

Article citation info:

Chlopek Z, Strzalkowska K. Research on the impact of automotive sources on the immission of specific size fractions of particulate matter in a street canyon. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018; 80(2): 19-35. <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL80.ART2>

BADANIA WPLYWU ŹRÓDEŁ MOTORYZACYJNYCH NA IMISJĘ FRAKCJI WYMIAROWYCH CZĄSTEK STAŁYCH W KANIONIE ULICZNYM

**ZDZISŁAW CHŁOPEK¹, KATARZYNA
STRZAŁKOWSKA²**

Warsaw University of Technology
Automotive Industry Institute (PIMOT)

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań empirycznych imisji frakcji wymiarowych pyłów oraz tlenku węgla i tlenków azotu w okolicach kanionu ulicznego w Warszawie w miesiącu letnim. Badano również wyniki charakteryzujące warunki atmosferyczne oraz natężenie ruchu samochodów. Do analizy wykorzystano wyniki badań, wykonywanych na stacji nadzorowania jakości powietrza Warszawa-Komunikacyjna przy Al. Niepodległości 227/233, oraz przeprowadzanych przy użyciu pyłomierza firmy TSI. Badano imisję frakcji wymiarowych cząstek stałych: PM₁₀, PM_{2.5} i PM₁. Stwierdzono wyraźny wpływ źródeł motoryzacyjnych na imisję frakcji wymiarowych pyłów, szczególnie pyłów drobnych. Badano również zależność korelacyjną imisji zanieczyszczeń cząstek stałych PM₁₀ oraz dwutlenku azotu i tlenku węgla – na podstawie wyników badań na stacji nadzorowania jakości powietrza. Stwierdzono słabą korelację, co wynikało prawdopodobnie z zastosowanej metodyki pomiarów. Badania korelacyjne imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych, wykonane na podstawie wyników badań wykonanych przy użyciu pyłomierza, wykazały bardzo silną korelację. Ogólnie stwierdzono istotny wpływ emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych na imisję cząstek stałych w kanionie ulicznym, szczególnie na imisję drobnych frakcji wymiarowych pyłów.

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering, Institute of Vehicles, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Poland; e-mail: zdzislaw.chlopek@simr.pw.edu.pl.

² Automotive Industry Institute PIMOT, Scientific Activities Department, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Poland; e-mail: k.strzalkowska@pimot.eu.

Słowa kluczowe: emisja zanieczyszczeń, cząstki stałe, motoryzacja, kanion uliczny

1. Wstęp

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego stanowi bardzo poważny problem, szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich. Wyróżnia się zarówno zanieczyszczenia gazowe, jak i pyłowe. Za pył uważa się fazę rozproszoną układu dwufazowego, składającą się z ciała stałego zawieszonego w gazowej fazie rozpraszającej. Ogólnie pył jest to mieszanina cząstek stałych zawieszonych w powietrzu atmosferycznym [5–9, 11, 15, 16].

Cząstki stałe można podzielić ze względu na ich umowne wymiary, które uzależnione są od ich średniej średnicy aerodynamicznej. Wyróżnia się [1–5, 7, 8, 10, 11, 15–17]:

- całkowity pył zawieszony – TSP (Total Suspended Particles) – średnica aerodynamiczna mniejsza niż 300 μm ,
- pył drobny PM10 (PM – Particulate Matter) – średnica aerodynamiczna mniejsza niż 10 μm ,
- pył drobny PM2.5 – pył zawieszony, średnica aerodynamiczna mniejsza niż 2,5 μm ,
- pył PM1 – średnica aerodynamiczna mniejsza niż 1 μm , wyróżniany w badaniach silników spalinowych.

Zanieczyszczenia pyłowe mają znaczący wpływ na zdrowie człowieka. Ich oddziaływanie jest uzależnione od wielkości, kształtu, a także składu chemicznego. Najgroźniejsze dla zdrowia człowieka są pyły drobnociarniste, ponieważ docierają do najgłębszych partii układu oddechowego człowieka, gdzie się akumulują, a część z nich jest wchłaniana. Dodatkowo pyły drobnociarniste przedostają się do układu krążenia i w ten sposób mogą być rozprzestrzeniane po całym organizmie, w szczególności przedostają się do mózgu.[5, 7–9, 12, 13, 15, 16].

2. Metodyka badań

Celem badań była ocena wpływu źródeł motoryzacyjnych na wartość emisji poszczególnych frakcji wymiarowych cząstek stałych w powietrzu atmosferycznym w kanionie ulicznym w aglomeracji warszawskiej.

Modele emisji – I cząstek stałych PM2.5 oraz PM1 są tworzone zgodnie z kryterium podobieństwa funkcjonalnego [1–3, 7, 8], do czego są wykorzystywane definicje cząstek stałych. Zbiór pyłów o średnicy mniejszej niż 2,5 μm , tj. PM2.5 jest zaliczany do podzbioru zbioru cząstek stałych o średnicy mniejszej niż 10 μm (PM10), a cząstki stałe PM1 stanowią podzbiór zbioru PM2.5. Emisja pyłów PM2.5 jest modelowana jako liniowo zależna od emisji pyłów PM10 [1–3, 5, 10, 14]:

$$I_{\text{PM2.5}} = k_{\text{PM2.5-PM10}} \cdot I_{\text{PM10}} \quad (1)$$

gdzie:

$k_{\text{PM2.5-PM10}}$ – współczynnik modelu emisji pyłów PM2.5 ($k_{\text{PM2.5-PM10}} \in <0;1>$).

Emisja cząstek stałych PM1 jest modelowana jako liniowo zależna od emisji cząstek stałych PM2.5 [1, 3, 10, 14]:

$$I_{\text{PM1}} = k_{\text{PM1-PM2.5}} \cdot I_{\text{PM2.5}} \quad (2)$$

gdzie:

$k_{\text{PM1-PM2.5}}$ – współczynnik modelu emisji pyłów PM1 ($k_{\text{PM1-PM2.5}} \in <0;1>$).

Pyły PM1 stanowią również podzbiór zbioru pyłów PM10, dlatego też można emisję modelować jako liniowo zależną od emisji pyłów PM10 [1, 3, 10, 14]:

$$I_{\text{PM1}} = k_{\text{PM1-PM10}} \cdot I_{\text{PM10}} \quad (3)$$

gdzie:

$k_{\text{PM1-PM10}}$ – współczynnik modelu emisji pyłów PM1 ($k_{\text{PM1-PM10}} \in <0;1>$).

Identyfikacja modeli emisji cząstek stałych PM2.5 oraz PM1 polega na wyznaczeniu współczynników modeli na podstawie wyników badań empirycznych [1, 3, 10, 14].

Modele emisji cząstek stałych PM10 także są tworzone zgodnie z kryterium podobieństwa funkcjonalnego. Wśród tych modeli wyróżnia się modele emisji pyłów o średnicy mniejszej niż 10 μm jako zależnych liniowo od emisji tlenków azotu, (w niektórych modelach również dwutlenku azotu) lub tlenku węgla [3, 10, 14]:

$$I_{\text{PM10}} = a_{0\text{NO}_x} + a_{1\text{NO}_x} \cdot I_{\text{NO}_x} \quad (4)$$

$$I_{\text{PM10}} = a_{0\text{CO}} + a_{1\text{CO}} \cdot I_{\text{CO}} \quad (5)$$

Stanowisko badawcze umiejscowiono przy stacji nadzorowania jakości powietrza, funkcjonującej w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Właścicielem stacji jest Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Warszawie. Stacja Warszawa-Komunikacyjna znajduje się przy Al. Niepodległości 227/233 w Warszawie (kod stacji PL0140A). Obszar, na którym jest zlokalizowana stacja, zaklasyfikowany jest jako miejski, a strefa jest handlowo-mieszkaniowa. Stację umiejscowiono bezpośrednio przy jezdni zachodniej Al. Niepodległości (w kierunku dzielnicy Ursynów) [14]. Na ww. stacji są prowadzone następujące pomiary emisji i parametrów meteorologicznych powietrza atmosferycznego:

- dwutlenku azotu,
- tlenku węgla,
- pyłu zawieszonego PM10,
- pyłu zawieszonego PM2.5,
- benzenu,
- 1,2-ksylenu,
- metylobenzenu,
- 1,3-ksylenu i 1,4-ksylenu,

- etylobenzenu,
- wilgotności względnej,
- temperatury powietrza.

Na rysunku 1 przedstawiono zdjęcia przedstawiające stanowisko badawcze oraz stację WIOŚ.

Badania imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych prowadzono z wykorzystaniem pyłomierza firmy TSI, model 8533/8534 Dust Trak DRX Aerosol Monitor. Prowadzono pomiary imisji [14]:

- pyłu całkowitego (Total) – mieszaniny cząstek stałych, o umownych wymiarach mniejszych niż $300\ \mu\text{m}$,
- cząstek stałych PM₁₀ (pyłu zawieszonego) – cząstek o umownych wymiarach mniejszych niż $10\ \mu\text{m}$,
- cząstek stałych PM_{2.5} (pyłu drobnego) – cząstek o umownych wymiarach mniejszych niż $2,5\ \mu\text{m}$,
- cząstek stałych PM₁ – o umownych wymiarach mniejszych niż $1\ \mu\text{m}$ (pył praktycznie niewidzialny).



Rys. 1. Zdjęcia stanowiska badawczego i stacji WIOŚ [14]

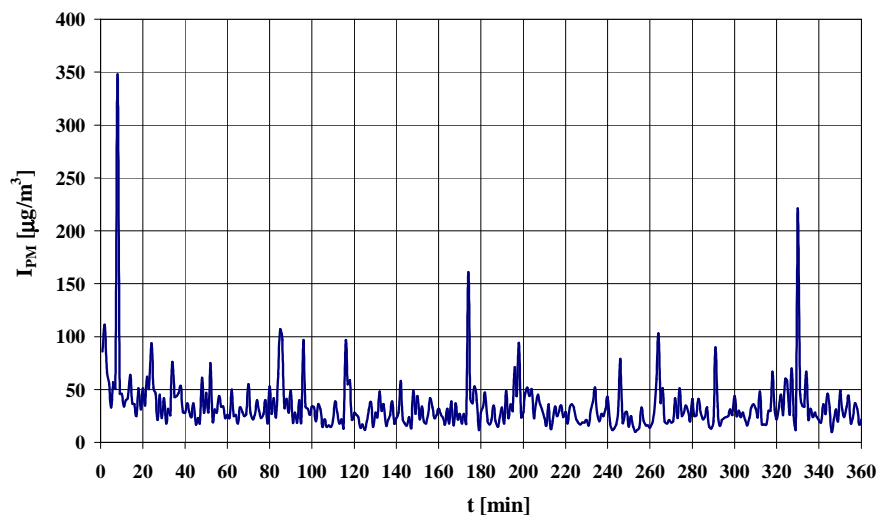
Pomiary imisji zanieczyszczeń pyłowych były prowadzone z częstotliwością jeden raz na minutę, a następnie uśredniano pomiary w okresie jednej godziny. Zakres badań obejmował również pomiary natężenia ruchu pojazdów samochodowych, z podziałem na samochody małe (samochody osobowe – PC), duże (lekkie samochody ciężarowe – dostawcze – LCV, samochody ciężarowe – HDV i autobusy – B) oraz motocykle – Mc. Natężenie ruchu pojazdów samochodowych wyznaczano na podstawie analizy sfilmowanego ruchu pojazdów. Ponadto prowadzono obserwację aktualnych warunków meteorologicznych, tj. temperatury, wilgotności, prędkości wiatru oraz występowania opadów atmosferycznych [14].

Miejsce wykonywania badań zostało wybrane celowo, ponieważ analizie poddano również wyniki badań pochodzące ze stacji nadzorowania jakości powietrza [14].

3. Wyniki badań empirycznych

Badania prowadzono w lipcu 2016 r. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki z dnia 5 lipca 2016 r. [14].

Na rysunku 2 przedstawiono przebieg imisji pyłu całkowitego. Dane pochodzą z pyłomierza Dust Trak DRX i nie są one przetworzone (dane surowe). Pomiar wykonywano przez 6 h, od godziny 8:15 do godziny 14:15, we wtorek 5.07.2016 r. [14].



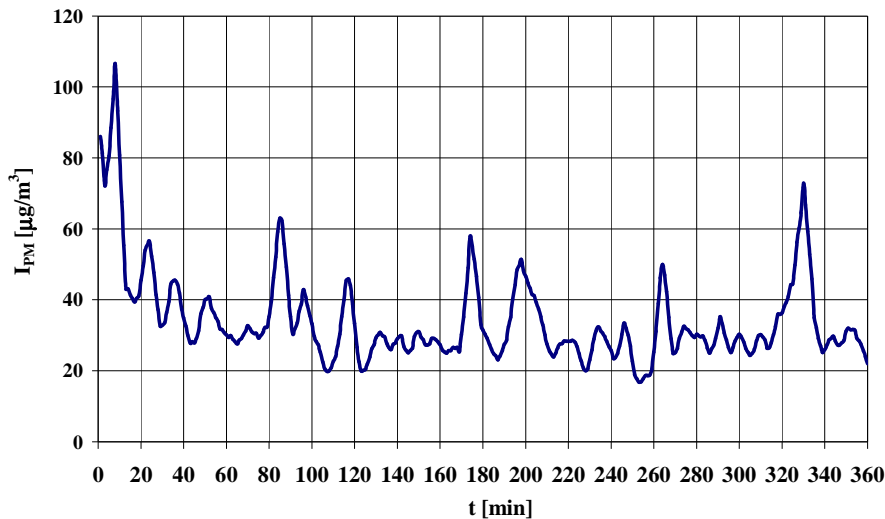
Rys. 2. Przebieg imisji pyłu całkowitego (dane surowe) – pyłomierz Dust Trak DRX [14]

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg imisji pyłu całkowitego. Dane pochodzą z pyłomierza Dust Trak DRX – wyniki badań zostały wygładzone za pomocą nierekurencyjnych filtrów rzędu I i II w celu zmniejszenia w sygnale szumów o dużej częstotliwości [14]:

$$y(n) = \frac{1}{5} [x(n-2) + x(n-1) + x(n) + x(n+1) + x(n+2)] \quad (6)$$

$$z(n) = \frac{1}{5} [y(n-2) + y(n-1) + y(n) + y(n+1) + y(n+2)] \quad (7)$$

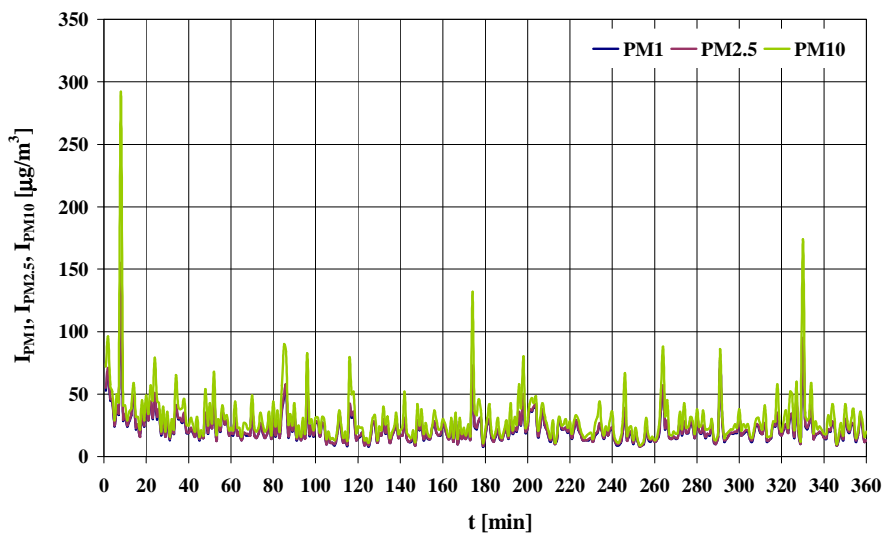
gdzie: x – pierwotny sygnał,
 y – sygnał przetworzony filtrem rzędu I,
 z – sygnał przetworzony filtrem rzędu II (w stosunku do sygnału pierwotnego),
 n – numer próbki sygnału.



Rys. 3. Przebieg emisji pyłu całkowitego (dane przefiltrowane) – pyłomierz Dust Trak DRX [14]

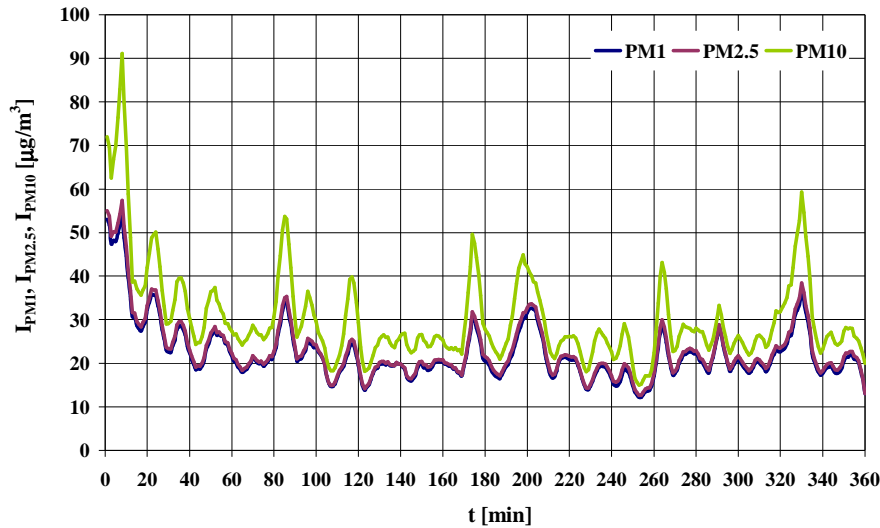
Na początku cyklu pomiarowego zaobserwowano większą emisję pyłu całkowitego, co mogło być spowodowane występującymi małymi zatorami komunikacyjnymi. Widoczne na wykresie na rysunku 2 cykliczne wzrosty i spadki emisji zanieczyszczeń pyłowych były spowodowane zmianami sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu ul. Nowowiejskiej z Al. Niepodległości. Po przeprowadzeniu wygładzania wyników za pomocą nierekurencyjnych filtrów rzędu I oraz II na wykresie na rysunku 3 nie są już tak widoczne cykliczne wzrosty i spadki stężenia zanieczyszczeń pyłowych. Wyraźne maksima lokalne np. w okolicach 175 minuty pomiarów spowodowane były przejazdem samochodu dostawczego emitującego znaczną ilość spalin [14].

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg emisji cząstek stałych PM1, PM2.5 oraz PM10. Dane pochodzą z pyłomierza Dust Trak DRX (dane surowe) [14].



Rys. 4. Przebieg emisji pyłów PM1, PM2.5, PM10 (dane surowe) – pyłomierz Dust Trak DRX [14]

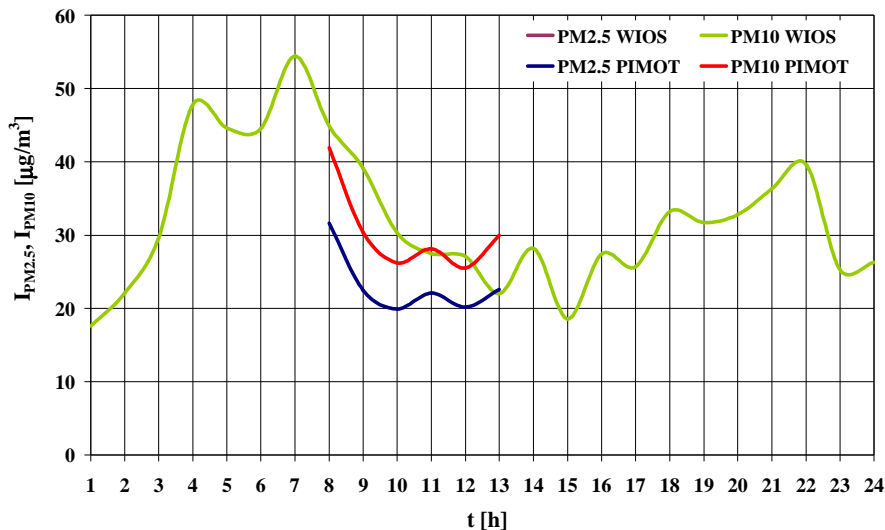
Na rysunku 5 przedstawiono przebieg emisji cząstek stałych PM1, PM2.5 oraz PM10. Dane pochodzą z pyłomierza Dust Trak DRX. Wyniki badań zostały wygładzone za pomocą nierekurencyjnych filtrów rzędu I oraz II w celu zmniejszenia w sygnale szumów o dużej częstotliwości [14].



Rys. 5. Przebieg emisji pyłów PM1, PM2.5, PM10 (dane przefiltrowane) – pyłomierz Dust Trak DRX [14]

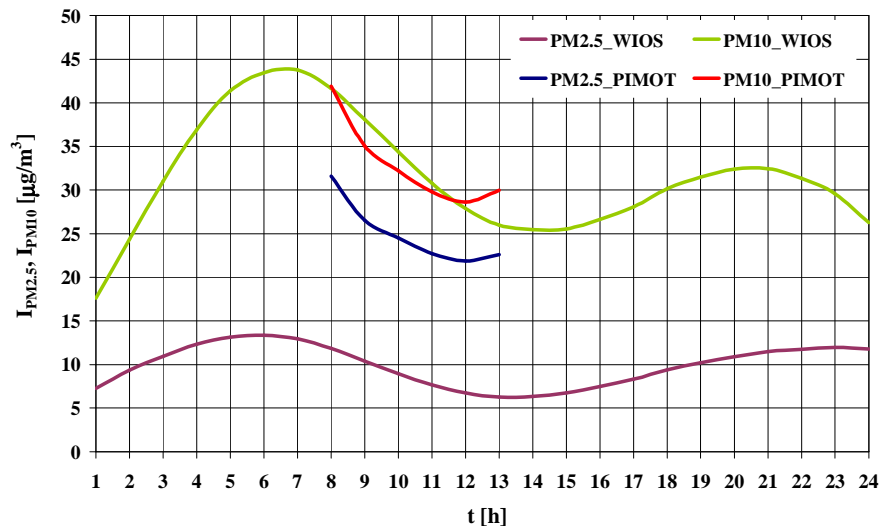
Stwierdzono, że emisja pyłów PM1 oraz PM2.5 były zbliżone do siebie. Z motoryzacji w głównej mierze pochodzą cząstki drobnoziarniste, tj. PM1 oraz PM2.5. Na wartość emisji cząstek stałych PM10 miał wpływ również wtórny unos pyłu z powierzchni drogi oraz torowiska tramwajowego. Zjawisko to można było zaobserwować podczas prowadzenia badań [14].

Na rysunku 6 przedstawiono przebieg emisji cząstek stałych PM2.5 oraz PM10. Dane pochodzą ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna oraz z pyłomierza Dust Trak DRX (dane surowe) [14].



Rys. 6. Przebieg emisji pyłów PM2.5, PM10 (dane surowe) – dane ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna oraz z pyłomierza Dust Trak DRX [14]

Na rysunku 7 przedstawiono przebieg emisji cząstek stałych PM2.5 oraz PM10. Dane pochodzą ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna oraz z pyłomierza Dust Trak DRX. Wyniki badań wygładzono za pomocą nierekurencyjnych filtrów rzędu I oraz II [14].



Rys. 7. Przebieg emisji pyłów PM2.5 i PM10 (dane przefiltrowane) – dane ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna oraz z pyłomierza Dust Trak DRX [14]

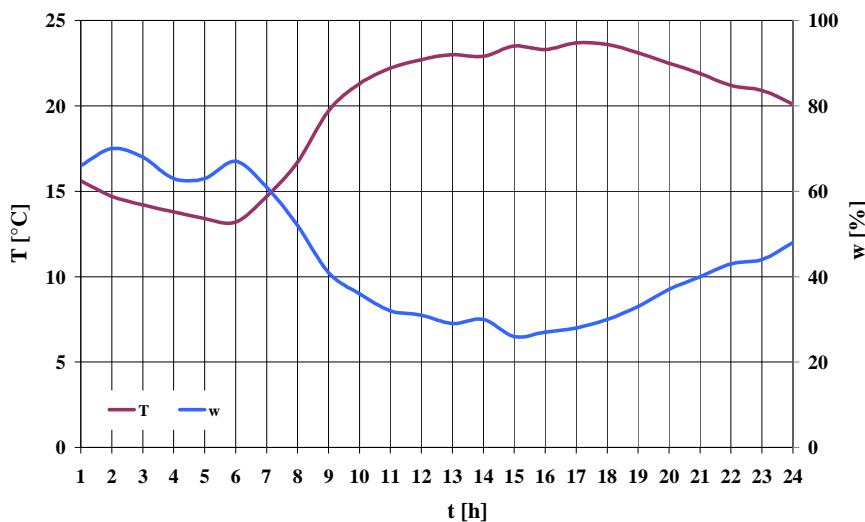
Wyniki pomiarów emisji cząstek stałych PM10, pochodzące ze stacji nadzorowania jakości powietrza oraz z pyłomierza, nie różnią się znacznie. Duże różnice występują w wypadku cząstek PM2.5. Przyczyny tego są trudne do określenia, niewątpliwie jednak tak mała emisja cząstek stałych PM2.5 w stosunku do emisji cząstek stałych PM10 w

wypadku wyników pomiarów na stacji nadzorowania jakości powietrza nie jest typowa dla zanieczyszczeń pochodzących z motoryzacji. W takich wypadkach udział pyłów bardzo drobnych w całkowitym zbiorze pyłów jest dominujący [1-3, 5, 7, 8, 10], tak jak ma to miejsce w wypadku wyników pomiarów z pyłomierza Dust Trak DRX.

Zaobserwowano zwiększoną imisję cząstek stałych PM_{2.5} oraz PM₁₀ w godzinach porannego szczytu komunikacyjnego, zaś wieczorem zwiększona imisja została zanotowana między godzinami 20 a 22 (po wieczornym szczycie komunikacyjnym).

Zakres badań obejmował również prowadzenie obserwacji aktualnych warunków meteorologicznych, takich jak: temperatura, wilgotność, prędkość wiatru oraz występowanie opadów atmosferycznych. Wyniki pomiarów temperatury i wilgotności pobrano ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna. Pomiary prędkości wiatru wykonywano przy pomocy termoanemometru firmy TSI, typ 9535 VelociCalc [14].

Na rysunku 8 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury – T oraz wilgotności względnej powietrza atmosferycznego – w.



Rys. 8. Przebieg temperatury oraz wilgotności względnej powietrza – dane ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna [14]

W dniu wykonywania pomiarów temperatura wahała się w granicach od $(13 \div 24)^\circ\text{C}$, wilgotność względna wynosiła $(26 \div 70)\%$. Średnia temperatura nie przekraczała 20°C , a wilgotność 45%. Temperatura i wilgotność tego dnia nie wpłynęły znacząco na wartość imisji cząstek stałych [14].

Tabela zawiera wyniki pomiarów prędkości wiatru i temperatury powietrza. Pomiary nie były niestety prowadzone w sposób ciągły z uwagi na możliwości urządzenia badawczego [14].

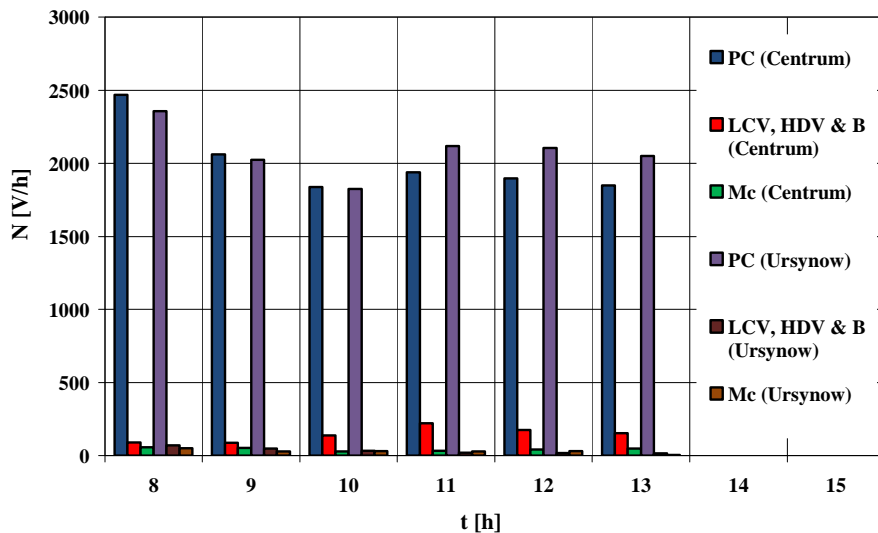
Średnia prędkość wiatru wynosiła około 0,68 m/s a rozstęp prędkości wiatru 1,52 m/s. Średnia temperatura powietrza wynosiła $27,7^\circ\text{C}$, a rozstęp temperatury $9,7^\circ\text{C}$. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń w badaniach imisji cząstek stałych można przyjąć, że zarówno prędkość wiatru, jak i temperatura powietrza, nie miały tego dnia znaczącego wpływu na wartości imisji cząstek stałych [14].

Zakres badań obejmował również prowadzenie pomiarów natężenia ruchu – N [V/h] (V – vehicles) w punkcie pomiarowym. Pojazdy poruszające się po A1. Niepodległości podzielono na trzy grupy. Do pierwszej grupy zaliczono samochody osobowe – PC, do drugiej lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze) – LCV, samochody ciężarowe – HDV i autobusy – B, natomiast do trzeciej motocykle – Mc. Obserwacje

prowadzono równocześnie przy dwóch jezdniach, jednej skierowanej do Centrum miasta, drugiej skierowanej w stronę dzielnicy Ursynów. Na rysunku 9 przedstawiono wyniki obserwacji [14].

Tabela. Prędkość wiatru i temperatura powietrza [14]

Czas	Prędkość wiatru	Temperatura
h:min:s	m/s	°C
08:16:58	1,67	23,6
08:17:13	1,6	23
08:17:28	0,89	22,8
08:17:55	0,97	22,6
08:18:10	1,12	22,3
09:24:05	1,53	25,8
09:24:20	0,57	24,7
09:24:38	0,82	24,1
09:24:54	0,65	24
11:04:16	0,49	28,4
11:04:31	1,69	28,6
11:04:47	1,33	28,7
11:05:02	1,31	28,7
11:05:16	0,76	28,7
11:05:32	0,95	28,7
11:05:58	0,17	28,7
11:21:00	0,59	32
11:21:25	0,66	30,7
11:21:48	1,59	27,7
11:22:29	0,55	25,7
12:04:05	1,08	27,5
12:04:26	0,66	26,7
13:16:16	0,63	26,5
13:16:50	0,32	26,3
13:17:07	0,78	26,2
14:04:13	1,33	25,9
14:04:31	0,74	25,4
08:19:52	0,52	23,1

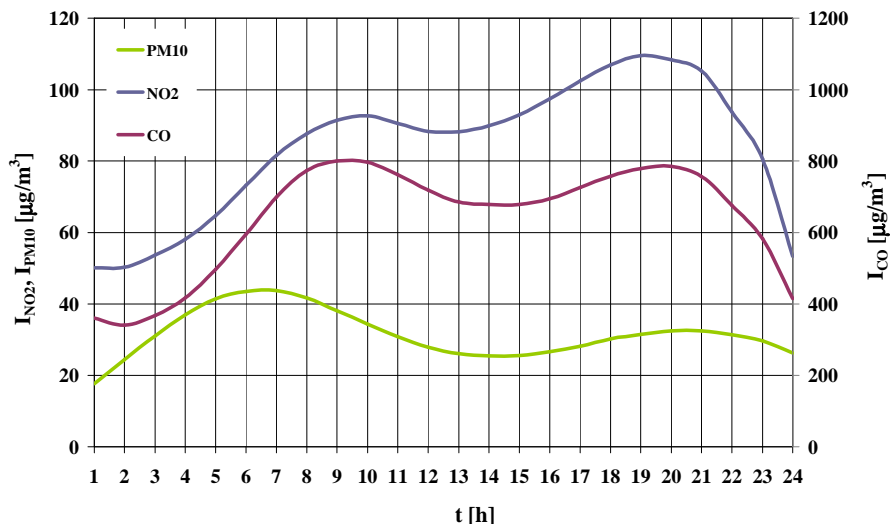


Rys. 9. Natężenie ruchu w obydwu kierunkach przy Al. Niepodległości [14]

Analizując rysunek 9, można zaobserwować, że zarówno w stronę Centrum, jak i Ursynowa najczęściej pojazdów poruszało się w godzinach porannych, tj. między godzinami 8 a 9. Imisja cząstek stałych również w pierwszych godzinach wykonywania pomiarów była największa, co świadczy o tym, że pyły na tym obszarze pochodzą głównie z motoryzacji [14].

4. Badania korelacji imisji cząstek stałych PM10 oraz imisji dwutlenku azotu i tlenku węgla

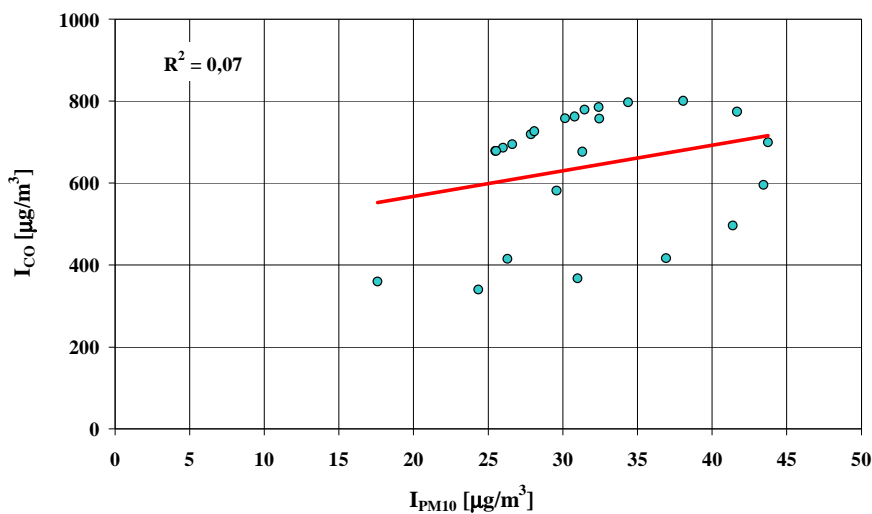
Na rysunku 10 przedstawiono przebieg imisji cząstek stałych PM10 wraz z przebiegiem imisji tlenku węgla – CO oraz dwutlenku azotu – NO₂. Dane pobrano ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna, następnie wyniki badań wygładzono za pomocą nierekurencyjnych filtrów rzędu I oraz II [14].



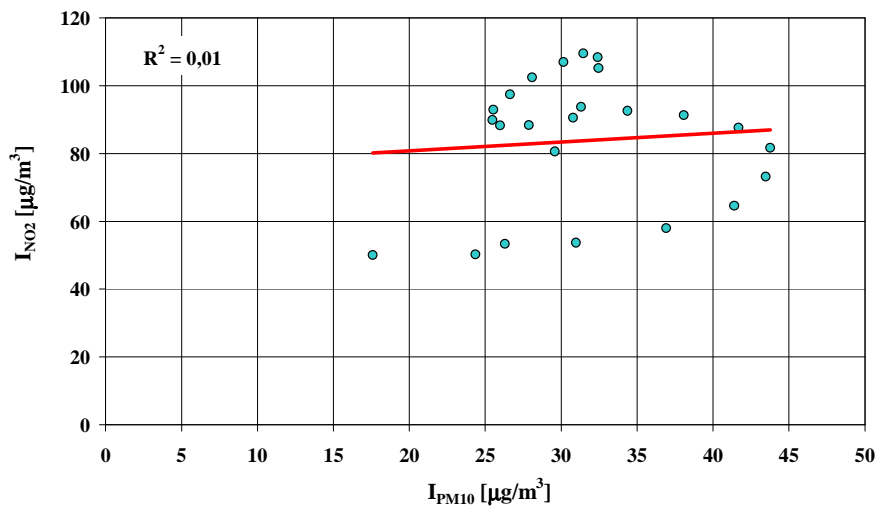
Rys. 10. Przebieg emisji cząstek stałych PM10, tlenku węgla i dwutlenku azotu – dane ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna [14]

Analizując wykres na rysunku 10, zaobserwowano wzrost emisji tlenku węgla oraz dwutlenku azotu zarówno podczas porannego, jak i popołudniowego szczytu komunikacyjnego [14].

Na rysunkach 11 oraz 12 przedstawiono zależność korelacyjną emisji cząstek stałych PM10 oraz tlenku węgla, a także emisji cząstek stałych PM10 oraz dwutlenku azotu – dane pochodzą ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna [14].



Rys. 11. Zależność korelacyjna emisji cząstek stałych PM10 i tlenku węgla – dane ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna [14]



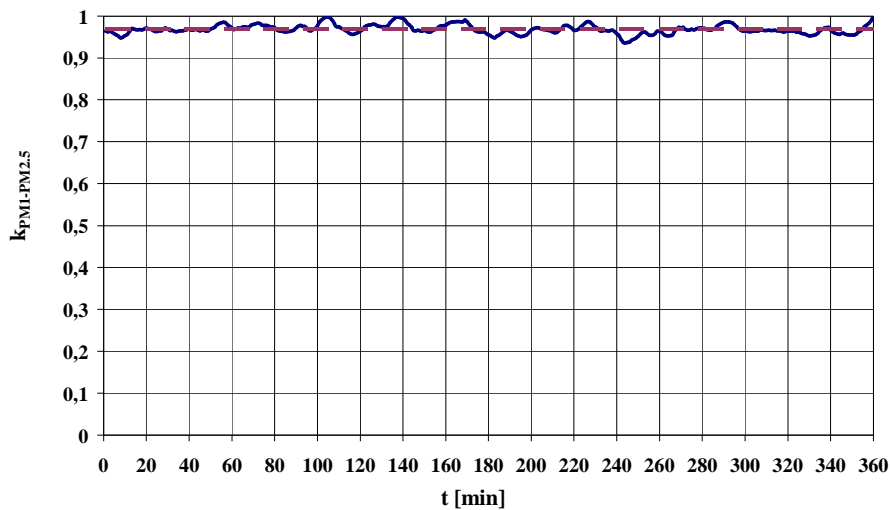
Rys. 12. Zależność korelacyjna emisji cząstek stałych PM10 i dwutlenku azotu – dane ze stacji nadzorowania jakości powietrza WIOŚ Warszawa-Komunikacyjna [14]

Analizując wyniki, nie zaobserwowano korelacji emisji cząstek stałych PM10 oraz tlenku węgla. Wartość współczynnika determinacji – R^2 wynosiła 0,07. Nie zaobserwowano również korelacji emisji cząstek stałych PM10 oraz dwutlenku azotu. Wartość współczynnika determinacji w tym wypadku wynosiła 0,01 [14].

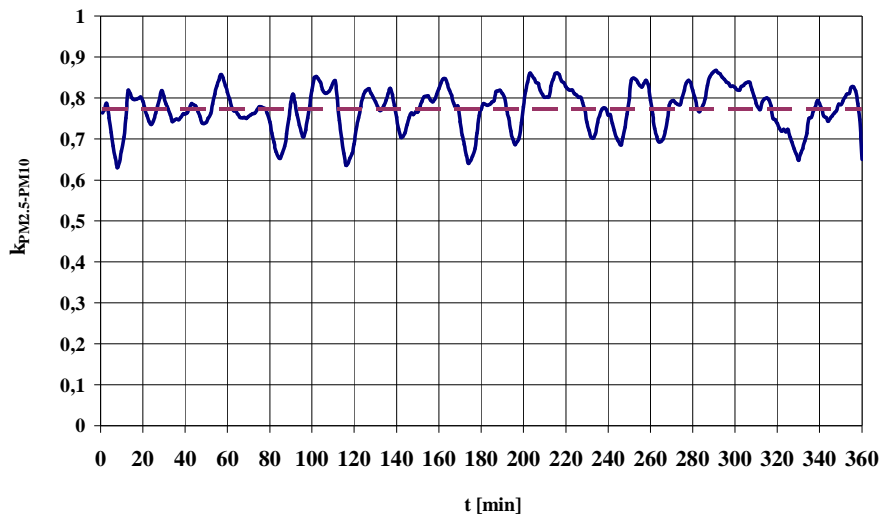
Przyczyną wyników badań korelacyjnych emisji cząstek stałych PM10 oraz emisji tlenku węgla i dwutlenku azotu, wykazujących słabą korelację, mogą być błędy przypadkowe wyników pomiarów, wynikające ze znacznego rozproszenia zanieczyszczeń pobieranych do pomiarów a także zbyt krótki czas obserwacji.

5. Współczynniki modelu emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych

Na rysunkach 13 i 14 przedstawiono przebieg oraz wartość średnią współczynnika modelu emisji poszczególnych frakcji wymiarowych cząstek stałych [14].



Rys. 13. Współczynnik $k_{PM1-PM2.5}$ – dane z pyłomierza Dust Trak DRX [14]



Rys. 14. Współczynnik $k_{PM2.5-PM10}$ – dane z pyłomierza Dust Trak DRX [14]

Analizując wykresy na rysunkach 13 i 14, zaobserwowano, iż średnia wartość współczynnika dla modelu emisji cząstek stałych PM1 była duża i wynosiła ponad 0,95 (dane z pyłomierza Dust Trak DRX). Dla modelu emisji cząstek stałych PM2.5 wartość współczynnika średnio wynosiła ponad 0,75 (dane z pyłomierza Dust Trak DRX) [14].

6. Podsumowanie

Celem badań była ocena wpływu źródeł motoryzacyjnych na wartość emisji poszczególnych frakcji wymiarowych cząstek stałych w powietrzu atmosferycznym w kanionie ulicznym w aglomeracji warszawskiej [14].

Okres badań – lato wybrano celowo, gdyż w tym czasie jest mniejsze zanieczyszczenie powietrza ze źródeł grzewczych. W związku z tym była możliwość bardziej selektywnego wyeksponowania wpływu motoryzacji na zanieczyszczenie powietrza.

Analiza wyników badań pozwoliła stwierdzić, że emisja cząstek stałych zwiększa się wraz ze wzrostem natężenia ruchu samochodowego. Analizując wyniki pobrane z pyłomierza Dust Trak DRX, widać jak znaczący wpływ ma motoryzacja na wartość emisji tych zanieczyszczeń w powietrzu. Szczególnie widoczne były zarówno cykliczne wzrosty, jak i spadki emisji cząstek stałych, spowodowane zmianami sygnalizacji świetlnej oraz chwilowe wzrosty emisji spowodowane przejazdem samochodu emitującego znaczną ilość spalin, co można było zaobserwować w trakcie wykonywania pomiarów [14].

Niestety wykonane badania pozwalają jedynie na szacunkową ocenę wpływu źródeł motoryzacyjnych na wartość emisji poszczególnych frakcji wymiarowych cząstek stałych, głównie z uwagi na zbyt krótki czas wykonywania pomiarów, ale również z uwagi na czas w jakim je wykonywano, tj. w miesiącu letnim, kiedy natężenie ruchu jest mniejsze [14].

Podsumowując, badania natężenia oraz charakteru ruchu samochodowego w pobliżu stacji nadzorowania jakości powietrza powinny być systematycznie prowadzone, a dodatkowo powinno się analizować wpływ warunków atmosferycznych na wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń.

Mimo ograniczonego zakresu wykonywanych badań, można na ich podstawie stwierdzić że motoryzacja ma duży wpływ na jakość otaczającego powietrza, a co za tym idzie na zdrowie mieszkańców aglomeracji miejskich [14].

Piśmiennictwo

- [1] Chłopek Z. Testing of hazards to the environment caused by particulate matter during use of vehicles. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2012; 2: 160–170.
- [2] Chłopek Z.: Ocena stanu zagrożenia środowiska przez cząstki stałe PM_{2,5} ze źródeł transportu drogowego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej* 1(82)/2011. 101–110.
- [3] Chłopek Z.: Sprawozdanie z projektu badawczego ministerstwa nauki i szkolnictwa wyższego N N509 083637 – Modelowanie emisji cząstek stałych PM₁₀ ze źródeł motoryzacyjnych do celów oceny oddziaływania transportu drogowego na środowisko. Warszawa 2012.
- [4] Chłopek Z, Jakubowski A. A study of the particulate matter emission from the braking systems of motor vehicles. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2009; 4: 45–52.
- [5] Chłopek Z., Skibiński F.: Wprowadzenie w tematykę emisji cząstek stałych PM_{2,5} powodowanych transportem samochodowym. *Transport Samochodowy* 3/2010. 73–87.
- [6] Chłopek Z., Suchocka K.: Analiza przepisów ochrony środowiska przed emisją cząstek stałych w aspekcie ruchu samochodowego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej* 1(97)/2014. 21 – 32.
- [7] Chłopek Z., Suchocka K.: Modelowanie emisji i imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych związanych z ruchem samochodowym. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej* 1(97)/2014. 5 – 20.
- [8] Chłopek Z, Suchocka K. Risks posed by particulate matter to the human health and environment near transport routes. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2014; 63 (1): 3–24 and 109–129.
- [9] Chłopek Z., Suchocka K., Dudek M., Jakubowski A.: Hazards posed by polycyclic aromatic hydrocarbons contained in the dusts emitted from motor vehicle braking systems. *Archives of Environmental Protection*. Vol. 42, Issue 3 (Sep 2016). 3–10.
- [10] Chłopek Z., Szczepański T. Ocena zagrożenia środowiska cząstkami stałymi ze źródeł cywilizacyjnych. *Inżynieria Ekologiczna* Nr 30, 2012.
- [11] Juda-Rezler K., Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000.
- [12] Siemiński M., Środowiskowe zagrożenia zdrowia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001
- [13] Sroczyński J. Wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na zdrowie ludzi. Zakład Narodowy imienia Ossolińskich. Wyd. Polskiej Akademii Nauk, Wrocław 1989
- [14] Strzałkowska K.: Sprawozdanie z zadania nr DDS-117-BLM Badania wpływu źródeł motoryzacyjnych na wartość imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych w aglomeracji warszawskiej. Warszawa 2016.
- [15] Suchocka K. Modelowanie imisji cząstek stałych PM_{2.5} ze źródeł motoryzacyjnych. Praca inżynierska. Warszawa 2012.
- [16] Suchocka K. Modelowanie imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych ze względu na oddziaływanie motoryzacji na środowisko. Praca magisterska. Warszawa 2013.
- [17] Żegota M. Modelowanie emisji cząstek stałych PM₁₀ z pojazdów samochodowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska 2006.