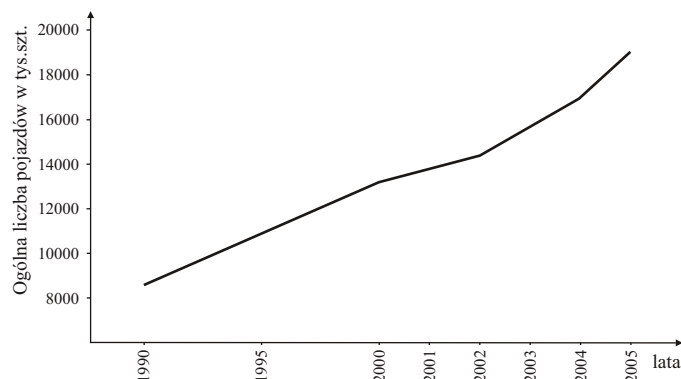


Poziom stężenia tlenu oraz NO_x w powietrzu na obszarach drogowych szlaków komunikacyjnych

Transport drogowy na obszarach dużych aglomeracji miejskich stanowi obecnie dominujące źródło emisji zanieczyszczeń atmosferycznych. Jego udział w całkowitej emisji szkodliwych substancji do środowiska stanowi ok. 60%. Przyczyną takiego stanu jest bardzo duży wzrost natężenia ruchu środków transportu drogowego wynikający z lawinowego przyrostu ilości pojazdów drogowych w Polsce w ostatnich kilku latach (rys. 1). Emisja ta jest ponadto powiększana podczas tworzenia się zatorów komunikacyjnych na ulicach miast i dróg oraz niewyłączania silników w samochodach przy dłuższych postojach na skrzyżowaniach ulic. Istotny wpływ na poziom emitowanych zanieczyszczeń oprócz wymienionych powyżej czynników ma rodzaj i ilość spalanej paliwa, typ stosowanego silnika oraz średnia prędkość poruszania się pojazdu. Ocenia się, że maksymalny zasięg emisji zanieczyszczeń z pojazdów drogowych ze względu na specyfikę warunków emisji (niskie źródła emisji, kierunek wylotu spalin z reguły poziomy lub zwrócony ku dołowi, gęsta zabudowa i często niekorzystne warunki meteorologiczne sprzyjające kumulacji zanieczyszczeń w obrębie kanionu ulicznego) dochodzi do 300 m od osi drogi, przy czym maksymalne stężenie występuje w odległości 30 do 150 m [1, 2]. Zasięg oddziaływania emisji pyłu z pojazdów samochodowych przemieszczających się wzdłuż ulicy przekracza 100 m w zależności od układu urbanistycznego oraz warunków meteorologicznych [3]. W spalinach silników tłokowych występuje ponad 200 różnego rodzaju związków chemicznych. Emitowane są głównie: ditlenek węgla, tlenek węgla, tlenki azotu (w tym podtlenek azotu), ditlenek siarki, węglowodory (głównie metan), niemetanowe lotne związki organiczne (NLZO), cząstki stałe i obecnie już w niewielkich ilościach ołów [4]. Szczególnie szkodliwe dla ludzi są m.in. oprócz toksycznych tlenków azotu, powodujących zaburzenie układu oddechowego i zwiększających ich podatność na choroby dróg oddechowych, także wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) wykazujące działanie mutagenne i kancerogenne, których znacznie więcej jest w spalinach emitowanych przez silniki o zapłonie iskrowym, aniżeli samoczynnym. W Polsce w 2005 roku, ze źródeł motoryzacyjnych pochodziło około 38,5% całkowitej ilości emitowanych tlenków azotu (NO_x), 16,2% niemetanowych lotnych związków organicznych i 21,8% tlenku węgla (CO) [5, 6]. Sektor motoryzacyjny stanowi w Polsce największe źródło krajowej emisji NO_x i NLZO.



Rys. 1. Przebieg zmian ilości pojazdów samochodowych (łącznie z ciągnikami rolniczymi) w latach 1990–2005

Wzrost emisji zanieczyszczeń atmosferycznych powodowany przez motoryzację, w szczególności dla ludzi mieszkających, jak i przebywających w bezpośredniej bliskości dróg i węzłów komunikacyjnych, powoduje wzrost ryzyka występowania różnego rodzaju chorób. I tak, np. ryzyko wzrostu zachorowań na choroby układu oddechowego powiększa się o 10% dla osób mieszkających przy traktach drogowych. W razie np. osób mieszkających wzdłuż ulicy Al. Niepodległości w Warszawie, aż 14% badanej zbiorowości wykazało cechy obturacji (zweżenia dróg oddechowych), natomiast w równolicznej grupie osób zamieszkujących obszary pozamiejskie stanowiło to 5% badanej populacji [7].

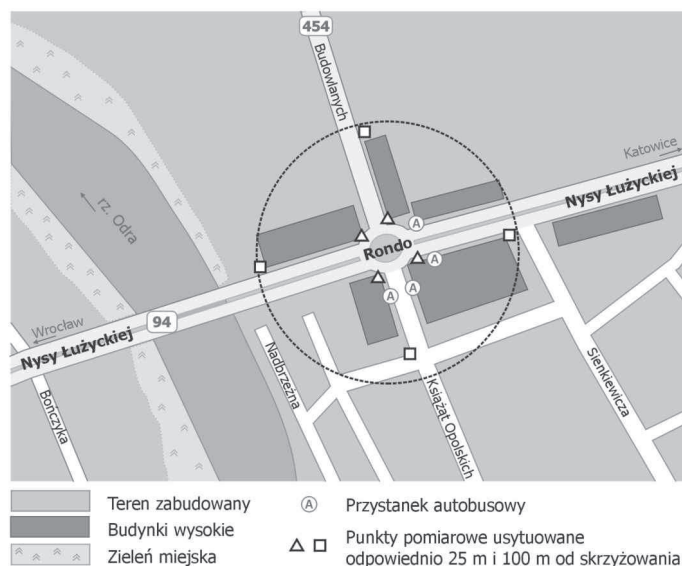
Oprócz oceny oddziaływania zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza atmosferycznego przez transport drogowy na stan zdrowia ludzi, istotnego znaczenia nabiera konieczność zbadania możliwości występowania okresowego (lub ciągłego) niedoboru tlenu w powietrzu w szczególności na obszarach dużych węzłów komunikacyjnych (rondach). Jest to tym istotniejsze, iż są one zbudowane, a nawet czasami tworzone w miejscach, które powodują intensyfikację tego zjawiska szczególnie przy występowaniu zwartej, wysokiej zabudowy otaczającej ronda. Podobna sytuacja będzie występować także wzdłuż traktów drogowych szczelnie zabudowanych wysokimi budynkami, a w szczególności ulic przylegających do skrzyżowań. Zjawisko to jest tym groźniejsze, iż wzdłuż ulic, jak i wokół skrzyżowań są usytuowane budynki mieszkalne, jak i użyteczności publicznej, co ma bezpośredni wpływ na stan zdrowia mieszkających i przebywających tam ludzi, zwierząt i roślin. Stąd ważnym zagadnieniem w dużych aglomeracjach miejskich jest ocena wpływu zmian i poziomu natężenia ruchu transportu drogowego i jego cykliczności na zmiany ilości tlenu i zanieczyszczeń w powietrzu

Dr hab. inż. prof. nzw. R. M. Janka – Uniwersytet Opolski, kierownik Zakładu Sozotechniki i Sterowania Środowiskiem
Mgr P. Bambynek-Dziuk – absolwentka Uniwersytetu Opolskiego

atmosferycznym występującym na obszarach dróg i węzłów komunikacyjnych o szczególnie dużym natężeniu ruchu.

Charakterystyka obiektów badań

Pomiary zmian stężenia tlenu, a także tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym w funkcji natężenia ruchu transportu drogowego i jego cykliczności wykonano na obszarze największego węzła komunikacyjnego Opola, usytuowanego u zbiegu ulic: Nisy Łużyckiej, Budowlanych i Książąt Opolskich (rys. 2) oraz wzdłuż tych ulic.



Rys. 2. Rozmieszczenie budynków i usytuowanie punktów pomiarowych na rondzie (skrzyżowaniu ulic Budowlanych, Nisy Łużyckiej i Książąt Opolskich)

Rondo to znajduje się na głównej trasie wylotowej prowadzącej do Wrocławia oraz Katowic. W pobliżu ronda w odległości 100 m znajduje się most przerzucony nad Odrą. Na tym skrzyżowaniu płynność ruchu transportu samochodowego jest dodatkowo utrzymywana za pomocą estakady przerzuconej nad rondem, dzięki czemu pojazdy wjeżdżające do centrum miasta przejeżdżają bezkolizyjnie przez to skrzyżowanie nie blokując trasy przelotowej przez aglomerację miejską.

Wokół ronda oraz wzdłuż ulic zarówno Książąt Opolskich, jak i Budowlanych dochodzących do ronda (rys. 2) znajdują się wysokie (2-, 3-, 4- i 8- piętrowe) budynki mieszkalne oraz budynki użyteczności publicznej (przychodnia, sklepy), jak i więzienie. W odległości 10 m od granic ronda po obu stronach ulicy Nisy Łużyckiej oraz Książąt Opolskich znajdują się ponadto przystanki autobusowe.

Lokalizacji punktów pomiarowych, metoda i aparatura pomiarowa

Punkty pomiarowe na obszarze ronda były usytuowane zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska [8] w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu i znaj-

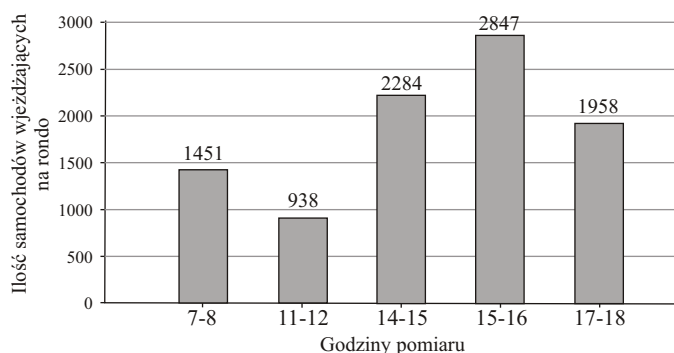
dowały się w odległości 25 metrów od jego granic. Ponadto mierzono poziomy zmian stężenia tlenu i tlenków azotu w powietrzu na ulicach połączonych z rondem. Punkty pomiarowe na tych ulicach były umieszczone w odległości 100 m od ronda. Pomiary były wykonywane na wysokości 1,5 m nad poziomem ziemi. Wykonano je przy uwzględnieniu warunków meteorologicznych (ciśnienia, temperatury i wilgotności powietrza). Dla wybranych punktów pomiarowych określono stężenie tła badanych gazów.

Badania te przeprowadzono w cyklach 11-godzinnych w dniach roboczych w miesiącach marcu i maju 2006 r., tj. w dniach, w których występuje największe natężenie ruchu komunikacyjnego, a mianowicie we wtorki, środy i piątki. W każdym punkcie pomiarowym i w każdej godzinie pomiaru wykonywano po trzy pomiary, których wyniki zostały następnie uśrednione. Jednogodzinne pomiary stężenia tlenu i tlenków azotu wykonywano w godzinach największego natężenia ruchu komunikacyjnego, a mianowicie w godzinach od 7⁰⁰ do 8⁰⁰, od 11⁰⁰ do 12⁰⁰ oraz od 14⁰⁰ do 18⁰⁰. Pomiaram stężenia tlenu i tlenków azotu towarzyszyła ocena natężenia ruchu pojazdów przejeżdżających przez skrzyżowanie z jednoczesną rejestracją rodzajów przejeżdżających pojazdów, tj. samochodów osobowych, ciężarowych i autobusów.

Pomiary stężenia tlenu i NO_x zostały wykonane przy użyciu przenośnego elektrochemicznego miernika typu Gas-Hunter o rozdzielczości 0,1% obj. Stężenie tlenków azotu wyznaczano w ppmv. Pomiar wilgotności i temperaturę powietrza określone przy użyciu Termo-Higrometru firmy Merzet.

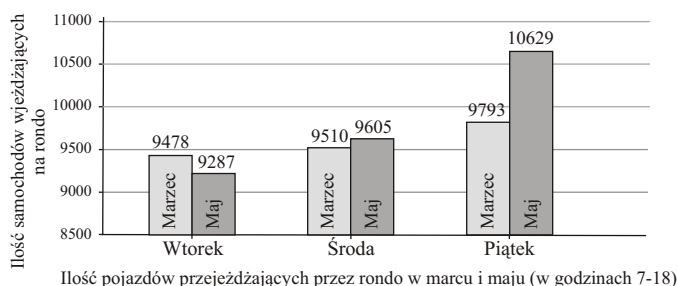
Wyniki i analiza wyników pomiaru

Natężenie ruchu samochodów przejeżdżających przez rondo zmienia się wraz z porą dnia oraz dniem tygodnia. Największe natężenie ruchu w badanym okresie występowało w godzinach od 14⁰⁰ do 18⁰⁰, przy czym maksymalne natężenie ruchu pojazdów rejestrowano w godzinach od 15⁰⁰ do 16⁰⁰ (rys. 3) i to niezależnie od dnia tygodnia oraz miesiąca, w którym przeprowadzano badania. Najmniejsze natężenie ruchu występowało pomiędzy godzinami 11⁰⁰ a 12⁰⁰.



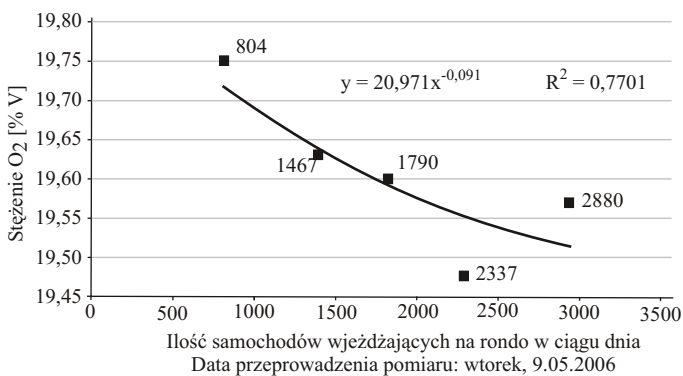
Rys. 3. Przykładowy rozkład zmian średniego natężenia ruchu samochodów na rondzie we wtorki w miesiącu marcu

Charakter rozkładu natężenia ruchu pojazdów na rondzie w obu badanych miesiącach, tj. marcu i maju różni się między sobą w niewielkim stopniu (rys. 4), przy czym w maju w porównaniu do marca wystąpił 2,6% wzrost liczby samochodów jaka przejeżdżała przez rondo. Wzrost natężenia ruchu pojazdów występował w każdy piątek w godzinach popołudniowych i to niezależnie od miesiąca, w którym przeprowadzono badania. Na przykład w maju natężenia ruchu pojazdów w piątki wzrosło o ok. 14% w porównaniu, np. do występującego we wtorki. Udział samochodów osobowych w ogólnej liczbie pojazdów przejeżdżających przez rondo w marcu wynosił średnio 83% a w maju 81,8%. W poszczególnych dniach tygodnia omawianych miesięcy ich udział w ogólnej liczbie przejeżdżających samochodów wahał się od 63 do 89%.



Rys. 4. Przebiegi zmian ilości samochodów przejeżdżających przez rondo w ciągu dnia w miesiącach marcu i maju

Przeprowadzone badania wykazały, że występuje istotna zmiana zawartości tlenu w powietrzu wraz ze zmianą natężenia ruchu pojazdów na wszystkich badanych obszarach komunikacyjnych, tj. rondzie i połączonych z nim ulicach. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu samochodowego obniża się zawartość tlenu. Przykładowy przebieg zmian zawartości tlenu w powietrzu na obszarze ronda obrazuje rysunek 5. Podobne przebiegi zmian stężenia tlenu w powietrzu występowały również w innych, pozostałych dniach prowadzenia badań.



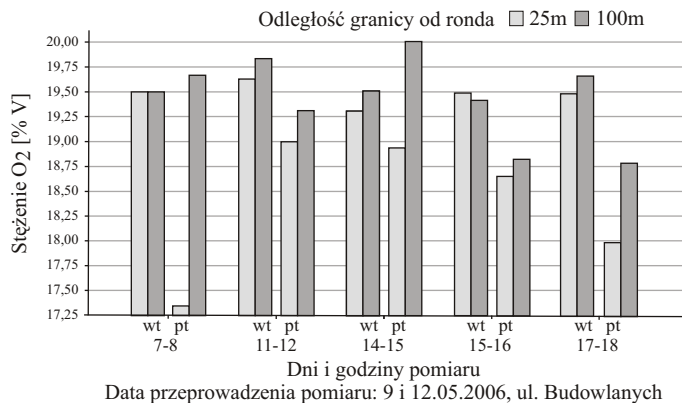
Rys. 5. Przykładowy przebieg zmian średniego stężenia tlenu w powietrzu na obszarze ronda w zależności od natężenia ruchu samochodów w miesiącu maju (we wtorek)

Maksymalne obniżenie zawartości tlenu w powietrzu na obszarze ronda zarówno w marcu, jak i maju występowało w piątki, tj. dniach, kiedy występował znaczny wzrost natężenia ruchu pojazdów wszelkiego typu, a przede wszystkim samochodów ciężarowych. W marcu stężenie tlenu w powietrzu na obszarze badanego ronda zmieniało się w przedziale od 17,9 do 20,3%, a maju od 18,1 do 20,8% objętości. Tak więc na obszarze ronda w marcu i maju różnica w zawartości tlenu w powietrzu wraz ze wzrostem natężenia ruchu ulegała obniżeniu w zależności od dnia tygodnia odpowiednio od 0,39 i 0,20% do 1,92 i 1,90% objętości w stosunku do poziomu występującego przy najmniejszym natężeniu ruchu pojazdów, tj. ok. 960 pojazdów na godzinę. W odniesieniu do poziomu tła maksymalne obniżenie ilości tlenu w powietrzu jest jeszcze dużo większe i w obu badanych miesiącach wynosiło od 1,7 do 2,8%. Tak duże ubytki tlenu w powietrzu wraz ze wzrostem natężenia ruchu pojazdów występowały przy braku intensywne ruchów powietrza nad obszarem ronda. W badanym okresie temperatura powietrza w miesiącach marcu i maju zmieniała się w ciągu dnia w stosunkowo wąskim przedziale odpowiednio 7÷11°C i 14÷20°C, a jego wilgotność w przedziale 41÷48% i 44÷47% przy ciśnieniu ok. 1000 hPa.

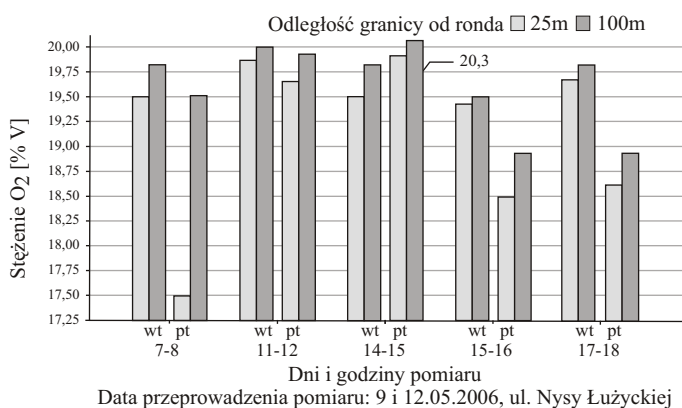
Wzrost natężenia ruchu pojazdów mechanicznych powoduje nie tylko nad obszarem ronda, ale także wzdłuż wszystkich ulic stykających się z rondem zmianę ilości tlenu w powietrzu. Wraz ze wzrostem odległości od granicy ronda rośnie nieznacznie zawartość tlenu w powietrzu w stosunku do ilości występującej nad jej obszarem (rys. 6 i 7). W odległości 100 m od ronda, tj. na obszarach badanych ulic stykających się z rondem występuje jeszcze znaczna różnica w ilości tlenu zawartego w powietrzu w stosunku do poziomu tła. Różnica ta w zależności od ich usytuowania w stosunku do kierunków wiatru, warunków zabudowy i natężenia ruchu wynosiła od 0,2 do 1,2%, a w skrajnym wypadku dochodziła nawet do 2,8% objętości. W tym ostatnim wypadku dotyczy to głównej, przelotowej ulicy Nysy Łużyckiej. Na ulicy tej występuje największe natężenie ruchu pojazdów, przy czym na znacznej jej długości znajduje się wysoka, zwarta zabudowa mieszkalna. Gęsta zabudowa przy trasach komunikacyjnych utrudnia rozprzestrzenianie się emitowanych zanieczyszczeń oraz wymianę zanieczyszczonego i zużytego powietrza. Wzrost natężenia ruchu pojazdów powoduje obniżenie ilości tlenu zawartego w powietrzu, a także szybki wzrost stężenia tlenków azotu (NO_x). Na rysunku 8 przedstawiono przykładowy przebieg zmian stężenia tlenków azotu NO_x w funkcji natężenia ruchu pojazdów występujący w jednym z dni maja 2006 r. Podobne przebiegi zmian stężenia tlenków azotu występowały i w innych pozostałych dniach prowadzenia badań (rys. 9).

Stopień wzrostu stężenia tlenków azotu w powietrzu na obszarze ronda jest znacznie większy aniżeli odpowiadający mu poziom obniżenia się w nim tlenu (rys. 5 i 8). Na

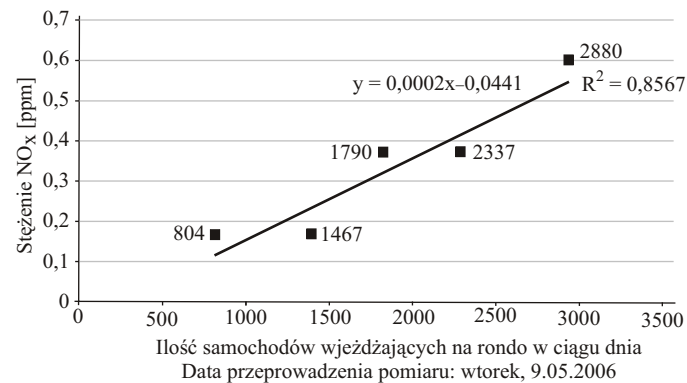
rysunku 9 przedstawiono przykładowe przebiegi zmian średniego stężenia NO_x w powietrzu na obszarze ronda w różnych porach wybranych dni marca. Średnie stężenie tlenków azotu w powietrzu na obszarze ronda w marcu i maju rośnie wraz ze wzrostem natężenia ruchu pojazdów od poziomu odpowiednio 0,29 ppm i 0,17 ppm występującego w godzinach porannych (tj. 7⁰⁰-8⁰⁰) do 0,74 ppm i 0,55 ppm w godzinach największego natężenia ruchu transportu drogowego, tj. pomiędzy godzinami 15⁰⁰ i 16⁰⁰.



Rys. 6. Rozkład zmian stężenia tlenu w powietrzu wzdłuż ulicy Budowlanych

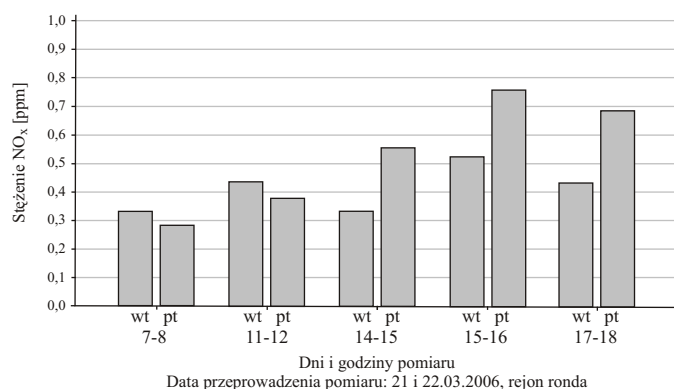


Rys. 7. Rozkład zmian stężenia tlenu w powietrzu wzdłuż ulicy Nysy Łużyckiej

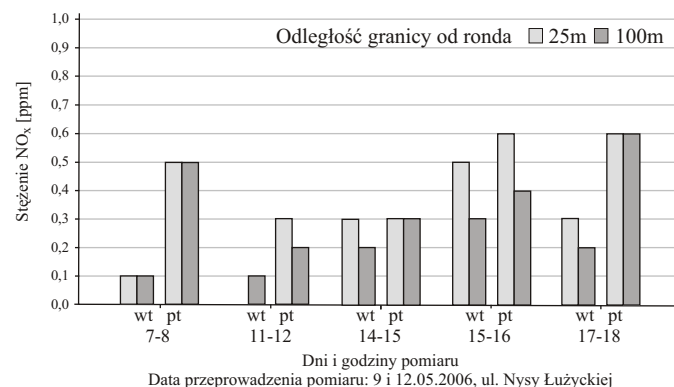


Rys. 8. Przykładowy przebieg zmian średniego stężenia NO_x na obszarze ronda w maju (we wtorek) w funkcji natężenia ruchu samochodów

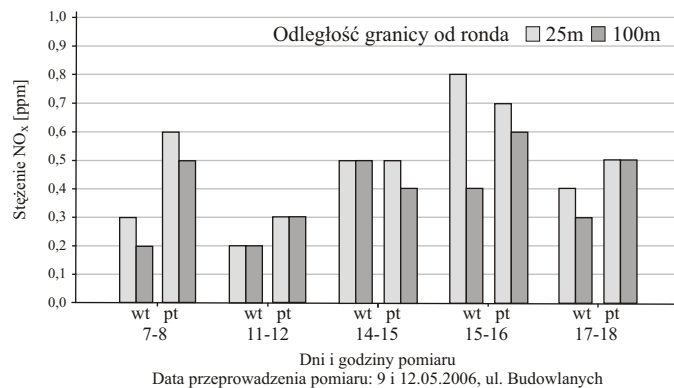
Badania przeprowadzone w marcu jak i maju wykazały ponadto, iż stężenie tlenków azotu w powietrzu w odległości 100 m od granicy ronda, tj. na obszarach ulic stykających się z rondem nie ulega zmianie lub obniża się nieznacznie w stosunku do poziomu występującego na jego obszarze. Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono przykładowe przebiegi zmian stężenia tlenków azotu w odległości 100 m od ronda występujące we wtorki (wt) i piątki (pt) w różnych porach dni marca na ulicach Nysy Łużyckiej i Budowlanych



Rys. 9. Wykres zmian stężenia NO_x w marcu na obszarze ronda



Rys. 10. Wykresy zmian stężenia NO_x w maju wzdłuż ulicy Nysy Łużyckiej w odległości 25 m i 100 m od ronda w zależności od dnia i godziny pomiaru



Rys. 11. Zmiany stężenia NO_x w powietrzu w maju na ulicy Budowlanych w odległości 25 m i 100 m od ronda w zależności od dnia i godziny pomiaru

i Budowlanych. Podobne przebiegi zmian stężenia tlenków azotu w powietrzu występują na pozostałych badanych ulicach.

Na poziom stężenia zarówno tlenu, jak i tlenków azotu NO_x w powietrzu na obszarze ronda, jak i badanych ulic istotny wpływ, oprócz natężenia ruchu i rodzaju przejeżdżających pojazdów oraz stopnia i rodzaju zabudowy szlaków komunikacyjnych, mają także występujące warunki atmosferyczne. Przy występowaniu silnych, jak i chwilowych porywów wiatru rosła zawartość tlenu w powietrzu, a jednocześnie stężenie NO_x ulegało obniżeniu, przy czym w skrajnych wypadkach osiągało wartość równą zero. Zjawisko to występowało głównie nad obszarem ronda, a w znacznie mniejszym stopniu wzdłuż ulic. Efekt oddziaływania wiatru na stopień zamian stężenia tlenu i tlenków azotu w powietrzu nad kanionami ulicznymi ulegał istotnemu obniżeniu wskutek występowania wysokiej i bardzo zwartej zabudowy ulic, co utrudnia wymianę mas powietrza, a także ich usytuowania w stosunku do najczęściej występujących w tym rejonie kierunków działania wiatru. Nie stwierdzono natomiast występowania istotnych zmian stężenia NO_x podczas krótkotrwałych, trwających od 15 do 30 minut opadów deszczu o małej intensywności. Zmierzone poziomy stężenia tlenków azotu w powietrzu zarówno nad obszarem ronda, jak i wzdłuż badanych ulic bardzo często przekraczały wartości poziomu odniesienia (poziomu dopuszczalnego dla obszaru kraju) [8] uśrednionego dla czasu 1 godziny i wynoszącego $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Czas występowania tego przekroczenia na obszarze ronda był znacznie dłuższy w porównaniu do rejestrowanego wzdłuż ulic zbiegających się na tym skrzyżowaniu.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że na obszarach badanych ciągów komunikacyjnych, tj. za-

równy ronda, jak i wzdłuż ulic stykających się z rondem występują duże niedobory tlenu w powietrzu. Stąd też przy wyborze miejsc pod budowę i ustalaniu zabudowy dużych ciągów komunikacji drogowej jest konieczne uwzględnienie możliwości występowania na danym obszarze, nie tylko znacznej emisji zanieczyszczeń gazowych, ale także zjawiska powstawania niedoboru tlenu w powietrzu. Jest to tym istotniejsze, iż powstawanie jego niedoboru ma bezpośredni wpływ na stan zdrowia mieszkańców i osób pracujących w budynkach usytuowanych w pobliżu ciągów komunikacyjnych o szczególnie dużym natężeniu ruchu, jak i występujących tam ekosystemów.

LITERATURA

- [1] Greszta J., Gruszka A., Kowalkowska M.: Wpływ emisji na ekosystem. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2002
- [2] Chłopek Z., Polichnowski T.: Modelowanie emisji zanieczyszczeń z pojazdów poruszających się na skrzyżowaniach. Archiwum motoryzacji. nr 4, Warszawa 2002
- [3] Pastuszka J.S., Gryniewicz-Bylina B., Karwicz B.: Współczynnik absorpcji aerozolu atmosferycznego w pobliżu ruchliwej drogi jako wskaźnik oddziaływania drogi na środowisko. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów. nr 5, s. 161–166, 2004
- [4] Gronowicz J.: Ochrona środowiska w transporcie lądowym. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2003
- [5] Roczniki statystyczne GUS. Warszawa 2006
- [6] Ochrona środowiska 2007. Rocznik statystyczny GUS. Warszawa 2007
- [7] Badyda A., Wieloaspektowy wpływ ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na środowisko aglomeracji miejskiej, na przykładzie Warszawy. Materiały konferencyjne z I Konferencji naukowej doktorantów „Zagadnienia Interdyscyplinarne w Inżynierii Ochrony Środowiska”, Szklarska Poręba 2005
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu. Dz. U. 02.87.798



Europejskie Obserwatorium Ryzyka powstało w 2005 r. jako integralna część Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy. Zmiany demograficzne oraz rozwój organizacji pracy i metod produkcji powodują powstawanie nowych typów zagrożeń dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, które wymagają nowych rozwiązań. Misją Obserwatorium Ryzyka jest rozpoznawanie nowych i powstających zagrożeń oraz propagowanie wczesnych działań zapobiegawczych. Obserwatorium opisuje

tendencje i warunkujące je czynniki oraz przewiduje zmiany w środowisku pracy i ich ewentualny wpływ na zdrowie i bezpieczeństwo.

Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy,
Hiszpania, Gran Via 33, E-48009 Bilbao
E-mail: information@osha.europa.eu
Faks +34 94 479 4383