

**dr Anna Dmochowska**

*Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego*

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

**mgr inż. Konrad Skuneczny**

*Absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego*

**dr inż. Andrzej Polańczyk**

**st. bryg. dr inż. Wojciech Jarosz**

**mł. kpt. mgr inż. Małgorzata Ciuka-Witrylak**

*Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego*

*Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

## **Zagrożenia wynikające z emisji pyłu zawieszonego z liniowych źródeł komunikacyjnych**

### **Abstrakt**

Zanieczyszczenia powietrza oddziałują zarówno na człowieka, jak i całe środowisko naturalne: gleby, wody, ziemię, zwierzęta i rośliny. Jednym z nich jest pył zawieszony. Badania stężeń frakcji tego pyłu  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{1,0}$  z liniowych źródeł komunikacyjnych zaplanowano i wykonano na Woli, jednej z dzielnic Warszawy. Pomiary za pomocą pyłomierza DustTrak II odbywały się dwa razy w ciągu doby w różnym czasie, ale w tych samych punktach pomiarowych, znajdujących się przy wybranych arteriach komunikacyjnych. Wpływ liniowych źródeł emisji pyłu zależy bardzo często od stanu technicznego pojazdów, ale również bardzo duże znaczenie ma sposób organizacji i natężenie ruchu oraz przepustowość dróg. Zwrócono uwagę na to, że bardzo istotny wpływ na rozkład stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym mają między innymi warunki meteorologiczne. Zjawisko inwersji termicznej w sposób istotny utrudnia ruchy zanieczyszczonych mas powietrza, w wyniku czego masy te kumulują się na danym terenie, powodując gromadzenie się mgły oraz wzmacnianie się smogu na obszarze, gdzie wystąpiła duża emisja zanieczyszczeń.

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

## Threats Resulting from the Emission of Suspended Dust from Linear Communication Sources

### Abstract

Air pollution affects both man and the whole natural environment-soil, water, animals and plants. One of the key pollutants of the atmospheric air is the suspended dust. Investigations of the concentrations of this  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{1.0}$  fractions from linear communication sources were planned and carried out in Wola, one of the Warsaw districts. The measurements using the DustTrak II dust meter took place twice a day at different times, but at the same measuring points located at selected traffic arteries. The influence of linear dust emission sources depends very often on the technical condition of vehicles, but also the manner of organization and volume of traffic as well as road capacity are very important. It has been pointed out that the meteorological conditions have a very significant influence on the distribution of particulate matter suspended in the atmospheric air. The phenomenon of the thermal inversion significantly impedes the movements of the contaminated air masses, as a result of which these masses are cumulated in a given area, causing the accumulation of fog and strengthening the smog in the area where a large emission of pollutants occurred.

**Keywords:** air pollutants, dust, linear emission of pollutants

### Wstęp

Skład chemiczny pyłu zawieszonego nie jest stały i ulega ciągłej zmianie w zależności od pory roku, źródła pochodzenia, lokalnych źródeł emisji, kierunków mas powietrza, warunków meteorologicznych. Najważniejszymi składnikami pyłu w powietrzu atmosferycznym są: związki nieograniczone, głównie siarczany, azotany, sole amonowe, powstające jako pyły wtórne w procesach chemicznych, tworzące aerozole nieograniczone oraz sól morską. Są nimi również związki ograniczone, ciała węgliste, w tym materiały zawierające praktycznie sam węgiel powstający w wyniku niepełnego spalania biomasy oraz pył mineralny i pierwotny aerozol biologiczny. Bardzo ważnym elementem, mającym wpływ na poziom pyłów w dużych aglomeracjach, jest pył drogowy, który składa się ze zróżnicowanej ilości oraz rodzajów substancji pochodzących z użytkowanych pojazdów. Pyły te pochodzą przede wszystkim ze spalania paliw, ścieranej nawierzchni dróg, ogumienia, okładzin ściernych,

sprzęgieł i hamulców. Dodatkowym czynnikiem jest wzbijanie pyłu podczas ruchu pojazdów. Najpoważniejszymi zanieczyszczeniami przenoszonymi przez pyły są: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) należące do grupy najczęściej występujących i jednocześnie najbardziej trwałych zanieczyszczeń organicznych tworzących mieszaniny wieloskładnikowe. Zawierają dwa lub więcej pierścieni benzenu w cząsteczce. Zalicza się do nich: benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten oraz dibenzo(a,e)piren. Powstają jako produkty uboczne przy produkcji herbicydów oraz przy spalaniu odpadów miejskich. Emitowane są bezpośrednio do atmosfery, gleb i wód. Pyły przenoszą również metale ciężkie: miedź, rtęć, ołów, cynk, nikiel, arsen oraz kadm. Wszystkie te związki są bardzo toksyczne dla ludzi i zwierząt, nawet w minimalnych dawkach [1, 2, 4].

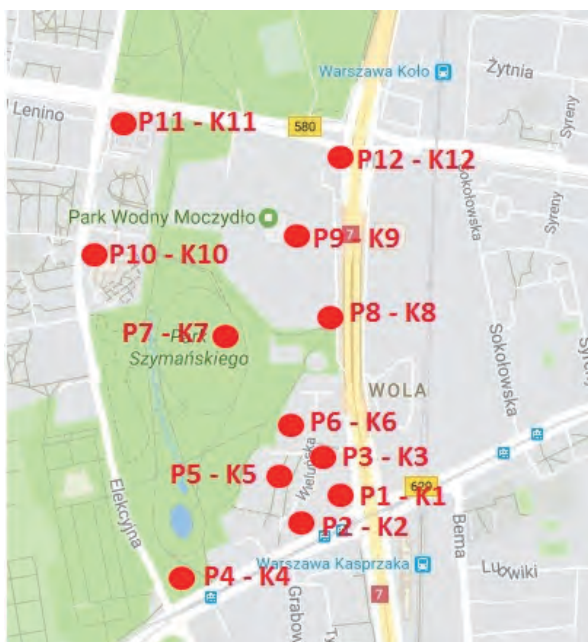
### **Fracje pyłu**

Pyły powstają w efekcie ścierania lub kruszenia różnego rodzaju materiałów. Są zarówno pochodzenia naturalnego – pył mineralny, sól morską, jak i antropogenicznego, np. ścieranie się hamulców i opon. Pył całkowity zawieszony oznaczany jest jako TSP; pył drobny –  $PM_{10}$  – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek poniżej 10  $\mu\text{m}$ , pył bardzo drobny oznaczony symbolem  $PM_{2,5}$  – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek poniżej 2,5  $\mu\text{m}$ , pył submikronowy  $PM_1$  oraz pył ultra drobny  $PM_{0,1}$  – frakcje pyłu zawieszonego o średnicach cząstek odpowiednio poniżej 1,0  $\mu\text{m}$  oraz poniżej 0,1  $\mu\text{m}$ . W zależności od rozpuszczalności pyłów w płynach ustrojowych i ich struktury krystalicznej, mogą mieć one działanie drażniące, zwłókniające, kancerogenne, alergizujące. Istotny wpływ zanieczyszczeń na ludzki organizm ma sam rodzaj oraz ilość substancji, jej właściwości oraz czas działania. Bardzo ważnymi czynnikami są toksyczność i trwałość w środowisku, struktura chemiczna, rozpuszczalność w wodzie oraz tłuszczach, bioakumulowanie się w łańcuchu pokarmowym, jak również cechy osobnicze danego organizmu i warunki występujące w trakcie ekspozycji. Pyły przedostają się do organizmu przez układ pokarmowy, układ oddechowy i bezpośrednio przez skórę. Atakują układ krążenia i układ nerwowy. Pył  $PM_{10}$  odpowiedzialny jest za choroby układu oddechowego, ponieważ to jego cząstki przedostają się wraz z powietrzem do górnych dróg oddechowych. Bardziej niebezpieczne są tzw. pyły drobne o średnicy 2,5  $\mu\text{m}$ , które bezpośrednio trafiają do

pęcherzyków płucnych. Wiele badań naukowych dowodzi, że pyły  $PM_{2,5}$  powodują nasilenie astmy, ostre reakcje układu oddechowego: kaszel, trudności z oddychaniem czy bronchit. Cząsteczki pyłów o średnicy  $0,1 \mu m$  z pęcherzyków płucnych mogą trafić do naczyń krwionośnych i przedostać się do narządów i tkanek. Do najczęściej występujących chorób zawodowych należy pylica azbestowa, wapniowa oraz krzemica. Najbardziej narażonymi grupami społecznymi na oddziaływanie pyłów są osoby w podeszłym wieku, dzieci i osoby chore na astmę [2, 3, 6].

### **Charakterystyka punktów pomiarowych oraz sposób poboru próbek pyłu do badań**

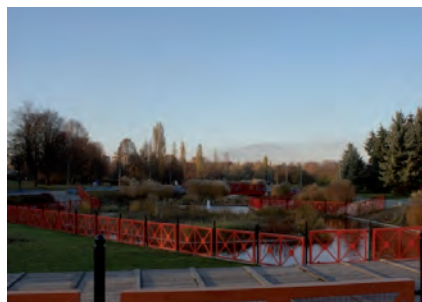
Punkty pomiarowe pyłu zawieszonego  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{1,0}$  zostały wybrane na warszawskiej Woli, w okolicach parku Edwarda Szymańskiego. Na rys. 1 przedstawiono mapę z zaznaczonymi punktami pomiarowymi. Próbkę pobierano w godz. od 7:30–9:30 oraz godz. 11:00–13:00.



**Rys. 1. Mapa z punktami pomiarowymi w okolicy al. Prymasa Tysiąclecia, Górczewskiej, Wolskiej, Elekcyjnej, Parku Edwarda Szymańskiego w Warszawie**  
Źródło: [5]

**Rys. 2. Punkt pomiarowy P1, K1**

Źródło: [5]

**Rys. 3. Punkt pomiarowy P7, K7**

Źródło: [5]

**Rys. 4. Punkt pomiarowy P8, K8**

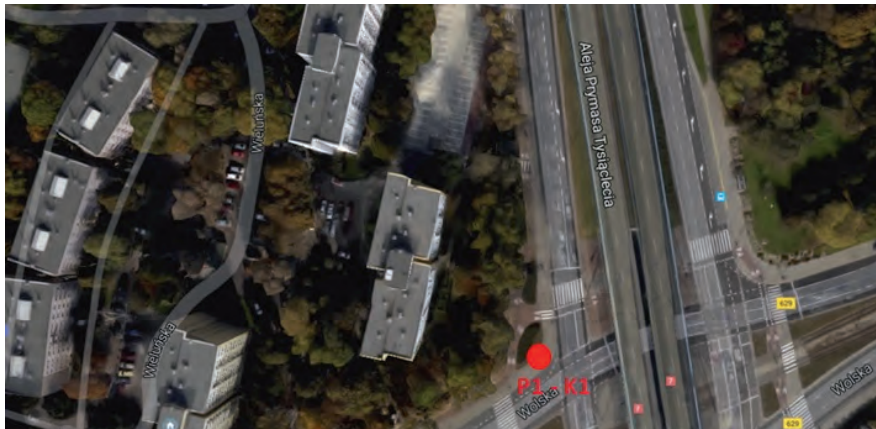
Źródło: [5]

**Rys. 5. Punkt pomiarowy P12, K12**

Źródło: [5]

Pierwszym punktem pomiarowym P1 było skrzyżowanie al. Prymasa Tysiąclecia z ul. Wolską, gdzie w każdym kierunku są trzy pasy ruchu. Al. Prymasa Tysiąclecia to jedna z głównych arterii komunikacyjnych łącząca część północną z południową w aglomeracji warszawskiej, dodatkowo pełniąc funkcję drogi krajowej numer 7. Pod wiaduktem, na alei Prymasa Tysiąclecia odbywa się ruch kołowy (rondo Zdzisława Lubomirskiego). W godzinach porannych i popołudniowych tworzą się w tym miejscu bardzo duże zatory komunikacyjne. Przebiegają tam linie tramwajowe o numerach 10, 11, 13, 26, 27. Linie autobusowe o numerach N43, 186, 414, 523 biegną w kierunku północnym, w kierunku południowym natomiast 186, 414, 523, N43, zaś w kierunku zachodnim tylko N42 (ze względu na budowany drugi odcinek metra). Dodatkowo znajduje się tam ruchliwe przejście dla pieszych oraz krzyżujące się ścieżki rowerowe.

Na rys. 6–17 przedstawiono miejsca pomiarowe.



**Rys. 6. Punkt pomiarowy P1, K1**

Źródło: [5]

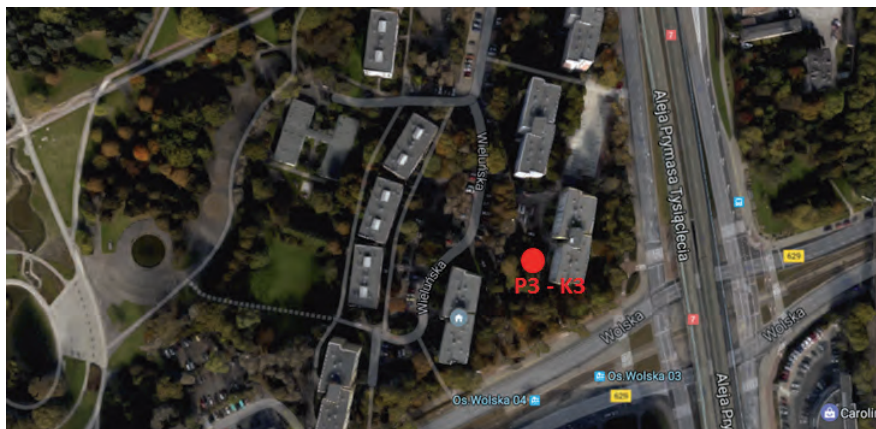


**Rys. 7. Punkt pomiarowy P2, K2**

Źródło: [5]

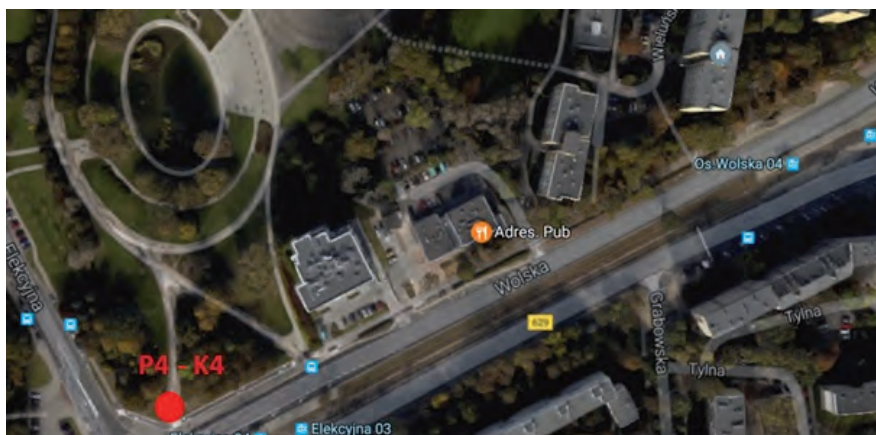
Drugi punkt pomiarowy P2 to przejście dla pieszych na ul. Wolskiej między rondem Zdzisława Lubomirskiego a przystankiem autobusowym os. Wolska 02. W codziennym szczycie komunikacyjnym, spotęgowanym dodatkowo budową metra, porusza się tam bardzo duża liczba pojazdów. Trzeci punkt P3 to ul. Wolska przy skrzyżowaniu z al. Prymasa Tysiąclecia.

Niedaleko od tego punktu znajdują się dziesięciopiętrowe bloki przy ul. Wieleńskiej, charakteryzujące się zwartą zabudową.



**Rys. 8. Punkt pomiarowy P3, K3**

Źródło: [5]



**Rys. 9. Punkt pomiarowy P4, K4**

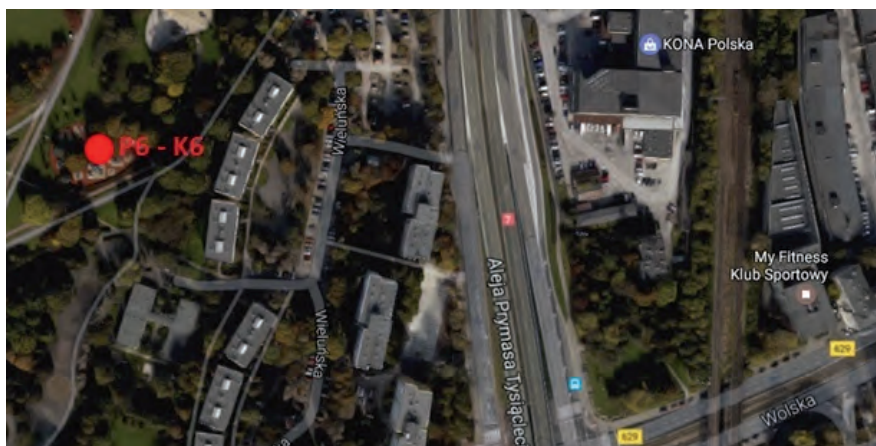
Źródło: [5]

Punkt pomiarowy P4 to ul. Wolska na wysokości ul. Elekcynnej, zamkniętej ze względu na zmianę organizacji ruchu spowodowaną budową metra.



**Rys. 10. Punkt pomiarowy P5, K5**

Źródło: [5]



**Rys. 11. Punkt pomiarowy P6, K6**

Źródło: [5]

Punkt badawczy P5 był istotny ze względu na swoje położenie, ponieważ mieści się tam przedszkole nr 350 „Jaśminowy Gaj”. Kilkaset metrów w kierunku zachodnim przeprowadzono kolejne pomiary, oznaczone jako punkt pomiarowy P6. Badanie to przeprowadzono na terenie placu zabaw. Punkt pomiarowy P7 to środek parku Edwarda Szymańskiego.





**Rys. 12. Punkt pomiarowy P7, K7**

Źródło: [5]



**Rys. 13. Punkt pomiarowy P8, K8**

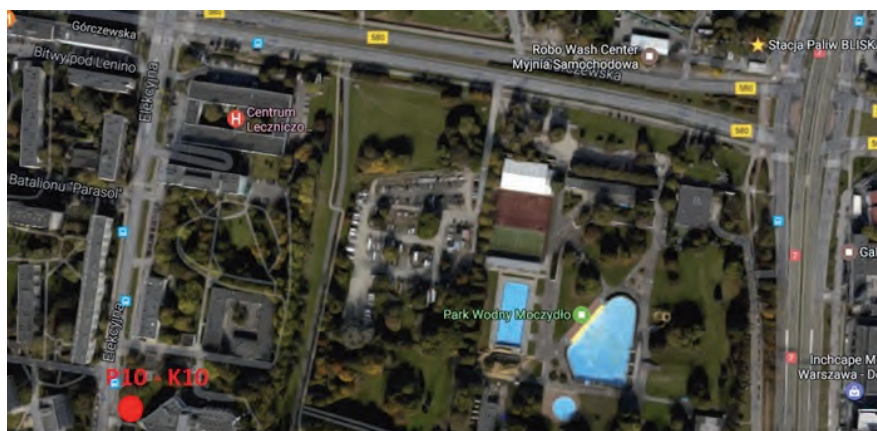
Źródło: [5]

Punkt pomiarowy P8, znajdował się około 350 m od ronda Józefa Szczyńskiego „Ziutka” – skrzyżowania al. Prymasa Tyśiąclecia z ul. Wolską.



**Rys. 14. Punkt pomiarowy P9, K9**

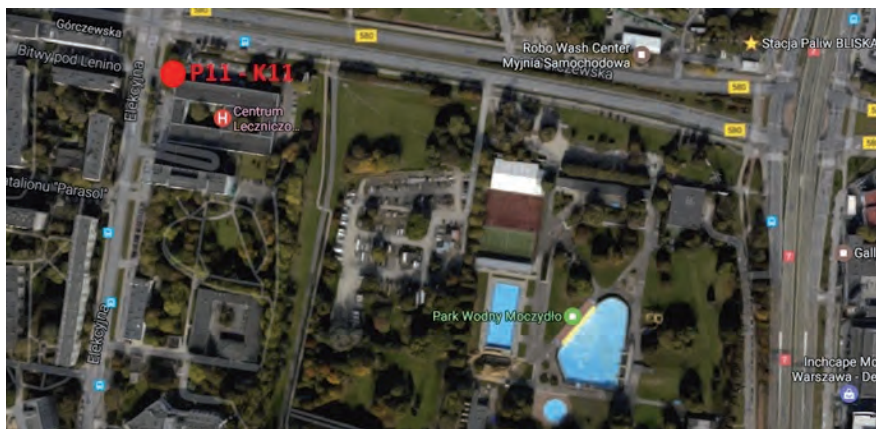
Źródło: [5]



**Rys. 15. Punkt pomiarowy P10, K10**

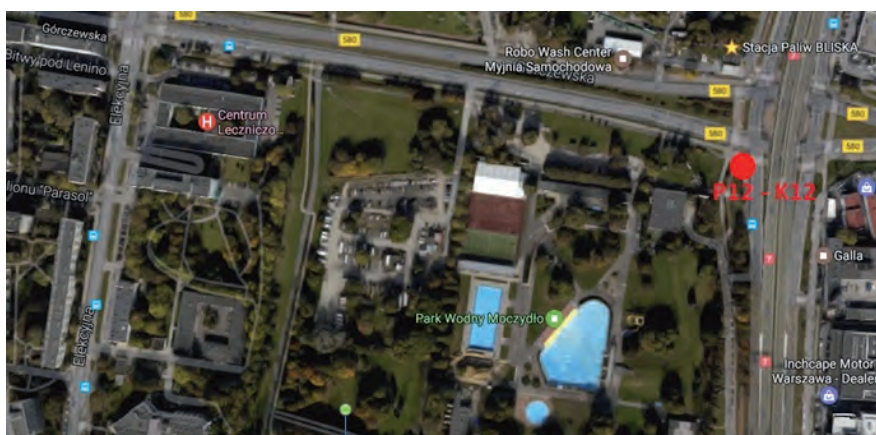
Źródło: [5]

P9 umiejscowiony był przy basenach wodnych Moczydło, które w okresie letnim są szczególnie odwiedzane przez mieszkańców Warszawy. P10, zlokalizowany przy ul. Elekcyjnej na wysokości Domu Pomocy Społecznej „Budowlani”, to miejsce znaczące ze względu na przebywanie tam osób w podeszłym wieku.



**Rys. 16. Punkt pomiarowy P11, K11**

Źródło: [5]



**Rys. 17. Punkt pomiarowy P12, K12**

Źródło: [5]

P11 zlokalizowany był przy skrzyżowaniu ul. Górczewskiej z ul. Elekcyjną, tuż obok Centrum Leczniczko-Rehabilitacyjnego i Medycyny Pracy Attis Sp. z o.o., zajmującego się hospitalizacją i rehabilitacją pacjentów. Mimo budowy drugiej linii metra, ul. Elekcyjną odbywa się transport zbiorowy liniami 109, 154, 171, 184, 190, 197, zaś przy skrzyżowaniu ul. Górczewskiej z ul. Elekcyjną kursują autobusy linii 523 oraz N43.

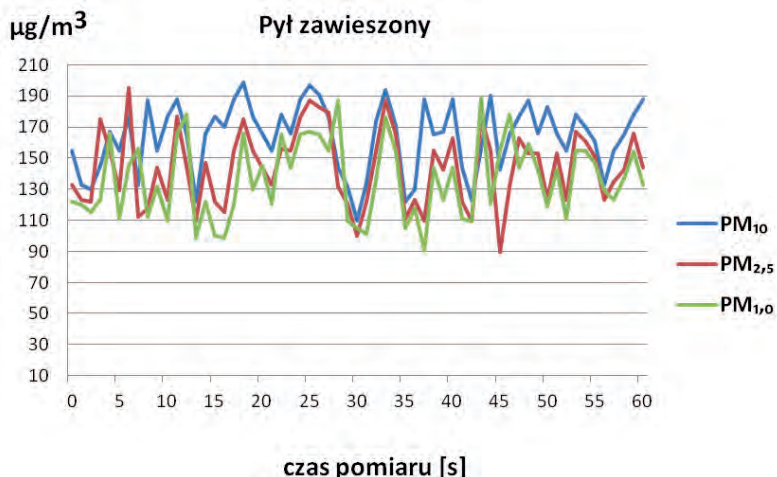
P12 usytuowano przy skrzyżowaniu al. Prymasa Tysiąclecia z ul. Górczewską. Tak jak w przypadku skrzyżowania ul. Wolskiej z al. Prymasa Tysiąclecia, również w tym punkcie ruch drogowy odbywa się dwutorowo przez rondo oraz wiadukt, który umożliwia przeprawę bez zatrzymywania się na sygnalizacji świetlnej na osi północ-południe. Przy skrzyżowaniu tym znajduje się stacja paliw, automatyczna myjnia samochodowa, dwa salony samochodowe oraz inne mniejsze firmy. Przy badanym skrzyżowaniu jest kilka przystanków autobusowych.

### Analiza i omówienie wyników przeprowadzonych badań

Wyniki pomiaru stężenia miejskiego pyłu zawieszonego w punktach pomiarowych P1-P12 oraz K1-K12 przedstawiono na rys. 18–41 w postaci wykresów.

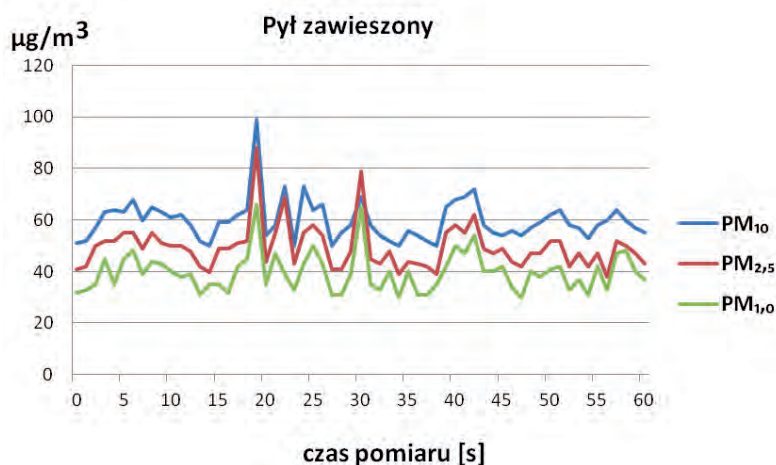
#### Punkt pomiarowy P1, K1

Skrzyżowanie al. Prymasa Tysiąclecia z ul. Wolską. Pod wiaduktem znajduje się Rondo Zdzisława Lubomirskiego. W dniu badań, budowa metra spowodowała kilku kilometrowy zator zarówno w stronę Centrum, jak i Dworca Zachodniego. Dodatkowo na ul. Wolskiej doszło do awarii tramwajów, które również stanęły w korku.



Rys. 18. Punkt pomiarowy P1

Źródło: [5]



**Rys. 19. Punkt pomiarowy K1**

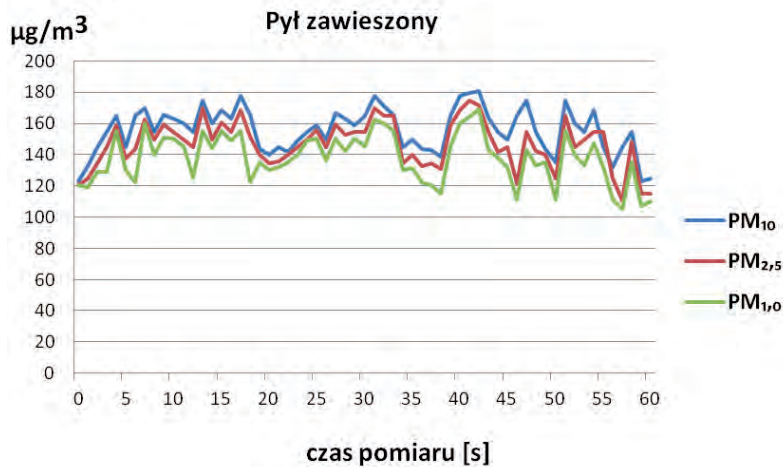
Źródło: [5]

Przyczyną różnic w pomiarach w jednym punkcie, ale w różnych porach dnia, może być pas wolnej przestrzeni od strony zachodniej, dający napływ czystego powietrza. W przypadku pomiarów sporządzonych w godzinach rannych, kiedy był szczyt komunikacyjny połączony z awarią tramwajów, wyniki stężeń wszystkich trzech frakcji były wyjątkowo wysokie – wahały się od 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aż do 199  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wyniki pomiarów z godz. 11:00 w tym samym miejscu pomiarowym przedstawiają wartości dużo niższe, jednak nadal na dość wysokim poziomie. Wynika to z faktu, że ul. Wolska odciąża inne ulice w związku z budową drugiej linii metra. Między porannym szczytem a drugą turą badań różnica najwyższych wyników stężeń frakcji wynosi aż 96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . W 29 s na wykresie widać wzrost stężenia pyłu aż o 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wynika to z faktu, że doszło do zmiany świateł na skrzyżowaniu (auta i pojazdy ciężarowe, hamując, wzniciły zalegający na drodze pył).

### **Punkt pomiarowy P2, K2**

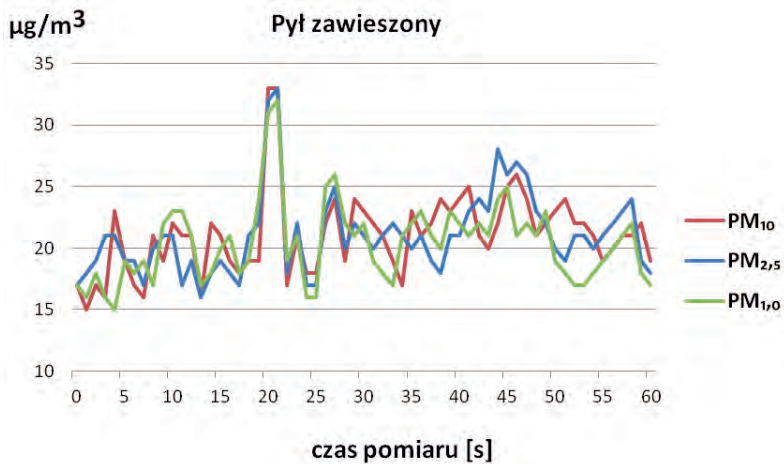
Punkt P2 – ul. Wolska między przystankiem autobusowym os. Wolska a przejściem dla pieszych. Punkt ten codziennie jest uczęszczany przez bardzo dużą liczbę pieszych. Za przystankiem znajduje się ruchliwa ścieżka rowerowa. Z uzyskanych danych można wywnioskować, że oddalając się od zakorkowanego skrzyżowania, stężenia wszystkich trzech frakcji pyłów nieznacznie

zmały. Wynik maksymalny w punkcie pomiarowym P1 wynosił  $199 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś w punkcie P2 –  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Rys. 20. Punkt pomiarowy P2

Źródło: [5]



Rys. 21. Punkt pomiarowy K2

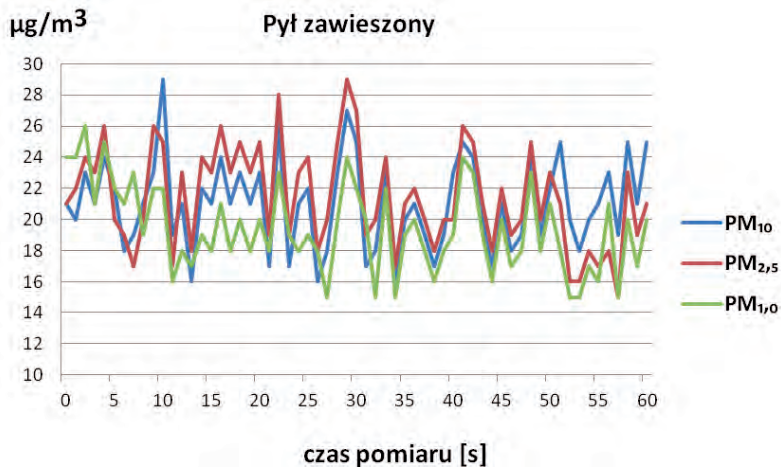
Źródło: [5]

Z kolei ten sam punkt K2 kilka godzin później, gdy ulice były już zupełnie drożne i usunięto awarię tramwajów, wskazuje znacznie mniejsze stężenia. Już od 1 s pomiaru wartości stężeń są niższe o  $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – w punkcie pomiarowym P1 zaczęły się od  $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś w K2 osiągnęły wynik zaledwie  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W 20 s pomiarów stężenia wszystkich trzech frakcji wzrosły do  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a następnie zmalowały w 22 s. Wynikało to z przejazdu wyeksploatowanego samochodu ciężarowego typu Jelcz. Wartości stężeń na wykresie, podobnie jak w punkcie P1, są nieregularne ze względu na ciągły ruch pojazdów oraz tramwajów. Porównując wykres P2 z K2, można wywnioskować, że w godzinach szczytu w aglomeracji warszawskiej, w sposób znaczący wzrasta emisja zanieczyszczeń z liniowych źródeł komunikacji.

### **Punkt pomiarowy P3, K3**

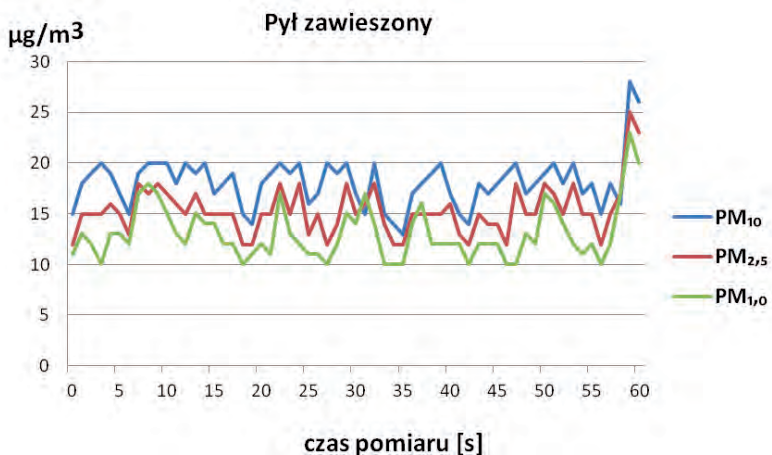
Punkt P3 zlokalizowany pomiędzy blokami na ul. Wieluńskiej jest odizolowany dziesięciopiętrowymi budynkami, zarówno od samego ronda, jak również od strony zachodniej i północnej. W obrębie tego obszaru bardzo często można spotkać osoby w podeszłym wieku, które w sposób szczególnie są narażone na zagrożenia wynikające z emisji toksycznych substancji. Już od pierwszych sekund pomiaru widać, że pomimo panującego paraliżu w tej części dzielnicy, wyniki stężeń były znacząco niższe od punktu pomiarowego P1. Dla P1 stężenia wynosiły aż  $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś dla P3 odnotowano  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Porównując najwyższe wartości, w przypadku punktu pomiarowego P1 było to  $199 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a dla P3 jedynie  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Oba pomiary zostały wykonane w podobnym czasie, co pokazuje, że zwarta i wysoka zabudowa w sposób znaczący obniża poziom zanieczyszczenia. Wynik stężenia jednak w dalszym ciągu jest stosunkowo wysoki, co może mieć konsekwencje zdrowotne dla osób starszych oraz mających już problemy z układem oddechowym. Przyczyną tego stanu rzeczy są zalegające masy powietrza, które skumulowały się w obrębie osiedla oraz brak cyrkulacji powietrza z zewnątrz.

Inne wartości, już w godzinach południowych, przedstawia punkt pomiarowy K3, ponieważ wartości stężeń nie przekroczyły  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 23). Oznacza to, że wartości stężeń z godzin porannych, mimo że były znacząco niższe niż w innych punktach pomiarowych, mogą zmaleć nawet o połowę, czyli do wartości  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W tym przypadku rozkład stężeń pyłu był regularny. Stężenia poszczególnych frakcji oscylowały między  $10$ – $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rys. 22. Punkt pomiarowy P3**

Źródło: [5]



**Rys. 23. Punkt pomiarowy K3**

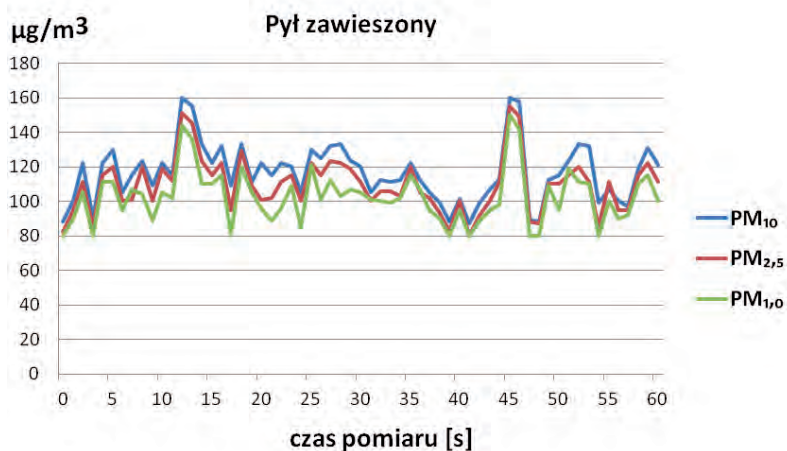
Źródło: [5]

### **Punkt pomiarowy P4, K4**

Skrzyżowanie ul. Wolskiej z ul. Elekcyjną to P4. To jednocześnie ostatni punkt pomiarowy realizowany wzdłuż ul. Wolskiej. W dniu przeprowadzania badań ul. Elekcyjna była zamknięta. Skrzyżowanie to bezpośrednio graniczy z parkiem Edwarda Szymańskiego. Minimalny poziom stężenia pyłów zawieszonych wyniósł  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś najwyższy  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i dotyczył pyłu PM<sub>10</sub>

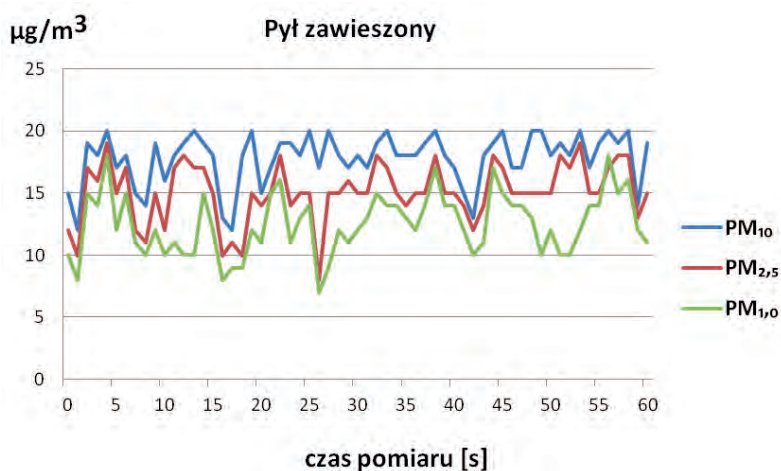


w 12 oraz 45 s pomiarowej. W dalszym ciągu są to stężenia wysokie, jednak są niższe niż w punktach P1 oraz P2. Nasuwa się wniosek, że wraz z oddalającymi się punktami pomiarowymi od skrzyżowania alei Prymasa Tysiąclecia z ul. Wolską stopniowo maleją wartości stężeń wszystkich frakcji. Gwałtowny wzrost stężeń wszystkich trzech frakcji w pierwszym przypadku spowodowany był sygnalizacją świetlną, która zmusiła kierowców do hamowania. W drugim przypadku był to przejazd autobusu oraz auta ciężarowego jadącego na budowę, przy warunkowym skręcie w prawo.



Rys. 24. Punkt pomiarowy P4

Źródło: [5]



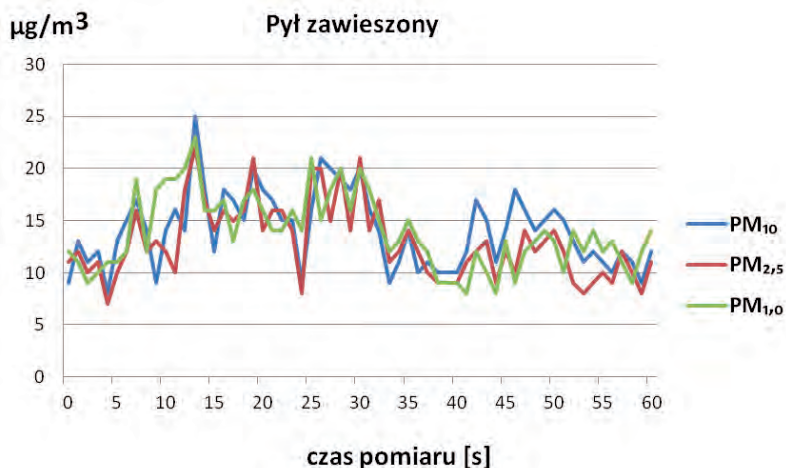
Rys. 25. Punkt pomiarowy K4

Źródło: [5]

Badania w godzinach południowych w punkcie K4 wskazywały stężenia  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w przypadku frakcji  $\text{PM}_{10}$  w 2 s i  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – frakcja  $\text{PM}_{10}$ , co oznacza, że jakość powietrza w tym miejscu o tej porze jest bardzo dobra. Punkt ten jest oddalony od głównego skrzyżowania al. Prymasa Tysiąclecia z ul. Wolską o 0,5 km. Jednak decydującym czynnikiem niskich stężeń był płynny ruch samochodowy oraz zdecydowanie niższa niż w godzinach szczytu liczba pojazdów.

### Punkt pomiarowy P5, K5

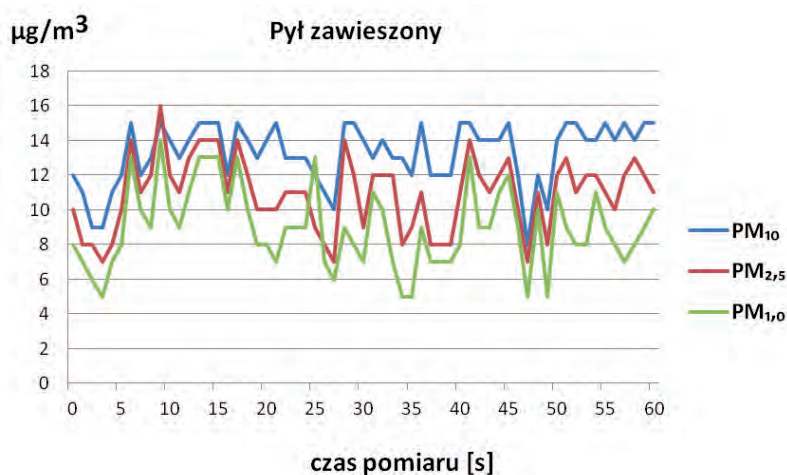
P5 zlokalizowany w parku Edwarda Szymańskiego przy wejściu do przedszkola nr 350 „Jaśminowy Gaj”. Z racji tego, że przedszkole usytuowane jest w parku, jest w sposób znaczący odizolowane przez liczne drzewa, a także sąsiadujące bloki mieszkalne. Najniższą frakcją jest frakcja  $\text{PM}_{2,5}$ , która w 4 s pomiarów wykazała  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś najwyższy wynik odnotowano w 13 s i dotyczył on  $\text{PM}_{10}$  z wynikiem  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Poniższe wyniki są prawie ośmiokrotnie niższe niż te uzyskane w punkcie pomiarowym P1, mimo że badanie w punkcie pomiarowym P5 przeprowadzono w godzinach szczytu.



Rys. 26. Punkt pomiarowy P5

Źródło: [5]

Rys. 27, sporządzony na podstawie danych z badań w godzinach południowych, charakteryzuje się jeszcze niższymi wartościami niż w przypadku punktu pomiarowego P5 badanego w godzinach porannych. Najniższa frakcja pyłu dotyczy  $PM_{10}$  o wartości  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w 3 s, zaś najwyższą odnotowano dla frakcji  $PM_{10}$  w wysokości  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w kilku sekundach w ciągu całego badania. Otaczający park oraz ciąg bloków mieszkalnych od strony południowo-wschodniej odgradzających przedszkole zarówno od samej trasy szybkiego ruchu, alei Prymasa Tysiąclecia oraz zakorkowanego w godzinach szczytu skrzyżowania, stanowią skuteczną osłonę przed zanieczyszczeniami.

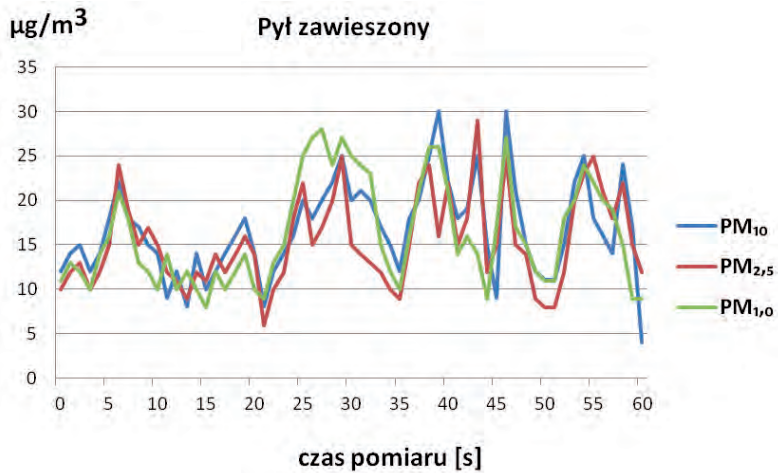


**Rys. 27. Punkt pomiarowy K5**

Źródło: [5]

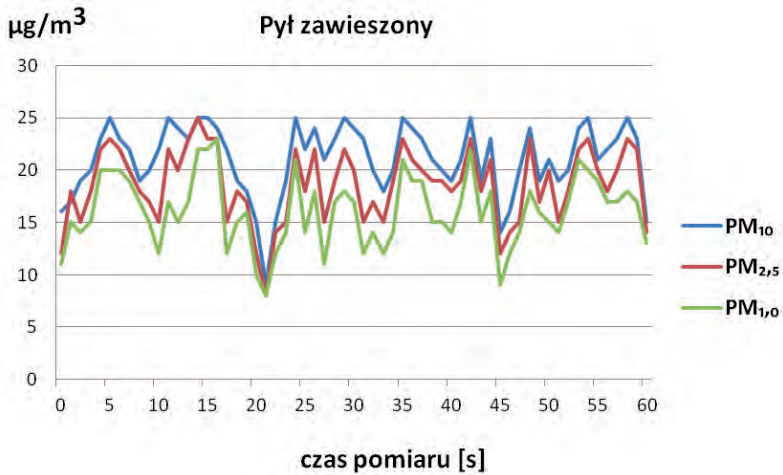
### **Punkt pomiarowy P6, K6**

P6 umiejscowiony był w niedalekim sąsiedztwie punktu P5. Znajduje się tam plac zabaw, z którego korzystają dzieci, przebywając tam wraz ze swymi opiekunami. Wyniki z porannych badań na placu zabaw przedstawiono na rys. 28–29, gdzie odnotowano nieznacznie wyższe stężenia wszystkich frakcji niż w poprzednim punkcie. Przyczyną takiego zjawiska mogła być zdecydowanie mniejsza liczba drzew i krzewów niż wokół przedszkola.



**Rys. 28. Punkt pomiarowy P6**

Źródło: [5]



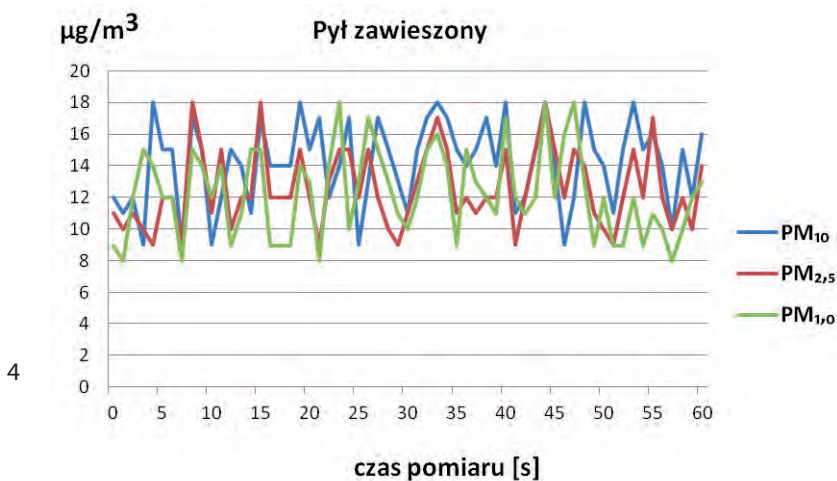
**Rys. 29. Punkt pomiarowy K6**

Źródło: [5]

### **Punkt pomiarowy P7, K7**

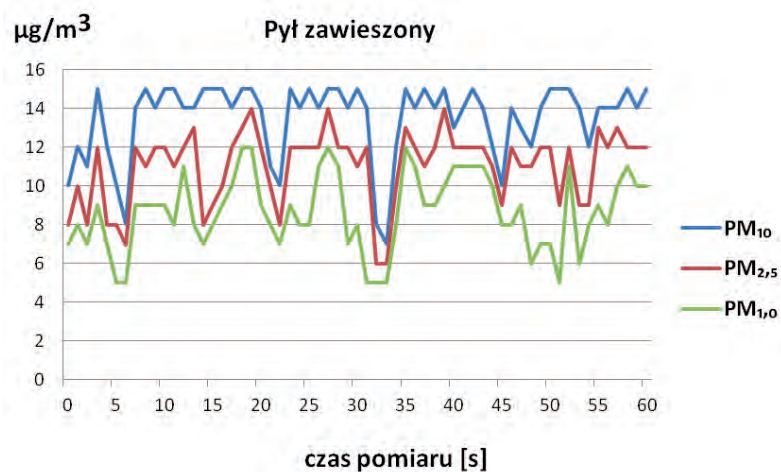
Zlokalizowany w Parku Edwarda Szymańskiego P7 charakteryzuje się tym, że jest na otwartej przestrzeni, drzewa są oddalone od niego średnio o kil-

kaset metrów z każdej strony. W parku codziennie odpoczywa oraz uprawia różnego rodzaju sporty bardzo wiele osób w różnym wieku. Wartości frakcji pyłu przedstawiają się w sposób regularny i są na niskim poziomie, podobnie jak w poprzednich dwóch lokalizacjach, a nawet jeszcze niższe.



Rys. 30. Punkt pomiarowy P7

Źródło: [5]

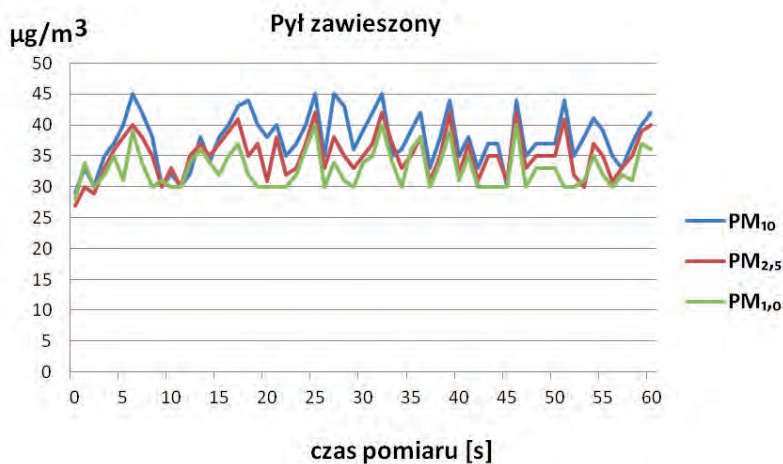


Rys. 31. Punkt pomiarowy K7

Źródło: [5]

### Punkt pomiarowy P8, K8

P8 zlokalizowany był na terenie parku Edwarda Szymańskiego od strony zachodniej, w sąsiedztwie trasy szybkiego ruchu, obok al. Prymasa Tysiąclecia. Znajduje się tam teren do jazdy na rolkach, ścieżki rowerowe, korty tenisowe oraz bungee. Punkt ten charakteryzuje się również tym, że od strony ulicy jest otwarta przestrzeń. Różnica między minimalnym a maksymalnym stężeniem którejkolwiek z frakcji wynosiła tylko  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 32).

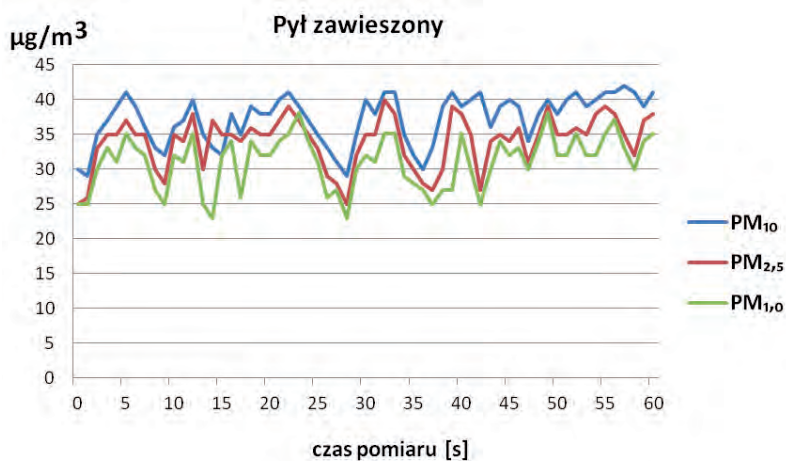


**Rys. 32. Punkt pomiarowy P8**

Źródło: [5]

W przypadku badań wykonanych po południu (rys. 33), wartości stężeń wszystkich frakcji były nieznacznie wyższe od wartości otrzymanych w godzinach porannych. Był to pierwszy tego typu przypadek podczas prowadzonych badań. Najniższy poziom stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>1,0</sub> odnotowano w 14 s na poziomie  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś najwyższy wynosił  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i wystąpił kilkakrotnie podczas tego badania. Przyczyną tego może być fakt, że punkt pomiarowy P8 to teren otwarty od strony zachodniej i dochodzi tu do cyrkulacji mas powietrza. Warto zauważyć, iż mimo ruchliwej al. Prymasa Tysiąclecia, wartości

stężenia wszystkich frakcji, zarówno w godzinach porannych, kiedy był zator, jak i popołudniowych, były niskie. Świadczy to o dobrej przepustowości tej drogi, jak również sprawdzającej się szybkiej przeprawie wiaduktami. Kierowcy nie muszą korzystać z sygnalizacji świetlnej (hamowanie i ruszanie), tym samym ich samochody emitują mniej zanieczyszczeń.

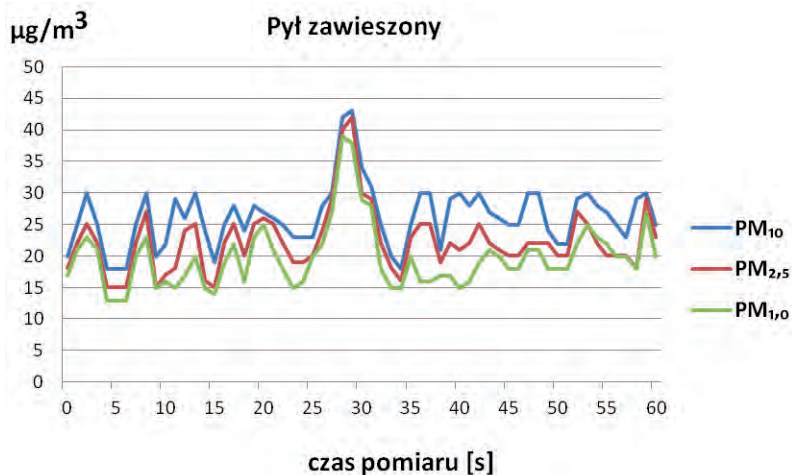


**Rys. 33. Punkt pomiarowy K8**

Źródło: [5]

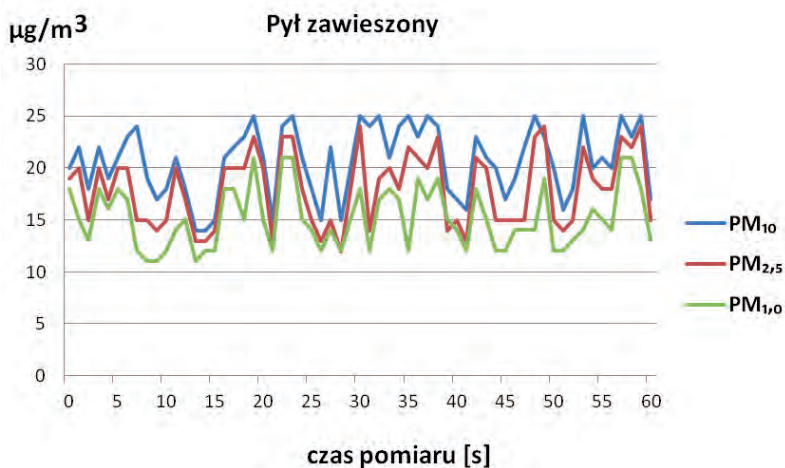
### Punkt pomiarowy P9, K9

P9, zlokalizowany w parku wodnym Moczydło, jest największym kompleksem basenów odkrytych w stolicy. Baseny graniczą bezpośrednio ze skrzyżowaniem ul. Górczewskiej oraz al. Prymasa Tysiąclecia, co stwarza bezpośrednie zagrożenie dla odpoczywających na tym terenie. Najniższa wartość stężenia w przypadku tego badania dotyczy frakcji PM<sub>2,5</sub> i wynosi 13 µg/m<sup>3</sup> w 4 s, zaś maksymalny wynik to frakcja PM<sub>10</sub> stanowiący 43 µg/m<sup>3</sup> w 29 s. Podczas przeprowadzonych badań w 28 s na plac basenów wjechał samochód ciężarowy, dlatego też między 28 a 29 sekundą mamy wzrost stężenia pyłu zawieszonego (rys. 34).



**Rys. 34. Punkt pomiarowy P9**

Źródło: [5]



**Rys. 35. Punkt pomiarowy K9**

Źródło: [5]

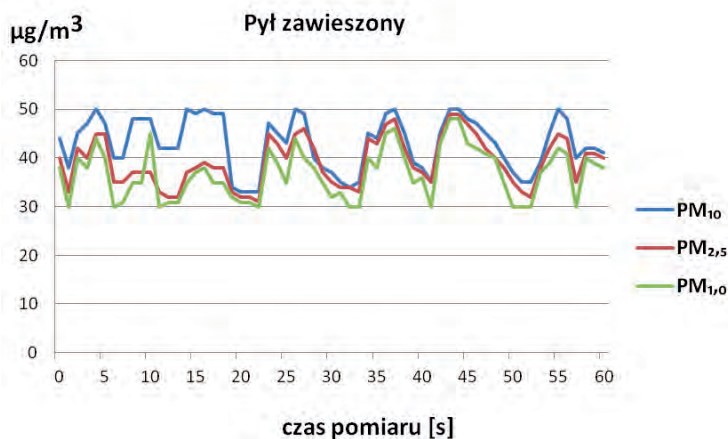
Wyniki badań jakości powietrza na terenie basenów w godzinach popołudniowych są nieznacznie lepsze od tych z godzin porannych (rys. 35). Najwyższą wartość frakcji  $PM_{10}$  otrzymano kilkakrotnie na poziomie  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś najniż-



szą odnotowano przy frakcji  $PM_{2,5}$ , która wynosiła zaledwie  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i również była osiągnięta kilkakrotnie.

### Punkt pomiarowy P10, K10

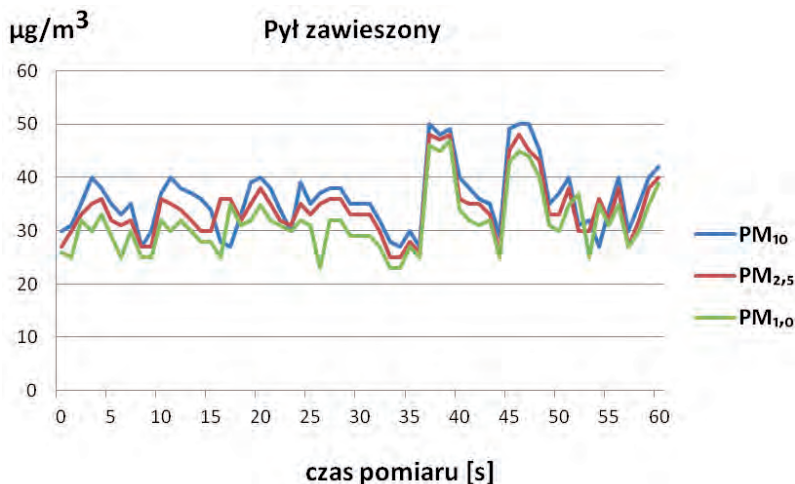
P10 znajduje się przy zamkniętej dla ruchu ul. Elekcyjnej. Punkt ten, ze względu na swoją lokalizację, jest istotny, ponieważ z jednej strony nie jest usytuowany przy samym skrzyżowaniu z ruchliwą ul. Górczewską, a badania przeprowadzono przed budynkiem Domu Pomocy Społecznej „Budowlani”, gdzie mieszkają osoby w podeszłym wieku. Odległość punktu pomiarowego od skrzyżowania z ul Górczewską to 300 m. Otrzymane wyniki prezentują się w sposób regularny między  $30$  a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dla każdej zbadanej frakcji. Między 5 a 10 s frakcja  $PM_{10}$  jest wyższa od frakcji pyłu  $PM_{2,5}$  oraz  $PM_{1,0}$  (rys. 36). Wartości wszystkich trzech frakcji są wyższe niż w punktach pomiarowych P5, P6, P7, gdzie dużą rolę odgrywały drzewa i krzewy, czy w P3, gdzie była gęsta i zwarta zabudowa oraz nie było cyrkulacji powietrza.



Rys. 36. Punkt pomiarowy P10

Źródło: [5]

Wyniki badań przeprowadzonych w tej lokalizacji w godzinach popołudniowych K10 są mniejsze. Frakcja  $PM_{2,5}$  w 8 i 9 s miała wartość tylko  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś najwyższa dotyczyła frakcji  $PM_{10}$  i wynosiła  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



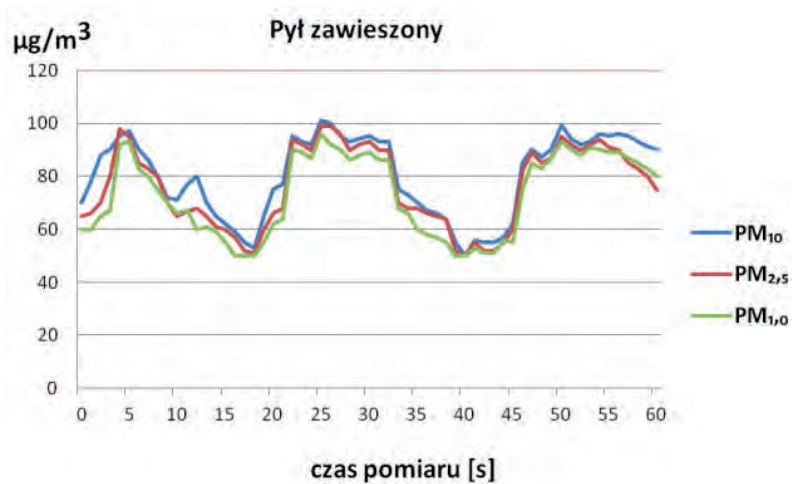
**Rys. 37. Punkt pomiarowy K10**

Źródło: [5]

### Punkt pomiarowy P11, K11

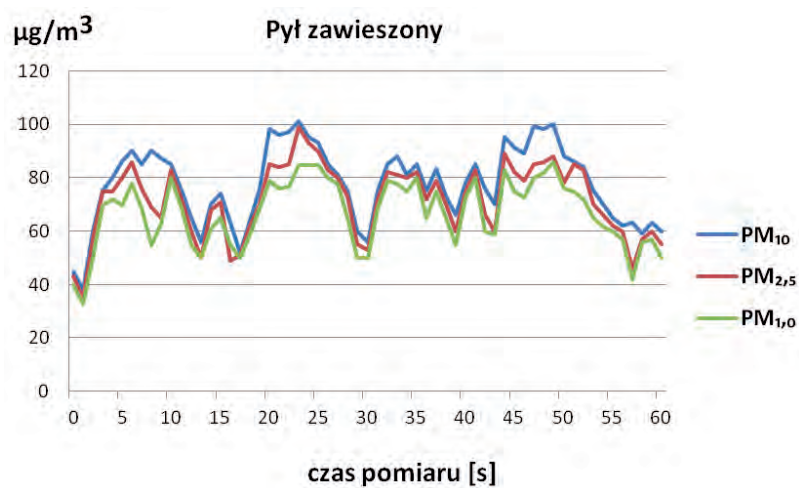
P11 to skrzyżowanie ul. Elekcyjnej z ul. Górczewską, bezpośrednio przy Centrum Leczniczo-Rehabilitacyjnym i Medycyny Pracy Attis specjalizującym się w hospitalizacji i rehabilitacji pacjentów. Na ul. Górczewskiej, podczas przeprowadzonych badań, było dużo ciężkiego sprzętu budowlanego, który dodatkowo wzniecał zalegający pył. Już od początku pomiarów widać, że w przypadku tego punktu pomiarowego wartości stężeń są wyższe od tych zebranych na terenie parku i przy ul. Elekcyjnej 6. Stężenia frakcji pyłu  $\text{PM}_{10}$  znajdują się w przedziale od  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a frakcji pyłu  $\text{PM}_{2,5}$  w granicach  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś  $\text{PM}_{1,0}$  od  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Badania przeprowadzone na tym obszarze w godzinach popołudniowych pokazują zbliżone wyniki (rys. 39). Wahanie stężeń pyłu podczas godzin popołudniowych są wyższe w wyniku ciągłego poruszania się aut ulicą Górczewską oraz na placu budowy. Najniższą wartość osiąga frakcja  $\text{PM}_{1,0}$ , dla której w 1 s otrzymano  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś najwyższa dotyczy frakcji  $\text{PM}_{10}$  w 23 s, gdzie zarejestrowano  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Rys. 38. Punkt pomiarowy P11

Źródło: [5]

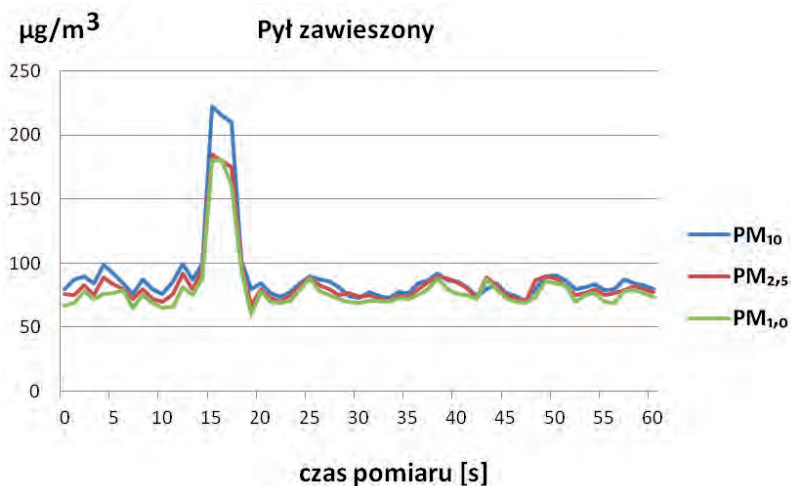


Rys. 39. Punkt pomiarowy K11

Źródło: [5]

## Punkt pomiarowy P12, K12

P12 to skrzyżowanie al. Prymasa Tysiąclecia z ul. Górczewską. Lokalizacja ta odgrywa kluczową rolę w komunikacji miejskiej. W pobliżu niej jest stacja benzynowa, automatyczna myjnia samochodowa i dwa salony samochodowe. Przez skrzyżowanie przebiegają ścieżki rowerowe. Na rys. 40 przedstawiono wyniki pomiarów, które wskazują, że stężenie każdej z badanych frakcji nie było niższe niż  $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W 15 s odnotowano gwałtowny wzrost stężenia w każdej z badanych frakcji. Maksymalne stężenie wyniosło aż  $222 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dla frakcji  $\text{PM}_{10}$ ,  $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dla  $\text{PM}_{2,5}$  oraz  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dla  $\text{PM}_{1,0}$ . Następnie stężenie spadło do najniższej wartości w przypadku  $\text{PM}_{10}$  do  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , dla  $\text{PM}_{2,5}$  do  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zaś dla  $\text{PM}_{1,0}$  do wartości  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W dalszej części badania stężenia utrzymywały się na poziomie od  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wyniki otrzymane w tym badaniu znacznie wykraczają ponad dopuszczalne normy stężeń. Gwałtowny wzrost pyłu w 15 s do  $222 \mu\text{g}/\text{m}^3$  spowodowany był najprawdopodobniej nagłym startem pojazdów spod świateł.

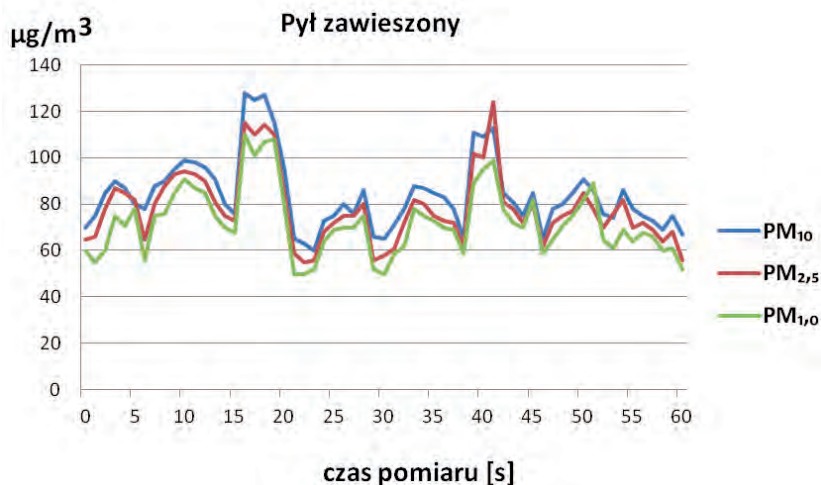


Rys. 40. Punkt pomiarowy P12

Źródło: [5]

Badania wykonane w godzinach popołudniowych również wskazywały wyniki stężeń na wysokim poziomie, mimo że ruch w okolicy nie był tak duży. Wartości stężeń w tym przypadku oscylowały od  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w przy-

padku badanej frakcji  $PM_{1,0}$  oraz najwyższym pomiarem dla frakcji  $PM_{10}$  na poziomie  $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 41).



**Rys. 41. Punkt pomiarowy K12**

Źródło: [5]

## Wnioski

- 1) Przekroczone wartości norm odnotowano przede wszystkim przy głównych skrzyżowaniach i trasach komunikacyjnych. Bardzo wysokie i jednocześnie stałe stężenia pyłu zawieszonego w miejskim powietrzu występują podczas zatorów (jak w P1, skrzyżowanie al. Prymasa Tysiąclecia z ul. Wolską), kiedy doszło do awarii tramwajów w godzinach szczytu.
- 2) Z przeprowadzonej analizy wyników badań wynika, że wraz z oddalaniem się od głównych skrzyżowań oraz tras szybkiego ruchu, wartości wszystkich trzech frakcji pyłu stopniowo maleją.
- 3) W przypadku gęstej zabudowy na małym obszarze odnotowano zdecydowanie mniejsze wartości frakcji pyłu, podobnie było w przypadku parku, gdzie drzewa i krzewy w sposób znaczący obniżały poziom jego stężeń.
- 4) Z otrzymanych badań wynika, że stężenia osiągają zdecydowanie wyższe wartości, jeżeli pojazdy mechaniczne zatrzymują się przed sygnalizacją świetlną oraz gdy z niech ruszają. Z kolei, jeżeli mamy do czynienia

z ruchem płynnym, jednostajnym (tak jak w przypadku punktu pomiarowego P8 przy al. Prymasa Tysiąclecia), stężenia pyłu zawieszonego są dużo mniejsze od lokalizacji P1 oraz P12.

- 5) Bardzo istotny wpływ na rozkład stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu mają warunki meteorologiczne. Zjawisko inwersji termicznej w sposób istotny utrudnia ruchy zanieczyszczonych mas powietrza, w wyniku czego masy te kumulują się na danym terenie, powodując gromadzenie się mgły oraz wzmacnianie się smogu na terenie, gdzie wystąpiła duża emisja zanieczyszczeń.

## Literatura

- [1] Dmochowska A., Dmochowski D., Kuskowska K., Wolna J., *Wpływ emisji cząstek stałych z liniowych źródeł zanieczyszczenia na poziom stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> w miejskim powietrzu atmosferycznym*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2014, 50(2), s. 123.
- [2] Janka R.M., *Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe. Podstawy obliczania i sterowania poziomem emisji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.
- [3] Juda-Rezler K., *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [4] Juda-Rezler K., Toczko B. (red.), *Pyły drobne w atmosferze*, Biblioteka Ochrony Środowiska, Warszawa 2016.
- [5] Skuneczny K., *Analiza zagrożeń wynikających z emisji pyłu zawieszonego z liniowych źródeł komunikacyjnych na przykładzie miasta st. Warszawy*, praca dyplomowa, SGSP, Warszawa 2017.
- [6] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, *Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2015*, Warszawa 2016.