

mgr inż. Karolina Kuskowska

dr Dariusz Dmochowski

Zakład Monitorowania Zagrożeń CBRN

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Analiza rozkładu stężeń pyłu zawieszonego frakcji PM_{10} , $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$ na różnych wysokościach Mostu Gdańskiego

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań pyłów zawieszonych w miejskim powietrzu atmosferycznym, przeprowadzonych w obrębie Mostu Gdańskiego – jednego z ciągów komunikacyjnych łączących prawo- i lewobrzeżną Warszawę. Celem badań było dokonanie analizy wpływu wytypowanych liniowych źródeł zanieczyszczenia na jakość powietrza w tym rejonie Warszawy. Badania przeprowadzono na trzech wysokościach: na Wisłostradzie, przy torach tramwajowych Mostu Gdańskiego, około 4 m od jezdni Wisłostrady, oraz przy jezdni Mostu Gdańskiego, tj. na wysokości około 9 m od jezdni Wisłostrady. Otrzymane wyniki zaprezentowano w postaci wykresów i tabel, w których przedstawiono oddziaływanie transportu na jakość powietrza, a tym samym na poziom bezpieczeństwa ekologicznego w rejonie Mostu Gdańskiego.

Słowa kluczowe: pył zawieszony, liniowa emisja zanieczyszczeń

Analysis of Concentrations of Particulate Matter PM_{10} , $PM_{2,5}$ and $PM_{1,0}$ at Different Heights of the Gdański Bridge

Summary

The paper presents the results of the research concerning the dust from the linear sources of pollution emitted on the Gdanski Bridge – one of the bridges of Warsaw agglomeration. It is a route often frequented by drivers and place enjoyed by the

citizens of Warsaw for recreational purposes. The aim of the study was to analyze the influence of linear sources of pollution on quality of air in the region. The study was performed in 3 heights: the Wislostrada, the tram tracks of the Gdanski bridge and the road of the Gdanski bridge. The results are presented in the graphs and tables showing the impact of transport on air quality and thereby on the level of ecological safety in this region.

Keywords: particulate matter, linear emission of pollution

WSTĘP

Zanieczyszczone powietrze atmosferyczne jest powszechnym problemem wielu aglomeracji miejskich. Źródeł emisji zanieczyszczeń w aglomeracjach miejskich można dopatrywać się przede wszystkim w emisjach z zakładów przemysłowych, motoryzacji i niskiej zabudowie opalanej węglem lub drewnem [4]. Problem zanieczyszczenia powietrza wynika głównie z usytuowania wymienionych źródeł emisji, gdzie na stosunkowo niewielkich obszarach o zwartej zabudowie zanieczyszczone masy powietrza mają utrudniony ruch i wymianę. Zanieczyszczenie powietrza w aglomeracjach miejskich ma wiele składowych, jednak czynnikiem, który ma istotny udział w ogólnym ładunku emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego, jest pył zawieszony [7]. Pył (ang. Particulate Matter – PM) to mieszanina cząstek stałych i ciekłych, zawieszonych w powietrzu, będących mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych [22]. Przyjmuje się, że są to cząstki o wymiarach poniżej 300 μm . Ich kształt może być różny w zależności od jego pochodzenia, z tego też względu pojęcie wymiaru cząstki jest pojęciem umownym. Najczęściej stosuje się w tym celu termin średnica aerodynamiczna cząstki pyłu i jest to średnica kuli o gęstości 1 g/cm^3 , której prędkość opadania w powietrzu nieruchomym i w powietrzu przepływającym laminarnie jest taka sama. Pył o średnicy aerodynamicznej większej niż 10 μm opada szybciej, w związku z czym nazywany jest pyłem opadowym, natomiast pyły drobniejsze mogą unosić się w powietrzu przez długi czas i być przenoszone na większe odległości – noszą nazwę pyłu zawieszonego. W powietrzu atmosferycznym pyły występują na ogół w postaci polidispersyjnej, czyli tworzą zbiór ziaren o różnych wymiarach. Ze względu na średnicę cząstek, pyły klasyfikowane

są na różne frakcje: PM_{10} – o średnicy aerodynamicznej ziaren mniejszej niż $10\ \mu\text{m}$, $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$, – o średnicach aerodynamicznych odpowiednio mniejszych niż $2,5$ i $1,0\ \mu\text{m}$ [5].

Niewątpliwie powietrze jest tym komponentem środowiska, który wpływa bezpośrednio na pozostałe elementy, co oznacza, że każde zanieczyszczenie powietrza wyemitowane do atmosfery może oddziaływać negatywnie na wody powierzchniowe i podziemne, glebę, roślinność, organizmy żywe, w tym zdrowie ludzkie. Sposób oddziaływania tego rodzaju zanieczyszczeń powietrza zależy od wielu czynników, m.in. od ich składu chemicznego, wielkości frakcji, rodzaju substancji zaadsorbowanych na ich powierzchni, np. metali ciężkich, związków organicznych itp. [1]. Skład chemiczny pyłu zawieszonego jest ściśle uzależniony od jego źródła, pory roku, warunków meteorologicznych, przeważających kierunków napływu mas powietrza oraz od lokalnej charakterystyki emisji [8].

Jak wykazują liczne badania i publikacje, pył zawieszony stanowi poważny czynnik chorobotwórczy dla ludzi. Do organizmu człowieka może docierać dwiema drogami: oddechową bądź pokarmową [7]. Cząstki pyłu o średnicy aerodynamicznej poniżej $10\ \mu\text{m}$ dostają się do dróg oddechowych wraz z wdychanym powietrzem, mogą powodować zmiany patologiczne, np. reakcje alergiczne i zapalne. Cząstki o średnicy aerodynamicznej poniżej $2,5\ \mu\text{m}$ są zdecydowanie drobniejsze, zatem bardziej szkodliwe dla zdrowia, ponieważ dostają się do głębszych partii organizmu. Mogą docierać aż do pęcherzyków płucnych, utrudniając wymianę gazową. Cząstki poniżej $0,1\ \mu\text{m}$ potrafią przenikać z pęcherzyków płucnych do naczyń krwionośnych i układem krwionośnym do narządów i tkanek [19]. Dotychczas nie ustalono progu stężenia pyłu zawieszonego, poniżej którego negatywne skutki oddziaływania na człowieka nie występują. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [18] określono poziomy dopuszczalne i docelowe niektórych substancji w powietrzu, w tym pyłu zawieszonego frakcji 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 przekraczany 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-godzinnego cząstek pyłu o średnicy mniejszej od $10\ \mu\text{m}$ wynosi $200\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast poziom alarmowania wynosi $300\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dla pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$, w rozporządzeniu [18] określono

docelowy poziom stężenia średniorocznego, który powinien zostać osiągnięty do 2020 roku i wynosić $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kolejnym elementem środowiska narażonym na negatywne oddziaływanie pyłu jest gleba, która jest swoistego rodzaju sorbentem, zatrzymującym na swojej powierzchni wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia. Cząstki pyłów, na powierzchni których zaadsorbowane są związki chemiczne, dostając się do gleby, mogą przyczyniać się do zmiany ich odczynu i składu chemicznego. Ma to przede wszystkim miejsce w pobliżu zakładów przemysłowych i tras komunikacyjnych, gdzie po opadach wraz ze spływem powierzchniowym do gleby wnikają związki metali ciężkich, które mogą być tam akumulowane przez długi czas, nie ulegając degradacji. Metale ciężkie obecne w glebie w podwyższonych stężeniach mogą przyczyniać się do obumierania mikroorganizmów glebowych, powodując obniżenie aktywności biologicznej gleby [12].

Pyły szkodliwie wpływają także na szatę roślinną. Ich niekorzystne działanie polega w głównej mierze na pokrywaniu liści izolującą warstwą pyłu, co utrudnia proces fotosyntezy oraz docieranie promieni słonecznych. Ponadto pyły rozpraszają i pochłaniają dużą część promieniowania ultrafioletowego, które ma istotne znaczenie biologiczne, gdyż spadek jego intensywności prowadzi do wzrostu ilości bakterii w powietrzu i zatrzymuje rozwój roślinności. Na obszarach o dużym zapyleniu odnotowuje się zmniejszenie wydajności plonów [7].

Innym elementem środowiska, na który może oddziaływać zanieczyszczenie pyłowe są wody powierzchniowe, do których pył może docierać głównie przez spływ powierzchniowy z dróg, zanieczyszczonych gleb lub też przez bezpośrednią depozycję z atmosfery. Pył zawierający substancje niebezpieczne łączy się z osadami dennymi i może być akumulowany w wodnych organizmach roślinnych i zwierzęcych. [7]. Ponadto, pyły obecne w powietrzu atmosferycznym mogą przyczyniać się do powstawania mgieł i smogów ograniczających przejrzystość atmosfery oraz widzialność, co może prowadzić do wypadków w transporcie drogowym i lotniczym [7].

Wiodącym celem publikacji było przeprowadzenie badań pomiarów pyłu zawieszonego, którego głównym, ale nie jedynym źródłem na terenach wielkomiejskich jest motoryzacja. W ostatnim dziesięcioleciu na ulicach miast odnotowuje się coraz większe natężenie ruchu. Zjawisko to stanowi szczególnie problem na obszarach o wysokiej gęstości zaludnienia, gdzie na małych powierzchniach o gęstej sieci komunikacyjnej porusza się duża liczba

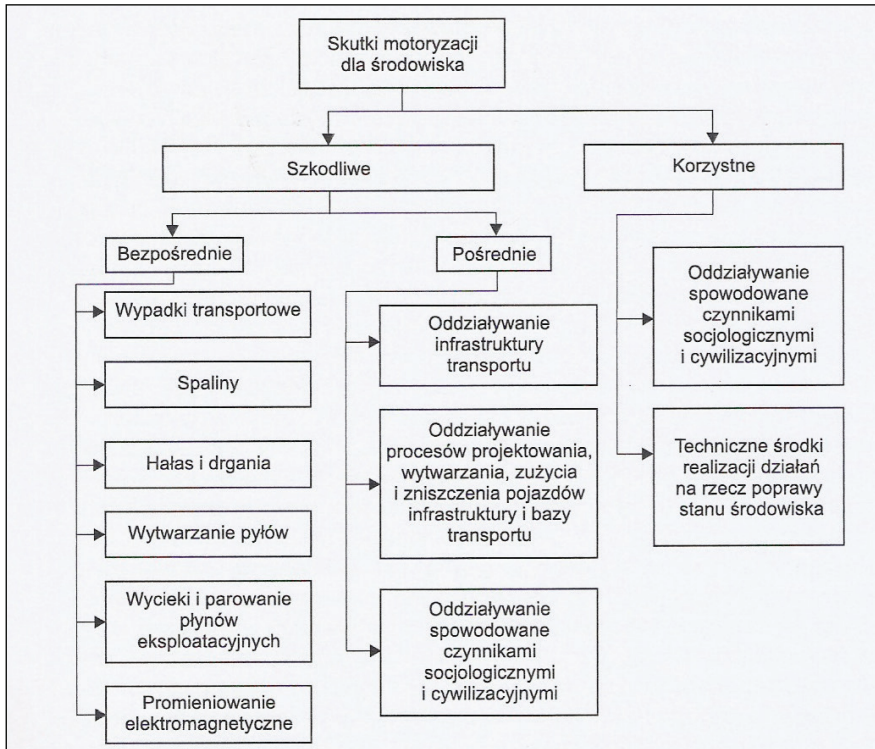
pojazdów, co szczególnie w godzinach szczytu prowadzi do utrudnionej komunikacji oraz wysokiej emisji spalin [6].

Pył miejski jest mieszaniną różnorodnych i niebezpiecznych substancji występujących w różnych postaciach. Najgroźniejsze nich to [10]:

- Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) – trwałe zanieczyszczenia organiczne, tworzące mieszaniny wieloskładnikowe, ich ilość i jakość zależy od rodzaju materiału spalanego oraz warunków, w jakich zachodzi proces spalania. Pochodzą głównie z niepełnego spalania paliw. Związki: benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten i dibenzo(a,e)piren mają właściwości rakotwórcze. Występują w powietrzu w postaci stałej, osiadając na powierzchni cząstek pyłów, mgły lub dymu. W wyniku reakcji chemicznych z tlenkami azotu tworzą nitrowe pochodne WWA, charakteryzujące się większą mutagennością i rakotwórczością niż WWA.
- Metale ciężkie – pierwiastki o gęstości powyżej 4,5 g/cm³, takie jak miedź, cynk, nikiel, chrom, kadm i ołów. Spośród wymienionych pierwiastków najbardziej niebezpieczne są: kadm i ołów, które powodują choroby nowotworowe. Ich toksyczność ściśle zależy od chemicznych form, w których występują. Metale ciężkie mogą przedostawać się wraz z pyłami do wód naturalnych i gleby, przyczyniając się do naruszenia stanu równowagi dynamicznej środowiska wodno-glebowego.
- Polichlorowane bifenyle (PCB) – ze względu na strukturę i właściwości są zbliżone do związków z grupy dioksyn. Mimo znacznych ograniczeń w ich stosowaniu, można zaobserwować ich obecność w środowisku z uwagi na wysoki stopień odporności na degradację [7].

Głównymi źródłami cząstek stałych w powietrzu atmosferycznym, w obrębie szlaków komunikacyjnych, są [10]:

- ogumienie kół (związki organiczne i metale),
- silniki (głównie sadza i zaadsorbowane na niej związki organiczne i nieorganiczne),
- układy trące hamulców i sprzęgieł (metale, w tym ciężkie i związki organiczne),
- nawierzchnia jezdni ulegająca zużyciu (związki organiczne i nieorganiczne),
- inne części pojazdów, ulegające zużyciu w trakcie eksploatacji (niewielkie ilości metali),
- pył wzniesany w trakcie ruchu pojazdu.



Rys. 1. Skutki motoryzacji dla środowiska

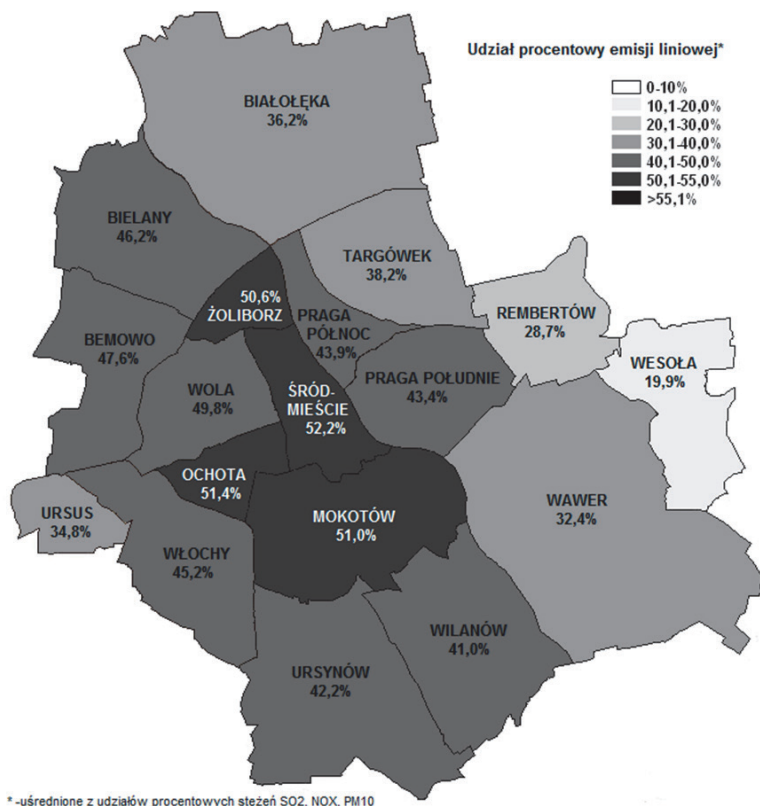
Źródło: [3, str. 28–29]

Poza wymienionymi czynnikami komunikacyjnymi, na poziom stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym nieodzowny wpływ mają także warunki meteorologiczne, takie jak temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru oraz opady atmosferyczne, które wpływają na ruch zanieczyszczonych mas powietrza i przenoszenie cząstek pyłu na różne odległości.

W związku z tym, że autorzy artykułu prowadzili własne badania w m.st. Warszawie, na rys. 2 zaprezentowano udział procentowy emisji liniowej z podziałem na dzielnice Warszawy.

Z mapy wynika iż największy poziom stężenia zanieczyszczeń pyłowych pochodzących ze źródeł komunikacyjnych występuje w dzielnicach, gdzie powszechnie wiadomo, że jest najwyższe natężenie ruchu, a także na obszarach, w których zwarta zabudowa uniemożliwia szybkie rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń, czyli w Śródmieściu, na Ochocie, Mokotowie i Żoliborzu.

Źródłem miarodajnych danych o rodzaju i wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza w Warszawie jest przede wszystkim System Monitoringu Jakości Powietrza w województwie mazowieckim, prowadzony przez Wojewódzką Inspekcję Ochrony Środowiska w Warszawie. Wyróżnia się trzy rodzaje stacji: tła miejskiego, przemysłowe oraz komunikacyjne. W odniesieniu do emisji liniowej najważniejsza jest stacja komunikacyjna, która umiejscawiona jest bezpośrednio przy jezdni. Stacje przemysłowe zlokalizowane z kolei w strefie bezpośredniego oddziaływania dużych instalacji przemysłowych mają na celu badanie wpływu emisji punktowej, natomiast stacje tła miejskiego instalowane są na terenie osiedli mieszkaniowych i określają stan jakości powietrza w poszczególnych dzielnicach Warszawy [9, s. 168].



Rys. 2. Średnie udziały liniowej emisji zanieczyszczeń powietrza w dzielnicach Warszawy w 2013 roku

Źródło: Podawca K., Rutkowska G.: Analiza przestrzennego rozkładu typów zanieczyszczeń powietrza w układzie dzielnic m.st. Warszawy. SGGW, Warszawa 2013

1. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Pomiary pyłu zawieszonego i jego frakcji wykonane zostały 24 maja 2016 r. w godz. 10.00–12.00. W momencie pomiarów temperatura wynosiła 25°C. Wiatr był słaby i umiarkowany, kierunek zachodni. Według stacji pomiarowych IMGW wilgotność powietrza była na poziomie 60%. Obiektem badań był węzeł komunikacyjny, położony w okolicach Wisłostrady, na wysokości mostu Gdańskiego. Wisłostrada to nazwa 21-kilometrowego ciągu ulic wzdłuż lewego brzegu Wisły. Zajmuje trzecią pozycję wśród najbardziej uczęszczanych arterii Warszawy. Według pomiarów wykonanych przez Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie, w 2015 r. przejechało nią ok. 28 445 885 pojazdów, tj. ok. 77 961 pojazdów/dobę [20]. Na omawianym odcinku, Wisłostrada posiada cztery pasy ruchu w kierunku Centrum i trzy pasy w kierunku Łomianek. Nad trasą biegnie most Gdański, a w odległości ok. 50 m od mostu zlokalizowane jest skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną. Most Gdański jest dwupoziomową konstrukcją stalowo-drewnianą. Na dolnym poziomie znajdują się tory tramwajowe, chodniki oraz ścieżka rowerowa. Torami tramwajowymi przejeżdżają tramwaje linii 1, 6, 18, 28, co stanowi dzienną liczbę przejazdów ok. 810 łącznie w obie strony [21]. Na poziomie górnym znajduje się czteropasmowa jezdnia oraz chodniki. Most łączy ul. Słomińskiego znajdującą się po lewej stronie Warszawy, z prawobrzeżną ul. Starzyńskiego. Spełnia on w głównej mierze rolę lokalną. Według pomiarów ZDM rocznie z przeprawy korzysta ok. 19 611 031 pojazdów (tj. ok. 53 729 pojazdów/dobę). Dla porównania, mostem Marii Skłodowskiej-Curie (Północnym) przejeżdża rocznie ok. 24 114 979 pojazdów, a mostem Łazienkowskim dwukrotnie więcej niż Mostem Gdańskim [20,13].

Do badań wytypowano trzy punkty pomiarowe. Pierwszy zlokalizowano na chodniku przy Wisłostradzie, w odległości 2 m od pasów ruchu tuż przy przystanku autobusowym Most Gdański 02. Kolejnym punktem pomiarowym był chodnik przy torach tramwajowych, w odległości 1,5 m od torowiska i na wysokości ok. 6 m nad jezdnią Wisłostrady. Trzecim punktem pomiarowym był chodnik na Moście Gdańskim w odległości 1 m od jezdni na wysokości ok. 9 m nad Wisłostradą (fot. 1). Pomiary wykonywane były w miejscach szczególnie uczęszczanych przez pieszych, czyli na przystanku autobusowym, tramwajowym, schodach oraz na chodniku wzdłuż Mostu Gdańskiego.



Fot. 1. Punkty pomiarowe
Źródło: opracowanie własne

2. METODYKA BADAŃ

Pomiary stężenia pyłu zawieszonego i jego frakcji wykonano przenośnym pyłomierzem DustTrack II. Urządzenie pracuje na zasadzie fotometru laserowego, tzn. 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. Po zassaniu powietrza wykonywana jest optyczna analiza pobranej próbki

pozwalająca na wyznaczenie stężenia pyłu różnych frakcji. W tym przypadku analizowano frakcje PM_{10} , $PM_{2,5}$ oraz $PM_{1,0}$. Następnie, za pomocą oprogramowania TrakPro, otrzymano raport z danymi zebranymi przez pyłomierz DustTrak II. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli oraz przedstawiono w postaci graficznej. W każdym punkcie wykonano dla wybranych frakcji pyłu zawieszonego, tj. PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$ po 10 pomiarów trwających 1 min. Urządzenie odczytuje stężenia pyłu zawieszonego co sekundę, zatem w każdym punkcie uzyskano po 600 wyników (10 pomiarów \times 60 wyników co sekundę) dla każdej z mierzonych frakcji, co dało łączną sumę 1800 wyników pomiarów dla każdego punktu. Następnie, za pomocą metod statystycznych, wyciągnięto średnie arytmetyczne, odczytano wartości minimalne i maksymalne. Duża liczba wyników umożliwia dokonanie szczegółowej analizy, ale także pozwala na tworzenie różnych konfiguracji wykresów, w zależności od tego, co autorzy chcą zaprezentować (przykładem są wykresy i tabele zamieszczone w dalszej części artykułu).

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Tabela 1 jest podstawą kompletnych analiz, zestawiono w niej średnie arytmetyczne dla każdego przeprowadzonego pomiaru z podziałem na analizowane frakcje, tj. PM_{10} , $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$ oraz numer punktu pomiarowego.

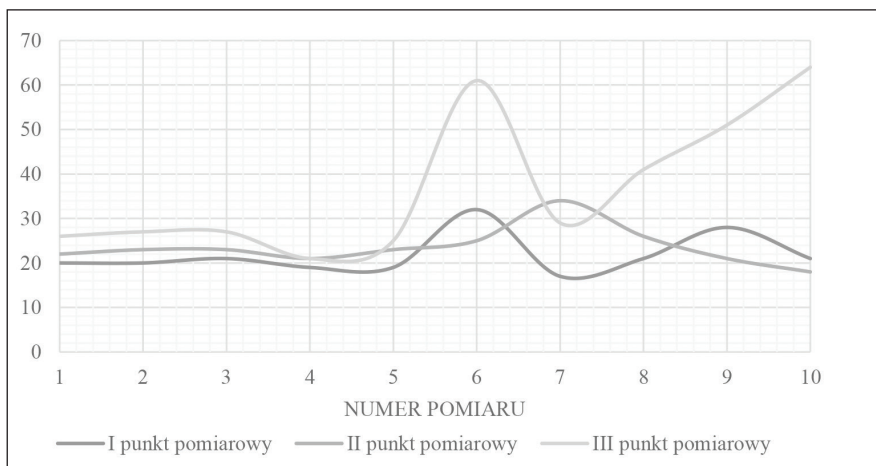
Tabela 1. Stężenie pyłu zawieszonego w poszczególnych pomiarach [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Frakcja pyłu	Punkt Pomiarowy	Wartość	Numer pomiaru									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PM10	I	Średnia	20	20	21	19	19	32	17	21	28	21
		Minimum	14	15	14	14	14	15	14	14	15	14
		Maksimum	49	31	71	37	29	180	30	49	50	50
	II	Średnia	22	23	23	21	23	25	34	26	21	18
		Minimum	14	15	17	16	14	15	16	17	7	6
		Maksimum	46	49	36	44	58	48	130	82	36	31
	III	Średnia	26	27	27	21	25	61	29	41	51	64
		Minimum	15	16	19	14	16	22	17	22	22	29
		Maksimum	57	62	44	41	48	193	90	95	99	116

Frakcja pyłu	Punkt Pomiarowy	Wartość	Numer pomiaru									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PM _{2,5}	I	Średnia	17	17	19	17	17	25	16	18	25	19
		Minimum	13	14	14	13	13	15	14	14	14	14
		Maksimum	35	24	66	33	25	134	18	43	44	40
	II	Średnia	20	20	19	19	22	20	27	23	18	19
		Minimum	14	15	15	15	14	15	15	16	7	13
		Maksimum	41	48	30	42	57	32	127	80	31	33
	III	Średnia	22	24	24	19	21	55	26	35	39	57
		Minimum	14	14	17	13	13	21	17	21	21	29
		Maksimum	43	54	42	27	38	178	87	93	75	113
PM _{1,0}	I	Średnia	17	16	18	17	16	24	15	18	24	19
		Minimum	13	14	13	13	12	15	13	14	13	13
		Maksimum	34	23	65	33	24	125	18	42	44	39
	II	Średnia	20	20	19	18	21	20	26	22	18	18
		Minimum	14	15	15	15	14	15	15	15	6	12
		Maksimum	40	48	29	41	56	31	127	79	31	33
	III	Średnia	21	23	23	18	21	54	26	34	38	56
		Minimum	14	14	16	13	12	21	17	21	20	28
		Maksimum	42	51	41	27	37	176	87	93	74	112

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 3 to wykres liniowy ze średnich stężeń pyłu PM₁₀ ze wszystkich wykonanych pomiarów. Wartości dla frakcji PM_{2,5} i PM_{1,0} są podobne, dlatego, w celu uniknięcia powielenia podobnych wykresów, zobrazowano wyłącznie frakcję PM₁₀. Warto zwrócić uwagę, iż największe stężenie pyłu zawieszonego zostało odnotowane w III punkcie pomiarowym podczas pomiaru 6 i 10, kiedy to miały miejsce przejazd ciężkiego samochodu (6) i autobusu miejskiego (10). Chwilę po przejazdach wymienionych pojazdów następował duży skok stężenia pyłu zawieszonego.

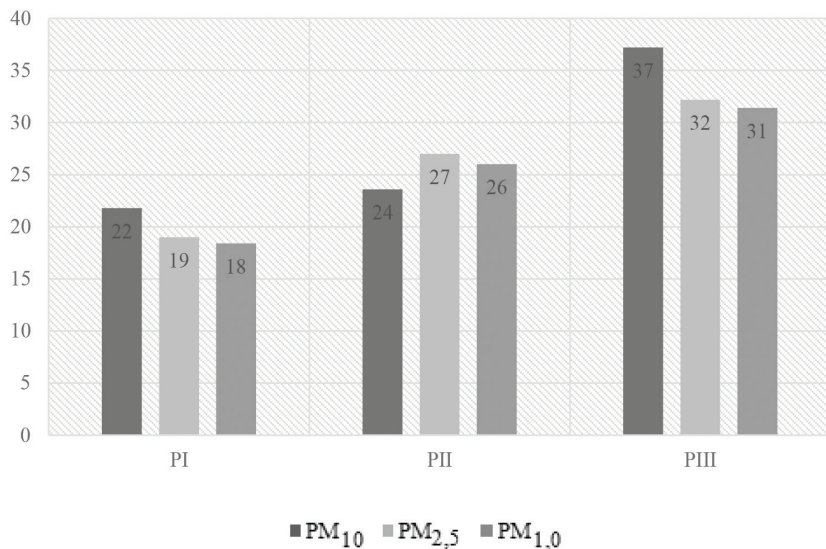


Rys. 3. Średnie stężenie pyłu PM₁₀

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 4 pokazano natomiast stężenia średnie wszystkich mierzonych frakcji. Średnie stężenia pyłu zawieszonego każdej frakcji mieściły się w zakresie od 18 do 37 µg/m³. Największe wartości odnotowano w III punkcie pomiarowym, znajdującym się najwyżej od jezdni Wisłostrady, przy jezdni Mostu Gdańskiego. Można domniemać, iż na tę sytuację mogło wpłynąć mieszanie się zanieczyszczeń powietrza emitowanych wzdłuż Wisłostrady i na Moście Gdańskim. Dominującą frakcją we wszystkich pomiarach jest pył PM₁₀, czyli frakcja największa z mierzonych. Porównując otrzymane stężenia z wartościami dopuszczalnymi i docelowymi wynikającymi z Rozporządzenia Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu można stwierdzić, że stężenie pyłu PM₁₀ mieści się w normach i jest poniżej poziomu dopuszczalnego, czyli 40 µg m³. Pył PM_{2,5} w II i III punkcie przekracza wartość docelową, która do 2020 r. nie powinna przekraczać 20 µg/m³. Warto jednak przypomnieć, że czas pomiaru wynosił 60 s dla każdego punktu pomiarowego, zatem porównywanie otrzymanych wyników z dopuszczalnymi normami, które odnoszą się tylko dla stężeń 24 h bądź średniorocznych, jest pewnym przybliżeniem. Aby uzyskać bardziej miarodajne wyniki z pomiarów, należałoby dla każdego z punktów prowadzić pomiary przez 24 h i uśrednić wartości, co przy tej skali badań byłoby trudne do zrealizowania za pomocą urządzenia obsługiwane ręcznie. Badania miały głównie na celu określenie rozkładu stężenia

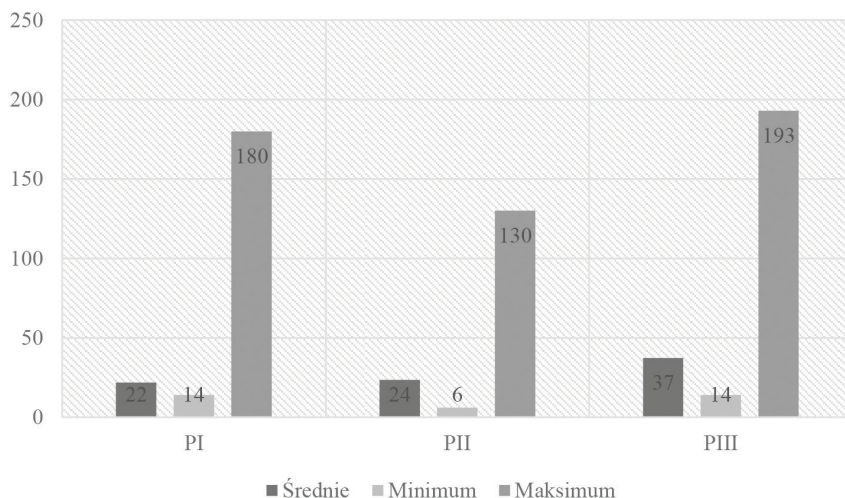
pyłu w danej chwili i oceny, jaki może mieć to potencjalny wpływ na przebywających na tych obszarach ludzi. Warto także zwrócić uwagę na rozkład i dominujące frakcje na różnych wysokościach. Pył PM_{10} przeważa w I i III punkcie pomiarowym, czyli tam, gdzie występuje transport samochodowy. W II punkcie pomiarowym, przy torach tramwajowych, większe stężenia osiągnęły frakcje drobne $PM_{2,5}$ oraz $PM_{1,0}$.



Rys. 4. Średnie stężenie pyłu zawieszonego PM_{10} , $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$ w poszczególnych punktach pomiarowych

Źródło: opracowanie własne

Z każdego pomiaru wyciągnięto także wartości minimalne i maksymalne, co pozwoliło jednocześnie na określenie zakresu odnotowanych stężeń. W większości pomiarów różnice między wartością minimalną, a maksymalną nie są zbyt duże i maksymalnie wynoszą $35 \mu g/m^3$. Obserwowano jednak też serie pomiarowe, gdzie różnice te sięgały nawet $160 \mu g/m^3$. Wartości maksymalne, o których mowa, osiągnęte były w chwili przejazdu autobusu bądź samochodu ciężarowego. Duże wahania stężenia odczytywano także w momencie zmiany świateł. W większości badanych przypadków ruszające pojazdy powodowały ruch mas powietrza, wznosząc pył odpadowy. W tym przypadku odnotowano dominację pyłu PM_{10} . Wartości maksymalne, minimalne oraz średnie stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$ niewiele się różniły od wartości PM_{10} , dlatego w artykule zamieszczono tylko jeden wykres, tj. dla pyłu PM_{10} .

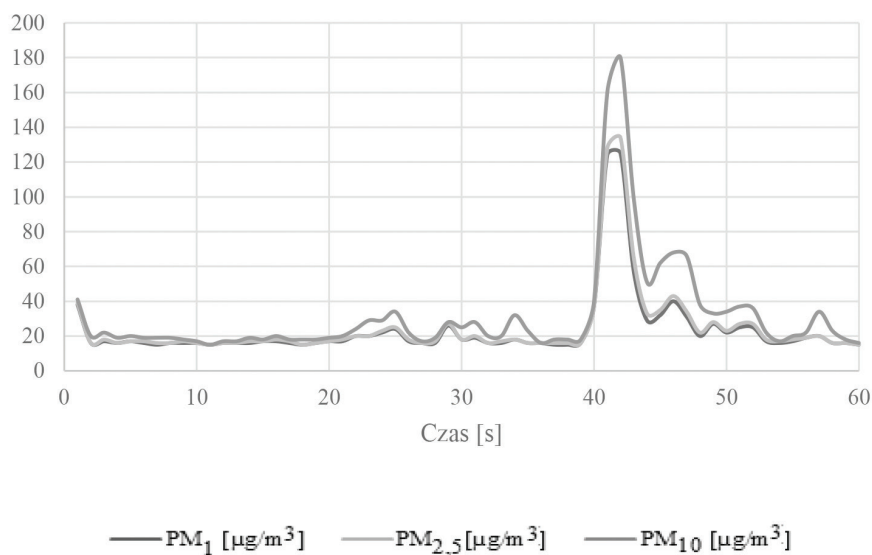


Rys. 5. Wartości minimalne i maksymalne pyłu zawieszonego PM_{10} w poszczególnych punktach pomiarowych

Źródło: opracowanie własne

Oprogramowanie pyłomierza wykorzystanego do pomiarów umożliwia tworzenia wykresów dla pomiarów 60 sekundowych (rys. 6). Zaletą tego typu wykresów jest możliwość identyfikacji konkretnego zdarzenia wpływającego na skok stężenia pyłu zawieszonego, jednak warto zwrócić uwagę, iż takiemu pomiarowi muszą towarzyszyć uważne obserwacje i odnotowywanie wszystkich okoliczności pomiarów. Z rysunku 6 można odczytać, iż zdarzenie, o którym mowa powyżej, miało miejsce w 40 sekundzie pomiaru i zgodnie z notatkami autorów była to zmiana światła na sygnalizacji.

Dla porównania, poniżej zamieszczono wyniki pomiarów z 24.05.2016 r. przeprowadzonych przez Wojewódzką Inspekcję Ochrony Środowiska w Warszawie w stacjach automatycznych. Na potrzeby niniejszego artykułu rozpatrzone zostały pomiary ze stacji Warszawa Komunikacyjna, zlokalizowanej przy alei Niepodległości 227/233 na Mokotowie mierzącej zanieczyszczenia ze źródeł liniowych. Jest to jedna z dwóch stacji w Warszawie mierzących ten rodzaj emisji. Dane prezentowane przez WIOŚ potwierdzają, że dominującą frakcją pyłu jest frakcja PM_{10} .



Rys. 6. Stężenia pyłu zawieszonego frakcji PM₁₀, PM_{2,5} i PM_{1,0} podczas jednorazowego pomiaru

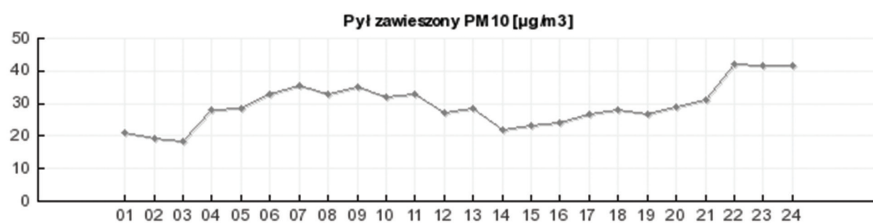
Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Średnie 24-godzinne stężenie pyłu zawieszonego frakcji PM₁₀ i PM_{2,5} wg pomiarów WIOŚ w stacji Warszawa Komunikacyjna

Frakcja	Wartość	Stężenie [µg/m ³]
PM ₁₀	Minimum	18,6
	Maksimum	42,2
	Średnia	29,5
PM _{2,5}	Minimum	5,2
	Maksimum	14,8
	Średnia	9

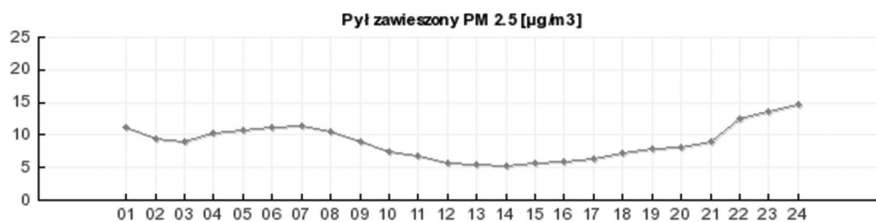
Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://sojp.wios.warszawa.pl>

W tabeli 2 przedstawiono średnie 24-godzinne, więc porównywanie ich z wartościami średnimi otrzymanymi z pomiarów samodzielnych nie jest właściwe. Pomiarzy WIOŚ pokazują jednak, że wartości dopuszczalne stężenia pyłu zawieszonego na rozpatrywanej stacji nie zostały przekroczone. Na średnie 24-godzinne składają się także pomiary wykonywane w nocy i rano, poza godzinami szczytu, kiedy to stężenia pyłu zawieszonego spadają, co pozwala domniemać, że wpłynęło to na obniżenie wielkości średnich stężeń. W związku z powyższym, przy wszelkich analizach i ocenie zagrożeń powinno się brać pod uwagę także rozkłady godzinowe stężeń, które umożliwiają szersze i bardziej wnikliwe analizy. Jak można odczytać z wykresów (rys. 7, 8) w godz. 10–12, czyli w momencie pomiarów prowadzonych przez autorów, wartości stężenia pyłu PM_{10} na stacji Warszawa Komunikacyjna były zbliżone do wartości odnotowanych przy Moście Gdańskim. Natomiast stężenia pyłu $PM_{2,5}$ przy Moście Gdańskim były ponad dwukrotnie wyższe niż na rozpatrywanej stacji.



Rys. 7. Godzinowy rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM_{10} z 24.05.2016 na stacji Warszawa Komunikacyjna

Źródło: <http://sojp.wios.warszawa.pl>



Rys. 8. Godzinowy rozkład stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ z 24.05.2016 na stacji Warszawa Komunikacyjna

Źródło: <http://sojp.wios.warszawa.pl>

WNIOSKI

1. Analiza uzyskanych wyników badań nie powinna budzić większych obaw. W żadnym, badanym punkcie pomiarowym nie zostało przekroczone dopuszczalne stężenie pyłu PM_{10} , a pył $PM_{2,5}$ przekroczył poziom docelowy w punkcie II o $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a w punkcie III o $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Są to jednak niewielkie przekroczenia. Warto jednak zwrócić uwagę, że pomiary wykonane były w godz. 10-12, czyli poza godzinami szczytu, przy umiarkowanym wietrze, co mogło mieć znaczny wpływ na odnotowane wartości.
2. Wykresy wartości średnich pomiarów stężeń pyłów zawieszonych są wykresami orientacyjnymi, dostarczającymi raczej ogólnych informacji. W celu uzyskania szczegółowych danych, pozwalających na zbadanie rozkładu stężeń pyłów, należy posilkować się wykresami, np. godzinowymi lub 60-sekundowymi. Wykresy z pojedynczych pomiarów mogą wskazywać narażenie chwilowe, np. dla osób stojących na przystanku autobusowym czy też korzystających z bulwarów wzdłuż Wisłostrady. Jak wykazano, wykresy szczegółowe pozwalają na identyfikację zdarzeń powodujących skoki stężenia pyłu zawieszonego.
3. Najwyższe, chwilowe stężenia pyłu zawieszonego odnotowano w 3 punkcie pomiarowym, czyli na najwyższej wysokości, na której dokonywany był pomiar. Badania wykazały, że stężenie rosło wraz z wysokością na jakiej był wykonywany pomiar.
4. Miarodajnym źródłem informacji o jakości powietrza jest system oferowany przez WIOŚ. Niestety jednak nadal jest mało stacji pomiarowych, szczególnie komunikacyjnych. Jak zasygnalizowano rozkład stężeń pyłów zawieszonych zależy m.in. od wielkości natężenia ruchu i zabudowy przestrzennej.
5. Przedstawione wyniki i różne metody ich zobrazowania wykazały jak ważne jest systematyczne monitorowanie powietrza atmosferycznego pod kątem zanieczyszczeń pyłami zawieszonymi. W zależności od zastosowanego wariantu pomiarowego, można odpowiedzieć na pytanie, co stanowiło główne źródło emisji i kiedy wystąpiło największe zagrożenie dla zdrowia użytkowników tras komunikacyjnych.

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., Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwo ruchu drogowego. Politechnika Warszawska, Warszawa 2012.
- [3] Chłopek Z., Ochrona środowiska naturalnego. Pojazdy samochodowe. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [4] Hjortenkrans D., Bergback B., Haggerud A., New metal emission patterns in road traffic environment. *Environmental Science and Technology* 2006, nr 117, s. 85–98.
- [5] Janka R. M., Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, Warszawa, 2014.
- [6] Janosz W., Rajczyk A., Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka. Materiały Konferencyjne. Politechnika Częstochowska 2003.
- [7] Juda-Rezler K.: Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000
- [8] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Raport o stanie środowiska w Polsce 2008. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2010
- [9] Program ochrony środowiska dla m.st. Warszawy na lata 2009–2012 z uwzględnieniem perspektywy do 2016 r. Warszawa 2009.
- [10] Stepnowski P: Monitoring i analityka zanieczyszczeń w środowisku. Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2010.
- [11] Strategia Zrównoważonego Rozwoju Systemu Transportowego Warszawy do 2015 roku i na lata kolejne. Warszawa 2010.
- [12] Walczak B., Praca Doktorska: Pyły drogowe jako potencjalne zagrożenie dla ekosystemów miejskich na przykładzie Zielonej Góry. Zielona Góra 2008.
- [13] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2012, Warszawa 2013.
- [14] 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.

Akty prawne:

- [15] Dyrektywa 2008/50/WE.
- [16] Dyrektywa 2004/107/WE.
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. 2012, poz. 1032).
- [18] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012, poz. 1031).

Strony internetowe:

- [19] www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/raporty/raport11/3_wplyw_zanieczyszczenia_powietrza_na_zdrowie_ludzkie.pdf z dn. 15.05.2016.
- [20] www.zdm.waw.pl/aktualnosci/miliony-pojazdow-na-drogach-gdzie-najwiecej z dn. 8.07.2016.
- [21] www.ztm.waw.pl/rozklad_nowy.php?c=183&l=1&a=7055 z dn. 10.07.2016.
- [22] www.wios.warszawa.pl/download/1/106/1pylyzaw2008.pdf z dn. 10.07.2016.