

dr Anna DMOCHOWSKA
Zakład Bezpieczeństwa i Higieny Pracy,
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, SGSP
dr Dariusz DMOCHOWSKI
mgr inż. Karolina KUSKOWSKA
mł. kpt. mgr inż. Joanna WOLNA
Zakład Monitorowania Zagrożeń CBRN,
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, SGSP

Wpływ emisji cząstek stałych z liniowych źródeł zanieczyszczenia na poziom stężenia pyłu zawieszonego PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$ w miejskim powietrzu atmosferycznym

Omówienie
LEAD

W artykule przedstawiono wyniki badań pyłu zawieszonego, pochodzącego z liniowych źródeł zanieczyszczeń emitowanych, w bezpośrednim sąsiedztwie ogródków działkowych prawobrzeżnej Warszawy. Wyniki pomiarów pyłu zawieszonego i jego frakcji wykazały znaczne przekroczenia dopuszczalnych norm w punktach pomiarowych położonych w najbliższych odległościach od Trasy Łazienkowskiej i alei Waszyngtona. Mogą one powodować nie tylko zagrożenie dla bezpieczeństwa ekologicznego w tym rejonie, ale także wpływać na obniżenie bezpieczeństwa zdrowotnego użytkowników ogródków działkowych oraz okolicznych mieszkańców. Szczególnie niebezpieczna dla zdrowia jest drobna frakcja pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$, powodująca wzrost liczby zgonów wynikających z chorób serca, niedoczynności układu krążenia, niewydolności dróg oddechowych oraz raka płuc.

Słowa kluczowe: pyły, zanieczyszczenia powietrza, emisja liniowa zanieczyszczeń.

Wstęp

Pyły są – obok ditlenku siarki (SO_2), tlenków azotu (NO_x) oraz tlenku węgla (CO) – podstawowymi substancjami zanieczyszczającymi powietrze atmosferyczne [12]. Pył zawieszony stanowią drobne, utrzymujące się w powietrzu cząstki o rozmiarach poniżej $10 \mu\text{m}$. Ze względu na średnicę cząstek, pyły klasyfikowane są jako:

- PM_{10} – mające średnicę aerodynamiczną ziaren mniejszą niż $10 \mu\text{m}$, mogące osadzać się w górnych drogach oddechowych oraz płucach. Zwane są pyłami inhalabilnymi.
- $\text{PM}_{2,5}$ i $\text{PM}_{1,0}$ – o średnicach aerodynamicznych odpowiednio mniejszych niż $2,5$ i $1,0 \mu\text{m}$, wnikaące bezpośrednio do płuc oraz przedostające się do krwiotoku. Zwane są pyłami respirabilnymi [2, 3].

Składnikami pyłu zawieszonego są zarówno związki organiczne, jak i nieorganiczne, m.in.: węglowodory, związki krzemu, glinu, żelaza, metale ciężkie, siarczany, azotany oraz sole amonowe. Skład pyłu zmienia się wraz z jego źródłem, porą roku i warunkami atmosferycznymi [1, 6].

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego pyłami ściśle wiąże się z intensywnym rozwojem gospodarczej działalności człowieka. Wśród wielu rodzajów tej działalności istotne miejsce zajmuje transport [8]. Obecność pyłów emitowanych przez transport czy też szeroko pojętą komunikację, wiąże się przede wszystkim z procesem spalania paliw płynnych, zużywaniem się części eksploatacyjnych pojazdów, ścieraniem się opon samochodowych oraz ścieraniem się nawierzchni asfaltu. Jest to tzw. emisja liniowa zanieczyszczeń, która charakteryzuje się zazwyczaj stężeniami niższymi niż stężenia zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł punktowych, jednakże emisja sumaryczna niekoniecznie musi być mniejsza. 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 [5, 11].

Problem zanieczyszczenia pyłami w największym stopniu występuje w dużych miastach, w dzielnicach o wysokim stopniu zaludnienia, 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 [10].

Czas pozostawania pyłów w atmosferze oraz ich rozprzestrzenianie się zależą od wysokości, na jakiej się unoszą, warunków klimatycznych oraz rozmiarów ich cząstek. Pył PM_{10} jest transportowany na odległość do 1000 km i może być usuwany z atmosfery m.in. przez sedymentację czy też kilkugodzinne opady. Z kolei pyły $\text{PM}_{2,5}$ mogą być transportowane na odległość do 2500 km [1, 13]. Pył $\text{PM}_{2,5}$ i aerozole powstające przy spalaniu paliw płynnych zawierają metale ciężkie w różnych, często dobrze rozpuszczalnych formach, jak np. chlorki. Po okresie od czterech do siedmiu dni ulegają one transformacji do form mniej rozpuszczal-

nych i mobilnych w środowisku naturalnym, takich jak: siarczany, węglany, fosforany i tlenki [15].

Pyły są poważnym czynnikiem chorobotwórczym. Ich działanie jest często aktywowane przez obecność innych substancji, np. związków metali ciężkich w nich zawartych [9]. W zależności od rozpuszczalności pyłów w płynach ustrojowych i ich struktury krystalicznej, mogą one mieć działanie drażniące, zwłókniające, kancerogenne, alergizujące. Osiedlając na ściankach pęcherzyków płucnych, utrudniają wymianę gazową. Powodują podrażnienie naskórka i śluzówki oraz zapalenie górnych dróg oddechowych [14]. Mogą także wywoływać choroby alergiczne, astmę, nowotwory płuc, gardła i krtani [19]. Nie ustalono progu stężenia pyłów, poniżej którego negatywne skutki oddziaływania na człowieka nie występują. Grupami szczególnie narażonymi na negatywne oddziaływanie pyłów zawieszonych w powietrzu są osoby starsze, dzieci oraz osoby z dolegliwościami dróg oddechowych i układu krążenia. Zwiększenie zachorowalności na choroby układu oddechowego w największym stopniu powoduje pył PM_{10} . Natomiast pył $PM_{2,5}$ może przyczynić się do wzrostu zgonów w wyniku chorób serca, naczyń krwionośnych, dróg oddechowych oraz raka płuc [17]. Obok negatywnego działania pyłu na organizm ludzki, notuje się też negatywny wpływ na organizmy roślinne. Pył osadza się na powierzchni liści, pochłania światło, zatyka aparaty szparkowe, utrudniając tym samym proces fotosyntezy [4, 16]. W związku z niekorzystnym oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza na zdrowie ludzi oraz stan środowiska, zgodnie z polskim prawodawstwem, corocznie dokonuje się oceny jakości powietrza pod kątem zanieczyszczenia ditlenkiem siarki, ditlenkiem azotu, tlenkiem węgla, benzenem, ozonem oraz pyłem zawieszonym PM_{10} i $PM_{2,5}$ a także innymi zanieczyszczeniami występującymi w pyłe PM_{10} , czyli związkami ołowiu, arsenu, kadmu, niklu i benzo(a)pirenem [6, 18].

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. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu określa poziomy dopuszczalny i docelowy niektórych substancji w powietrzu, w tym pyłów PM_{10} i $PM_{2,5}$. Poziom dopuszczalny stężenia średniodobowego dla pyłu PM_{10} wynosi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i może być przekroczony nie więcej niż 35 razy w ciągu roku, zaś poziom dopuszczalny stężenia średniorocznego wynosi $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Poziom informowania dla stężenia 24-godzinnej cząstek pyłu o średnicy mniejszej od $10 \mu\text{m}$ wynosi $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast poziom alarmowania wynosi $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W przypadku pyłu zawieszony $PM_{2,5}$, rozporządzenie określa dopuszczalny poziom dla stężenia średniorocznego na lata 2015 i 2020. Poziomy te odpowiednio wynoszą $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla 2015 r. i $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla 2020 r. Art. 89 Ustawy Prawo ochrony środowiska obowiązuje do corocznej oceny poziomu niektórych substancji w powietrzu w poszczególnych strefach, których podział z kolei uregulowany jest w Roz-

porządzeniu Ministra Środowiska z 2 sierpnia 2012 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza (DzU 2012 poz. 914). Strefę, o której mowa, stanowią:

- aglomeracja o liczbie mieszkańców powyżej 250 tysięcy,
- miasto, które nie jest aglomeracją o liczbie mieszkańców powyżej 100 tysięcy,
- pozostały obszar województwa, który nie wchodzi w skład aglomeracji i miast powyżej 100 tys. mieszkańców.

W strefach, w których zanieczyszczenia przekraczają dopuszczalne stężenia, organy samorządowe na szczeblu wojewódzkim – a mianowicie zarząd województwa – opracowują program ochrony powietrza. Po przyjęciu przez sejmik województwa w drodze uchwały, program stanowi akt prawa miejscowego. 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 czystszej powietrza dla Europy (CAFE). To właśnie w tym dokumencie skoncentrowano się na zagadnieniu pyłu $PM_{2,5}$, które było wielokrotnie pomijane w polskim prawodawstwie. W dyrektywie CAFE określono wartości dopuszczalne dla różnych substancji, m.in.: pyłu zawieszonego PM_{10} , $PM_{2,5}$, dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, tlenku węgla, benzenu, ołowiu. Dzięki dyrektywie państwa członkowskie mogą wzmocnić istniejące przepisy dotyczące przygotowania oraz wdrożenia planów i programów w zakresie poprawy jakości powietrza.

1. Metodyka badań

Obiektem badań, przeprowadzonych w latach 2012–2014, było powietrze atmosferyczne na terenie ogródków działkowych zlokalizowanych na Przyczółku Grochowskim – prawobrzeżnej części aglomeracji warszawskiej. Ogródki te zostały oddane do użytkowania w 1939 r. Zajmują obszar 32,085 ha i są bardzo zróżnicowane pod względem zabudowy przestrzennej oraz zagospodarowania rolniczego. Na terenie większości z nich systematycznie uprawiane są rośliny konsumpcyjne, takie jak: sałata, ogórki, marchew, buraki, dynia, pomidory, agrest oraz porzeczki. Bardzo często rosną na nich także drzewa owocowe.

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. Szacun-



Rys. 3. Pierwszy punkt pomiarowy
Źródło: fot. Karolina Kuskowska.



Rys. 4. Ostatni punkt pomiarowy
Źródło: fot. Karolina Kuskowska.



Rys. 5. Pyłomierz zastosowany do badań
Źródło: www.wios.warszawa.pl/download/1/106/1/pylyzaw2008.pdf z dn. 26.03.2014 r.

Każdy pomiar pyłu zawieszonego na terenie ogródków działkowych został wykonany na wysokości 1,5 m od powierzchni ziemi. Próbkę powietrza pobierano czterokrotnie w ciągu roku, a następnie wynik uśredniono [2].

Do badań zastosowano pyłomierz DustTrack II. Przyrząd umożliwia zbadanie zawartości pyłu zawieszonego w powietrzu z rozróżnieniem na różne frakcje m.in. PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$. Urządzenie pracuje na zasadzie fotometru laserowego – wykonuje pomiar tłumienia światła laserowego rozproszonego na badanej próbce pod kątem 90° . Próba powietrza jest zasysana do aparatu przez wbudowaną pompkę i przechodzi przez komorę pomiarową w taki sposób, że jest oddzielona od ścianek kuwety kurtyną powietrzną. Takie rozwiązanie zabezpiecza układ pomiarowy przed zanieczyszczeniem. Optyczna analiza pobranej próbki powietrza pozwala na wyznaczenie stężenia pyłu poszczególnych frakcji. Następnie, za pomocą oprogramowania TrakPro, dokonano analizy danych zebranych przez pyłomierz DustTrak II. Wyniki pomiarów zestawiono w dane tabelaryczne oraz przedstawiono w postaci graficznej.

2. Omówienie wyników badań

Poniżej zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań zestawione w postaci tabelarycznej i graficznej.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów stężenia miejskiego pyłu zawieszonego [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] z podziałem na frakcje, w latach 2012–2014 (wartości średnie arytmetyczne).

Stężenie pyłu frakcji PM_{10} w latach 2012–2014 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.

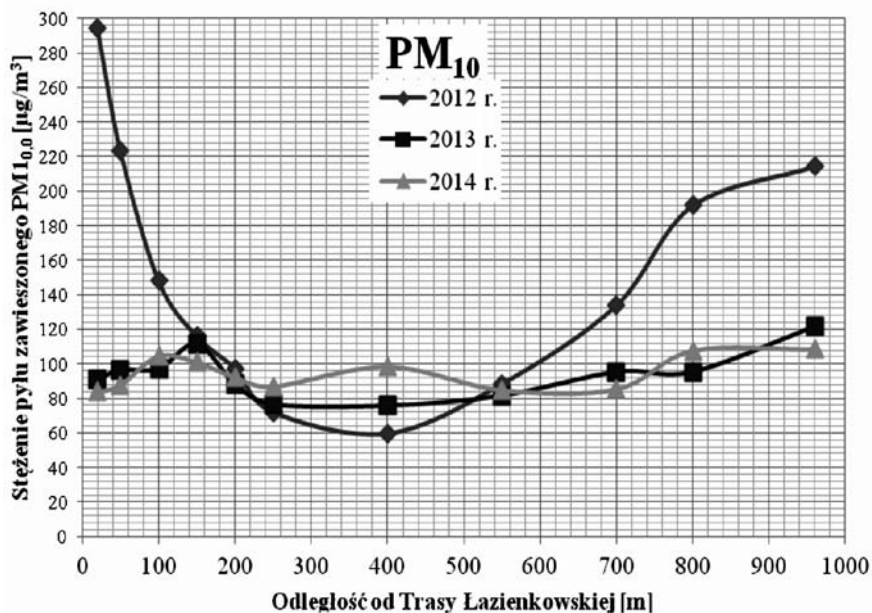
Tabela 1. Wyniki pomiarów stężenia miejskiego pyłu zawieszonego [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] z podziałem na frakcje w latach 2012–2014 (wartości średnie arytmetyczne)

Nr punktu pomiarowego	Odległość od Trasy Łazienkowskiej [m]	$\text{PM}_{1,0}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			$\text{PM}_{2,5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			$\text{PM}_{10,0}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
		2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
1	20	42,8	91,3	74,7	87,7	102,1	76,3	294,6	90,8	83,9
2	50	40,5	101,3	76,8	90,6	89,9	78,9	223,7	96,5	87,9
3	100	32,7	78,9	84,7	61,9	76,9	88	148,3	97,1	104,5
4	150	28,6	72,3	88,2	43,6	91,4	90,4	116	111,5	100,9
5	200	24,7	69,2	80,7	54,7	77,5	82,5	97,4	88,4	92,3
6	250	19,8	61,7	75	44,8	71,4	76,8	72,1	76,6	87,1
7	400	16,9	65,2	79,4	31	75,9	81,3	59,6	75,8	98,5
8	550	27	78,3	73	53,7	84,3	74,9	88,5	81,6	84,9
9	700	45,1	81,5	74,7	65,3	90,7	76,5	134	95,3	85,6
10	800	48,9	99,6	83,5	69,9	108,6	85,9	191,7	95,4	107,7
11	960	55,8	114,3	86,8	74,5	113,1	90,1	214,4	121,6	108,4

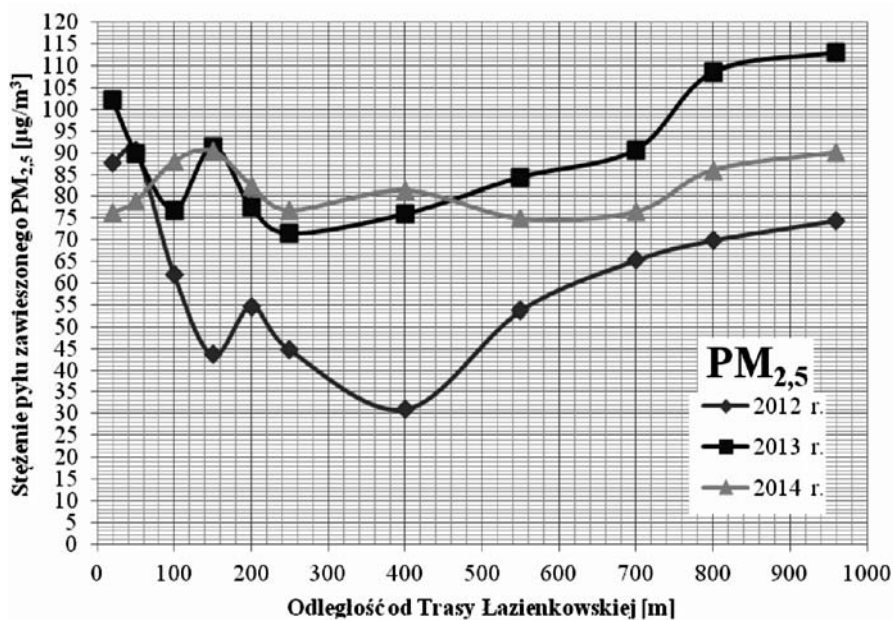
Wszystkie pomiary przeprowadzone w latach 2012–2014 wykazały przekroczenie dopuszczalnych norm dla pyłu frakcji PM_{10} . W zależności od odległości punktu pomiarowego od Trasy Łazienkowskiej i alei Waszyngtona, stężenia poszczególnych frakcji pyłu zawieszonego ulegały znacznym zmianom. W pierwszych siedmiu punktach pomiarowych występuje malejąca zależność liniowa między stężeniem pyłu PM_{10} a odległością od Trasy Łazienkowskiej. W pozostałych czterech punktach pomiarowych, zlokalizowanych bliżej alei Waszyngtona, zależność ta zmienia się i stężenie pyłu odpowiednio wzrasta.

Najniższe stężenie pyłu $\text{PM}_{2,5}$ wystąpiło w 2012 r., natomiast najwyższe w 2013 r.

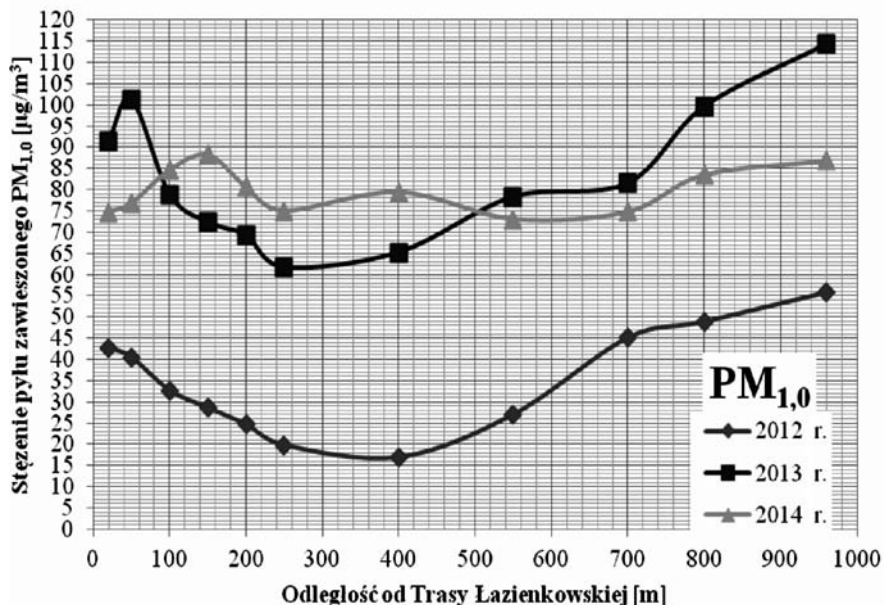
W przypadku pyłu frakcji $\text{PM}_{2,5}$ najwyższą wartość – $113,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ odnotowano w 2013 r. w odległości 960 m od Trasy Łazienkowskiej, czyli około 30 m od alei Waszyngtona – przekraczało dopuszczalną normę prawie pięciokrotnie.



Rys. 6. Stężenie pyłu zawieszonego PM₁₀ w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Stężenie pyłu zawieszonego PM_{1,0} w zależności od odległości od Trasy Łazienkowskiej
Źródło: opracowanie własne.

W zależności od odległości punktów pomiarowych od Trasy Łazienkowskiej alei Waszyngtona, wartości stężeń pyłu PM_{2,5} w środkowych punktach pomiarowych są najniższe. Natomiast w punktach pomiarowych położonych w pobliżu Trasy Łazienkowskiej i alei Waszyngtona, stężenia pyłu wykazują tendencję rosnącą.

Dla frakcji pyłu PM_{1,0} najniższe wartości stężeń zanotowano w 2012 r., natomiast w roku 2013 wartości te były najwyższe. Maksymalne stężenie pyłu frakcji PM_{1,0} wynosiło 114,3 µg/m³. Podobnie jak w przypadku pyłu PM_{2,5}, odnotowane wartości wskazują na wyraźną zależność od odległości od Trasy Łazienkowskiej i alei Waszyngtona.

Wnioski

1. Wysokie stężenia pyłu zawieszonego w miejskim powietrzu atmosferycznym powodują nie tylko 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 znaczne przekroczenia dopuszczalnych norm w punktach pomiarowych położonych w najbliższych odległościach od Trasy Łazienkowskiej i alei Waszyngtona.

3. Maksymalne stężenie pyłu zawieszonego PM_{10,0}, 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 danych pomiarowych pyłu zawieszonego, uzyskanych w latach 2012–2014, wykazała, że niejednokrotnie dochodzi do przekraczania stężeń alarmowych, wynoszących 200,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Należy zatem prowadzić intensywne badania monitoringowe na tym obszarze.
6. Obecny stan zanieczyszczenia pyłem zawieszonym powietrza atmosferycznego na terenie Pragi Południe sugeruje konieczność prowadzenia dalszych kompleksowych badań, także środowiska wodno-glebowego na podobnych obszarach o wysokim stopniu urbanizacji. Pozwolą one na ocenę potencjalnego zagrożenia dla zdrowia zarówno użytkowników działek, jak i ludności na terenie całej Warszawy oraz innych dużych aglomeracji miejskich.

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] Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z.: Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
- [3] Binggan W., Yang L.: A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China, *Microchemical Journal* 2010, nr 94, s. 99–107.
- [4] Chłopek Z.: Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwo ruchu drogowego, Politechnika Warszawska, Warszawa 2012.
- [5] Chłopek Z.: Ochrona środowiska naturalnego. Pojazdy samochodowe. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [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.
- [8] Hjortenkrans D., Bergback B., Haggerud A.: New metal emission patterns in road traffic environment. *Environmental Science and Technology* 2006, nr 117, s. 85–98.
- [9] Jankowska E., Więcek E.: Pyły, Warszawa, CIOP 2011.
- [10] Janosz W., Rajczyk A.: Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka. Materiały Konferencyjne. Politechnika Częstochowska 2003.

- [11] Konarski P., Iwanejko I., Mierzejewska A., Cwil M., Diduszko R.: II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „EKOLOGIA W ELEKTRONICE”. Przemysłowy Instytut Elektroniki. Warszawa, 5-5 grudzień 2002.
- [12] Manahan S.E.: Toksykologia Środowiska. Aspekty chemiczne i biochemiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [13] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie, Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2006–2007.
- [14] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2012, Warszawa 2013.
- [15] Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne, Warszawa 2010.
- [16] Walczak B.: Pyły drogowe jako potencjalne zagrożenie dla ekosystemów miejskich na przykładzie Zielonej Góry. Uniwersytet Zielonogórski. Praca doktorska 2008.
- [17] Xinwei L., Lijun W., Loretta Y.L., Kai L., Li Huang., Dan Kang: Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, *Journal of Hazardous Materials* 2010, nr 173, s. 744–749.
- [18] Zheng N., Liu J., Wang Q., Liang Z.: Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China *Science of the Total Environment* 2010, 408, s. 726–733.
- [19] Zwoździak P.: Konferencja Naukowa Studentów. „BIOCYWILIZACJA”. UNS Politechnika Wroclawska 2008.

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 (DzU 2012 nr 0 poz. 1031).

Strony internetowe

www.wios.warszawa.pl/download/1/106/1pylyzaw2008.pdf z dn. 26.03.2014 r.

www.tsi.katowice.pl/pylomierze.html z dn. 8.05.2014 r.