



# **Emisja stałych cząstek z liniowych źródeł zanieczyszczenia jako główny czynnik wpływający na poziom stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> w powietrzu atmosferycznym aglomeracji warszawskiej**

*Dariusz Dmochowski, Anna Dmochowska, Stanisław Biedugnis  
Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa*

## **1. Wstęp**

Miejski pył zawieszony bogaty jest w związki organiczne oraz nieorganiczne, dominują w jego składzie: produkty ropopochodne, sadza, związki krzemu, glinu, związki metali ciężkich oraz siarczany. Skład pyłu często ulega zmianom w zależności od rodzaju źródła emisji, pory roku i warunków atmosferycznych [1,6].

Obecność pyłów, których głównym źródłem na terenach zurbanizowanych jest komunikacja, wiąże się przede wszystkim z procesem spalania paliw płynnych, zużywaniem się części eksploatacyjnych pojazdów, ścieraniem się opon samochodowych oraz ścieraniem się nawierzchni asfaltu. Procesy te składają się na tzw. liniową emisję zanieczyszczeń. Charakteryzuje się ona zazwyczaj stężeniami pyłu zawieszonego na niższym poziomie niż stężenia tych zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł punktowych. Cechuje ją również niejednorodność rozkładu, czyli różnorodność wydzielanej masy w czasie i przestrzeni. Kontrola i szacowanie tego rodzaju emisji jest procesem bardzo trudnym i czasochłonnym [2,9].

Zjawisko zanieczyszczenia pyłami zawieszonymi w największym stopniu występuje w dużych aglomeracjach miejskich w dzielnicach o wysokim stopniu urbanizacji i gęstej sieci komunikacyjnej, gdzie na

stosunkowo małych obszarach porusza się duża liczba pojazdów, a utrudniona komunikacja, szczególnie w godzinach szczytu, przyczynia się do wysokiej emisji spalin [3].

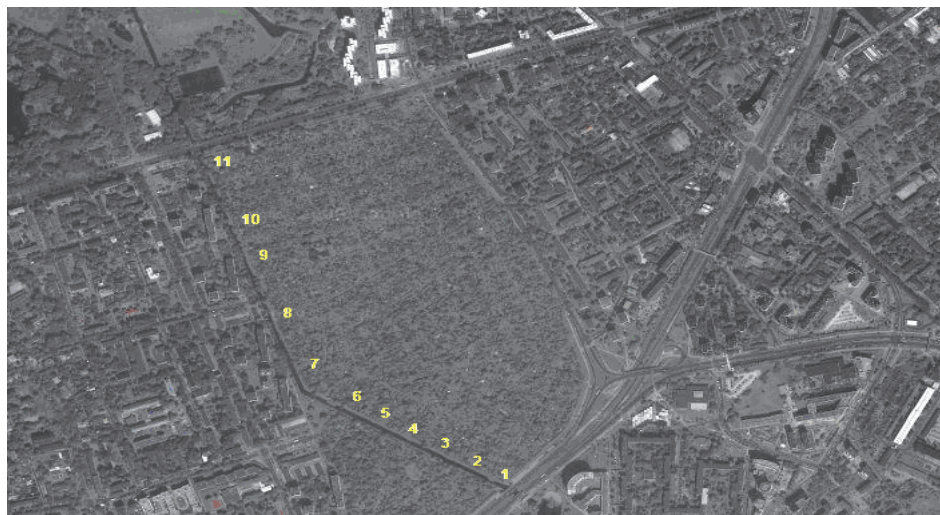
Czas utrzymywania się pyłów zawieszonych w atmosferze oraz ich rozprzestrzenianie się zależą od wysokości na jakiej się unoszą, warunków klimatycznych oraz rozmiarów ich cząstek. Pył  $PM_{10}$  może być przenoszony na odległość do 1000 km oraz może być także usuwany z atmosfery m.in. przez sedymentację lub opady atmosferyczne. Natomiast pyły  $PM_{2,5}$  mogą być transportowane na odległość do 2500 km [1,4]. Pył  $PM_{2,5}$ , powstający przy spalaniu paliw płynnych zawiera w swoim składzie metale ciężkie w różnych, często dobrze rozpuszczalnych formach, jak np. chlorki. Po okresie od czterech do siedmiu dni ulegają one przemianom chemicznym do form mniej rozpuszczalnych i mobilnych w środowisku naturalnym, takich jak: tlenki, siarczany, węglany, fosforany [8,5].

Wymagania dotyczące metod oceny jakości powietrza, regulują: Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (DzU 2012, poz. 1032), Dyrektywa 2004/107/WE oraz Dyrektywa 2008/50/WE oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu określa poziomy dopuszczalne i docelowe niektórych substancji w powietrzu, w tym pyłów  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$ . Dopuszczalny poziom średniodobowego stężenia dla pyłu  $PM_{10}$  wynosi  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i może być przekraczany nie więcej niż 35 razy w ciągu roku, natomiast poziom dopuszczalny stężenia średniorocznego wynosi  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Poziom informowania dla stężenia 24-godzinnego cząstek pyłu o średnicy mniejszej od  $10 \mu\text{m}$  wynosi  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a poziom alarmowania wynosi  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Priorytetem w ochronie powietrza jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń, w tym pyłów oraz spełnienie standardów jakości powietrza, które określa Dyrektywa 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszo powietrza dla Europy (CAFE). W dokumencie tym skoncentrowano się na zagadnieniu pyłu  $PM_{2,5}$ , które było wielokrotnie pomijane w polskim prawodawstwie.

Podstawowym celem pracy było wykazanie, że główne arterie komunikacyjne na terenie Warszawy są jednym z najistotniejszych źródeł pyłu zawieszzonego w powietrzu atmosferycznym.

## 2. Metodyka badań

W latach 2011–2014, przeprowadzono pomiary stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym na terenie ogródków działkowych, zlokalizowanych na Przyczółku Grochowskim – prawobrzeżnej części aglomeracji warszawskiej. Ogródki działkowe zajmują obszar 32,085 ha.



**Rys. 1.** Lokalizacja punktów poboru prób powietrza.

Źródło: [www.mapawarszawy.pl](http://www.mapawarszawy.pl)

**Fig. 1.** Location of sampling points of air. Source: [www.mapawarszawy.pl](http://www.mapawarszawy.pl)

Do badań wytypowano 11 punktów, w których dokonano pomiaru pyłu zawieszonego pod kątem analizy frakcji pyłu zawieszonego:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  oraz  $PM_{1,0}$ . Punkty pomiarowe zlokalizowane były wzdłuż linii od Trasy Łazienkowskiej do Alei Waszyngtona. Pierwszym z nich był teren ogródka działkowego oddalonego od Trasy Łazienkowskiej o 20 m. Ostatnim punktem pomiarowym było wejście na teren ogródków, umiejscowione w odległości 30 m od Alei Waszyngtona, czyli ok. 960 m od Trasy Łazienkowskiej, będącej główną arterią komunikacyjną, łączącą centrum Warszawy z prawobrzeżną częścią miasta. Jest to dwukierunkowa droga szybkiego ruchu z trzema pasami ruchu w każdym kierunku. Szacunkowa ilość pojazdów przemieszczających się po omawianej trasie w ciągu doby wynosi ok. 110 tys. [7,9]. Drugą ulicą okalającą ogródki działkowe jest

Aleja Waszyngtona – jedna z głównych ulic dzielnicy Praga Południe. Ulica ta znajduje się w ciągu komunikacyjnym przecinającym znaczną część miasta na linii wschód-zachód, w związku z czym natężenie ruchu pojazdów również jest wysokie i wynosi ok. 50 tys./dobę [8,10].

Każdy pomiar pyłu zawieszonego na terenie ogródków działkowych został wykonany na wysokości 1,5 m od powierzchni ziemi w godzinach szczytu komunikacyjnego. Próbkę powietrza analizowano czterokrotnie w ciągu roku, w miesiącach: luty, czerwiec, wrzesień, listopad.

Do badań zastosowano pyłomierz DustTrack II a za pomocą oprogramowania TrakPro, dokonano analizy danych zebranych przez pyłomierz. Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci graficznej.

### 3. Omówienie wyników badań

Poniżej zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań w postaci graficznej oraz wartości odchylenia standardowych w postaci tabelarycznej.

**Tabela 1.** Wartości odchylenia standardowego dla pomiarów stężenia miejskiego pyłu zawieszonego  $PM_{1,0}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ],  $PM_{2,5}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] z podziałem na frakcje, w latach 2011–2014

**Table 1.** The standard deviation for the measurement of the concentration of urban particulate matter  $PM_{1,0}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ],  $PM_{2,5}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] divided into fractions in 2011–2014

Punkty poboru	Odl. od trasy	$PM_{1,0}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				$PM_{2,5}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			
		2011	2012	2014	2015	2011	2012	2013	2014
1	20	0.54	0.35	0.55	0.44	2.91	0.87	0.07	1.04
2	50	13.90	0.08	0.55	0.88	1.38	0.16	0.86	0.12
3	100	12.39	0.52	0.58	0.02	8.86	0.03	1.89	0.01
4	150	7.12	0.34	0.06	0.86	13.32	0.12	1.53	0.28
5	200	12.57	0.02	0.46	1.82	15.68	0.21	0.30	1.07
6	250	14.03	0.18	0.04	1.22	2.53	0.38	0.20	0.43
7	400	6.26	0.15	0.22	2.09	3.91	0.44	0.18	0.80
8	550	1.95	0.47	0.96	0.05	0.52	0.29	1.22	0.06
9	700	3.04	0.19	0.31	0.61	4.37	0.48	0.21	0.51
10	800	10.40	0.60	0.09	1.01	7.96	1.25	1.59	0.08
11	960	8.13	1.70	0.59	0.28	12.03	0.15	0.50	0.16

**Tabela 2.** Wartości odchylenia standardowego dla pomiarów stężenia miejskiego pyłu zawieszonego  $PM_{10,0}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] z podziałem na frakcje, w latach 2011–2014

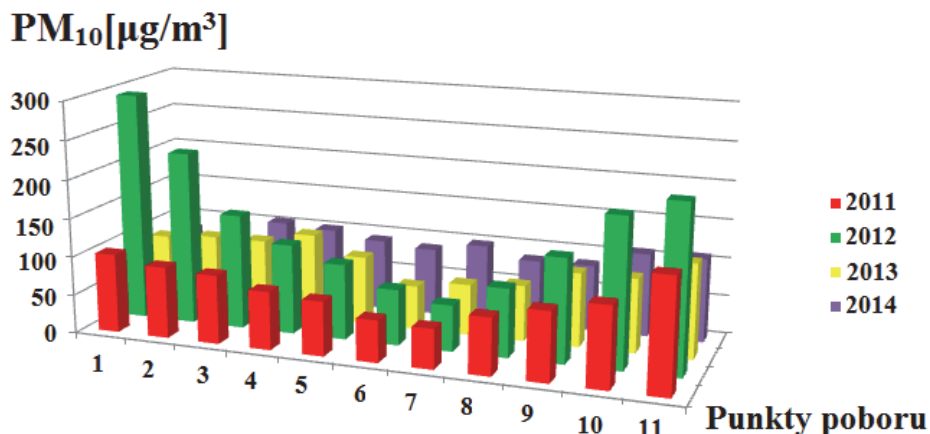
**Table 2.** The standard deviation for the measurement of the concentration of urban particulate matter  $PM_{10,0}$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] divided into factions in 2011–2014

Punkty poboru	Odl. od trasy	$PM_{10,0}$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			
		2011	2012	2013	2014
1	20	1.06	2.97	0.76	5.94
2	50	4.01	2.26	1.61	6.19
3	100	3.43	3.56	0.25	6.70
4	150	8.41	0.99	2.51	6.76
5	200	10.62	1.98	0.11	4.98
6	250	17.56	0.22	0.33	5.45
7	400	17.76	0.11	1.40	4.89
8	550	9.32	1.46	0.96	7.16
9	700	4.28	2.40	0.07	6.39
10	800	2.35	2.05	1.19	9.39
11	960	14.52	1.50	1.75	8.53

Uzyskane wartości odchyłeń standardowych pomiarów poszczególnych frakcji pyłu zawieszonego kształtowały się w szerokim przedziale od 0,02 do 17,76, najwyższe ich wartości uzyskano w 2011 roku na punktach pomiarowych, usytuowanych od Trasy Łazienkowskiej pomiędzy 100 a 400 metrem.

Na rysunku 2 przedstawiono poziom stężenia pyłu zawieszonego  $PM_{10}$  w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej w latach 2011–2014.

Stężenie pyłu frakcji  $PM_{10}$  w latach 2011–2014 ma tendencję spadkową. Największe stężenie tego pyłu zanotowano w 2012 r. i wynosiło ono  $294,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , przekraczając tym samym dopuszczalną normę około siedmiokrotnie. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, stężenie to kształtowało się na poziomie informowania i było bardzo bliskie poziomowi alarmowania.



**Rys. 2.** Stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej w latach 2011–2014

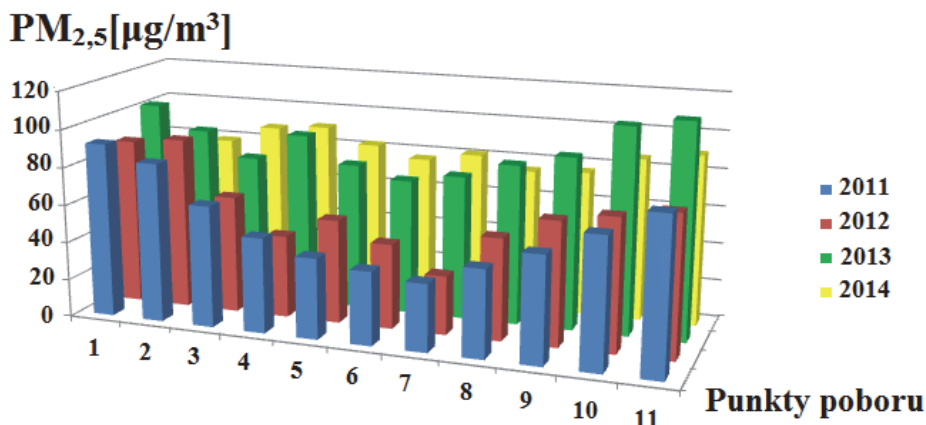
**Fig. 2.** The concentration of PM<sub>10</sub> depending on the distance from Łazienkowska in 2011–2014

Wszystkie pomiary przeprowadzone w latach 2011–2014 wykazały przekroczenie dopuszczalnych norm dla pyłu frakcji PM<sub>10</sub>. W zależności od odległości punktu pomiarowego od Trasy Łazienkowskiej i Alei Waszyngtona, stężenia poszczególnych frakcji pyłu zawieszonego ulegały znacznym zmianom. W pierwszych siedmiu punktach pomiarowych występuje malejąca zależność liniowa między stężeniem pyłu PM<sub>10</sub> a odległością od Trasy Łazienkowskiej. W pozostałych czterech punktach pomiarowych, zlokalizowanych bliżej Alei Waszyngtona, zależność ta zmienia się i stężenie pyłu odpowiednio wzrasta.

Na rysunku 3 przedstawiono poziom stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej w latach 2011–2014.

Najwyższe stężenie pyłu PM<sub>2,5</sub> w rocznym okresie badawczym wystąpiło w 2013 r., natomiast najniższe stężenie wystąpiło w roku 2014.

W przypadku pyłu frakcji PM<sub>2,5</sub> najwyższą wartość – 113,1 µg/m<sup>3</sup> odnotowano w 2013 r. w odległości 960 m od Trasy Łazienkowskiej, czyli około 30 m od Alei Waszyngtona i przekracza ono dopuszczalną normę prawie pięciokrotnie.



**Rys. 3.** Stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej, w latach 2011–2014

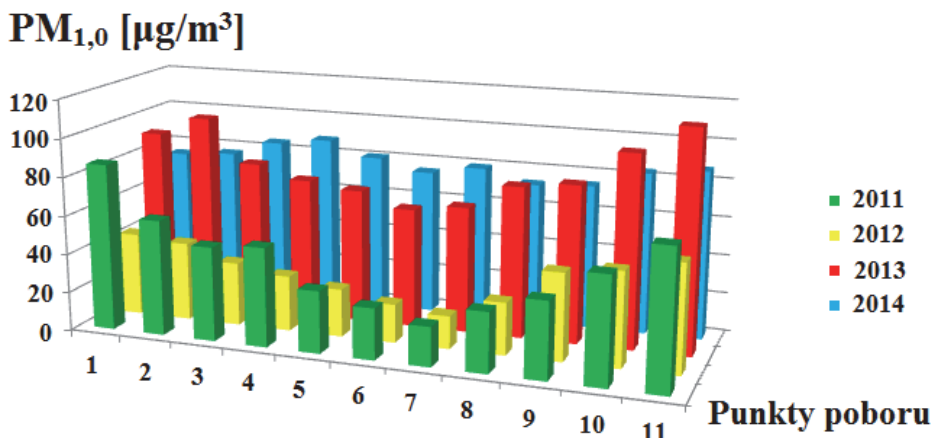
**Fig. 3.** The concentration of particulate matter PM<sub>2,5</sub> depending on the distance from Łazienkowska in 2011–2014

W zależności od odległości punktów pomiarowych od Trasy Łazienkowskiej Alei Waszyngtona, wartości stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> w środkowych punktach pomiarowych są najniższe. Natomiast w punktach pomiarowych położonych w pobliżu Trasy Łazienkowskiej i Alei Waszyngtona, stężenia pyłu wykazują tendencję rosnącą.

Na rysunku 4 przedstawiono poziom stężeń pyłu zawieszonego PM<sub>1,0</sub> w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej w latach 2011–2014.

Dla frakcji pyłu PM<sub>1,0</sub> najniższe wartości stężeń zanotowano w 2012 r., natomiast w roku 2013 wartości te były najwyższe. Maksymalne stężenie pyłu frakcji PM<sub>1,0</sub> wynosiło 114,3 µg/m<sup>3</sup>. Podobnie jak w przypadku pyłu PM<sub>2,5</sub>, odnotowane wartości wskazują na wyraźną zależność od odległości od Trasy Łazienkowskiej i Alei Waszyngtona.

Uzyskane wyniki badań są porównywalne z danymi raportowanymi w 2013 roku przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska we Wrocławiu. Badania monitoringowe pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> wykazały maksymalne stężenia mieszczące się w przedziale 143,0–152,0 µg/m<sup>3</sup>.



**Rys. 4.** Stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>1,0</sub> w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej w latach 2011–2014

**Fig. 4.** The concentration of particulate matter PM<sub>1,0</sub> depending on the distance from Łazienkowska in 2011–2014

## 5. Wnioski

1. Obserwowane w czteroletnim okresie badawczym wysokie stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym aglomeracji warszawskiej, powodują zarówno zagrożenie dla bezpieczeństwa ekologicznego w rejonie, ale także mogą wpływać na obniżenie bezpieczeństwa zdrowotnego użytkowników ogródków działkowych i okolicznych mieszkańców.
2. Wyniki pomiarów pyłu zawieszonego i jego frakcji wykazały jednoznacznie przekroczenia dopuszczalnych norm w punktach pomiarowych położonych najbliżej Trasy Łazienkowskiej i Alei Waszyngtona.
3. Maksymalne stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>10,0</sub>, wynoszące 294,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , oznaczone w 2012 r., przekraczało niemalże siedmiokrotnie dopuszczalną normę. Uzyskane dane pomiarowe są zbieżne z badaniami przeprowadzonymi w centrum Wrocławia, gdzie stwierdzono 10-krotne przekroczenie normy zapylenia.
4. Odnotowane wysokie stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym na terenie ogródków działkowych mogą budzić niepokój, gdyż miejskie pyły łącznie z pyłami opadowymi w pobliżu tras komunikacyjnych, zawierają wysokie stężenia metali ciężkich, które wraz z wiatrem i wodami powierzchniowymi są przenoszone na duże odległości.



5. Analiza uzyskanej bazy danych pomiarowych tworzonej w latach 2011–2014 wykazała, że niejednokrotnie dochodzi do przekraczania stężeń alarmowych, którego wartość wynosi  $200,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Należy zatem prowadzić intensywne badania monitoringowe na tym obszarze oraz opracować odpowiednią politykę prewencyjną.

## Literatura

1. **Badyda A.:** *Wieloaspektowy wpływ ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na środowisko społeczne aglomeracji miejskiej na przykładzie Warszawy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
2. **Chłopek Z.:** *Ochrona środowiska naturalnego. Pojazdy samochodowe*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
3. **Jankowska E., Więcek E.:** *Pyły*. Warszawa, CIOP 2011.
4. **Janka R.M.:** *Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe*. Wyd. 1, PWN, Warszawa 2014.
5. **Walczak B.:** *Pyły drogowe jako potencjalne zagrożenie dla ekosystemów miejskich na przykładzie Zielonej Góry*. Uniwersytet Zielonogórski. Praca doktorska 2008.

## Wydawnictwa

6. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.: *Raport o stanie środowiska w Polsce 2008*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2010.
7. Główny Urząd Statystyczny: *Transport – wyniki działalności 2011 r.* Warszawa 2012.
8. Główny Urząd Statystyczny: *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne*. Warszawa 2010.
9. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie: *Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2006–2007*, Szczecin 2008.
10. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie: *Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2012*, Warszawa 2013.

## Akty prawne

Dyrektywa 2008/50/WE.

Dyrektywa 2004/107/WE.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. 2012, poz. 1032).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012 nr 0 poz. 1031).

**Strony internetowe**

[www.wios.warszawa.pl/download/1/106/1pylyzaw2008.pdf](http://www.wios.warszawa.pl/download/1/106/1pylyzaw2008.pdf)

z dn. 26.03.2014 r.

[warszawa.gazeta.pl/warszawa/1,34889,4844459.html](http://warszawa.gazeta.pl/warszawa/1,34889,4844459.html)

[www.mapawarszawy.pl](http://www.mapawarszawy.pl)

[www.wroclaw.pios.gov.pl](http://www.wroclaw.pios.gov.pl)

## **Emissions of Solid Particles from Linear Sources of Pollution as a Major Factor in the Level of Concentration of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub> in Ambient Air of Warsaw Agglomeration**

**Abstract**

The paper presents the results of the research into the dust from the linear sources of pollution emitted close to the right-bank Warsaw allotments. The results of dust measurements and its fraction show that the legal limits of the concentration of dusts floating in the atmospheric air for the measurement points are exceeded. The points are located in the nearest distance from Trasa Łazienkowska and alley Waszyngtona – two busy roads in the right-bank Warsaw. The results show that the dust and its fractions can pose the ecological safety hazards and can constitute a significant reduction of health safety of both allotments users and local residents.

**Słowa kluczowe:**

emisja pyłów ze źródeł liniowych zanieczyszczenia,  
stężenia pyłu PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>

**Keywords:**

the dust emissions from linear sources of pollution,  
level concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>