

WPŁYW RUCHU DROGOWEGO NA POZIOM ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA ORAZ RYZYKO CHORÓB UKŁADU ODDECHOWEGO. CZ. I – OPIS ZALEŻNOŚCI POZIOMÓW ZANIECZYSZCZEŃ OD NATĘŻENIA RUCHU I INNYCH WYBRANYCH PARAMETRÓW Z WYKORZYSTANIEM MODELI STATYSTYCZNYCH

ARTUR JERZY BADYDA

*Zakład Informatyki i Badań Jakości Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska
e-mail: artur.badyda@is.pw.edu.pl*

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu pojazdów w przekroju jednej z bardziej obciążonych ruchem arterii komunikacyjnych Warszawy oraz pomiarów monitoringu jakości powietrza i podstawowych parametrów meteorologicznych. W celu precyzyjnego wyjaśnienia mechanizmu powiązania stężeń zanieczyszczeń powietrza z natężeniem ruchu i czynnikami meteorologicznymi na podstawie zebranych danych wykonano modele regresji wielokrotnej.

1. WSTĘP

Dynamiczny wzrost liczby pojazdów poruszających się po polskich drogach, w sytuacji znacznie wolniej powiększającej się sieci komunikacyjnej, powoduje zauważalny spadek średniej prędkości ruchu pojazdów. Szczególne znaczenie ma to w dużych aglomeracjach, gdzie dynamika wzrostu natężenia ruchu jest większa niż w skali kraju. Sieci drogowo-uliczne nie są w stanie sprawnie obsłużyć generowanego ruchu, czego efektem są liczne uciążliwości dla środowiska miejskiego, w tym rosnący poziom zanieczyszczeń powietrza, co może skutkować większą zachorowalnością mieszkańców na choroby układu oddechowego. Jak bowiem wskazują Keller i in. [1] oraz Chłopek [2-4], jazda na zatłoczonych ulicach, a więc z niskimi prędkościami średnimi, sprzyja zwiększeniu zużycia paliwa (przekraczającego 20 dm³ na 100 km), a w efekcie również zanieczyszczeń komunikacyjnych: tlenku węgla, węglowodorów, a w przypadku silników o zapłonie samoczynnym również cząstek stałych.

W 2005 roku przeprowadzono w Warszawie pomiary natężenia ruchu pojazdów w przekroju jednej z bardziej obciążonych ruchem arterii komunikacyjnych. Jednocześnie prowadzono pomiar stężeń zanieczyszczeń pochodzenia komunikacyjnego (CO, NO₂, PM₁₀ i C₆H₆) oraz podstawowych parametrów meteorologicznych. W tym samym roku przeprowadzono badania sprawności wentylacyjnej układu oddechowego w grupie 823 mieszkańców tej samej ulicy.

W celu precyzyjnego wyjaśnienia mechanizmu powiązania stężeń zanieczyszczeń powietrza z natężeniem ruchu i czynnikami meteorologicznymi, na podstawie zebranych danych, wykonano modele regresji wielokrotnej. Stwierdzono, że modele te wyjaśniają

stosunkowo dużą część wariancji zmiennej zależnej, o czym świadczą relatywnie wysokie współczynniki determinacji – R^2 przyjmuje, zależnie od modelu, wartości od 0,70 do 0,91.

W latach 2005-2006 przeprowadzono również pilotowe badania sprawności wentylacyjnej mieszkańców tej samej ulicy oraz osób zamieszkujących tereny pozamiejskie. Badania te posłużyły do oszacowania ryzyka zachorowania z powodu przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP). Szczegóły w tym zakresie prezentuje 2. część publikacji.

2. ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY NATĘŻENIEM RUCHU POJAZDÓW A STĘŻENIAMI ZANIECZYSZCZEŃ

2.1. Sytuacja obecna w zakresie problemów komunikacyjnych

W ciągu ostatnich kilkunastu lat nastąpił w Polsce niezwykle dynamiczny wzrost liczby pojazdów. Od 2004 roku rocznie trafia do Polski ponad 800 000 pojazdów, a w roku 2008 zaimportowano milion samochodów, w większości z krajów UE. W tej sytuacji, przy jednoczesnym nieznacznym wzroście długości sieci drogowej, znacznie zwiększyło się natężenie ruchu pojazdów, zaczęły pojawiać się również coraz częściej problemy ze sprawnym obsłużeniem generowanego ruchu. Zgodnie ze stanem na dzień 31 grudnia 2007 roku [5] po polskich drogach porusza się niemal 19,5 miliona pojazdów, z czego większość (75%) stanowią samochody osobowe. W okresie 2000-2007 liczba zarejestrowanych pojazdów wzrosła o 38%, podczas gdy całkowita długość sieci drogowej w tym samym okresie wzrosła jedynie o 4%.

Dynamiczny wzrost liczby pojazdów i związane z tym problemy komunikacyjne są szczególnie silnie widoczne w dużych ośrodkach miejskich. Układy drogowo-uliczne miast nie są w stanie przyjąć i sprawnie obsłużyć generowanego w nich ruchu, co powoduje liczne niekorzystne efekty dla środowiska miejskiego. Przykładowo do Warszawy dociera dziennie ponad 300 tysięcy pojazdów z ruchu podmiejskiego, regionalnego i tranzytowego, co dodatkowo obciąża system komunikacyjny miasta [6]. Zatory komunikacyjne, powszechnie występujące w miastach, są już nie tylko uciążliwością właściwą dla tzw. szczytów komunikacyjnych. Przede wszystkim jest to istotne źródło zwiększonej emisji do powietrza produktów spalania paliw pochodzących z silników pojazdów.

2.2. Wyniki pomiarów ruchu i poziomów zanieczyszczeń powietrza

W 2005 roku w okresie 1 tygodnia zrealizowano pomiary natężenia ruchu pojazdów, uwzględniając strukturę ruchu oraz średnią prędkość w ramach każdej z kategorii (samochody osobowe, samochody ciężarowe, autobusy). Pomiary prowadzono w przekroju Al. Niepodległości w Warszawie, będącej jedną z najsilniej obciążonych ruchem arterią komunikacyjną miasta. Jednocześnie w pobliskiej stacji monitoringu jakości powietrza prowadzono pomiar stężeń zanieczyszczeń powietrza, z których w analizach uwzględnione zostały tlenek węgla, tlenki azotu, frakcja pyłów PM_{10} oraz benzen.

Analiza zebranych wyników pomiarów natężenia ruchu pojazdów wykazała, że w dni robocze przekrój pomiarowy przekraczało od 70000 do 75000 pojazdów na dobę, przy czym samochody osobowe stanowiły niemal 98% całkowitego natężenia ruchu. Szczytowe poranne natężenie ruchu w dni robocze notowane jest w godzinach między 07:00 a 09:00, zaś popołudniowe pomiędzy godzinami 16:00 i 19:00, kiedy to przez przekrój pomiarowy w ciągu każdej godziny przejeżdża średnio ponad 5000 pojazdów. Na okres pomiędzy 07:00 a 19:00 przypada zaś 70-80% całodobowego natężenia ruchu.

Taki stan rzeczy znajduje odzwierciedlenie w stężeniach zanieczyszczeń rejestrowanych przez stację monitoringu. Zmianom natężenia ruchu pojazdów towarzyszą analogiczne zmiany stężeń zanieczyszczeń powietrza. Potwierdzeniem tego mogą być współczynniki korelacji Pearsona (istotne z $p < 0,05$) obliczone dla rozkładów tych zmiennych (tabela 1).

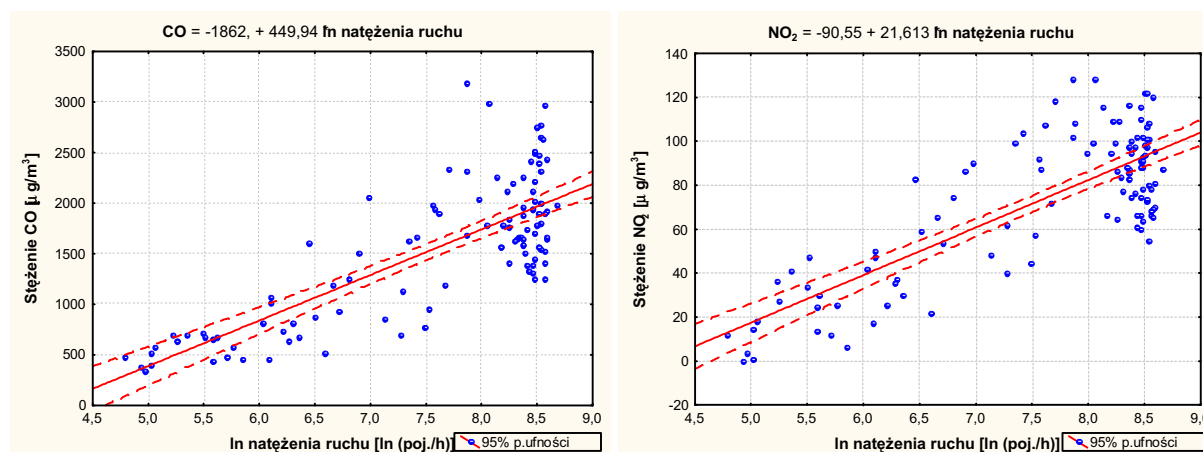
Tabela 1 Współczynniki korelacji natężenia ruchu i stężeń wybranych zanieczyszczeń obliczonych dla całego tygodnia (w nawiasach obliczenia dla dni roboczych)

	CO	NO ₂	PM ₁₀	C ₆ H ₆
CO	-			
NO ₂	0,93 (0,93)	-		
PM ₁₀	0,68 (0,69)	0,68 (0,71)	-	
C ₆ H ₆	0,88 (0,88)	0,80 (0,80)	0,63 (0,62)	-
Natężenie ruchu	0,70 (0,73)	0,69 (0,68)	0,45 (0,52)	0,48 (0,51)

Zależność liniowa pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a średnimi 1-godzinowymi stężeniami zanieczyszczeń nie stanowi jednakże aproksymaty właściwej dla przedstawionych relacji między omawianymi zmiennymi. Statystyki C_p Mallowa obliczone zarówno dla całego 7-dniowego okresu pomiarowego, jak i dni roboczych wskazują, iż model logarytmiczno-liniowy najlepiej odzwierciedla zależność pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami poszczególnych zanieczyszczeń. Ilustrację graficzną stanowi rys. 1 (ilustracja dla dni roboczych przedstawia zależność dla tlenku węgla i ditlenku azotu), zaś porównanie wartości statystyk C_p Mallowa pomiędzy zależnością liniową a logarytmiczną prezentuje tabela 2 (dla celów porównawczych zamieszczono również wartości R²).

Tabela 2 Statystyki C_p Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla dni roboczych)

		CO	NO ₂	PM ₁₀	C ₆ H ₆
Natężenie ruchu	C _p	31,83	86,00	26,79	19,27
	R ²	0,53	0,46	0,27	0,26
ln natężenia ruchu	C _p	2,69	21,91	6,96	4,67
	R ²	0,61	0,63	0,37	0,33



Rys. 1 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń (na podstawie danych dla dni roboczych)

Informacje literaturowe [7] wskazują, iż natężenie ruchu w sieci drogowej miasta utrzymuje się w dni robocze na podobnym, wysokim poziomie, zaś w okresach weekendowych jest znacznie mniejsze (z wyjątkiem godzin i tras, którymi odbywają się wyjazdy i powroty). Warszawskie Badanie Ruchu [6] wykazało, że na analizowanym odcinku Al. Niepodległości średniodobowe natężenie ruchu (24-godzinny pomiar wykonywany w jeden wybrany roboczy dzień każdego tygodnia przez 3 miesiące) wynosi 78000 pojazdów. Natężenie ruchu pojazdów zmierzone w ciągu Al. Niepodległości oraz jego zmiany w poszczególnych godzinach doby można wobec tego traktować jako charakterystyczne dla danej arterii

Domniemanie o podobnym rozkładzie godzinowych natężeń ruchu w poszczególne dni robocze potwierdza test Kruskala-Wallisa, którego wynik ($p=0,89$) nie daje podstaw do odrzucenia hipotezy o równości rozkładów natężeń ruchu w poszczególne dni robocze. Mimo braku normalności rozkładu natężenia ruchu sprawdzono jednorodność wariancji i przeprowadzono tzw. testy post-hoc. Jak bowiem podaje Dobosz [8], w wielu przypadkach, mimo odchylenia od normalności analiza wariancji daje prawidłowe wnioski ze względu na fakt, iż test F jest w dużym stopniu odporny na odchylenia od normalności.

Test Levene'a jednorodności wariancji wykazał ($p<0,05$), że należy odrzucić hipotezę o jednorodności wariancji w każdym z dni tygodnia. Nie ma natomiast podstaw do odrzucenia takiej hipotezy w przypadku przeprowadzenia testu osobno w grupie dni roboczych oraz dni wolnych. Testy post-hoc (test Duncana i test Tukeya) wykonane dla poszczególnych grup dni wykazały, że na poziomie $p<0,05$ brak jest istotnych statystycznie różnic rozkładów natężeń ruchu. Można zatem przyjąć, że rozkład natężenia ruchu w każdym z dni roboczych uznać można za taki sam. Podobnie rozkład natężenia ruchu w dni wolne jest zbliżony.

Porównanie rozkładów 1-godzinowych średnich stężeń zanieczyszczeń komunikacyjnych z omawianego okresu pomiarowego pozwala na podstawie testu Kruskala-Wallisa (przy poziomie istotności $<0,05$) odrzucić hipotezę o równości rozkładów stężeń poszczególnych zanieczyszczeń w każdym z dni tygodnia.

Testy post-hoc, podobnie jak w przypadku natężeń ruchu wskazują, iż istnieją statystycznie istotne różnice pomiędzy poziomami zanieczyszczeń rejestrowanymi przez komunikacyjną stację monitoringu powietrza w większość dni roboczych w porównaniu z wolnymi od pracy. Jednakże wyniki podobnej analizy (testu Kruskala-Wallisa) wykonanej tylko dla dni roboczych nie pozwalają na odrzucenie hipotezy zerowej, co wskazuje na to, że poszczególne zanieczyszczenia charakteryzują się zbliżonymi poziomami w każdym dniu roboczym.

Opierając się na opisanych powyżej wynikach, świadczących o równości natężeń ruchu pojazdów w poszczególne robocze dni tygodnia i zakładając, iż w ciągu 2-letniego okresu 2004-2005 dobowy przebieg zmian tych natężeń był zbliżony, analizie poddano rozkład stężeń zanieczyszczeń uśrednionych w poszczególnych godzinach doby za wskazany okres. Przyjęto, że zmierzone natężenie ruchu pojazdów można przyjąć za charakterystyczne dla całego roku, przy czym na uwadze mieć należy, że będzie ono inne w okresach, w których warunki pogodowe (intensywne opady deszczu lub śniegu, gołoledź) lub zmiany organizacji ruchu (remonty, objazdy) wymuszają odmienny sposób poruszania się pojazdów.

Przyjmując uśrednione 1-godzinowe natężenia ruchu dla całego okresu pomiarowego oraz uśrednione 1-godzinowe stężenia zanieczyszczeń z lat 2004-2005, obliczono współczynniki korelacji Pearsona. Wyniki obliczeń dla tych rozkładów wskazują na istnienie bardzo silnej, istotnej statystycznie ($p<0,05$) korelacji pomiędzy tymi wielkościami

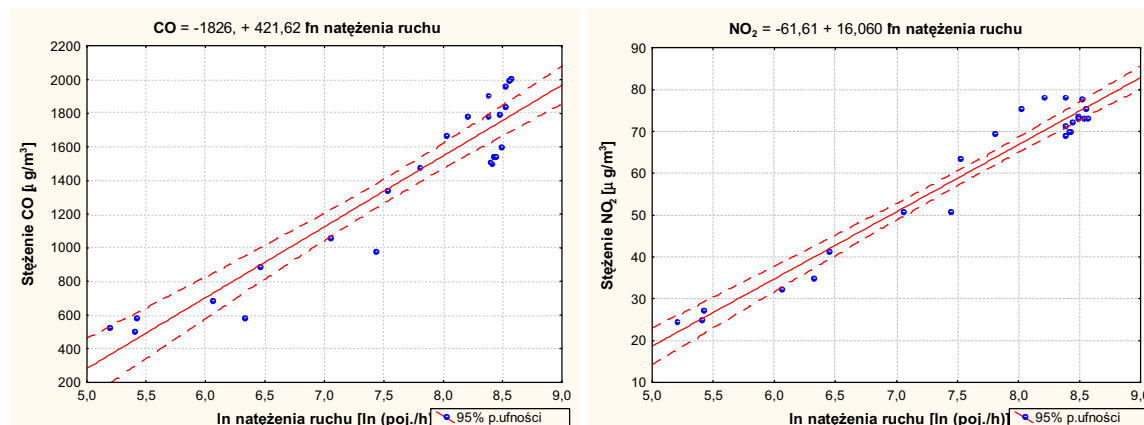
Tabela 3 Współczynniki korelacji natężenia ruchu i stężeń wybranych zanieczyszczeń uśrednionych za okres lat 2004-2005 (w nawiasach obliczenia dla dni roboczych)

	CO	NO ₂	PM ₁₀	C ₆ H ₆
CO	-			
NO ₂	0,97 (0,97)	-		
PM ₁₀	0,89 (0,90)	0,90 (0,91)	-	
C ₆ H ₆	0,97 (0,97)	0,94 (0,94)	0,88 (0,88)	-
Natężenie ruchu	0,92 (0,94)	0,89 (0,92)	0,80 (0,84)	0,86 (0,88)

Analiza statystyk C_p Mallowa wskazuje, że aproksymacja liniowa nie jest wystarczająca dla zależności pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami zanieczyszczeń. Wierniejsze odzwierciedlenie zapewnia zależność logarytmiczna (rys. 2, tabela 4).

Tabela 4 Statystyki C_p Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla dni roboczych)

		CO	NO ₂	PM ₁₀	C ₆ H ₆
Natężenie ruchu	C _p	18,54	83,75	39,50	8,70
	R ²	0,88	0,84	0,70	0,77
ln natężenia ruchu	C _p	6,87	1,95	4,04	2,92
	R ²	0,90	0,96	0,84	0,79



Rys. 2 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (na podstawie danych dla dni roboczych)

2.3. Wyniki modelowania – modele regresji wielokrotnej

Omówione powyżej analizy wskazują na wysoki i istotny statystycznie wpływ natężenia ruchu pojazdów w ciągu Al. Niepodległości w Warszawie na poziom zanieczyszczenia powietrza w sąsiedztwie tej arterii komunikacyjnej. W celu precyzyjnego wyrażenia mechanizmu powiązania między tymi wielkościami, na podstawie danych zebranych podczas pomiarów ruchu, oszacowano modele regresji prostej dla każdego z analizowanych zanieczyszczeń osobno.

W każdym z przeanalizowanych modeli oszacowane parametry były istotne (na poziomie $p < 0,05$), a więc ich wpływ na zmienną zależną był silny. Modele te nie wyjaśniają jednak stosunkowo dużej części obserwowanej zmienności stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, o czym świadczą niskie współczynniki determinacji R² (od 0,21 do 0,45). Już wartości współczynników korelacji Pearsona, obliczonych pomiędzy zmianami natężenia ruchu

a stężeniami zanieczyszczeń wskazywały, iż na rejestrowane poziomy zanieczyszczeń wpływają dodatkowe czynniki, niezwiązane z przebiegiem zmian natężenia ruchu pojazdów. Również analiza dobowych zmienności stężeń zanieczyszczeń dowodzi, że, zwłaszcza w okresie letnim, części zmian poziomów zanieczyszczeń nie można tłumaczyć zmianami natężenia ruchu. Założono, iż sytuacja taka wynika z wpływu pewnych zjawisk meteorologicznych, których uwzględnienie w modelach podniosło wartości współczynników determinacji. W wyniku wprowadzenia dodatkowych zmiennych niezależnych zaobserwowano wyraźny wzrost współczynników determinacji, nie tylko dla najbardziej charakterystycznych indykatorów zanieczyszczenia powietrza ze źródeł komunikacyjnych (CO i NO₂), ale również dla pozostałych analizowanych zmiennych zależnych.

W dalszej części dokonano szeregu modyfikacji przedstawionych wyżej modeli. Były one poprawiane w kilku iteracjach, z których w każdej uwzględniano nowe elementy, modyfikowano istniejące lub usuwano te, które okazywały się być statystycznie nieistotnymi. W końcowej fazie w modelach uwzględniono dodatkowo zmienne opóźnione, czyli natężenia ruchu i stężenia poszczególnych zanieczyszczeń w poprzedniej chwili czasowej (1 godzinę wcześniej), oznaczając bieżącą chwilę czasową jako t , zaś poprzedzającą jako $t-1$. Korzystając również z wyników wcześniejszych analiz, wskazujących, iż zależność logarytmiczno-liniowa pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń stanowi lepszą aproksymację w porównaniu z zależnością liniową, w modelach uwzględniono zlogarytmowane zmienne niezależne. Operacja ta wpłynęła na zauważalny wzrost współczynnika determinacji w przypadku modeli dla tlenku węgla, PM₁₀ oraz benzenu. W przypadku ditlenku azotu lepszym dopasowaniem charakteryzuje się jednak model liniowy. Ostatecznie więc, po wyeliminowaniu wszystkich zmiennych nieistotnych, równania regresji przyjmują postaci zaprezentowane w równaniach 1-4:

$$\ln \text{CO}_{(t)} = 0,39 \cdot \ln N_{(t)} - 0,14 \cdot \ln N_{(t-1)} + 0,57 \cdot \ln \text{CO}_{(t-1)} - 0,39 \cdot \ln V_{w(t)} + 1,20 \quad R^2=0,911 \quad (1)$$

$$\text{NO}_{2(t)} = 0,01 \cdot N_{(t)} + 0,56 \cdot \text{NO}_{2(t-1)} - 33,97 \cdot V_{w(t)} + 37,44 \quad R^2=0,881 \quad (2)$$

$$\ln \text{PM}_{10(t)} = 0,52 \cdot \ln N_{(t)} - 0,31 \cdot \ln N_{(t-1)} + 0,66 \cdot \ln \text{PM}_{10(t-1)} - 0,37 \cdot \ln V_{w(t)} - 0,35 \quad R^2=0,696 \quad (3)$$

$$\ln \text{C}_6\text{H}_{6(t)} = 0,31 \cdot \ln N_{(t)} + 0,50 \cdot \ln \text{C}_6\text{H}_{6(t-1)} - 0,17 \cdot \ln V_{w(t)} - 0,49 \cdot \ln V_{w(t-1)} - 2,33 \quad R^2=0,835 \quad (4)$$

gdzie:

CO_(t), CO_(t-1) – średnie 1-h stężenie tlenku węgla [μg/m³] odpowiednio w chwili t oraz $t-1$

NO_{2(t)}, NO_{2(t-1)} – średnie 1-h stężenie ditlenku azotu [μg/m³] odpowiednio w chwili t oraz $t-1$

PM_{10(t)}, PM_{10(t-1)} – średnie 1-h stężenie frakcji pyłów respirabilnych ($\phi \leq 10 \mu\text{m}$) [μg/m³] odpowiednio w chwili t oraz $t-1$

C₆H_{6(t)}, C₆H_{6(t-1)} – średnie 1-h stężenie benzenu [μg/m³] odpowiednio w chwili t oraz $t-1$

N_(t), N_(t-1) – 1-h natężenie ruchu pojazdów [poj./h] odpowiednio w chwili t oraz $t-1$

V_{w(t)}, V_{w(t-1)} – średnia 1-h prędkość wiatru [m/s] odpowiednio w chwili t oraz $t-1$

Tak sformułowane modele regresji wielokrotnej, a więc uwzględniające zarówno wskaźniki meteorologiczne jak i zmienne opóźnione (stężenia zanieczyszczeń w chwili $t-1$), w pełniejszym stopniu wyjaśniają zmienność zmiennych zależnych, o czym świadczą wysokie współczynniki determinacji. Analiza standaryzowanych współczynników regresji dowodzi, iż w przypadku tlenku węgla, ditlenku azotu oraz benzenu natężenie ruchu jest najsilniej powiązane ze zmienną zależną, a więc ze zmiennością poziomów poszczególnych zanieczyszczeń. Innymi słowy, wielkość ta samodzielnie wyjaśnia najwięcej wariacji

zmiennej zależnej (przy nieuwzględnianiu wpływu pozostałych zmiennych niezależnych) – zależnie od modelu od nieco ponad 30% do przeszło 50%. Mniej wariacji wyjaśniają stężenia odpowiednich zanieczyszczeń w chwili czasowej t-1 (od 19% do 31%), przy czym w przypadku benzenu standaryzowane współczynniki regresji dla natężenia ruchu i stężeń w chwili t-1 są bardzo zbliżone (wynoszą po około 30%). Silniej natomiast zmienna opóźniona powiązana jest ze zmienną zależną w modelu opisującym PM₁₀ (wyjaśnia 41% wariacji zmiennej zależnej), gdzie z kolei mniej wariacji samodzielnie wyjaśnia natężenie ruchu pojazdów (nieco ponad 12%). Wynika to z faktu, że PM₁₀ nie jest typowym zanieczyszczeniem komunikacyjnym i potwierdza wcześniejsze obserwacje, wskazujące, iż na poziom tego zanieczyszczenia, poza spalaniem paliw w silnikach pojazdów, zauważalny wpływ mają inne źródła zanieczyszczeń pyłowych. Prędkość wiatru samodzielnie wyjaśnia między 5% a 26% wariacji poziomów zanieczyszczeń. Podobnych wyników [9] dostarczyła analiza regresji dla wybranych miesięcy sezonu grzewczego (grudzień 2004 i styczeń 2005) oraz letniego (maj i czerwiec 2005), przeprowadzona na podstawie danych meteorologicznych ze stacji pomiarowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Podsumowując wyniki modelowania, należy podkreślić, że podstawowe założenia stawiane tego typu modelom zostały spełnione. Przede wszystkim brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o braku istotności całego modelu, reszty wszystkich modeli charakteryzują się rozkładem normalnym (co potwierdza test Kołmogorowa-Smirnowa-Lillieforsa), a modele te nie wykazują tendencji nieliniowych względem parametrów. Statystyka Durbina-Watsona, której wartość w każdym z modeli jest bliska d=2, świadczy o spełnieniu założenia o braku autokorelacji.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych prac wskazują na wysokie obciążenie analizowanej arterii komunikacyjnej ruchem pojazdów i dowodzą statystycznie istotnego związku pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a poziomem zanieczyszczeń powietrza. Utrzymujące się na wysokim poziomie, od początku porannego szczytu komunikacyjnego do zakończenia szczytu popołudniowego, natężenie ruchu wpływa na wyraźny spadek średniej prędkości pojazdów, co sprzyja formowaniu się zatorów komunikacyjnych. Skutki zatorów mają charakter wielowymiarowy, zaś wśród najistotniejszych wyróżnić można potencjalnie większe narażenie na niekorzystne oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza osób mieszkających w sąsiedztwie zatłoczonych arterii komunikacyjnych.

Zaprezentowany materiał dowodzi, że ruch drogowy w ciągu analizowanej arterii kształtuje się w dni robocze, pomiędzy porannym a popołudniowym szczytem komunikacyjnym, na stałym i wysokim poziomie. Różnice w poziomach zanieczyszczeń rejestrowanych wzdłuż szlaków komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu pojazdów oraz na obszarach oddzielonych od bezpośredniego oddziaływania ruchu drogowego, zwłaszcza zaś na terenach nieurbanizowanych wskazują, że ruch drogowy ma statystycznie istotny wpływ na poziomy zanieczyszczeń na terenach miejskich. Wniosek z tego zatem, że stanowi on zasadniczą przyczynę utrzymywania się statystycznie istotnie wyższych stężeń zanieczyszczeń w bezpośrednim sąsiedztwie głównych ciągów komunikacyjnych w porównaniu z terenami odseparowanymi od ruchu kołowego, w szczególności w porównaniu z obszarami pozamiejskimi. Zaprezentowane modele regresyjne wskazują, że zmiany stężeń zanieczyszczeń zależne są zarówno od zmian natężenia ruchu pojazdów, ale również wynikają z bieżącej sytuacji meteorologicznej, w szczególności z ruchów mas powietrza, a więc z prędkości wiatru.

W zaprezentowanych modelach, pomimo wysokich współczynników determinacji i braku podstaw do odrzucenia hipotezy o braku istotności modeli, obserwuje się na wykresach rozrzutu pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń znaczną liczbę punktów znajdujących się poza 95% przedziałem ufności. Wskazuje to, że model statystyczny może być tylko wstępnym oszacowaniem zależności pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami zanieczyszczeń rejestrowanymi w przekroju pomiarowym. Konieczne jest podjęcie badań na podstawie bardziej wyrafinowanych modeli, uwzględniających m.in. dynamikę zmian prędkości ruchu i wspomniane zależności od warunków meteorologicznych. Badania takie są obecnie prowadzone przez autora niniejszej pracy.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005 – 2006 jako projekt badawczy.

LITERATURA

1. Keller M., Evéquo R., Rellstab J., Kessler H.: Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950-2010. Schriftenreihe Umwelt Nr 255. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern 1995
2. Chłopek Z.: Pojazdy samochodowe : ochrona środowiska naturalnego. Warszawa : WKŁ, 2002
3. Chłopek Z.: Badania modelu globalnej emisji spalin z silników pojazdów drogowych. „Chemia i Inżynieria Ekologiczna” 1999, t. 6, 8.
4. Chłopek Z.: Główne problemy modelowania emisji substancji szkodliwych dla środowiska z silników spalinowych. W: Konf. nauk. dla uczczenia 70-lecia Profesora Mariana Cichego. „MODES” Modelowanie Systemów Energetycznych z Silnikami Spalinowymi. Komitet Transportu PAN. Gdańsk 2001.
5. Bank Danych Regionalnych. Warszawa : GUS, 2008.
6. Warszawskie Badanie Ruchu 2005. Warszawa : Biuro Planowania Rozwoju Warszawy, 2005.
7. Datka. S, Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. Warszawa : WKŁ, 1999.
8. Dobosz M.: Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań. Warszawa : Akad. Oficyna Wyd. EXIT, 2001.
9. Badyda A., Majewski G.: Analiza zmienności stężenia zanieczyszczeń komunikacyjnych w aglomeracji miejskiej na tle natężenia ruchu pojazdów i warunków meteorologicznych. „Przegląd Naukowy : Inżynieria i kształtowanie środowiska” 2006, 1(33), s. 146-157.

TRAFFIC INFLUENCE ON THE LEVEL OF AIR POLLUTANTS CONCENTRATION AND RISK OF RESPIRATORY TRACT DISEASES. PART I – USING STATISTICAL MODELS TO SPECIFY THE DESCRIPTION OF THE RELATION BETWEEN AIR POLLUTION LEVELS, TRAFFIC INTENSITY AND OTHER SELECTED PARAMETRES

Summary. Paper presents the results of vehicles density measurement made across one of the busiest road in Warsaw, Poland and air quality monitoring results as well as selected meteorological parameters. Collected data were used to build the multiple regression models in order to explain precisely the mechanism of the interrelation between air pollutants concentration, traffic density and meteorological conditions.