

PERSONÁLNÍ MONITORING VOC

Ing. Vlasta Švecová
MUDr. Radim J. Šrám, DrSc.

Oddělení genetické ekotoxikologie, Ústav experimentální medicíny AV ČR, v. v. i.
a Zdravotní ústav Středočeského kraje, Praha

ÚVOD

Praha je jedním z nejméně zatížených měst Evropy z hlediska znečištění ovzduší. Na negativní dopady různých polutantů na lidské zdraví se dnes upozorňuje již po celém světě. Jedním z hlavních zdrojů znečištění ovzduší ve městech je automobilová doprava. Významnou složku zde představují prachové částice a aromatické uhlovodíky, vzhledem k jejich rozšíření a biologické účinnosti.

Těkavé organické látky (VOC – volatile organic compounds) jsou všechny organické sloučeniny antropogenního původu, jiné než metan, které jsou schopné vytvářet fotochemické oxidanty reakcí s NO_x v přítomnosti slunečního záření (resp. jsou to látky, jejichž tlak sytých par při 20 °C je roven nebo větší než 1,3 kPa. Tuto podmínku splňuje většina organických sloučenin).

Těkavé organické látky jsou obsaženy nebo vznikají při výrobě mnoha hromadně užívaných produktů, jako jsou např. rozpouštědla, paliva, barvy a nátěrové hmoty, čisticí a kosmetické přípravky atd. Rozhodujícím zdrojem atmosférických emisí VOC je automobilová doprava [1]. Zaměřili jsme se na aromatické uhlovodíky vzhledem k jejich zvýšené toxicitě. Ty patří mezi významnou složku výfukových plynů. Dalším velkým zdrojem emisí těchto uhlovodíků jsou ztráty vypařováním při manipulaci, skladování a distribuci benzínů. Emise z mobilních zdrojů představují cca 85 % celkových emisí aromatických uhlovodíků, přičemž převládající část připadá na emise z výfukových plynů. Odhaduje se, že zbývajících 15 % emisí pochází ze stacionárních zdrojů, rozhodující podíl přitom připadá na procesy produkující aromatické uhlovodíky a procesy, kde se tyto sloučeniny používají k výrobě dalších chemikálií [2]. Množství VOC a jejich zastoupení ve výfukových plynech závisí na typu motoru, druhu použitého paliva, na režimu a seřízení motoru a na dalších podmínkách. Světové odhadované emise VOC při provozu pístových spalovacích motorů se pohybují v desítkách milonů tun ročně. Dle různých výzkumů se dieselové mo-

tory podílejí na emisích VOC přibližně v rozsahu 17–18 %, benzínové motory 67–72 % a odpařením pohonných hmot se jich do ovzduší dostává 12–14 % [1].

Hladiny ve venkovním ovzduší některých lokalit zatížených dopravou dosahují běžně desítky $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. VOC snadno na vzduchu reagují s oxidy dusíku a účastní se tak na vzniku agresivních smogů působících škodlivě nejen na zdraví lidí, ale i na zemědělskou a lesní vegetaci, akcelerující korozi a stárnutí různých materiálů.

Mezi jedny z nejvýznamnějších prekurzorů fotochemického smogu – znečišťující látky vstupující do fotochemických reakcí vedoucích ke vzniku troposférického (přízemního) ozónu – patří právě aromatické uhlovodíky: benzen, toluen, etylbenzen a xylen [1].

Při zkoumání významných negativních účinků na lidské zdraví jsme se věnovali této problematice s cílem zjistit, jakým koncentracím VOC jsou obyvatelé hlavního města Prahy vystaveni, a zda a jak velké to pro ně může představovat zdravotní riziko.

V literatuře popisovaná zdravotní rizika spojená s expozicí VOC můžeme rozdělit do 4 hlavních kategorií: akutní účinky iritační, karcinogenita, neurobehaviorální vlivy, hepatotoxické a nefrotoxické působení [3]. VOC také vyvolávají oxidační poškození, které může vést k urychlení procesu stárnutí a výskytu kardiovaskulárních chorob. Ve vysokých koncentracích mohou VOC způsobovat akutní podráždění očních spojivek a respiračního traktu, bolesti hlavy, závratě, mdloby, celkový pocit malátnosti, nevolnosti. Tyto účinky jsou reverzibilní, mizí, je-li expozice ukončena nebo radikálně snížena. Synergie mezi jednotlivými složkami VOC mohou zdůraznit zdravotní vlivy některých látek ze širokého spektra VOC. Látky s relativně nízkou toxicitou mohou někdy zvýšit toxický vliv jiných. Studie očekávaných synergických účinků jsou však v samých počátcích. Některé VOC, jako např. benzen, byly dobře dokumentovány jako lidské karcinogeny, což vedlo k radikálnímu omezení jejich užití v řadě lidských činností. Dlouhodobá expozice benzenu je na základě

mnohaletých zkušeností pracovního lékařství dávána do kauzální souvislosti s leukémií (IARC [4]). Dlouhodobé neurobehaviorální vlivy VOC se klinicky projevují zejména poškozením kognitivních funkcí, paměti a koordinace.

Benzen je složkou surové ropy a v Evropě je přítomen v automobilovém benzínu v podílu kolem 5 %, někdy i více než 10 %. V USA dnes obsah benzenu v motorovém benzínu nepřekračuje 1,5–2 %. Hlavními zdroji benzenu jsou kromě emisí z dopravních prostředků a vypařování během manipulace, distribuce a skladování paliva, také aktivní a pasivní kouření [5]. Koncentrace benzenu v ovzduší obytných oblastí se pohybuje většinou v rozmezí 3–30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,001–0,01 ppm) v závislosti na intenzitě dopravy. Prahový denní příjem benzenu inhalační cestou může být v rozmezí od 30 do 300 μg . Denní příjem z jídla a vody je odhadnut na 100–250 μg . U lidí kouřících 20 cigaret denně může denní příjem překročit i 600 μg . Benzen se nachází jak ve vnitřním prostředí budov, tak i v zevním, volném ovzduší. Toxický vliv benzenu pocházejícího z inhalační expozice zahrnuje u lidí vlivy na centrální nervovou soustavu, hematologické a imunologické vlivy. Trvalá expozice toxickým koncentracím může způsobit poškození kostní dřeně a zvyšuje pravděpodobnost vzniku leukémie [6]. Přibližně polovina benzenu z vdechovaného vzduchu je absorbována. Vzhledem k jeho vysoké rozpustnosti v tukách je benzen distribuován do tkání bohatých na tuk, jako jsou tuková tkáň, kostní dřeň a mozek. Benzen je oxidován systémem oxidáz závislých na cytochromu P450. Část absorbovaného benzenu je vydechována nezměněna a část je po biotransformaci vyloučena močí. Toxické vlivy mohou být pozorovány při velmi vysokých úrovních expozice (3200 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ nebo 1000 ppm) s objevením se neurotoxického syndromu. S vyšší expozicí je spojen zánět respiračního traktu a krvácení do plic. Trvalá expozice toxickým koncentracím může způsobit poškození kostní dřeně vedoucí k pancytopenii. Ta byla pozorována v některých studiích, ve kterých byli pracovníci vystaveni

Tabulka 1 Hodnoty (median) a rozmezí koncentrací (g/m³) z personálního monitoringu BTEX v Praze.

Skupiny	N	benzen	toluen	ethylbenzen	m,p-xylen	o-xylen
řidiči (léto 2006)	50	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)	50	7,9 (2,6-110,0)***	22,5 (5,5-410,0)	3,8 (1,3-21,0)**	11,0 (4,1-66,0)***	3,4 (1,4-19,0)***
kontroly (léto 2006)	50	4,9 (1,1-35)	26,0 (4-1700)	3,1 (1-47)	9,3 (3,3-150)	3,0 (1-45)
kontroly (zima 2006)	50	5,1 (2,3-31,0)	24,0 (5,9-780,0)	4,1 (1,0-79,0)	12,0 (2,8-320,0)	3,4 (1,1-140,0)
pracovníci garáží (léto 2006)	20	18,5 (5-280)***	335,0 (11-8600)*	19,5 (4,6-4700)***	55,0 (11-450)***	17,5 (4,5-110)**
pracovníci garáží (zima 2006)	20	6,8 (4,7-76,0)	63,0 (15,0-19000,0)	5,8 (2,8-36,0)	15,5 (8,0-66,0)	6,2 (2,8-35,0)
strážníci (zima 2007)	60	5 (3,4-38)***	8,8 (3,8-490)*	2,2 (0,61-160)	7,5 (1,7-580)	2,7 (0,61-200)*
strážníci (léto 2007)	60	3,35 (1,7-47)	7,65 (2,5-339)	2 (0,51-77,8)	6,55 (1,6-266)	2,25 (0,53-100)

Vysvětlivky: N, počet osob ve skupině, Mann-Whitney U-test – srovnání skupin zima vs. léto, *** P 0,001, ** P 0,01, * P 0,05.

vysokým koncentracím benzenu. Karcinogenní vliv benzenu byl prokázán nejen na pokusných zvířatech, ale byl popsán i u lidí profesionálně exponovaných benzenu, kteří mají vyšší pravděpodobnost postižení akutní leukémií než běžná populace. Benzen je prokázaným lidským karcinogenem ve skupině 1 IARC [4], zařazený do skupiny A podle US EPA [7]. Pro benzen vyskytující se v ovzduší nelze doporučit žádnou bezpečnou úroveň, protože benzen je pro lidský organismus karcinogenní a není známa žádná jeho bezpečná prahová koncentrace [5]. Průměrná hodnota vypočtená z odhadů pro celoživotní riziko leukémie pro koncentraci benzenu v ovzduší 1 g.m⁻³ je 6.10⁻⁶ [5, 8].

MATERIÁL A METODY

Sledovány byly BTEX látky, tedy benzen, toluen, etylbenzen, m,p-xylen a o-xylen.

První část personálního monitoringu BTEX 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. Všechny vybrané osoby byly nekuřáci. Monitorování proběhlo ve dvou obdobích: v létě a v zimě roku 2006.

Druhá část personálního monitoringu BTEX se uskutečnila ve spolupráci s městskými strážníky hl.m. Prahy. Zde spolupracovalo 60 strážníků. Monitorovací kampaň se konala v zimě a v létě roku 2007. V obou případech se expozice měřila 24 hodin. Řidiči autobusů i městští strážníci se pohybovali v centru Prahy. Každý účastník studie vyplnil dotazník o životním stylu a zdravot-

ním stavu. Před zahájením monitoringu byli účastníci studie seznámeni s cíli studie a podepsali informovaný souhlas s svou účastí ve studii. Vždy byl použit stejný postup měření BTEX pomocí difúzních pasivních dozimetru Radiello® (obr. 1-3; viz obálka, str. 3).

Odběrové zařízení

Odběry vzorků ovzduší pro stanovení koncentrací BTEX byly prováděny difúzními pasivními dozimetry Radiello®, které se skládají ze 3 částí (obr. 1; viz obálka, str. 3) – z difúzního porézního válcového držáku, který je opakovaně použitelný, z adsorpční kolony a z trojúhelníkové podkladové destičky. Pro vzorkování v terénu je kolonka umístěna horizontálně směrem k podkladové destičce, u osobních odběrů vertikálně (obr. 2, 3; viz obálka, str. 3).

Byly použity kovové kolony o průměru 4,8 mm, naplněné grafitizovaným dřevěným uhlím. Tyto kolony byly vždy mimo samotný odběr skladovány a pevně uzavřeny v kovových patronách, aby nedošlo k sekundární kontaminaci vzorků. Kolony jsou opakovaně použitelné. Po otevření patrony se kolony okamžitě přenesou do difúzního porézního válcového držáku.

Byl použit žlutý držák z mikroporézního polyetyleny, s tloušťkou stěny 5 mm, průměrnou porozitou 10 ± 2 m a délkou difúzní cesty 150 mm.

Difúzní držák se zašroubuje do podkladové destičky z polykarbonátu, která slouží jednak jako podstavec a jednak jako uzávěr difúzního držáku a nechá se exponovat [9-11].

Příprava a zpracování vzorků

Kolony pro vzorkování jsou kontrolovány a vyčištěny vždy bezprostředně před každým vzorkováním akreditovanou laboratoří. Každý vzorek byl označen vlastním identifikačním číslem a bylo zaznamená-

no konkrétní datum a přesný čas začátku a konce vzorkování. Při předávání vzorků akreditované laboratoři pro zpracování byl vždy vyhotoven předávací protokol se seznamem jednotlivých vzorků, jejich identifikačními čísly, datem vzorkování a doby vzorkování pro každý jednotlivý vzorek zvlášť pro přepočítání konkrétních koncentrací. Při každém převozu vzorků byl přítomem kontrolní vzorek pro vyloučení sekundární kontaminace vzorků.

Analýza odebraných vzorků

Analýzy byly prováděny akreditovaným pracovištěm ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic, s.r.o., Praha. Princip analýzy: analyty jsou ze sorbentu získávány termální desorpce, jdou do plynového chromatografu a následně jsou detekovány plamenno-ionizačním detektorem (FID).

Meze stanovení jsou 0,1–500 g.m⁻³ pro benzen, toluen, etylbenzen a o-xylen, pro m,p-xyleny až 1000 g.m⁻³ u 24 hodinového vzorkování. Pro jednotlivé analyty 5 – 20 000 ng /trubičku.

Pasivní vzorkování

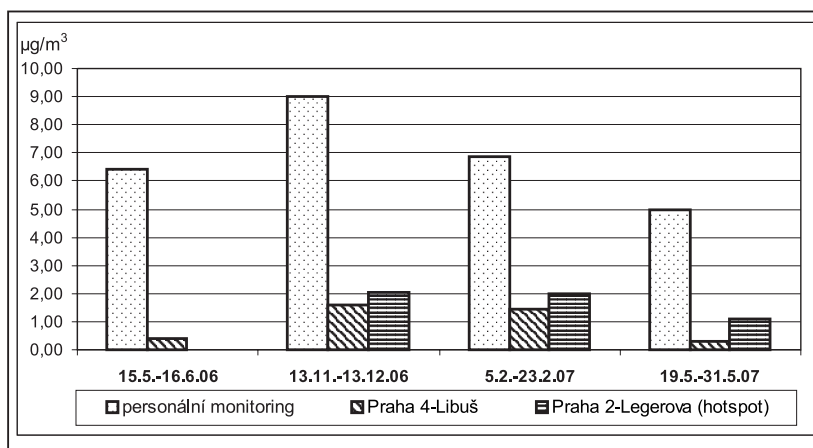
Nespornou výhodou pasivního vzorkování je, že nepotřebuje čerpací systém a nemá problémy s dostupností zdroje energie. Pasivní odběry jsou nenáročné, nehlukné a může je v zásadě použít každý v jakémkoli prostředí. Difúzní radiální pasivní dozimetry mají díky své geometrii ve srovnání s axiálními dozimetry celou řadu výhod, např. až 3-krát vyšší rychlost sorpce.

Difúzní pasivní dozimetry Radiello® funguje na principu difúze, což je proces, při kterém v koncentračně nehomogenním systému dochází k samovolnému vyrovnávání koncentrací. Naadsorbované látky se posouvají ke středu dozimetru (koncentrace má gaussovský profil) a ponechávají tak vrchní vrstvu k dispo-

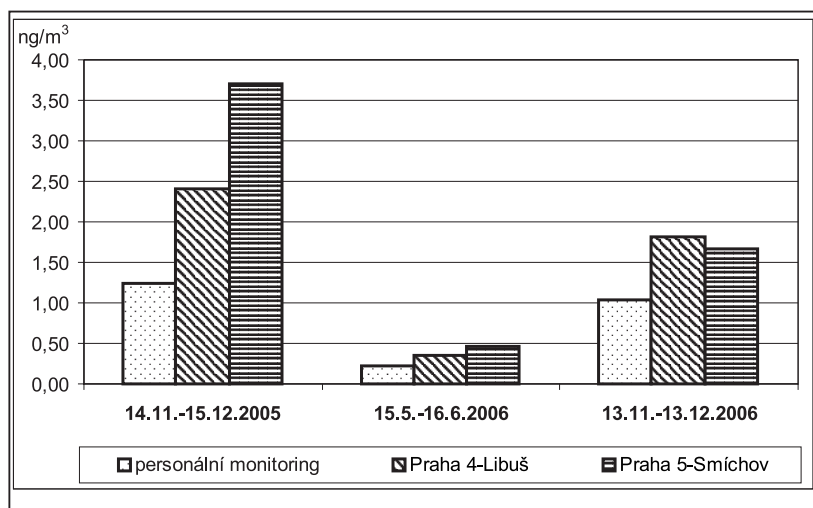
Tabulka 2 Koncentrace VOC ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ve světě.

město	benzen		toluen	ethylbenzen	m,p-xylen	o-xylen	citace
Cotonou, Benin	76,0 (+/-26,8) město	3,4(+/-3,0) vesnice					14
Kodaň, DK	2,5		18,7				15
Delft, NL	2,6 (15m od silnice)	1,9 (305m od silnice)					16
Overschie, NL	1,8 (15m od silnice)	1,9 (133m od silnice)					16
Amsterdam, NL	20 (při chůzi)	12 (okraj silnice)					17
New York City, USA	4,7	zima	15,5	2,24	6,71	2,24	18
	3,09	léto	37,4	3,37	10,9	3,93	18
Řím, I	9,3 (dopravní policie)	3,8 (úřadovna policie)					19
Atény, GR	13,1-24,6 (personální)	6,0-13,4 (domácí)					20
Biella, I	10,3 (centrum)	2,3 (předměstská oblast)					21
Mexico City, MEX	14						22

Obr. 7 Hodnoty personálního a stacionárního monitoringu benzenu ve stejném období v Praze



Obr. 8 Hodnoty personálního a stacionárního monitoringu benzoapyrenu ve stejném období v Praze



zici pro další sorpci. Rychlost sorpce závisí na rychlosti difúze látek přes inertní porézní stěnu, která má nízký difúzní koeficient [9].

Výhody pasivních difúzních dozimetřů Radiello® jsou nízké detekční limity a vysoká adsorpční kapacita, doba expozice od 15 minut do 30 dnů, měření koncentrací od 1 ppb k více než 1 000 ppm, další analýzy jako termální desorpce a GC-MS a možné zpracování velkého množství vzorků [9].

Vyhodnocení výsledků

Statistické výpočty a grafy byly prováděny programem Microsoft Excel 2000® v operačním systému WINDOWS® XP Professional. Pro statistickou analýzu byl použit Mann-Whitney U-test a Pair Sign test.

VÝSLEDKY

Výsledky analýz jsou shrnuty v **tabulce 1** a na **obr. 4 a 5**. Nejvyšší

koncentrace benzenu a dalších VOC byly zjištěny u pracovníků v garážích v létě 2006 ($P < 0.001$).

Srovnání koncentrací VOC z personálního monitoringu osob pohybujících se v centru hlavního města Prahy v roce 2006 i 2007 je uvedeno na **obr. 5** (viz obálka, str. 3). Zatímco u kontrol nejsou mezi létem a zimou rozdíly, u řidičů ($P < 0.001$) i strážníků ($P < 0.001$) jsou koncentrace benzenu významně vyšší v zimě. V zimě byly také vyšší koncentrace benzenu u skupiny řidičů ve srovnání se skupinou kontrol ($P < 0.001$). Expozice VOC, zejména benzenu, byly u řidičů autobusů v zimě i v létě 2006 vyšší než u městských strážníků v zimě i v létě 2007 ($P < 0.001$).

Měsíční koncentrace benzenu ze stacionárního monitoringu ČHMÚ za období 2002-2006 ze stanic Praha 5-Smichov jsou uvedeny na **obr. 6** (viz obálka, str. 3).

Ze srovnání průměrných hodnot koncentrací benzenu personálního a stacionárního monitoringu (**obr. 7**) vyplývá, že koncentrace zjištěvané personálním monitoringem jsou cca 3-5 krát vyšší.

DISKUSE

Cílem prezentované studie bylo změřit personálními monitory koncentrace VOC (BTEX), kterým mohou být občané Prahy vystaveni. Zvolena byla skupina řidičů autobusů a městských strážníků s předpokladem, že většinu své pracovní doby tráví ve městě vystaveni ovzduší výrazně znečištěnému výfukovými plyny a dalšími škodlivinami. Získané výsledky prokazují vyšší zátěž obou skupin v zimních měsících, expozice řidičů autobusů byla v obou ročních obdobích vyšší než u městských strážníků. Protože obě skupiny nebyly sledovány ve stejném období (2006 vs. 2007),

Tabulka 3 Koncentrace VOC ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) v různých typech dopravy 12.

	město	auto	autobus	kolo	chůze	u silnice	citace
benzen	Amsterdam	60		20	20	12	23
	Birmingham	7.7				2.9	24
	Kodaň	5.2				2.9	25
	Kodaň	14.4		5.2			26
	Korea	33.1	20.7				27
toluen	Birmingham	31				5.5	24
	Kodaň	69.3		20.6			26
	Korea	233	153				27
ethylbenzen	Kodaň	66.7		18.1			26

mohou být rozdíly ovlivněny i meteorologickými podmínkami. Nejvyšší koncentrace benzenu u řidičů autobusů může být vysvětlována expozicí emisím z výfukových plynů.

Nejvyšší koncentrace VOC byly zjištěny v létě 2006 u pracovníků garáží, s výjimkou benzenu i v zimě 2006. Expozice odpovídá patrně charakteru práce. Získané poznatky budou využity pro doporučení úprav technologických zařízení na účinné odvětrávání garážových prostor.

Význam personálního monitoringu VOC, kdy jsou pozorovány několikanásobně vyšší koncentrace, než jsou hodnoty stacionárního monitoringu, prokazuje srovnání s koncentracemi benzo[a]pyrenu u řidičů autobusů, kdy jsou hodnoty z personálního monitoringu benzoapyrenu v roce 2005 a 2006 významně nižší než koncentrace naměřené na stacionárních stanicích (obr. 8).

Skutečnost, že Praha není nejvíce zatíženou lokalitou benzenem v České republice, ukazuje obrázek 9 (viz obálka, str. 3), kde jsou zobrazeny průměrné měsíční hodnoty monitorovací stanice ČHMÚ v Ostravě-Přívozu. Ostravské hodnoty jsou za posledních 5 let 3x vyšší než hodnoty na měřicí stanici v Praze 5-Smíchově (obr. 6; viz obálka, str. 3), která je charakterizována jako stanice dopravní, městská a zároveň rezidenčně obchodní. Je umístěna přímo nad ústím Strahovského tunelu, který je součástí městského okruhu Prahy, kde projíždí denně více než 100 000 automobilů [13]. Pokud nejvyšší hodnoty benzenu v lednu roku 2006 v Praze dosahují $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na stanicích v Praze 2-Legerova a Praze 5-Smíchov, na monitorovací stanici Ostrava-Přívoz hodnoty často v průběhu celého roku 2006 přesahují $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Koncentrace v Ostravě-Přívozu v roce 2006 dokonce 18-krát přesáhly hodnotu $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a nejvyšší hodnotou je 130

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, která byla naměřena 9. ledna 2006. Pokud toto jsou hodnoty ze stacionárního monitoringu, je otázkou, jakým koncentracím VOC jsou obyvatelé Ostravy vystaveni. Proto by měly být koncentrace VOC na Ostravsku ověřeny personálním monitoringem.

Tabulka 2 ukazuje hodnoty BTEX dle dostupných údajů ve světě. Z těchto koncentrací můžeme vyvodit, že Praha patří mezi více zatížené lokality, koncentrace BTEX se dají srovnat s koncentracemi v New Yorku [18] či Kodani [15]. Vyšší koncentrace benzenu však najdeme v Římě [19], Mexiku [22], Aténách [20] a také na africkém kontinentu ve městě Cotonou ve státě Benin s koncentracemi $76 \pm 26,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na západním pobřeží Afriky. Bylo zde také prokázáno výrazně vyšší genetické poškození u lidí žijících ve městě v porovnání s osobami žijícími na vesnicích, kde jsou uváděny koncentrace benzenu řádově nižší $3,4 \pm 3,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [14]. Studie z Dánska ukazují, že i nižší koncentrace benzenu ve venkovním ovzduší mohou mít genotoxický efekt u vnímavých jedinců [15]. Norské studie poukazují na zvýšení rizika hospitalizace na dýchací problémy ve dnech s vyššími koncentracemi benzenu, formaldehydu a toluenu [28, 29]. ISAAC mezinárodní studie astmatu a alergií u dětí v Drážďanech našla spojitost mezi sníženou funkcí plic u dětí exponovaných vyšším hodnotám benzenu [30].

Oproti zevnímu ovzduší byly několikanásobně vyšší koncentrace benzenu nalezeny v interiérech automobilů (desítky až stovky $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Extrémně vysoké koncentrace benzenu jsou nalézány v ovzduší v prostoru benzínových čerpadel (řádově tisíce $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 8. To se odrazilo i ve studii kumulativního rizika výskytu akutní myeloidní leukémie u majitelů motorových vozidel ve Velké Británii, která prokázala statisticky významnou asociaci narozdíl od je-

jí incidence u nemotorizovaného obyvatelstva 31. Studie z různých zemí (tabulka 3) ukazují, že lidé užívající denně automobilu k jízdě do práce jsou ve zvýšené míře exponováni benzenem (ale také etylbenzenem, toluenu, formaldehydu a xylenům), přičemž toto pravidelné cestování automobilem může představovat asi 15–60 % celkové expozice benzenu či dalším VOC 32-36.

V ČR byl stanoven imisní limit pro benzen nařízením vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší, ve výši $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pro roční průměr s mezí tolerance $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, která musí do 1.1.2010 dosáhnout nulové hodnoty [37]. Jelikož většina osob v průběhu monitorování této hodnoty běžně dosahovala, je otázkou, zda limit stanovený jako roční průměrná koncentrace ze stacionárního měření je pro prokázání lidského karcinogen vyhovující. Zatím nelze stanovit bezpečnou koncentraci benzenu v ovzduší, protože není známa žádná jeho bezpečná prahová koncentrace [5] a emise by se proto měly snížit na minimum.

Závěr

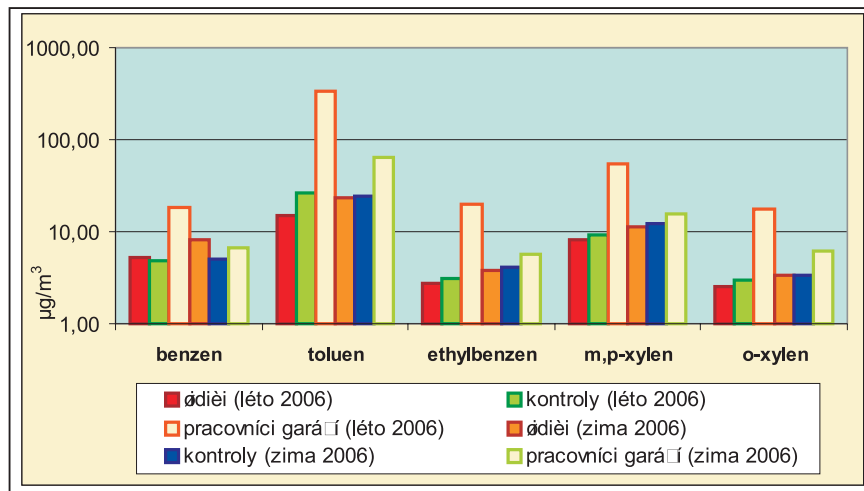
Tato studie ukázala, jakým koncentracím BTEX mohou být obyvatelé Prahy vystaveni a jak výrazně se hodnoty benzenu z personálního monitoringu liší od koncentrací naměřených na stacionárních stanicích. Z těchto důvodů by bylo jisté přínosem pro životní prostředí i zdravotní stav populace, aby byl i personální monitoring zahrnut do procesu rozhodování o budoucích imisních limitech u takto závažných znečišťujících látek.

Environmentální i pracovní expozice VOC mohou být sníženy preventivními opatřeními ve městech, mezi která patří například dopravní omezení uvnitř měst, funkční obchvaty měst, snížení obsahu aromatických uhlovodíků v palivech, kvalitní zachycování výparů pohonných hmot na čerpacích stanicích, zpřísnění norem a důsledná kontrola používání starších a neseřizovaných vozidel ve stanicích technické kontroly.

Poděkování

Studie byla provedena s finanční podporou Ministerstva životního prostředí ČR (grant VaV-SL/5/160/05) a Akademie věd ČR (grant IQS500390506).

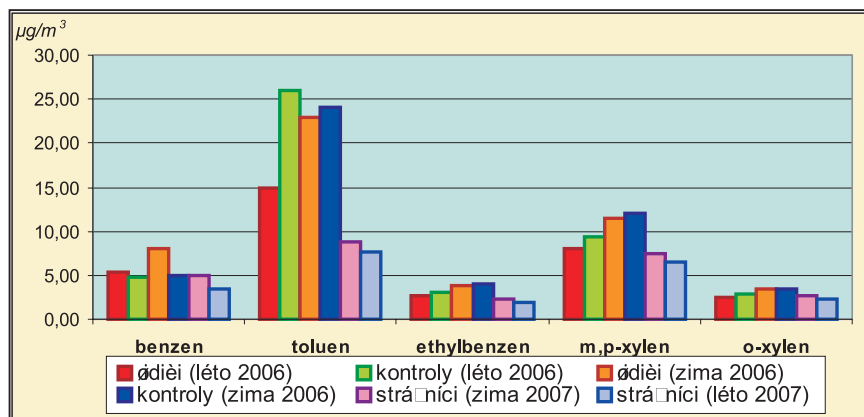
Obr. 4 Hodnoty VOC (median) z personálního monitoringu v Praze u studie řidičů autobusů



Obr.1 Pasivní dozimetr Radiello®



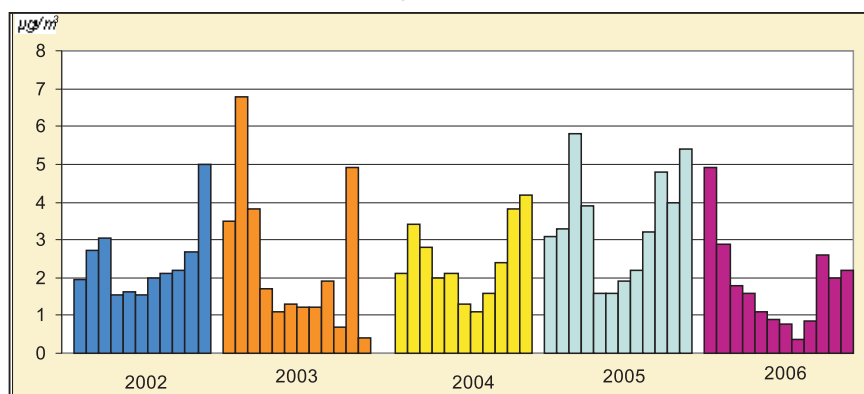
Obr. 5 Hodnoty VOC (median) z personálního monitoringu v Praze v letech 2006 a 2007



Obr. 2



Obr. 6 Benzen - stacionární monitoring ČHMÚ Praha 5 – Smíchov



Obr. 3



Obr. 9 Benzen - stacionární monitoring ČHMÚ Ostrava-Prívov

