



Concentration of benzene and its alkyl derivatives in Gliwice air

Barbara KOZIELSKA¹

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Ochrony Powietrza, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, tel. 032 2371530, e-mail: barbara.kozielska@polsl.pl

Abstract

This paper presents the results of measurements of concentrations of benzene and its alkyl derivatives such as: toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) in the air, which are considered as indicators of human exposure to VOCs. Research were carried out in Gliwice (Upper Silesia, Poland), in November and December 2009, in the peak traffic period (2400-2800 cars per hour). The measurements were done at the background point as well as at two points oriented at communicational sources. Active sampling method with enrichment on solid sorbent tubes, was used, after which thermal desorption (TD) and direct determination by gas chromatography (GC-FID) were applied. Average concentrations for the points representing communication and the background, were found respectively for benzene - 10.09 and 6.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, toluene - 12.80 and 3.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ethylbenzene - 2.77 and 0.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, total xylenes - 4.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 1.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. During the measurement period reference values of the test compounds were not exceeded.

Keywords: atmospheric air, BTEX, TD-GC, Tenax GR, Tenax TA, transport pollutants

Streszczenie

Poziomy stężenie benzenu i jego alkilowych pochodnych w powietrzu atmosferycznym w Gliwicach

W pracy zaprezentowano wyniki pomiarów stężeń benzenu i jego alkilopochodnych tj.: toluenu, etylobenzenu i ksylenów (BTEX), uznawanych za wskaźniki stopnia narażenia człowieka na działanie LZO, w powietrzu atmosferycznym. Badania prowadzono w Gliwicach w listopadzie i grudniu 2009 roku, w tzw. okresie szczytu komunikacyjnego (2400-2800 samochodów na godzinę). Punkty pomiarowe były zlokalizowane na skrzyżowaniu ruchliwych ulic oraz w punkcie tła. Do poboru próbek wykorzystano metodę aspiracyjną ze wzbogacaniem na stałym złożu, a następnie desorpcję termiczną (TD) i bezpośrednie oznaczenie metodą chromatografii gazowej (GC-FID). Średnie stężenia, dla punktów komunikacyjnych i tła wynosiły odpowiednio dla benzenu 10.09 i 6.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, toluenu 12.80 i 3.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, etylobenzenu 2.77 i 0.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz ksylenów 4.78 i 1.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W okresie pomiarowym nie odnotowano przekroczeń wartości odniesienia dla badanych związków.

Słowa kluczowe: powietrze atmosferyczne, BTEX, TD-GC, Tenax GR i TA, zanieczyszczenia komunikacyjne

1. Wprowadzenie

Obecnie poważnym problemem w środowisku miejskim są zanieczyszczenia emitowane do atmosfery z silników samochodowych, szczególnie w miastach o dużym natężeniu ruchu, gdzie trasy komunikacyjne przebiegają przez obszary o gęstej, zwartej zabudowie. Transport samochodowy staje się dominującym źródłem emisji gazowych i pyłowych zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego. Do substancji gazowych zanieczyszczających powietrze atmosferyczne zalicza się między innymi: tlenki węgla (CO i CO₂), tlenki azotu (NO_x) oraz dużą grupę związków organicznych, zaś wśród pyłowych - szczególnie niebezpieczne są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) i metale toksyczne zaadsorbowane na drobnych cząstkach pyłu.

Duże zagrożenie, jakie niesie za sobą transport samochodowy, wynika ze specyficznych warunków emisji zanieczyszczeń zawartych w spalinach samochodowych. Przede wszystkim są to źródła ruchome i niskie, podczas gdy kierunek wylotu spalin jest z reguły poziomy lub zwrócony nieznacznie ku dołowi, co przy gęstej

zabudowie i niekorzystnych warunkach meteorologicznych sprzyja kumulacji spalin w obrębie szlaku komunikacyjnego i jego najbliższego sąsiedztwa, tuż nad powierzchnią ziemi – w strefie oddychania ludzi.

Wśród związków organicznych zawartych w spalinach, duże negatywne oddziaływanie na powietrze atmosferyczne odgrywają lotne związki organiczne LZO (*ang. Volatile Organic Compounds VOCs*), a wśród nich benzen, toluen, etylobenzen oraz ksyleny (BTEX). Są one uznawane za wskaźniki stopnia narażenia człowieka na działanie LZO. Dlatego badanie poziomu stężenia związków z grupy BTEX jest niezbędne w ogólnej ocenie zagrożenia zdrowia człowieka, ale również stanu środowiska. Dodatkowo, zainteresowanie benzenem, jako przedstawicielem LZO, wiąże się z udowodnioną jego toksycznością oraz działaniem nowotworowym [1]. Ponadto, pochodne benzenu w zdecydowanie większym stopniu biorą udział w powstawaniu ozonu oraz tworzeniu się smogu fotochemicznego.

Głównym źródłem emisji LZO jest spalanie paliw ciekłych. Emisja zwiększa się znacząco przy korzystaniu z pojazdów starszych, nie posiadających sprawnego konwertera katalitycznego. Nie należy bagatelizować również emisji LZO przy procesach wydobywania i magazynowania paliw, przeróbki ropy naftowej, przy produkcji i stosowaniu rozpuszczalników, z przemysłu energetycznego, spożywczego, rolnictwa czy utylizacji odpadów stałych [2,3,4,5].

Na świecie prowadzone są liczne badania monitoringowe LZO. Można je prowadzić metodami manualnymi, automatycznymi [6], czy też pasywnymi, które w ostatnich latach są najczęściej stosowane [7,8,9,10,11]. W metodach manualnych istotny jest pobór próbki i oznaczenie ilościowe. LZO mogą być pobierane metodą izolacyjną do pipet lub tedlarów [12], metodą aspiracyjną poprzez wzbogacanie w sorbentach ciekłych (np. w pentanie) lub stałych, takich jak: węgiel aktywny [13], żel krzemionkowy, Tenax GR i TA. Oznaczenie końcowe - niezależnie od metody poboru - odbywa się metodą chromatografii gazowej GC.

Celem badań było uzyskanie informacji o poziomie stężeń zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym związków z grupy LZO pochodzących z komunikacji. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów stężenia benzenu, toluenu, etylobenzenu oraz ksylenów w dwóch punktach pomiarowych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie ruchliwych skrzyżowań w Gliwicach, w szczycie komunikacyjnym, i w tzw. tle miejskim. Do poboru próbek gazowych zanieczyszczeń wykorzystano metodę aspiracyjną ze wzbogacaniem na stałym sorbencie. Do oznaczeń analitów zastosowano desorpcję termiczną z bezpośrednią analizą chromatograficzną (TD-GC). Dodatkowo mierzono natężenie ruchu samochodowego. Omówiono wyniki pomiarów i porównano je z danymi pochodzącymi z punktów, które miały podobny charakter badawczy.

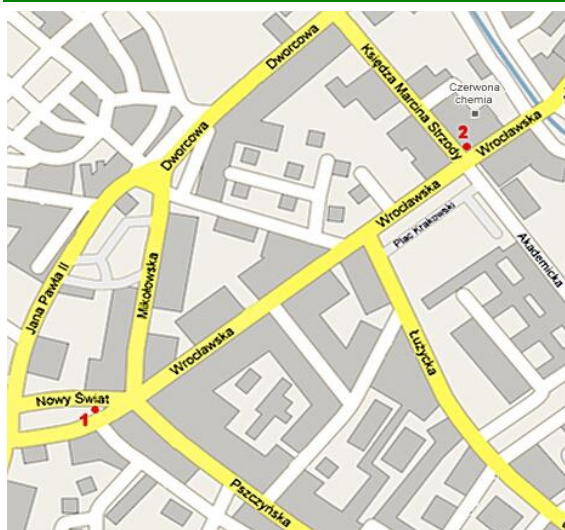
2. Miejsce poboru próbek powietrza

Pomiary stężeń BTEX w Gliwicach prowadzono w okresie zimowym listopad-grudzień 2009 roku w dwóch punktach pomiarowych:

- 1 - skrzyżowanie ulic: Pszczyńskiej, Wrocławskiej, Mikołowskiej i Nowy Świat,
- 2 - skrzyżowanie ulic: Wrocławskiej, Księdza Marcina Strzody i Akademickiej.

Dokładna lokalizacja punktów pomiarowych została przedstawiona na rys. 2.1. Skrzyżowania znajdują się w centrum miasta, charakteryzują się dużym natężeniem ruchu pojazdów; w godzinach szczytu na poziomie około 2400 – 2800 samochodów w okresie 1 godziny. Przy punkcie pomiarowym 1 charakter zabudowy jest zwarty o średniej wysokości – bloki 5 kondygnacyjne; natomiast punkt pomiarowy 2 stanowi obszar, wokół którego zabudowa nie jest tak gęsta jak w punkcie 1, ponadto sąsiaduje on z dużym otwartym terenem – pl. Krakowski. W wybranych miejscach pomiarowych nie ma żadnych ograniczeń, co do ruchu samochodów ciężarowych, które stanowiły ok. 15% wszystkich pojazdów – 320 – 420 w okresie jednej godziny; ponadto jest to obszar o dużym natężeniu ruchu autobusowego – przystanek przy ulicy Nowy Świat oraz przy pl. Krakowskim, stanowiącego ok. 3% całkowitego ruchu.

Punkty pomiarowe zlokalizowane były w odległości 2-3 m od krawędzi jezdni i na wysokości 1,5 m. Temperatura w okresie pomiarowym wahała się w granicach 272 K-283 K, zaś ciśnienie - 978 hPa - 993 hPa. Próbkę pobierano w dni powszednie w momencie największego szczytu, tj. w godzinach od 8⁰⁰ do 10⁰⁰ i od 14⁰⁰ do 17⁰⁰, zarówno w punkcie pomiarowym nr 1 i nr 2. Wykonano również pomiary tła na Lotnisku Aeroklubu w Gliwicach. Miejsce pomiarów dla tła wybrano ze względu na znaczną odległość od najbliższej trasy komunikacyjnej lub innego źródła emisji BTEX oraz braku zabudowy, co umożliwiałoby swobodny przepływ powietrza.



Rys. 2.1. Lokalizacja punktów pomiarowych w Gliwicach [14]

3. Pobór próbek i analiza chromatograficzna

Metodyka poboru próbek zastosowana w pomiarach oparta jest na metodzie US EPA TO-17 [15]. Wykorzystuje ona aspiracyjny pobór próbek, desorpcję termiczną oraz oznaczanie końcowe BTEX metodą chromatografii gazowej z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (GC-FID).

Do poboru wykorzystano oryginalne rurki sorpcyjne wypełnione Tenaxem GR i TA. Przed poborem każda z rurek sorpcyjnych była kondycjonowana w atmosferze helu przez 30 minut w temperaturze 200°C, przy natężeniu przepływu gazu 20 cm³/min.

Próbki powietrza pobierane były przez 30 minut, przy natężeniu przepływu strumienia powietrza 8 dm³/h. Do poboru próbek wykorzystywano aspiratory firmy SKC: model PCXR8 i PCXR4. Przepływ dla obu rodzajów sorbentów został wykalibrowany za pomocą rotametu dla niskich przepływów, zgodnie z instrukcją. Po poborze każda rurka zabezpieczana była dołączonym kompletem nakrętek wraz z uszczelkami oraz składowana do momentu oznaczenia w szczelnym naczyniu w lodówce. Ze względu na zastosowanie jako sorbentu Tenaxu GR posiadającego właściwości hydrofobowe, unikano pobierania próbek bezpośrednio po opadach deszczu lub w ich trakcie. W czasie pomiarów nie stosowano urządzeń osuszających pobierane próbki powietrza, które to mogą prowadzić do utraty analitów [16].

W trakcie pomiarów nie zastosowano dodatkowej rurki połączonej szeregowo za rurką właściwą – na podstawie danych literaturowych przebicie wynosi do 4% masy oznaczonej. Ze względu na zastosowanie w czasie pomiarów dwóch rodzajów złóż sorpcyjnych, przeprowadzono pomiary przy równoczesnym użyciu rurek z Tenaxem GR i TA. Wartości uzyskane były zbliżone do siebie, a odchylenie standardowe obliczone dla tej próby nie przekroczyło 6,8%, zatem próbki pobierane na obu rodzajach złóż uznano za powtarzalne (próg dla odchylenia standardowego wynosi 10%).

Pobrane próbki analizowane były przy wykorzystaniu chromatografii gazowej z użyciem desorbera termicznego. Do oznaczeń wykorzystano chromatograf gazowy firmy Perkin Elmer, model Clarus 500, połączony z termodesorberem Perkin Elmer model Turbo Matrix 100; rejestracja i wyniki analizy prezentowane były przy użyciu komputera stacjonarnego z oprogramowaniem TotalChrom. Zastosowano następujące warunki pracy desorbera:

- temp. zaworu - 200°C,
- temp. linii przesyłowej - 250°C,
- temp. desorpcji rurki - 280°C,
- początkowa temp. pułapki kriogenicznej: -5°C, końcowa 280°C, przyrost temp. na pułapce 40°C/s,

- czas przepłukiwania rurki sorpcyjnej - 1 min,
- czas desorpcji - 3 min.

Przepływy gazu nośnego:

- w trakcie desorpcji - 25 cm³/min,
- inlet split - 25 cm³/min,
- outlet split - 8 cm³/min.

Ciśnienie na kolumnie wynosiło 100 kPa.

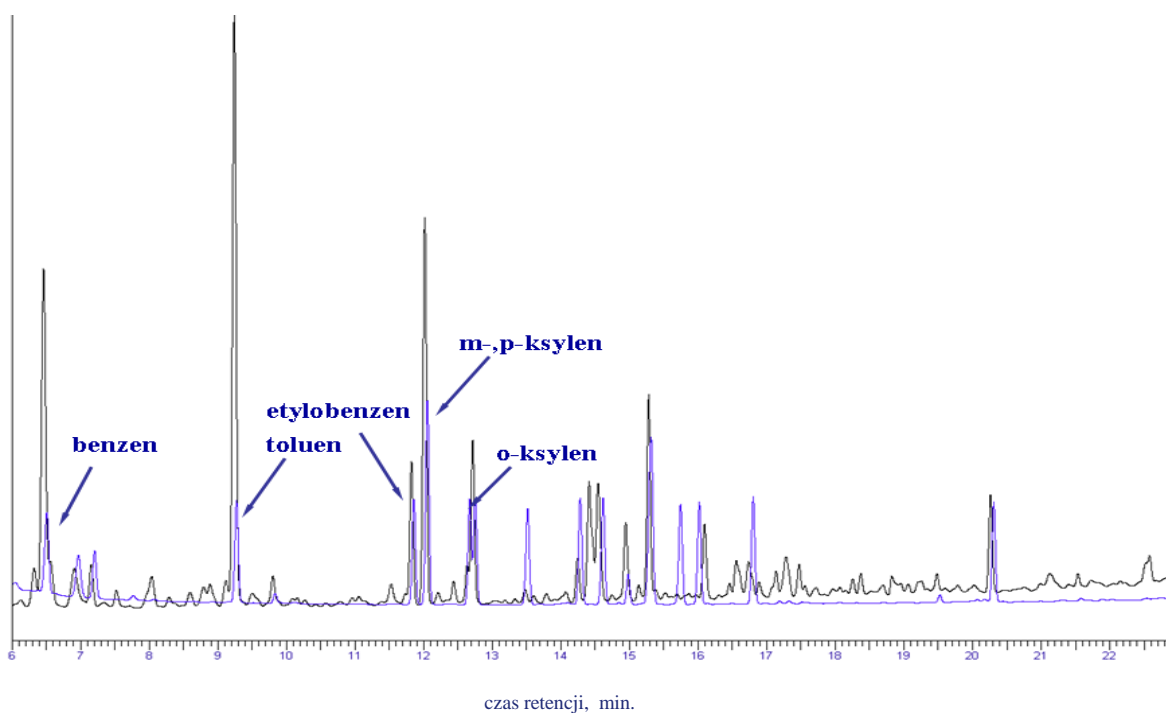
Do rozdziału związków zastosowano kwarcową, kapilarną kolumnę chromatograficzną firmy Restek o symbolu RTX-5 i długości 30 m, średnicy wewnętrznej 32 µm oraz grubości filmu 3 µm. Warunki analizy chromatograficznej były następujące:

- temp. detektora 260°C,
- analizę prowadzono stosując programowany przyrost temp. kolumny, początkowo przez okres 2 min temp. wynosiła 50°C, następnie ustalono przyrost 8°C na min do temp. 215°C,
- całkowity czas analizy 23 min.

Przepływ gazu nośnego w trakcie analizy chromatograficznej:

- gaz nośny – hel, przepływ 2 cm³/min,
- gaz zasilający – wodór, przepływ 45 cm³/min,
- powietrze – 450 cm³/min.

Analiza jakościowa przeprowadzona została na podstawie porównania czasów retencji badanych próbek z czasami retencji odpowiednich wzorców (rys 3.1.)



Rys. 3.1. Przykładowy chromatogram

Analizę ilościową przeprowadzono w oparciu o krzywe kalibracyjne. Liniowość korelacji wartości powierzchni piku od stężenia sprawdzono dla zakresu stężeń 0.02 – 0.06 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$. Współczynnik korelacji wyniósł 0,99.

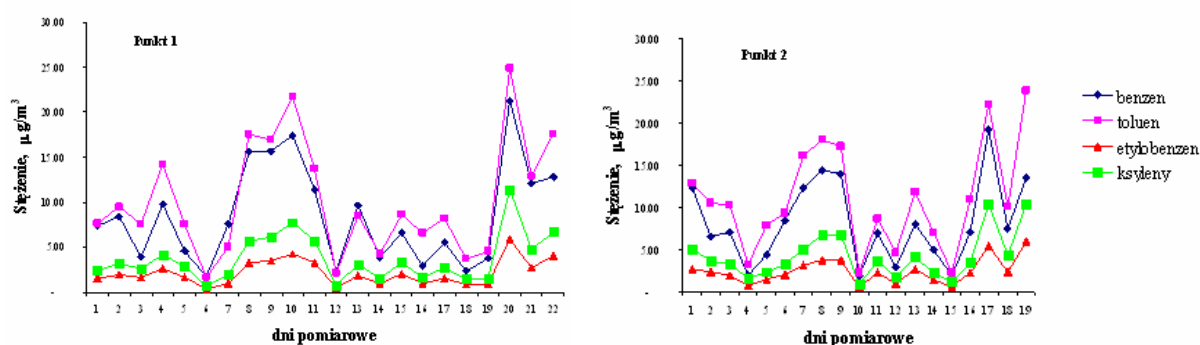
4. Wyniki pomiarów i ich omówienie

Wyniki pomiarów średniego stężenia benzenu, toluenu, etylobenzenu i ksylenów w powietrzu atmosferycznym prowadzone w Gliwicach w punktach pomiarowych zlokalizowanych przy dwóch ruchliwych skrzyżowaniach oraz na terenie Lotniska Aeroklubu (traktowanego jako tło) przedstawiono w tabeli 4.1. Średnie stężenia odnotowane dla badanych związków w punkcie 1 i 2 nie różnią się znacząco między sobą. Skrzyżowania, przy których mierzono stężenia BTEX, są usytuowane między sobą w odległości do 1 km. Największą różnicę wynoszącą 1.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zaobserwowano pomiędzy średnimi stężeniami toluenu. Należy zwrócić uwagę na stosunkowo szerokie zakresy stężeń dla oznaczanych węglowodorów aromatycznych w okresie pomiarowym. Przykładowo, odpowiednio dla punktu 1 i 2, dla toluenu 12.32 (2.03-29.98) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 13.36 (2.65-28.98) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wysokie stężenie benzenu wynoszące 6.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ odnotowano dla punktu tła zlokalizowanego na terenie lotniska Aeroklubu w Gliwicach.

Tabela 4.1. Średnie stężenia BTEX w punktach pomiarowych na terenie Gliwic, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Nazwa związku	Punkt 1 (n=22)			Punkt 2 (n=19)			Tło (n=2)
	średnia	min	max	średnia	min	max	
benzen	10.23	2.03	25.63	9.93	2.25	23.40	6.89
toluen	12.32	2.03	29.98	13.36	2.65	28.96	3.49
etylobenzen	2.59	0.43	7.16	2.97	0.62	7.28	0.58
m,p-ksylen	3.54	0.57	10.88	4.15	0.81	11.09	0.73
o-ksylen	0.97	0.22	2.90	0.96	0.24	2.70	0.38

Wyniki pomiarów stężeń zostały przeliczone dla okresu jednej godziny i następujących warunków temperatury $T=293\text{ K}$ i ciśnienia $p=1013\text{ hPa}$ (rys. 4.1), aby móc je porównać z wartościami odniesienia zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [17]. Zgodnie z tym rozporządzeniem wartości odniesienia, odniesione do okresu 1h, wynoszą odpowiednio dla benzenu – 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; dla toluenu 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; dla etylobenzenu 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz dla sumy ksylenów 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

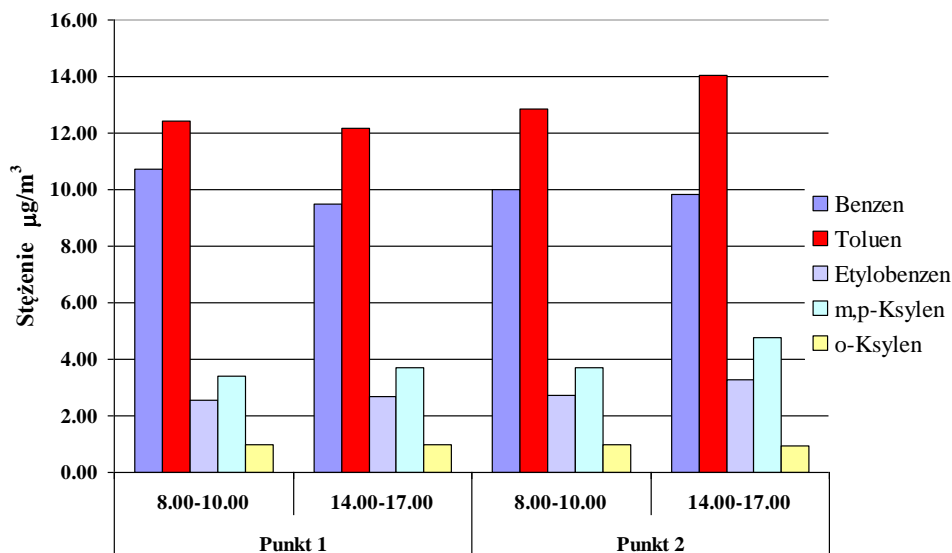


Rys. 4.1. Stężenia BTEX w punktach pomiarowych zlokalizowanych w Gliwicach, odniesione do okresu jednej godziny, dla warunków $T=293\text{ K}$; $p=1013\text{ hPa}$

Mimo, iż pomiary prowadzono w tzw. okresie szczytu komunikacyjnego, nie odnotowano przekroczeń wartości odniesienia dla badanych związków.

Profile BTEX (rys. 4.2) nie różnią się znacząco, biorąc pod uwagę pomiary przedpołudniowe (8.00-10.00) i popołudniowe (14.00-17.00). Jedynie w punkcie 2 w godzinach 14.00-17.00 odnotowano wyższe średnie

stężenia dla toluenu o ok. 9% i sumy ksylenów o ok. 22%. Średnie stężenia BTEX w punktach zlokalizowanych przy skrzyżowaniach szlaków komunikacyjnych są wyższe niż w tle (tab. 4.1), co wydaje się zrozumiałe. Jednak jeśli spojrzymy na stosunek średnich stężeń (przykładowo benzen/toluen), to występuje różnica. Dla punktów komunikacyjnych wynosi on ok. 0.8, zaś dla tła - ok. 2.



Rys.4.2. Średnie stężenia BTEX uwzględniające godziny największego ruchu samochodowego, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Podobne badania prowadzone są w różnych częściach świata. Często trudno odnieść wartości pomiarów do danych zaczerpniętych z literatury, gdyż pomiary BTEX, jak już wcześniej wspomniano, mogą być wykonywane różnymi metodami poboru. Nie mniej jednak w tabeli 4.2 zebrano takie dane.

Tabela 4.2. Wyniki stężeń BTEX w różnych punktach pomiarowych w Polsce i na świecie, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Lokalizacja punktu pomiarowego		Charakter punktu pomiarowego	benzen	toluen	etylobenzen	m,p-ksylen	o-ksylen
Gliwice (Polska)	XI/XII 2009r.	transport	10.23	12.32	2.59	3.54	0.97
			9.93	13.36	2.97	4.15	0.96
Antwerpia (Belgia) ^[18]	2003r.	transport	1.6	7.0	0.9	2.3	0.9
	2005r.		2.5	9.5	1.6	3.4	1.3
Mažeikiai (Litwa) ^[19]	zima 2010r.	obszar miejski	10.90	9.85	2.43	5.73	1.85
			7.72	7.35	2.07	4.72	1.76
Rzym (Włochy) ^[20]	I 1998r.	transport	26.61	83.68	19.75	64.73	25.44
Paryż (Francja) ^[20]	VI 1998r.	transport	12.91	37.03	7.14	20.86	7.45
Kraków (Polska) ^[20]	X/XI 1994r.	transport	102.85	327.67	63.05	170.20	70.99
Fuji (Japonia) ^[9]	III,V,XI 2004r.	obszar przemysłowy	2.06	14.00	1.52	1.83	0.62
Zabrze (Polska) ^[7]	X-XII 2005r.	transport	7.74	18.31	2.45	5.66	3.13
			9.37	21.05	2.88	10.03	5.18
Tczew (Polska) ^[10]	III-XII 2011r.	tło miejskie	0.87	2.9	1.3	5.9	
Nanjing (Chiny) ^[21]	IV 2006r.- I 2007r.	transport	6.4	19.8	2.9	3.4	2.1

Stężenie benzenu w Gliwicach 10.23 i 9.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jest porównywalne ze stężeniem odnotowanym w Zabrze – 7.74 i 9.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i Mažeikiai (Litwa) - 10.90 i 7.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (obszar miejski). Nieco wyższe stężenie benzenu utrzymuje się w powietrzu atmosferycznym Paryża – 12.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ponad dwukrotnie wyższe w Rzymie – 26.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najwyższe stężenia BTEX występują w Krakowie (tab. 4.2). Stężenia BTEX w Antwerpii (Belgia) w rejonach komunikacyjnych utrzymują się na niskich poziomach i są 6 razy niższe dla benzenu, a dla pozostałych związków z tej grupy ok. 1-3 razy niż w Gliwicach.

5. Podsumowanie

W ramach pracy wykonano pomiary stężeń benzenu, toluenu, etylobenzenu i ksylenów, należących do grupy LZO, przy skrzyżowaniach ruchliwych ulic na terenie Gliwic oraz w punkcie tła. Porównano uzyskane wartości stężeń z wartościami odniesienia – nie odnotowano przekroczeń w całym okresie pomiarowym dla żadnego z badanych związków. Pomimo tego, powinny być prowadzone badania poziomu stężeń związków należących do grupy LZO, w tym BTEX w myśl Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy [22] oraz Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [23], gdyż przyczyniają się one obok tlenków azotu (NO_x) do tworzenia ozonu przyziemnego w powietrzu, szczególnie w okresie letnim. Stanowią również poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka i wpływają niekorzystnie na wszystkie elementy środowiska naturalnego.

Literatura

1. Hoque R.R., Khillare P.S., Agarwal T., Shridhar V., Balachandran S., Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India. *Science of the Total Environment*, 392, 2008, s.30–40.
2. Kalabokas P.D., Hatzianestis J., Bartzis J.G., Papagiannakopoulos P., Atmospheric concentrations of saturated and aromatic hydrocarbons around a Greek oil refinery. *Atmospheric Environment*, 35, 2001, s.2545–2555.
3. Cetin E., Odabasi M., Seyfioglu R., Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery. *Science of the Total Environment*, 312, 2003, s.103–112.
4. Rao P.S., Ansari F.M., Gavane A.G., Pandit V.I., Nema P., Devotta S., Seasonal variation of toxic benzene emissions in petroleum refinery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128, 2007, s.323–328.
5. Ulman M., Chilmonczyk Z., Volatile organic compounds-components, sources, determination. *A review. Chemical Analysis (Warsaw)*, 52, 2007, s.173–200.
6. Zwoździak J., Zwoździak A., Sówka I., BTX-y i ich czasowe zróżnicowanie w atmosferze Wrocławia. *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, T.2, Ed. J. Koniecznyński, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze 2006, s.331-338.
7. Pyta H., Surowiec E., Zmiany stężenia BTX w powietrzu na terenie Zabrze. *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, T. 2, Ed. J. Koniecznyński, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze 2006, s.223-232.
8. Urbanowicz M., Zabiegała B., Szymańska K., Namieśnik J., Technika dozymetrii pasywnej w monitoringu analitów z grupy BTEX w powietrzu atmosferycznym na obszarach miejskich. *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, T. 2, Ed. J. Koniecznyński, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze 2008, s.305-308.
9. Kume K., Ohura T., Amagai T., Fusaya M., Field monitoring of volatile organic compounds using passive air samplers in an industrial city in Japan. *Environmental Pollution*, 153, 2008, s.649-657.
10. Marć, M., Zabiegała, B., Namieśnik, J., Application of passive sampling technique in monitoring research on quality of atmospheric air in the area of Tczew, Poland. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2013, article in press.
11. Lan T.T.N., Binh N.T.T., Daily roadside BTEX concentrations in East Asia measured by the Lanwatsu, Radiello and Ultra I SKS passive samplers. *Science of the Total Environment*, 441, 2012, s.248-257.

12. Pau J.C., Knoll J.E., Midgett M.R., A Tedlar bag sampling system for toxic organic compounds in source emission sampling and analysis. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 41(8), 1991, s.1095-1097.
 13. PN-Z-04016-03:1989, Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości benzenu i jego homologów z nasyconym łańcuchem bocznym. Oznaczanie benzenu, toluenu etylobenzenu (m+p)-ksylenu, izopropylobenzenu i o-ksylenu w powietrzu atmosferycznym (imisja) metodą chromatografii gazowej z wzbogacaniem próbki.
 14. <http://maps.google.com>
 15. SKC, VOC method update SKC appendices to EPA method TO-17, <http://www.skcinc.com/instructions/1667.pdf>
 16. Żak M., Koniecznyński J., Klejnowski K., Występowanie benzenu i jego pochodnych alkilowych w powietrzu atmosferycznym na obszarach miejskich ze szczególnym uwzględnieniem rejonów tras komunikacyjnych. *Prace i Studia; Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk*, No 64, Zabrze 2005 r.
 17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu, Dz.U. 2010 Nr 16 poz. 87.
 18. Buczyńska A.J., Krata A., Stranger M., Locateli Godoi A.F., Kontozova-Deutsch V., Bencs L., Naveau I., Roekens E., Van Grieken R., Atmospheric BTEX-concentrations in an area with intensive street traffic. *Atmospheric Environment*, 43(2), 2009, s.311-318.
 19. Baltrenas P., Baltrenaite E., Šerevičiene V., Pereira P., Atmospheric BTEX concentrations in the vicinity of the crude oil refinery of the Baltic region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182 (1-4), 2011, s.115-127.
 20. Monod A., Sive B.C., Avino P., Chen T., Blake D.R., Sherwood Rowland F., Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: A focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene. *Atmospheric Environment*, 35(1), 2001, s.135-149.
 21. Wang P., Zhao W., Assessment of ambient volatile organic compounds (VOCs) near major roads in urban Nanjing, China. *Atmospheric Research*, 89(3), 2008, s.289-297.
 22. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/we z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy.
 23. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu, Dz.U. 2012 Nr 0 poz. 1032.
-