

Ryszard KATULSKI¹, Jacek NAMIEŚNIK¹, Jarosław SADOWSKI¹, Jacek STEFAŃSKI¹, Waldemar WARDENCKI¹, Krystyna SZYMAŃSKA²

¹ POLITECHNIKA GDAŃSKA

² FUNDACJA ARMAAG

Mobilny system monitoringu jakości powietrza

Dr hab. inż. Ryszard KATULSKI

Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Gdańskiej (PG). W 1984 r. uzyskał stopień doktora, a w 1999 r. stopień doktora habilitowanego. Obecnie pracuje w Katedrze Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych PG na stanowisku prof. nadzw., pełniąc jednocześnie funkcję Prorektora ds. Nauki i Wdrożeń. Jego zainteresowania naukowe obejmują m.in. zagadnienia kompatybilności e-m oraz teorii i techniki antenowej w radiokomunikacji.



e-mail: rjkaf@eti.pg.gda.pl

Dr inż. Jacek STEFAŃSKI

Ukończył studia na Wydziale Elektroniki Politechniki Gdańskiej (PG) w 1993 r. W 2000 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie telekomunikacja. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta i pełni funkcję z-cy kierownika Katedry Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych PG. Jego zainteresowania naukowe obejmują cyfrowe systemy radiokomunikacyjne. Jest autorem bądź współautorem ponad 100 artykułów i referatów opublikowanych w kraju i za granicą.



e-mail: jstef@eti.pg.gda.pl

Prof. dr hab. inż. Jacek NAMIEŚNIK

Zatrudniony w Politechnice Gdańskiej od 1972, Dziekan Wydziału Chemicznego oraz kierownik Katedry Chemii Analitycznej, przedstawiciel Narodowy w Komisji Metod Separacyjnych w Chemii Analitycznej, przewodniczący Chemii Analitycznej PAN. Zainteresowania naukowe: nowe rozwiązania metodyczne i aparaturowe w zakresie przygotowania próbek do analizy, wykorzystanie technik dozimetrii pasywnej w badaniach środowiskowych, badania losu środowiskowego kseniobiotyków.



e-mail: chemanal@pg.gda.pl

Mgr inż. Krystyna SZYMAŃSKA

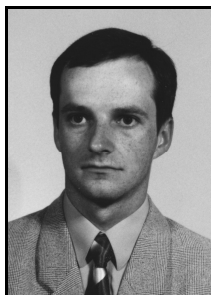
Absolwentka Politechniki Szczecińskiej Wydziału Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej. Zawodowo związana z ochroną powietrza od 1968 r. Posiada uprawnienia rzeczoznawcy Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w zakresie ochrony powietrza atmosferycznego. Od 1997 r. dyrektor Fundacji Agencja Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej. Autor i współautor ponad 200 opracowań z zakresu ochrony środowiska.



e-mail: krystyna@poczta.vn.pl

Mgr inż. Jarosław SADOWSKI

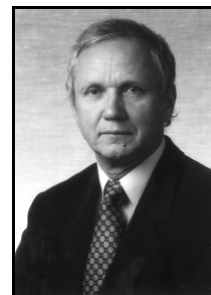
Absolwent Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej (PG). Po ukończeniu studiów podjął pracę w firmie zajmującej się instalacjami radiokomunikacyjnymi. Od 2007 r. pracuje w Katedrze Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych PG na stanowisku asystenta. Jego zainteresowania naukowe obejmują przede wszystkim ultraszerokopasmowe systemy radiokomunikacyjne. Jest autorem bądź współautorem ponad 15 artykułów i referatów naukowych.



e-mail: Jaroslaw.Sadowski@eti.pg.gda.pl

Prof. dr hab. inż. Waldemar WARDENCKI

Zatrudniony w Politechnice Gdańskiej (PG) od 1968, profesor nauk chemicznych od 2006, autor/współautor 5 książek, ok. 120 artykułów i 130 referatów, Prodziekan Wydziału Chemicznego PG (2002-2005), wiceprzewodniczący Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 116 ds. Imisji i Emisji Zanieczyszczeń Powietrza, zainteresowania naukowe: chromatografia, przygotowanie próbek do analizy, analiza środowiskowa i monitoring, instrumentalizacja, zielona chemia, zrównoważony rozwój.



e-mail: wawar@chem.pg.gda.pl

Streszczenie

Zaprezentowano mobilny system monitoringu, który umożliwia kontrolę zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego wzdłuż ciągów komunikacyjnych. W opracowanym systemie stacja monitorująca charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi rozmiarami i zawiera układ elektroniczny autorskiego rozwiązania do pomiaru, zapisu i transmisji drogą radiową na serwer www pomierzonych stężeń związków chemicznych. Opracowane rozwiązanie jest stosunkowo tanie w budowie i eksploatacji, gdyż należy do tzw. urządzeń bezobsługowych. Przedstawiono przykładowe wyniki z przeprowadzonych testów funkcjonalnych w warunkach rzeczywistych.

Słowa kluczowe: systemy monitoringu, monitoring powietrza, kontrola jakości powietrza.

Mobile Monitoring System for Air Quality Control

Abstract

The paper presents a mobile monitoring system for main air pollutants in the cities. The novelty of the proposed system is connected with the fact that it can be used to monitor emissions from urban traffic along roads and those areas, where traditional monitoring stations cannot be placed. In the proposed system, a mobile monitoring station may be attached to private cars, buses, trucks etc. Stations in this system are small, have portable structures and contain an electronic instrument used to measure, record and transmit the concentration of various pollutants to the Website.

The proposed station should be cheap, reliable, not requiring frequent routine maintenance procedures like calibration and filter changes. The test results in the real conditions are presented.

Keywords: monitoring systems, air monitoring, air quality control.

1. Wstęp

Istniejące systemy monitoringu do kontroli zanieczyszczenia powietrza, zarówno automatyczne jak i manualne, stosowane do określania stężeń zanieczyszczeń wzdłuż ciągów komunikacyjnych zazwyczaj dotyczą pomiarów stacjonarnych, czyli związane są ściśle z określonym punktem lub przestrzenią w otoczeniu tego punktu. W zautomatyzowanym, mobilnym systemie monitoringu pomiar zanieczyszczeń komunikacyjnych prowadzony był w strumieniu pojazdów. Na podstawie określonych w ten sposób stężeń związków chemicznych zanieczyszczających powietrze można wyznaczyć charakterystyki emisyjne dla wybranych rozwiązań komunikacyjnych (skrzyżowanie, rondo, ulica w obszarze niezabudowanym, ulica typu kanionowego itp.). Na podstawie otrzymanych wartości stężeń można wyznaczyć tzw. współczynniki kalibracji modelu, przy pomocy którego, możliwe będzie tworzenie symulacji różnych scenariuszy sterowania ruchem pojazdów w systemie komunikacyjnym danej aglomeracji co w efekcie prowadzi do kontroli wypadkowego poziomu zanieczyszczeń komunikacyjnych [1, 2].

2. Mobilny system monitoringu

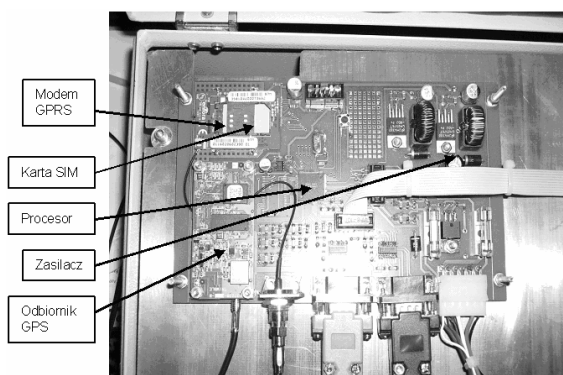
W skład opracowanego systemu monitoringu wchodzi oryginalny układ elektroniczny, pełniący funkcję rejestratora zadanych wielkości mierzonych, współpracujący m.in. z radiowym terminalem transmisji danych (w standardzie GSM/GPRS), za pośrednictwem którego są przesyłane informacje o wartościach stężeń substancji chemicznych zanieczyszczających powietrze oraz specjalistyczne oprogramowanie, służące do analizy danych pomiarowych. Opracowany układ stanowi niezależną jednostkę ruchomą, montowaną na pojazdach, służącą do pomiaru stężenia podstawowych związków chemicznych emitowanych przez ruch uliczny, tj. dwutlenku azotu (NO_2), benzenu (C_6H_6) oraz ozonu (O_3). Rejestrowane wielkości stężenia związków chemicznych zanieczyszczających powietrze są powiązane m.in. z informacją o położeniu geograficznym poruszającego się pojazdu, temperaturą i wilgotnością otoczenia.

Mobilny system monitoringu składa się z bezobsługowej stacji monitorującej (BSM), umieszczanej na pojeździe oraz serwera www, na którym została zorganizowana baza danych do gromadzenia i obróbki danych pomiarowych. Zmierzone z wykorzystaniem BSM stężenia związków chemicznych stanowiących zanieczyszczenia powietrza zostają przesyłane drogą radiową, poprzez infrastrukturę sieci komórkowej GSM/GPRS oraz sieć Internet, do serwera WWW zlokalizowanego w Politechnice Gdańskiej. Tam zostają przetworzone i podlegają weryfikacji pod kątem ich wiarygodności. Następnie są sortowane według daty pomiaru i w razie potrzeby wyświetlane na monitorze uprawnionego użytkownika za pomocą zwykłej przeglądarki stron WWW [3].

Pomiary są wykonywane co 10 s, w związku z tym, w cyklu dobowym (przy założeniu nieprzerwanej pracy BSM) na serwerze jest gromadzonych ponad 8500 zestawów pomiarowych. Stanowi to nieoceniony materiał pomiarowy do obróbki i analizy matematycznej w celu m.in. identyfikacji i prognozowania źródeł zagrożeń.

Stacja monitorująca składa się z dwóch zasadniczych części: modułu czujników pomiarowych oraz modułu telekomunikacyjnego. Zastosowane do pomiarów związków chemicznych zanieczyszczających powietrze sensory półprzewodnikowe (grubowarstwowe) są urządzeniami najnowszej generacji, wykonanymi z nanostruktur o uziarnieniu od 30 do 50 nm. Czujniki są utrzymywane w temperaturze od 200 °C do 400 °C. Elektryczna odpowiedź czujnika jest proporcjonalna do stężenia określonego gazu w badanym powietrzu. Wysoką czułość i dużą dokładność pomiarów (do 2 % całej skali) zapewniają wyspecjalizowane filtry analogowo-cyfrowe.

Moduł telekomunikacyjny jest odpowiedzialny za gromadzenie danych pomiarowych pochodzących z modułu czujników i ich wysyłanie poprzez modem GSM/GPRS. Budowa tego modułu została oparta o mikroprocesor typu Atmega 2560, uzupełniony o płytkę modemu GPRS, odbiornik sygnałów GPS, dwa konwertery napięć TTL/RS232 oraz trzy układy zasilające (rys. 1).



Rys. 1. Moduł telekomunikacyjny
Fig. 1. The telecommunication module

Moduł telekomunikacyjny jest konfigurowany za pomocą dowolnego komputera PC, poprzez łącze RS232C w trybie emulacji terminala. Dla kontroli stanu pracy stacji podczas testów funkcjonalnych, urządzenie zostało wyposażone w osiem wskaźników LED, zainstalowanych na płycie czołowej widocznej po otwarciu drzwi wewnętrznej obudowy stacji monitorującej.

Cała stacja monitorująca jest zasilana poprzez hybrydowe przetwornice impulsowe, które dzięki dużej sprawności praktycznie nie wydzielają ciepła podczas swojej pracy i nie wymagają stosowania dodatkowego chłodzenia.

3. Wybór metody pomiarowej

Według art. 25 ust. 2 ustawy pt.: „Prawo ochrony środowiska” z 2001 roku [4], jednym z głównych źródeł informacji o środowisku jest Państwowy Monitoring Środowiska (PMŚ), w skład którego wchodzi system pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji o środowisku. Celem PMŚ jest wspomaganie działań na rzecz ochrony środowiska poprzez systematyczne informowanie organów administracji i społeczeństwa o:

- jakości elementów przyrodniczych, dotrzymany standardów jakości środowiska określonych przepisami oraz obszarach występowania przekroczeń tych standardów,
- występujących zmian jakości elementów przyrodniczych i przyczynach tych zmian, w tym powiązaniach przyczynowo skutkowych występujących pomiędzy emisjami i stanem elementów przyrodniczych.

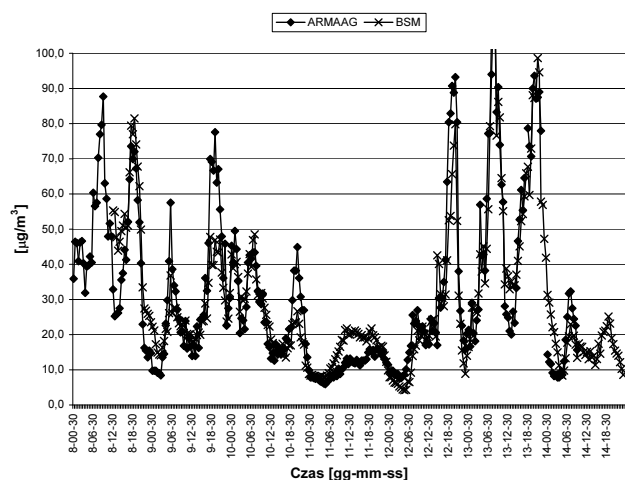
W Polsce w zakresie pomiarów zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, obowiązują, wydane na podstawie odpowiednich dyrektyw Unii Europejskiej, rozporządzenia Ministra Środowiska:

- w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz. U. nr 87/2002 poz. 796) [5],
- w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. nr 87/2002 poz. 798) [6],
- w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 1/2003 poz. 12) [7].

Przedmiotem opisywanego projektu jest mobilny system ekspertyzowy do pomiaru zanieczyszczeń komunikacyjnych realizowany podczas ruchu pojazdu. W przedstawionych powyżej uwarunkowaniach prawnych nie ma określonych sposobów na wykonywanie takich pomiarów. Z punktu widzenia ich wiarygodności konieczne jest stosowanie referencyjnych metod pomiarowych. Dopuszczalne jest również prowadzenie pomiarów innymi metodami niż metody odniesienia pod warunkiem potwierdzenia ich ekwiwalentności.

4. Wiarygodność zastosowanej metody pomiarowej

W celu sprawdzenia wiarygodności metody pomiarowej porównano wyniki dostarczone przez BSM z wynikami pochodzącymi ze stacji automatycznego monitoringu, będących częścią sieci Fundacji Agencji Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej (ARMAAG). Przeprowadzono dwie serie pomiarowe, pierwsza w terminie od 8 do 14 marca, a druga w terminie od 27 sierpnia do 1 października 2007 roku. W wyniku przeprowadzonych porównań okazało się, że dla wszystkich analizowanych, które były mierzone z wykorzystaniem BSM, dla zapewnienia wiarygodności zastosowanej metody pomiarowej w stosunku do metody odniesienia, konieczne było wprowadzenie współczynników korekcyjnych. Wyniki takiego dopasowania, przykładowo dla dwutlenku azotu, przedstawia rys. 2. Podobne wyniki uzyskano na pozostałych dwóch mierzonych związkach chemicznych: ozonu i benzenu.



Rys. 2. Dwutlenek azotu po korekcji
Fig. 2. Concentration of nitrogen dioxide after correction

Na podstawie przeprowadzonych analiz można więc stwierdzić, że użyte czujniki zapewniają wiarygodność wykorzystywanej metody pomiarowej w stosunku do metody referencyjnej, która jest zalecana przez ustawodawstwo polskie oraz Unii Europejskiej dla tego typu systemów.

5. Wyniki przeprowadzonych pomiarów

Główne pomiary, które zostały przeprowadzone za pomocą opracowanego mobilnego systemu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, związane były z badaniem imisji¹ substancji emitowanych z pojazdów poruszających się wzdłuż układu komunikacyjnego Trójmiasta. Podczas pomiarów BSM była zamontowana na dachu samochodu typu Cinquecento Van. Program badań obejmował:

- pomiar stężeń dwutlenku azotu, benzenu i ozonu,
- pozycjonowanie pojazdu przy użyciu systemu GPS,
- pomiar prędkości poruszania pojazdu,
- pomiar temperatury zewnętrznej,
- pomiar wilgotności.

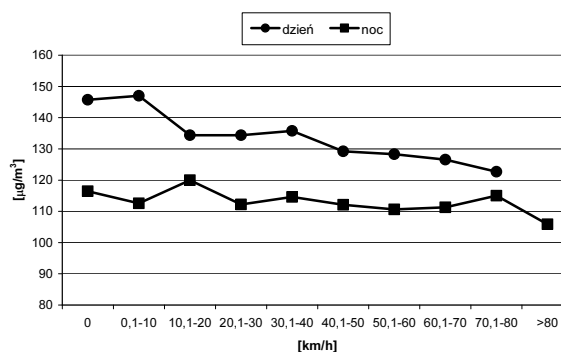
Pomiary rejestrowane co 10 sekund przekazywane były na serwer komunikacyjny w czasie rzeczywistym. Wszystkie pomiary zarejestrowano w czasie UTC (*Universal Time Coordinated*). Trasy przeprowadzonych serii pomiarowych wyznaczone zostały na podstawie doświadczeń zespołu wykonującego badania i obejmują różne rodzaje układów komunikacyjnych (rondo, skrzyżowanie, sygnalizacja świetlna), różne rodzaje nawierzchni, różne rodzaje otoczenia (obszar leśny, zabudowa miejska, przedmieście, zabudowa przemysłowa).

Jedną z pierwszych analiz, jaka została wykonana, na podstawie zgromadzonych wyników pomiarowych była zależność stężenia poszczególnych związków chemicznych w funkcji prędkości poruszania się pojazdu. Przykładowo, dla omawianego wcześniej dwutlenku azotu, zależność jego stężenia w funkcji prędkości, gdzie parametrem jest pora dnia została przedstawiona na rys. 3.

Z analizy danych przedstawionych na rys. 3 wynika, że wraz ze wzrostem prędkości poruszania się bezobsługowej stacji pomiarowej (BSM) poziom stężenia dwutlenku azotu maleje. Natomiast bezwzględny poziom tego stężenia jest mniejszy w nocy, ze względu na zmniejszenie natężenia ruchu pojazdów w godzinach wieczornych.

Do kolejnych analiz zgromadzonych danych pomiarowych została wykorzystana interpolacja przestrzenna, jako jedna z ważniejszych metod obliczeniowych w systemach geoinformacyjnych. Interpolacja jest swojego rodzaju przewidywaniem, jaka jest wartość zmiennej w punkcie, dla którego nie mamy danych po-

miarowych. Istnieje wiele metod interpolacji. Do opracowania danych pomiarowych wybrano metodę odwrotnych odległości IDW (*Inverse Distance Weighting*). W przypadku tego podejścia wartość zmiennej w punkcie interpolacji jest wyznaczana jako średnia wagowa z otaczających punktów pomiarowych. Metoda ta wykorzystuje zasady przestrzennej autokorelacji. Zakłada, że największy wpływ na wartość szacowaną mają punkty znajdujące się najbliżej, stąd metodą tą określa się jako lokalną. Dzięki temu odzwierciedla ona miejscowe zróżnicowanie interpolowanej powierzchni.



Rys. 3. Stężenie dwutlenku azotu w funkcji prędkości poruszania się BSM
Fig. 3. Nitrogen dioxide concentration as a function of BSM speed

Obliczając średnią wagową zakłada się, że wartość wagi jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między punktem interpolowanym a punktem o danej wartości. W efekcie wpływ danego punktu pomiarowego na wartość punktu interpolowanego jest tym mniejszy, im dany punkt pomiarowy znajduje się dalej. Wartość punktu interpolowanego jest obliczana według zależności (1)

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}, \quad (1)$$

gdzie:

- Z - wartość w punkcie interpolowanym,
- d_i - odległość między i -tym punktem pomiarowym a punktem interpolowanym,
- Z_i - wartość w i -tym punkcie pomiarowym,
- p - wykładnik potęgi (jeden z parametrów metody),
- n - liczba punktów sąsiadujących użytych do interpolacji (drugi parametr metody)

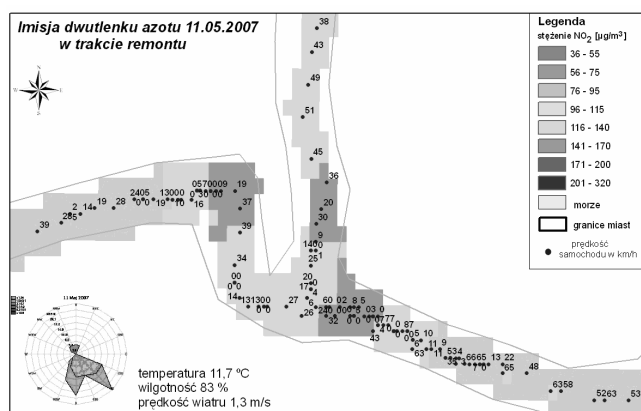
Wykładnik p jest parametrem wpływającym na zasięg oddziaływania punktów pomiarowych. Im większa wartość tego parametru tym mniejszy wpływ na wartość punktu interpolowanego mają punkty pomiarowe leżące w większej odległości. Większe wartości wykładnika p powodują, że w interpolacji są bardziej widoczne zależności regionalne.

Powyższą metodą wybrano ze względu na charakter danych, czyli bliskie położenie punktów pomiarowych, co pozwoli pokazać lokalne zróżnicowanie stężeń zanieczyszczeń na poszczególnych odcinkach wyznaczonych tras (ronda, skrzyżowania itd.). Interpolacji dokonano wewnątrz poligonu o szerokości około 100 m, gdyż analiza ma na celu zaprezentowanie obszarów bezpośrednio przy arteriach komunikacyjnych, czyli tych, które są najbardziej narażone na wysokie stężenia zanieczyszczeń.

W niniejszym opracowaniu wyników pomiarowych do analizy przestrzennej wykorzystano oprogramowanie ArcView 9.2 wraz z nakładką ArcGIS Spatial Analyst. Podstawowym celem analizy jest wskazanie obszarów o największych stężeniach zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego.

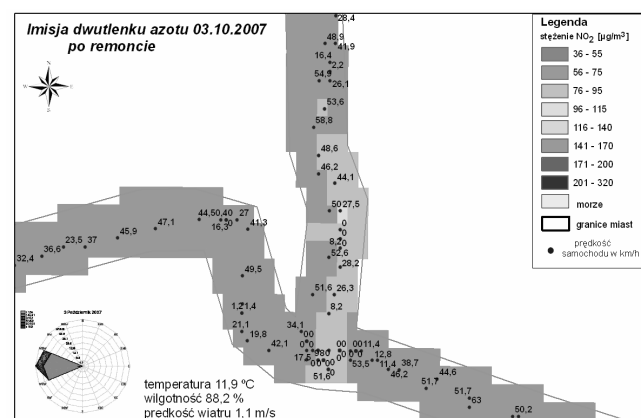
¹ Imisją nazywamy włączenie, przyjmowanie i istnienie w powietrzu atmosferycznym substancji nie stanowiących jego normalnego (stałego) składu.

Przykładowa analiza przestrzenna stężeń dwutlenku azotu i prędkości poruszania się pojazdu (BSM) przed i po remoncie na węzle Okopowa - Podwałe Przedmiejskie - Wały Jagiellońskie - Armii Krajowej w Gdańsku została przedstawiona na rys. 4 i rys. 5. Do analizy wybrano po jednym dniu z kampanii pomiarowych o podobnych warunkach meteorologicznych. Stężenia NO_2 11 maja 2007 roku podczas remontu były zdecydowanie wyższe, od 116 do $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$, niż po remoncie 3 października tego samego roku, od 36 do $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ponadto prędkości poruszania się pojazdu były zdecydowanie niższe w trakcie remontu w porównaniu z okresem po remoncie, co świadczy o znacznym zablokowaniu węzła komunikacyjnego, na którym badano jakość powietrza co miało decydujący wpływ na podwyższenie stężenia dwutlenku azotu.



Rys. 4. Imisja dwutlenku azotu na węzle Okopowa - Podwałe Przedmiejskie - Wały Jagiellońskie - Armii Krajowej 11 maja 2007 roku w godz. 06:00-09:00

Fig. 4. Nitrogen dioxide immission at the Okopowa - Podwałe Przedmiejskie - Wały Jagiellońskie - Armii Krajowej intersection, 11th of May, 2007 from 6.00 am to 9.00 am.



Rys. 5. Imisja dwutlenku azotu na węzle Okopowa - Podwałe Przedmiejskie - Wały Jagiellońskie - Armii Krajowej 3 października 2007 roku w godz. 06:00-09:00

Fig. 5. Nitrogen dioxide immission at the Okopowa - Podwałe Przedmiejskie - Wały Jagiellońskie - Armii Krajowej intersection, 3rd of October, 2007 from 6.00 am to 9.00 am

6. Wnioski

Opracowany system ekspertowy niewątpliwie przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa ekologicznego na obszarze działania. Umożliwia dokładniejsze planowanie środowiskowe, zapewniając poszerzenie bazy pomiarowej o informacje o obszarach występowania niestacjonarnych źródeł emisji.

Zastosowana metoda pomiarowa wykazała zgodność z metodą odniesienia, dzięki czemu może być stosowana do pomiarów stężeń związków chemicznych stanowiących zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego wzdłuż ciągów komunikacyjnych.

Ponadto, badania mobilne potwierdziły zależności pomiędzy prędkością pojazdu a stężeniem zanieczyszczeń, a także wzajemne zależności pomiędzy dwutlenkiem azotu i ozonem. Również odniesienie otrzymany stężeń i osiąganych prędkości do dni tygodnia potwierdziły spodziewane tendencje. Tak jak się spodziewano w dni wolne od pracy stężenia dwutlenku azotu były wyższe niż w dni robocze a ozonu niższe. W dni wolne od pracy stwierdzono też wyższe średnie prędkości poruszania się pojazdu. Wyniki pomiarów pozostają w relacji do obserwacji mniejszego natężenia ruchu w dni wolne od pracy.

Przeprowadzone pomiary pozwoliły zidentyfikować miejsca o najwyższych stężeniach dwutlenku azotu. Maksymalna imisja tej substancji (nie zanotowano poziomu wyższego od alarmowego) wystąpiła w następujących punktach i na obszarach aglomeracji gdańskiej:

- Węzeł Okopowa - Podwałe Przedmiejskie - Wały Jagiellońskie - Armii Krajowej,
- al. Zwycięstwa,
- al. Grunwaldzka,
- ul. Marynarki Polskiej,
- ul. Kartuska,
- część ul. Słowackiego (przy zjeździe na ul. Potokową).

Opracowany mobilny system monitoringu wspomaga zatem istniejący system pomiarów czystości powietrza oraz ułatwia podejmowanie stosownych decyzji poprzez analizę różnych scenariuszy emisyjnych.

Prowadzone badania są finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w formie projektu badawczego nr 3 T09D 100 29.

Autorzy pragną również podziękować Fundacji Agencji Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej za pomoc podczas realizacji niniejszego projektu badawczego.

7. Literatura

- [1] R., Katulski, J. Stefański, W. Wardencki, J. Żurek: Concept of the mobile monitoring system for chemical agents control in the air. Proc. of the IEEE Conference on Technologies for Homeland Security – Enhancing Transportation Security and Efficiency, Boston, USA, 2006.
- [2] R. Katulski, J. Stefański, W. Wardencki, J. Żurek: The Mobile Monitoring System (MMS) – a Useful Tool for Assessing Air Pollution in Cities, Proc. of the Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy PITTCON'2007, Chicago, USA, 2007.
- [3] R. Katulski, J. Namieśnik, J. Sadowski, J. Stefański, K. Szymańska, W. Wardencki: Monitoring zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego wzdłuż ciągów komunikacyjnych, *Analytyka*, nr 2, s. 40-42, 2007.
- [4] Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627, Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska.
- [5] Dz.U. 2002 nr 87 poz. 796, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji.
- [6] Dz.U. 2002 nr 87 poz. 798, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu.
- [7] Dz.U. 2003 nr 1 poz. 12, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu.