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://knc.czu.cz/~vachm/ovzdusi/>>.
- [38] *Český hydrometeorologický ústav : Úsek ochrany čistoty ovzduší* [online]. [cit. 2011-01-24]. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2009. Dostupné z WWW: <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/obsah.html>>.
- [39] MARTINS, E. M.; GRACIELA A.; BAUERFELDT, G. F.; PAULA, M. Atmospheric Levels of Aldehydes and BTEX and Their Relationship with Vehicular Fleet Changes in Rio De Janeiro Urban Area. *Chemosphere* 67, 2007, 2096-2103.
- [40] CORREA, S. M.; ARBILLA, G. A Two-year Monitoring Program of Aromatic Hydrocarbons in Rio De Janeiro Downtown Area. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 18, 2007, 539-543.
- [41] SOM, D. et al. Studies on Commuters' Exposure to BTEX in Passenger Cars in Kolkata, India. *Science of the Total Environment* 372, 2007, 426-432.
- [42] GEE, I. L.; SOLLARS, CH. J. Ambient Air Levels of Volatile Organic Compounds in Latin American and Asian Cities. *Chemosphere* 36, 1998, 2497-2506.
- [43] HUANG, M. CH.; LIN, J. J. Characteristics of Major Volatile Organic Hazardous Air Pollutants in the Urban Air of Kaohsiung City. *Environmental Geochemistry and Health* 29, 2007.

-
- [44] BUCZYNSKA, A. J. et al. Atmospheric BTEX-concentrations in an Area with Intensive Street Traffic. *Atmospheric Environment* 43, 2009, 311-318.
- [45] STURARO, A.; RELLA, R.; PARVOLI, G.; FERRARA, D. Long-term Phenol, Cresols and BTEX Monitoring in Urban Air. *Environmental Monitoring and Assessment* 164, 2010, 93-100.
- [46] MURENA, F. Air Quality Nearby Road Traffic Tunnel Portals: BTEX Monitoring. *Journal of Environmental Sciences-china* 19, 2007, 578-583.
- [47] CASELLI, M.; GENNARO, G. de; MARZOCCA, A.; TRIZIO, L.; TUTINO, M. Assessment of the Impact of the Vehicular Traffic on BTEX Concentration in Ring Roads in Urban Areas of Bari (Italy). *Chemosphere* 81, 2010, 306-311.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AIM	Automatický imisní monitoring.
BTEX	Benzen, toluen, ethylbenzen, xyleny.
CEN	Evropský výbor pro normalizaci (European Committee for Standardization).
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav.
ČR	Česká republika.
ČSN	Česká technická norma.
ECD	Detektor elektronového záchytu (Electron Capture Detector).
EU	Evropská unie.
FID	Plamenoionizační detektor (Flame Ionization Detector).
FT	Fakulta technologická.
FT UTB	Fakulta technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.
GC	Plynová chromatografie (Gas Chromatography).
GPS	Globální polohový systém (Global Positioning System).
HCs	Uhlovodíky (Hydrocarbons).
IARC	Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (International Agency for Research on Cancer).
IPPC	Integrovaná prevence a omezování znečištění (Integrated Pollution Prevention and Control).
ISKO	Informační systém kvality ovzduší.
MS	Hmotnostní spektrometrie (Mass Spectrometry).
NM VOCs	Ne-methanické těkavé organické látky (Non-Methane Volatile Organic Compounds).
OSN	Organizace Spojených Národů.
PAHs	Polycyklické aromatické uhlovodíky (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons).
PCDD	Polychlorované dibenzo-p-dioxiny.

PCDF	Polychlorované dibenzofurany.
PEG	Polyethylenglykol.
PM ₁₀	Polétavý prach (aerosol) o velikosti částic menších než 10 µg.
POCP	Fotochemický potenciál tvorby ozonu (Photochemical Ozone Creation Potential).
PTFE	Polytetrafluorethylen.
ROGs	Reaktivní organické plyny (Reactive Organic Gases).
UIOZP	Ústav inženýrství ochrany životního prostředí.
UNECE	Evropská hospodářská komise OSN (United Nations Economic Commission for Europe).
US EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí (United States Environmental Protection Agency).
USA	United States of America.
VOC	Těkavá organická látka (Volatile Organic Compound).
VOCs	Těkavé organické látky (Volatile Organic Compounds).

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Mapa odběrového místa	39
<i>Obr. 2</i> Detail odběrové aparatury	39
<i>Obr. 3</i> Umístění odběrové aparatury a sorpční trubičky s aktivním uhlím	40
<i>Obr. 4</i> Směrování sorpční trubičky s aktivním uhlím do prostoru zahrady.....	40
<i>Obr. 5</i> Vyrobený tepelně izolační box s odběrovou aparaturou.....	41
<i>Obr. 6</i> Uzavřený tepelně izolační box pro odběry v zimních měsících.....	41
<i>Obr. 7</i> Mapa odběrového místa	42
<i>Obr. 8</i> Detail odběrové aparatury	43
<i>Obr. 9</i> Vyústění sorpční trubičky a digitálního termohygrometru.....	43
<i>Obr. 10</i> Směrování sorpční trubičky s aktivním uhlím do prostoru ulice Trávník	44
<i>Obr. 11</i> Pozad'ová předměstská stanice AIM pro Zlín	44
<i>Obr. 12</i> Průběh kalibrační křivky benzenu	47
<i>Obr. 13</i> Průběh kalibrační křivky toluenu	48
<i>Obr. 14</i> Průběh kalibrační křivky ethylbenzenu	48
<i>Obr. 15</i> Průběh kalibrační křivky p-xylenu	49
<i>Obr. 16</i> Průběh kalibrační křivky m-xylenu	49
<i>Obr. 17</i> Průběh kalibrační křivky o-xylenu	50
<i>Obr. 18</i> GC záznam připraveného kalibračního standardu S3 s vyznačením stanovovaných látek a jejich retenčních časů	51
<i>Obr. 19</i> GC záznam analýzy první sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010	51
<i>Obr. 20</i> GC záznam analýzy druhé sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010	51
<i>Obr. 21</i> GC záznam analýzy první sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010	52
<i>Obr. 22</i> GC záznam analýzy druhé sekce sorpční trubičky z 6-7.12.2010	52
<i>Obr. 23</i> GC záznam blanku z 6-10.12.2011	52
<i>Obr. 24</i> Vývoj koncentrací benzenu na jednotlivých odběrových lokalitách (včetně hodnot z ČHMÚ) v době od dubna 2010 do března 2011	68
<i>Obr. 25</i> Vývoj koncentrací toluenu na jednotlivých odběrových lokalitách (včetně hodnot z ČHMÚ) v době od dubna 2010 do března 2011	69
<i>Obr. 26</i> Vývoj koncentrací ethylbenzenu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011.....	70

<i>Obr. 27 Vývoj koncentrací p-xylenu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 28 Vývoj koncentrací m-xylenu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 29 Vývoj koncentrací o-xylenu na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 30 Vývoj koncentrací sumy BTEX na jednotlivých odběrových lokalitách v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 31 Vývoj koncentrací jednotlivých stanovovaných látek v době od dubna 2010 do března 2011 (lokalita firmy EKOME, spol. s r.o.)</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 32 Vývoj koncentrací jednotlivých stanovovaných látek v době od dubna 2010 do března 2011 (lokalita FT UTB)</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 33 Ukázka vlivu průměrné teploty na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 34 Ukázka vlivu průměrné vlhkosti na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 35 Ukázka vlivu průměrného tlaku na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 36 Ukázka vlivu průměrné rychlosti větru na koncentrace sumy BTEX v době od dubna 2010 do března 2011</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 37 Bodový graf vyjadřující míru těsnosti a vzájemné souvislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a naměřenými teplotami</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 38 Bodový graf vyjadřující míru těsnosti a vzájemné souvislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a naměřenými teplotami</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 39 Bodový graf vyjadřující míru těsnosti a vzájemné souvislosti mezi naměřenými koncentracemi sumy BTEX a naměřenými relativními vlhkostmi</i>	<i>83</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Relativní reaktivita uhlovodíků s •OH radikálem.....</i>	16
<i>Tab. 2 Klasifikace VOCs podle jejich fotochemického potenciálu tvorby ozonu</i>	17
<i>Tab. 3 Limitní hodnoty benzenu pro ochranu zdraví.....</i>	21
<i>Tab. 4 Hodnoty (median) a rozmezí koncentrací ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) z personálního monitoringu <i>BTEX v Praze</i></i>	28
<i>Tab. 5 Přehled retenčních časů stanovovaných látek.....</i>	50
<i>Tab. 6 Přehled meteorologických podmínek.....</i>	55
<i>Tab. 7 Přehled meteorologických podmínek.....</i>	57
<i>Tab. 8 Vypočítané koncentrace stanovovaných látek v 1 m^3 odebraného vzduchu <i>přepočtené na normální podmínky</i></i>	60
<i>Tab. 9 Vypočítané koncentrace stanovovaných látek v 1 m^3 odebraného vzduchu <i>přepočtené na normální podmínky</i></i>	64
<i>Tab. 10 Velikosti korelačních koeficientů odpovídajících míře závislosti mezi <i>naměřenými koncentracemi sumy BTEX a meteorologickými podmínkami.....</i></i>	80
<i>Tab. 11 Velikosti korelačních koeficientů odpovídajících míře závislosti mezi <i>naměřenými koncentracemi sumy BTEX a meteorologickými podmínkami.....</i></i>	81

EVIDENČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

Sigla (místo uložení diplomové práce)	Ústřední knihovna UTB ve Zlíně
Název diplomové práce	Vývoj imisní koncentrace BTEX na vybraných lokalitách ve Zlíně v roce 2010-2011
Autor diplomové práce	Bc. Pavel Ujčík
Vedoucí diplomové práce	Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.
Vysoká škola	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Adresa vysoké školy	nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín
Fakulta (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Fakulta technologická, nám. T. G. Masaryka 275, 762 72 Zlín
Katedra (adresa, pokud je jiná než adresa VŠ)	Ústav inženýrství ochrany životního prostředí
Rok obhájení DP	2011
Počet stran	96
Počet svazků	3
Vybavení (obrázky, tabulky...)	39 obrázků, 11 tabulek
Klíčová slova	BTEX, těkavé organické látky, imise, EKOME, FT UTB, plynová chromatografie