

ZJAWISKO SMOGU NA TLE JAKOŚCI POWIETRZA WE WROCŁAWIU W LATACH 2012–2016

Joanna A. Kamińska¹

¹ Katedra Matematyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław,
email: joanna.kaminska@upwr.edu.pl

STRESZCZENIE

Jakość powietrza atmosferycznego w ostatnich latach uległa ogólnej poprawie, jednak wciąż zdarzają się sytuacje, w których warunki emisji zanieczyszczeń do atmosfery w połączeniu ze specyficznymi warunkami meteorologicznymi sprawiają, że krótkoterminowe wskaźniki jakości powietrza przekraczają dopuszczalne normy. W miesiącach styczeń-marzec 2017 r. bardzo nagłośnione przez media było zjawisko smogu szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich. W pracy dokonano analizy statystycznej stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ – frakcje o średnicy cząstek mniejszej niż 10 µm (utożsamianego ze smogiem) w latach 2012–2017 we Wrocławiu. Celem pracy było porównanie rzeczywistych stężeń PM₁₀ w okresie X–IV 2016/2017 z poprzednimi i weryfikacja informacji o wyjątkowo złym stanie powietrza w ostatnim czasie. Wskazano statystyczne podobieństwa i różnice w zmienności wartości tego wskaźnika w okresie X–IV 2016/2017 na tle poprzednich pięciu lat we Wrocławiu. Wykazano brak istotnych różnic w jakości powietrza w ostatnim okresie w porównaniu do poprzednich.

Słowa kluczowe: smog, jakość powietrza, pył zawieszony PM₁₀

THE SMOG PHENOMENON AND THE AIR QUALITY IN WROCLAW IN 2012–2016

ABSTRACT

The quality of atmospheric air has improved in recent years, but there are still situations in which the atmospheric emissions combined with specific meteorological conditions make short-term air quality indicators in excess of the acceptable standards. In the months of January–March 2017, the smog phenomenon, present especially in large urban agglomerations received significant media coverage. The statistical analysis of the concentration of suspended particulate pollution PM₁₀ – fractions with a particle diameter less than 10 µm (identified with smog) in Wrocław in the years 2012–2017 was performed. Similarities and differences in the volatility of this indicator were noted in the period X–IV 2016/2017 when compared to the previous five years in Wrocław. There were no statistically significant differences in air quality in the recent period compared to the previous ones.

Keywords: smog phenomenon, air quality, suspended particulate pollution PM₁₀

WSTĘP

Wśród podstawowych trzech źródeł zagrożeń dla środowiska jako główny wymienia się zagrożenia o charakterze geograficzno-demograficznym. Wynikają one z przestrzennej koncentracji działalności gospodarczej i czynnika demograficznego. Tereny silnie zurbanizowane stanowią zatem bardzo istotny element generowania zagrożeń środowiska w różnym zakresie. Jednym z nich jest emitowanie przez ogólnie pojętą aglomerację miejską substancji niebędących naturalnymi składnikami powietrza oraz znacznych ilości na-

turalnych jego składników powodując zaburzenie naturalnego składu atmosfery. Substancje te, nazywane zanieczyszczeniami, negatywnie wpływają na zdrowie mieszkańców aglomeracji oraz pozostałych obszarów poprzez ich rozprzestrzenianie się. Głównymi dolegliwościami i chorobami związanymi z oddziaływaniem na organizm żywy zanieczyszczeń powietrza są choroby układu oddechowego, zaburzenia centralnego układu nerwowego, choroby oczu, alergie, zaburzenia układu krążenia oraz choroby serca. Stopień zanieczyszczenia powietrza ocenia się podając stężenie występujących w nim zanieczyszczeń i po-

równując z obowiązującymi normami. Aktualny stan prawny w tej kwestii reguluje w Polsce ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 roku (tekst jednolity Dz.U.2013.1232) wraz z przepisami wykonawczymi. Ustawodawca nakazuje prowadzenie monitoringu środowiska w zakresie jakości powietrza, wód powierzchniowych, wód podziemnych, hałasu, gleb, odpadów oraz PEM (pola elektromagnetyczne). W zakresie monitoringu jakości powietrza w Polsce rozmieszczonych jest 1736 stanowisk pomiarowych i 242 stacje pomiarowe. Na podstawie zmierzonych stężeń Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska mają obowiązek informowania społeczeństwa o jakości powietrza oraz ostrzegania o przekroczeniu oraz ryzyku przekroczenia stanów dopuszczalnych i docelowych substancji w powietrzu. Podstawę oceny stanowią określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [8] poziomy: dopuszczalne, docelowe, celów długoterminowych i alarmowe.

POMIARY JAKOŚCI POWIETRZA WE WROCŁAWIU

Za pomiary jakości powietrza we Wrocławiu odpowiada Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska zarządzający między innymi pięcioma stacjami pomiarowymi z różnym zakresem mierzonych stężeń zanieczyszczeń (tabela 1). We Wrocławiu pierwsza stacja pomiarowa była ulokowana na ul. Składowej i została uruchomiona 1 stycznia 1977 roku. W dalszych latach uruchamiano kolejne stacje by w latach 1998–2004 aktywnych było 8 stacji pomiarowych, z których

jedną dezaktywowano w roku 2004, 4 w 2005, 2 w 2006 i ostatnią w 2012. W roku 2005 aktywowano 4 nowe stacje oraz w 2010 roku jedną – Na Grobli, działających do dziś (z przerwą w roku 2010 dla stacji Orzechowa). Lokalizację aktualnie aktywnych stacji monitoringu powietrza we Wrocławiu przedstawiono na rysunku 1.

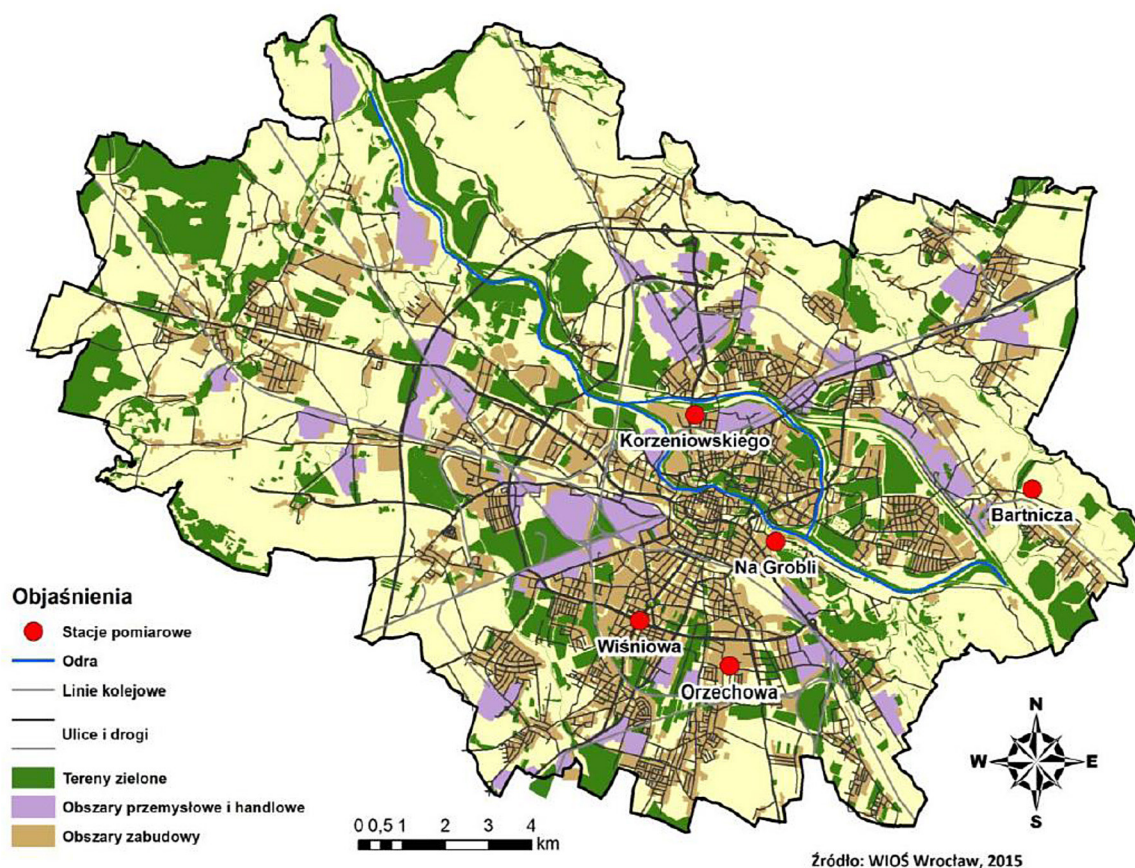
Pomiary stężeń zanieczyszczeń wykonywane są zgodnie z obowiązującymi normami w celu dokonywania okresowej oceny jakości powietrza oraz bieżącego monitorowania stanu powietrza. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 2 sierpnia 2012 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza [10] dla wszystkich zanieczyszczeń uwzględnianych w ocenach jakości powietrza obowiązuje podział kraju na 46 stref – w zależności od liczby mieszkańców. Miasto Wrocław stanowi jedną strefę – Aglomerację Wrocławską o kodzie PL0201. Otrzymane w wyniku pomiarów wartości stężeń są poddawane analizie i odpowiedniemu uśrednianiu zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [9]. Na podstawie otrzymanych wartości i ich zmienności w czasie informowane jest społeczeństwo o jakości powietrza.

Smog

Zimą bieżącego roku 2016/2017 bardzo nagłośniony medialnie był problem smogu. Smog to „mgła zawierająca zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Smog tworzą zanieczyszczenia pierwotne (pyły, gazy i pary emitowane przez zakłady przemysłowe, energetyczne, silniki spalinyowe pojazdów mechanicznych itp.) i produkty ich

Tabela 1. Stacje pomiarowe Systemu Monitoringu Jakości Powietrza zarządzane przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu znajdujące się na terenie miasta Wrocławia:

Lp.	Nazwa	Krajowy kod stacji	Klasyfikacja stacji	Lokalizacja		Typ pomiarów	Mierzone parametry jakości powietrza
				współrzędne	typ obszaru i lokalne warunki dyspersji		
1	Wrocław – Korzeniowska	DsWrocWybCon	tła	E 17,029250 N 51,129378	miejski, wolnostojące budynki lub zwarta zabudowa jednostronna	A, M	9 – automatycznie 12 – manualnie
2	Wrocław – Bartnicza	DsWrocBartni	tła	E 17,141125 N 51,115993	podmiejski	A	NO _x , NO ₂ , NO ₃
3	Wrocław – Wiśniowa	DsWrocAlWisn	komunikacyjna	E 17,012689 N 51,086225	miejski, kanion uliczny	A	NO _x , NO ₂ , NO ₃ , PM _{2,5}
4	Wrocław – Orzechowa	DsWrocOrzech	tła	E 17,042817 N 51,077525	miejski	M	PM ₁₀
5	Wrocław – Na Grobli	DsWrocNaGrob	tła	E 17,059225 N 51,103456	miejski	A	PM ₁₀



Rys. 1. Lokalizacja stacji pomiaru jakości powietrza na terenie Wrocławia

Źródło: Informacja o jakości powietrza na terenie miasta Wrocławia www.wroclaw.pios.gov.pl

fotokemicznych i chemicznych przemian zachodzących w warunkach inwersji temperatury podczas bezwietrznej pogody; powstawaniu smogu sprzyja położenie zagrożonych nim obszarów w obniżeniach. Smog, ze względu na dużą koncentrację agresywnych czynników chemicznych, stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt, wywołuje choroby roślin i powoduje niszczenie materiałów” [11]. Zjawisko smogu jest utożsamiane z wysokim stężeniem pyłów zawieszonych PM₁₀ (pyłu o średnicy aerodynamicznej ziaren do 10 µm mierzone metodą wagową z separacją frakcji lub metodami uznanymi za równor [9]) w powietrzu oraz PM_{2,5} (pyłu o średnicy aerodynamicznej ziaren do 2,5 µm).

Ostatnia „zimowa” informacja o przekroczeniach i ryzyku przekroczeń poziomów dopuszczalnych i docelowych substancji w powietrzu na terenie województwa dolnośląskiego pochodzi z dnia 27 marca 2017 r. Podano w niej, że przekroczono dla roku 2017 dopuszczalną liczbę przekroczeń 24-godzinnych poziomu dopuszczalnego dla pyłu zawieszonego PM₁₀ (powyżej 35 dni w roku) w stacji: Wrocław – Korzeniowski.

Jako przyczynę takiego stanu powietrza WIOŚ podaje „połączenie wzmożonego spalania paliw do celów grzewczych i niekorzystnych warunków meteorologicznych, powodujące kumulowanie się zanieczyszczeń w przyziemnej warstwie atmosfery” [3].

W związku z bardzo nagłonym bieżącej zimy 2016/2017 zagadnieniem smogu analizie poddano wartości pyłu zawieszonego PM₁₀ uśredniane dobowo z lat 2012–2017 w celu obiektywnego określenia i porównania jakości powietrza w zakresie pyłów zawieszonych z lat poprzednich.

Jakość powietrza we Wrocławiu – pył zawieszony – analiza danych

Dane o jakości powietrza z lat 2012–2015 pochodzą z bazy danych pomiarowych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, dane z roku 2016 i 2017 z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) we Wrocławiu. W badanych latach stężenia pyłu zawieszonego były mierzone we Wrocławiu na stacjach Ko-

rzeniowskiego oraz Orzechowa. Stężenia pyłu PM_{2,5} były mierzone na stacji Na Grobli do końca 2015 roku oraz od początku 2016 roku na stacji Wiśniowa. W dalszych analizach nie uwzględniano informacji ze stacji przy ul. Wiśniowej ze względu na jej specyfikę. Jako jedyna we Wrocławiu znajduje się w tunelu komunikacyjnym przy skrzyżowaniu o dużym natężeniu ruchu pojazdów, których spaliny znacznie wpływają na wyniki pomiarów. W tabeli 2 zestawiono podstawowe statystyki dla stężeń pyłów.

Na rysunku 2 przedstawiono wartości średnich dobowych stężeń PM_{2,5} w latach 2012–2015. Widoczna jest sezonowość. Mniejsze stężenia występują w okresie letnim, a większe w zimowym. Z badanego okresu wyróżnia się zima 2014/2015 o najmniejszych wartościach z badanych okresów zimowych oraz 2012/2013 o największych wartościach. Dla pyłów PM_{2,5} okres uśredniania dla określenia stężenia ekspozycji wynosi 3 lata, a rozporządzenie [8] nie podaje poziomów charakterystycznych. W związku z tym w szczegółowej analizie nie rozważano tego parametru, a jedynie bardziej ogólny PM₁₀.

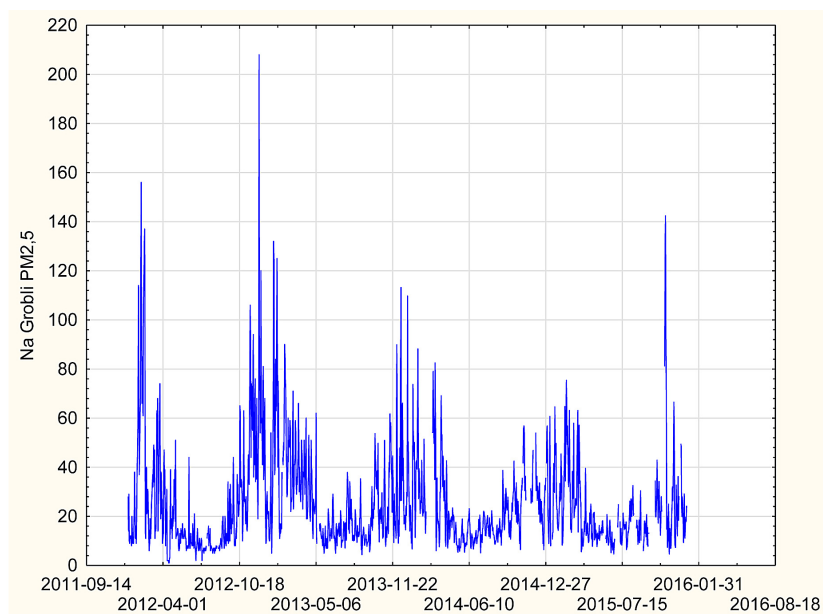
Na stacji Korzeniowskiego znajdującej się na północ od centrum miasta średnie wartości stężenia pyłów PM₁₀ w powietrzu utrzymywały się w latach 2012–2016 na podobnym poziomie z nieznacznym spadkiem w roku 2016. Natomiast na południe od centrum na stacji Orzechowa odnotowano spadek stężeń PM₁₀ w kolejnych latach. Podobnie na stacji Na Grobli położonej najbliżej centrum miasta nieco na wschód zaobserwowano spadek średnich rocznych wartości stężeń pyłów zawieszonych PM_{2,5}. Na rysunku 3 przedstawiono wykres wartości stężeń PM₁₀ w postaci średnich 24h na badanych stacjach wraz z zaznaczeniem poziomów: dopuszczalnego, informowania oraz alarmowego według [8].

Na obu stacjach poziom alarmowy nie został w badanym okresie przekroczony. Na stacji Korzeniowskiego poziom informowania był przekroczony w 5 dniach: 04 oraz 12 lutego, 8 oraz 9 grudnia 2012 r. oraz 15 lutego 2017 r. Poziom dopuszczalny był przekroczony w każdym z badanych lat powyżej 35 dni w roku, przy czym w latach 2013, 2014 oraz 2017 przekroczenie to nastąpiło już w okresie zimowym na początku roku. Najwięcej takich dni odnotowano zimą 2012/2013 i było ich 87. Zimą 2013/2014 poziom dopuszczalny PM₁₀ był przekroczony w 74 dniach, 2014/2015 – 58 dni, 2015/2016 – 63 dni i ostatniej zimy 2016/2017 – 59 dni. Siedem przypadków z 383, w których poziom dopuszczalny był przekroczony, nie przypadają na sezon grzewczy i jest to: 18 czerwca 2013, 6, 15 i 16 września 2014, 8 sierpnia oraz 10 i 29 września 2015 r.

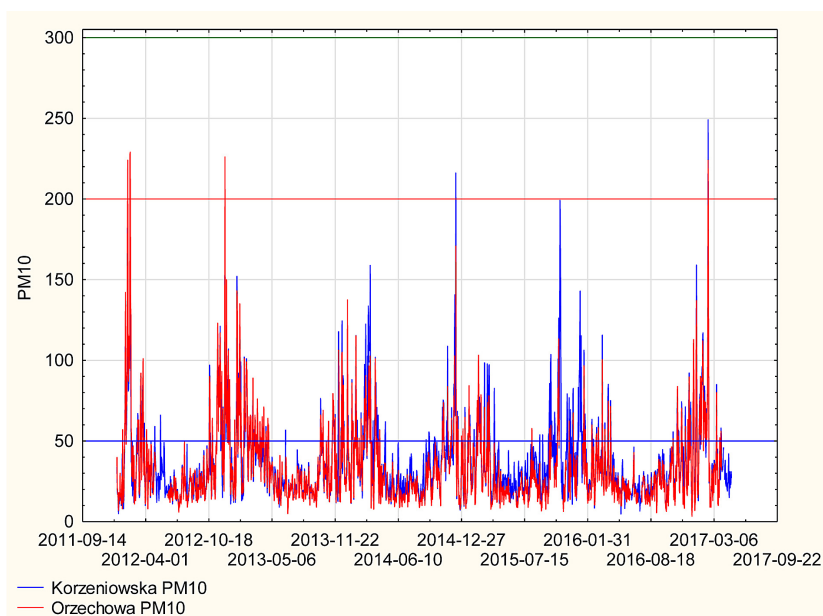
Na stacji Orzechowa poziom informowania był przekroczony w 5 dniach: 4, 11, 12 lutego 2012, 8 grudnia 2012 oraz 15 lutego 2017 r. Poziom dopuszczalny był przekroczony w każdym z rozważanych lat przez więcej niż 35 dni w roku, przy czym w latach 2013, 2014 i 2017 już w sezonie zimowym na początku roku. Najwięcej takich dni odnotowano zimą 2012/2013 i było ich 89. Zimą 2013/2014 poziom dopuszczalny PM₁₀ był przekroczony przez 68 dni, 2014/2015 – 42 dni, 2016–2017 – 53 dni. W sezonie 2015/2016 są liczne braki danych więc liczebność jest niemiernodajna. Zauważalne jest wyraźne zróżnicowanie poziomów stężenia PM₁₀ w kolejnych miesiącach roku (rys. 4). Od maja do września wartości się wyraźnie niższe i mniej zróżnicowane. Mediany z tych miesięcy wahają się od 17,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na ul. Orzechowej w czerwcu do 26,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na ul. Korzeniowskiego w maju, a średnie dobowe nie przekraczają 70 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dla miesięcy chłodnych zróżnicowanie jest znacznie większe, mediany wahają się od 33,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w październiku do 45,4

Tabela 2. Podstawowe statystyki opisowe stężeń pyłów PM₁₀ oraz PM_{2,5} na stacjach pomiarowych we Wrocławiu

	Średnia [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]						Odchylenie standardowe					
	cały okres	2012	2013	2014	2015	2016	cały okres	2012	2013	2014	2015	2016
Korzeniowskiego PM ₁₀ (2012–2016)	36,9	38,1	36,5	37,7	36,6	32,5	26,2	31,7	23,7	25,4	24,1	20,1
Orzechowa PM ₁₀ (2013–2015)	33,9	39,4	36,3	32,7	28,5	27,9	24,9	34,8	23,3	21,2	17,6	16,0
Na Grobli PM _{2,5} (2013–2015)	24,7	26,8	27,8	23,1	22,9	-	20,9	27,2	21,2	14,6	17,3	-



Rys. 2. Wartości stężenia pyłów PM_{2,5} dla stacji Na Grobli we Wrocławiu w okresie od 01.01.2012 r. do 31.12.2015 r.

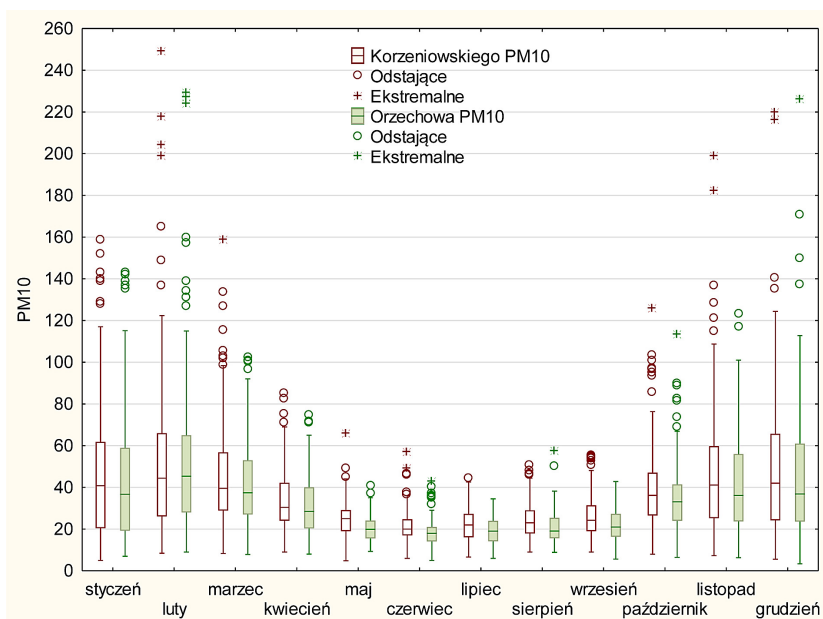


Rys. 3. Wartości stężenia pyłów PM₁₀ dla stacji Korzeniowska i Orzechowa we Wrocławiu w okresie od 01.01.2012 r. do 30.03.2017 r. zaznaczeniem poziomów: dopuszczalnego $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, informowania $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz alarmowego $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w lutym dla Orzechowej, wyraźnie zaznacza się asymetria prawostronna od 0,48 w kwietniu na Orzechowej do 2,25 w lutym na obu stacjach. Wartości maksymalne sięgają $249 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 15 lutego 2017 na Korzeniowskiej oraz $229 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 12 lutego 2012 na Orzechowej. Analogiczną sezonowość dla PM₁₀ w Bydgoszczy wskazał Pasela i in. [6].

Stężenie pyłów zawieszonych PM₁₀ jest wyraźnie związane z temperaturą powietrza. Jesien-

no-zimowy spadek temperatury powietrza skutkuje rozpoczęciem sezonu grzewczego. Według WIOŚ emisja powierzchniowa z sektora bytowo-komunalnego odpowiada za emisję 59% pyłów PM₁₀ i 81% pyłów PM_{2,5} [2]. Sezon grzewczy to „okres, w którym warunki atmosferyczne powodują konieczność ciągłego dostarczania ciepła w celu ogrzewania obiektów” [7]. Przyjmuje się, że zarządcy budynków włączają ogrzewanie, gdy przez co najmniej trzy dni z rzędu temperatura



Rys. 4. Wykresy pudełkowe z wąsami dla miesięcznej zmienności stężenia PM10 [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] dla stacji Korzeniowskiego oraz Orzechowa z badanego okresu odpowiednio

powietrza spada poniżej 10 stopni, a w mieszkaniach poniżej 16 stopni. W praktyce grzanie trwa od października do kwietnia i na ten okres przypadają dni o przekroczonych stężeniach pyłu PM10 we Wrocławiu. Z tego względu w dalszych rozważaniach analizowano okres od października do kwietnia włącznie, a nie zwyczajowo – okres zimowy X–III. Widoczna na rysunku 5 zbieżność okresów podwyższonych wartości PM10 oraz niskiej temperatury powietrza nie wykazuje statystycznie istotnej zależności (rys. 6). Wyznaczone funkcje (1,2) wzorowane na literaturze [1,4] wyjaśniają jedynie 24% (1) oraz 29% (2) zmienności wartości rzeczywistych stężenia PM10 w powietrzu, choć wszystkie współczynniki równań są statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,05$.

$$\ln (PM10_K) = -0,0416T + 3,98 \quad (1)$$

$$\ln (PM10_O) = -0,0481T + 3,98 \quad (2)$$

gdzie:

($PM10_K$) – stężenie pyłu zawieszonego PM10 na stacji Korzeniowskiego [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

($PM10_O$) – stężenie pyłu zawieszonego PM10 na stacji Orzechowa [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]

T – temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]

Logarytm naturalny stężenia PM10 maleje wraz ze wzrostem temperatury powietrza. Przy wysokich temperaturach, kiedy emisja pyłów z sektora komunalno-bytowego redukuje się niemal do zera, stężenie pyłów coraz wolniej spa-

da. Dla temperatur najwyższych widoczny jest nieznaczny wzrost stężeń empirycznych. Celem uwzględnienia obserwowanego wzrostu stężeń przy wysokich temperaturach wyestymowano parametry funkcji kwadratowej metodą Levenberga-Marquardta [5]. Wykresy funkcji dopasowania, których równania podano poniżej (3,4) przedstawiono na rysunku 7.

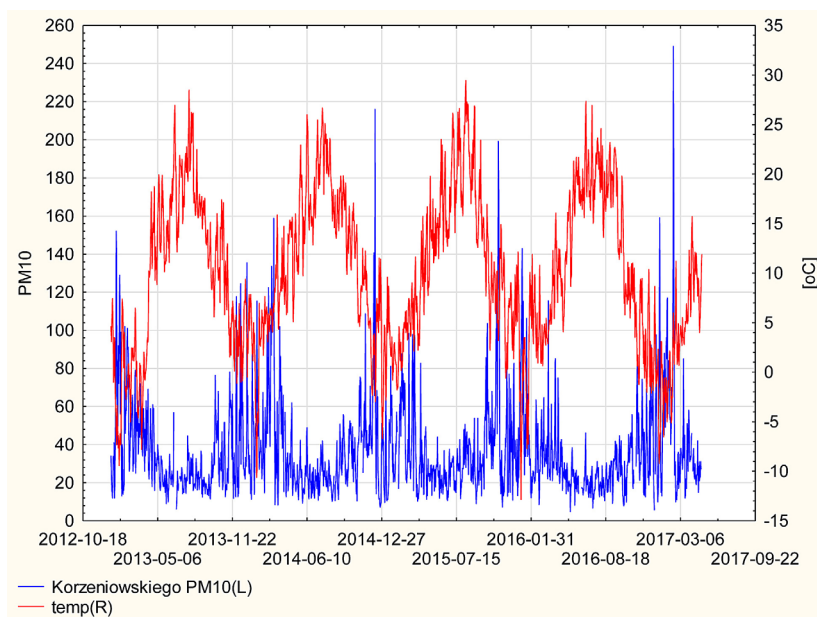
$$PM10_K = 0,07190T^2 - 2,8424T + 53,37 \quad (3)$$

$$PM10_O = 0,07556T^2 - 2,9255T + 49,71 \quad (4)$$

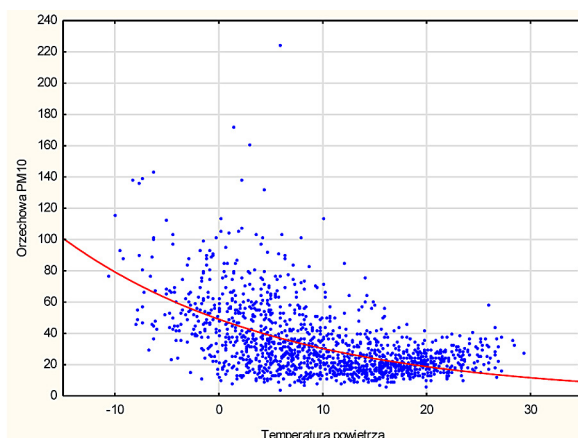
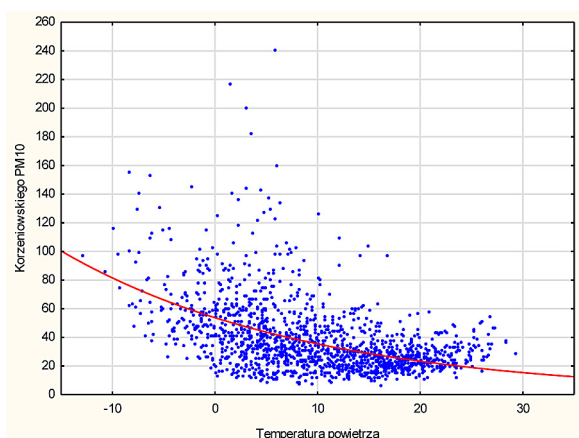
Wyznaczone zależności (3, 4) wyjaśniają 21 i 31% zmienności stężenia PM10 dla lokalizacji Korzeniowskiego i Orzechowa odpowiednio. Wyznaczone z równań (3,4) minima funkcji równe $19,8^{\circ}\text{C}$ oraz $19,4^{\circ}\text{C}$ odpowiednio wskazują wartości temperatury powietrza, dla której stężenia PM10 są najmniejsze. Wzrost stężeń dla wyższych temperatury wynika z innych czynników takich jak: ruch samochodowy i związana z nim emisja spalin oraz inne warunki meteorologiczne.

Czy zima 2016/2017 była szczególna według stężenia pyłu PM10 w powietrzu?

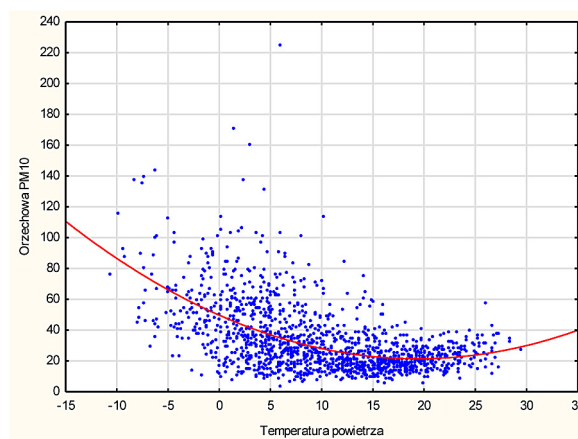
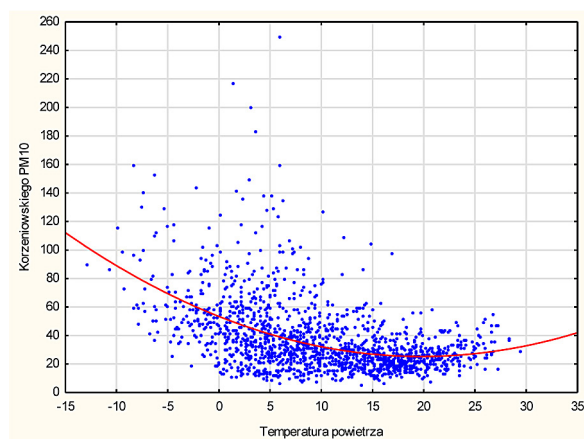
Zimą 2016/2017 w mediach bardzo nagłośniony był problem smogu zalegającego w największych miastach Polski. Poniżej przeprowadzono analizę przebiegu zmienności stężeń pyłu zawieszonego PM10 dla pięciu ostatnich okre-



Rys. 5. Stężenie pyłów PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] oraz temperatura [$^{\circ}\text{C}$] w latach 2013–2017 na stacji Korzeniowskiego we Wrocławiu



Rys. 6. Wykres rozrzutu stężenia pyłów PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] oraz temperatury [$^{\circ}\text{C}$] w latach 2013–2016 na stacji Korzeniowskiego (po lewej) oraz Orzechowa (po prawej) we Wrocławiu z dopasowanymi funkcjami (1, 2)



Rys. 7. Wykres rozrzutu stężenia pyłów PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] oraz temperatury [$^{\circ}\text{C}$] w latach 2013–2016 na stacji Korzeniowskiego (po lewej) oraz Orzechowa (po prawej) we Wrocławiu z dopasowanymi funkcjami (3, 4)

sów X–IV (rys. 8), utożsamianych z okresem grzewczym.

W celu określenia statystycznie istotnej różnicy wartości stężeń PM₁₀ w kolejnych okresach przeprowadzono test U Manna-Whitneya (ze względu na występowanie asymetrii prawostronnej i brak normalności rozkładu stężeń) porównując cały okres X–IV 2016/2017 z pozostałymi. Obserwacje (stężenia) będąc w skali porządkowej spełniają założenie testu o możliwości rangowania wartości. Hipoteza zerowa zakłada, że obie próby pochodzą z tej samej populacji zatem test ocenia, czy próby różnią się nie tylko średnią, ale również pod względem ogólnego kształtu rozkładu. W okresie grzewczym (X–IV) 2012/2013 stężenia PM₁₀ w powietrzu istotnie statystycznie różniły się od wartości z okresu 2016/2017 dla obu stacji pomiarowych (Orzechowa oraz Korzeniowskiego) (tab. 3). Na podstawie wartości przeciętnych można ocenić, że okres X–IV 2012/2013 był gorszy w sensie zawartości pyłu zawieszonego w powietrzu, a zatem smogu. Pozostałe okresy 2013/2014, 2014/2015 i 2015/2016 nie różniły się statystycznie istotnie od wartości stężeń w okresie 2016/2017 na poziomie $\alpha = 0,05$. Zatem żaden z ostatnich czterech okresów grzewczych nie cechował się lepszą jakością powietrza niż ostatni 2016/2017, a co za tym idzie, patrząc globalnie na całe okresy, można stwierdzić, że w ostatnim

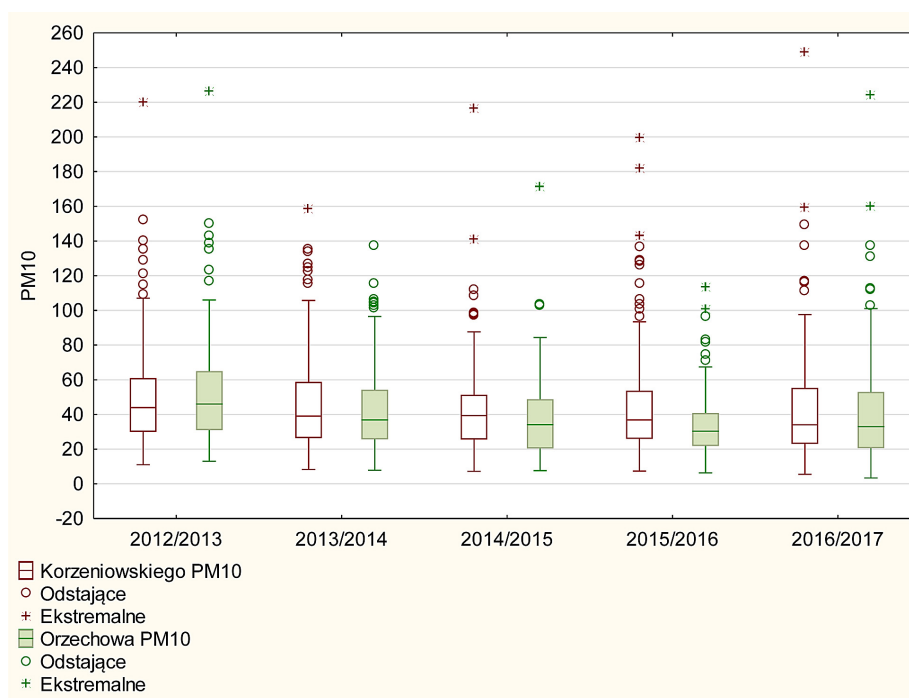
okresie jakość powietrza nie była gorsza niż w latach poprzednich.

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono porównanie zmienności stężenia PM₁₀ w najzimniejszych miesiącach okresów grzewczych kiedy występuje najczęściej przekroczeń poziomu dopuszczalnego.

Celem dokładniejszej analizy i uniknięcia „gubienia” bardziej szczegółowych informacji przeprowadzono test U Manna-Whitneya dla każdego z miesięcy osobno porównując każdy miesiąc lat poprzednich z odpowiadającym mu z okresu 2016/2017. Wyniki testu zestawiono w tabeli 4.

W 10 przypadkach miesiąc z okresu 2016/2017 różnił się statystycznie istotnie od odpowiadającego mu miesiąca z jednego z pozostałych okresów. W 18 przypadkach takie różnice nie występują. Najbardziej nagłośniony w mediach był problem smogu w styczniu, lutym i marcu 2017 roku. Z tych miesięcy jedynie w styczniu 2015 roku statystycznie istotna różnica związana jest z lepszym przeciętnym stanem powietrza w styczniu 2015 i lutym 2016 niż w odpowiadających miesiącach 2017 roku (tab. 5). Natomiast marzec 2013 oraz 2014 oraz grudzień roku charakteryzował się gorszym stanem powietrza niż w 2017 roku.

Można zatem stwierdzić, że statystycznie rzecz ujmując zima 2016/2017 nie odróżniała się istotnie w zakresie jakości powietrza mierzonej stężeniem pyłów zawieszonych PM₁₀ w po-

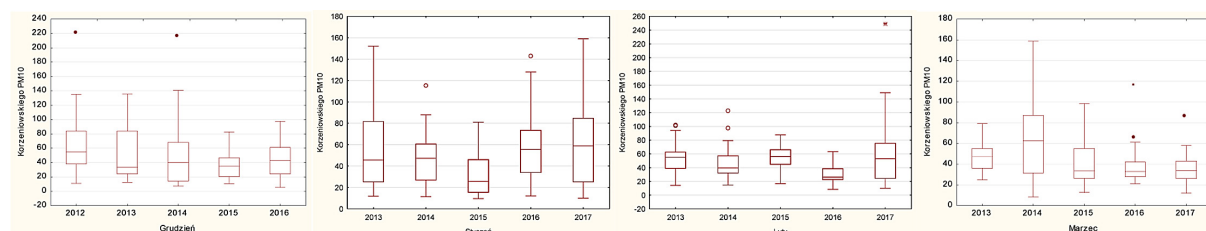
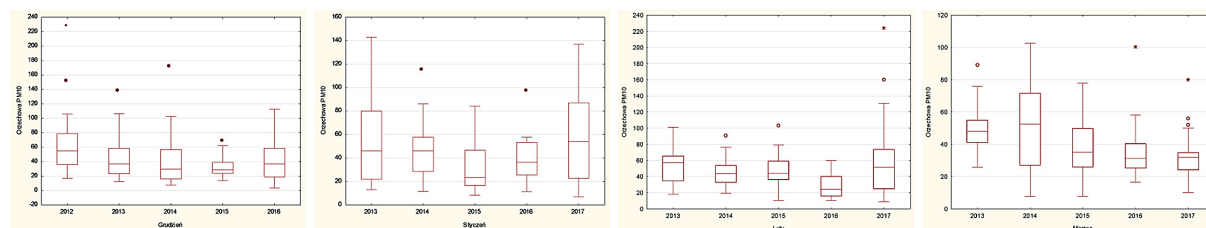


Rys. 8. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w powietrzu w kolejnych okresach X–IV we Wrocławiu

Tabela 3. Wartości podstawowych statystyk stężeń PM₁₀ oraz wyniki testu U Manna-Whitneya dla okresów X–IV lat 2012/2013 – 2015/2016 w porównaniu z okresem przełomu 2016/2017

	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
	Korzeniowskiego				
N	211	208	209	213	204
średnia	51,2	45,6	42,3	44,5	42,3
min	11,0	8,3	7,2	7,3	5,6
max	220,0	158,8	216,0	199,2	249,0
odch stand	30,0	27,5	25,7	29,2	30,0
p-value	0,00	0,08	0,38	0,22	X
	Orzechowa				
N	211	211	197	162	181
średnia	51,5	42,5	36,8	34,0	41,1
min	13,0	7,8	7,6	6,3	3,4
max	226,0	137,4	171,0	113,2	224,0
odch stand	29,4	22,9	22,1	17,8	30,6
p-value	0,00	0,06	0,62	0,20	X

N – liczba ważnych przypadków (pomiarów)

**Rys. 9.** Zmienność stężenia PM₁₀ w miesiącach kolejnych lat, od lewej: grudzień, styczeń, luty, marzec dla stacji Korzeniowskiego**Rys. 10.** Zmienność stężenia PM₁₀ w miesiącach kolejnych lat, od lewej: grudzień, styczeń, luty, marzec dla stacji Orzechowa

wietrzu we Wrocławiu. Nagłośnienie problemu smogu, a bardziej przyczyn jego powstawania, jest oczywiście uzasadnione. Ważne i potrzebne jest uświadamianie społeczeństwa o skutkach niekontrolowanej i nieprzemysłanej emisji związków szkodliwych do atmosfery. Obrazy miast spowitych w smogu i kopających kominów domów działają na wyobraźnię człowieka i jeśli zmobilizowanie opinii publicznej do rozważenia osobistego wkładu w ich powstawanie było celem "smogowej" kampanii medialnej, to jest to bezdyskusyjnie słuszne. Natomiast w zakresie rzeczywistej jakości powietrza, nie odsta-

wała ona od zim poprzednich, zatem w okresie 2016/2017 jakość powietrza w zakresie stężenia pyłów zawieszonych nie była gorsza. Niestety nie było też lepsza.

WNIOSKI

Monitoring środowiska i ogólny dostęp do jego rezultatów jest prowadzony w Polsce sprawnie i spełnia swoją rolę. We Wrocławiu monitoring jakości powietrza prowadzony jest od 1977 roku. Aktualnie Wojewódzki Inspek-

Tabela 4. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla kolejnych miesięcy okresu X–IV w porównaniu z odpowiednimi z okresu 2016/2017

2016/2017	2012/2013		2013/2014		2014/2015		2015/2016	
	p-value	odpowiedź	p-value	odpowiedź	p-value	odpowiedź	p-value	odpowiedź
Październik	0,11	=	0,02	≠	0,00	≠	0,00	≠
Listopad	0,05	=	0,27	=	0,13	=	0,53	=
Grudzień	0,03	≠	0,66	=	0,99	=	0,32	=
Styczeń	0,58	=	0,13	=	0,00	≠	0,91	=
Luty	0,80	=	0,54	=	0,69	=	0,01	≠
Marzec	0,00	≠	0,00	≠	0,40	=	0,49	=
Kwiecień	0,00	≠	0,02	≠	0,73	=	0,12	=

„=” – nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

„≠” – różnią się statystycznie istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$

Tabela 5. Podstawowe statystyki stężenia pyłu PM10 w dniach o przekroczonej wartości dopuszczalnej $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla okresów miesięcznych

	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017
Miesiąc	listopad				
Liczba dni	15	8	9	9	7
Średnia	87,8	63	65,1	112,7	66,5
Mediana	87	62,9	60,7	83,9	67,5
Min	51	51,7	50,4	58,7	56
Max	121	78,1	108,7	199,2	81,9
Miesiąc	grudzień				
Liczba dni	19	13	11	6	11
Średnia	85,1	85,8	93,9	68,7	70,8
Mediana	81	84,5	74,3	73,1	69
Min	51	52,8	51,2	51,1	55,1
Max	220	135,5	216	82,6	97,6
Miesiąc	styczeń				
Liczba dni	5	14	14	7	18
Średnia	85,4	91,4	66,1	62,5	78,7
Mediana	86	87	61,7	60,3	64,5
Min	57	53	50,7	50,9	50,3
Max	139	152	115,3	81,1	142,9
Miesiąc	luty				
Liczba dni	14	15	8	15	5
Średnia	124,1	72	77	66	56,1
Mediana	106,5	60	70,9	62,8	55,6
Min	69	55	56,2	52,8	51,1
Max	218	102	122,4	87,6	63,4
Miesiąc	marzec				
Liczba dni	12	12	17	10	5
Średnia	71,7	60,4	90,1	77,4	69,1
Mediana	67	58	87	84	61,2
Min	54	51	56,6	51,2	50,8
Max	92	79	158,8	98,4	115,6

torat Ochrony Środowiska prowadzi ciągłe pomiary jakości powietrza we Wrocławiu na 5 stacjach pomiarowych. W okresie od stycznia do marca 2017 roku media informowały o „alarmie smogowym” między innymi na terenie miasta Wrocławia. Utożsamiając smog ze stężeniem

pyłu zawieszonego PM10 wykazano w pracy, że okres grzewczy (X–IV) 2016/2017 nie różnił się statystycznie od poprzednich czterech w zakresie występowania wysokich stężeń pyłów w powietrzu. Porównanie całych siedmioletnich okresów z lat poprzednich z okre-

sem 2016/2017 wskazało na statystyczną różnicę jedynie między okresem X–IV 2012/2013, a 2016/2017, przy czym ogólnie pojęta jakość powietrza na przełomie 2012 i 2013 roku była gorsza. Porównanie poszczególnych miesięcy lat poprzednich z okresem 2016/2017 wykazała statystycznie istotne różnice w 10 przypadkach. Z tych miesięcy jedynie w styczniu 2015 jakość powietrza w zakresie PM₁₀ była lepsza niż w styczniu 2017. Można zatem stwierdzić, że statystycznie rzecz ujmując, zawartość smogu w powietrzu we Wrocławiu mierzona stężeniem pyłów PM₁₀ w okresie od października 2016 do kwietnia 2017 nie odbiegała od lat poprzednich. Maksymalne średnie stężenie dobowe PM₁₀ zmierzone na stacji Korzeniowskiego wynoszące 249 µg·m⁻³ jest wartością maksymalną z całego omawianego wielolecia, natomiast na stacji Orzechowa zbliżona wartość do maksymalnej z 2017 wystąpiła w 2013.

BIBLIOGRAFIA

1. Bertaccini P., Dukic V., Ignaccolo R. 2012. Modeling the short-term effect of traffic and meteorology on air pollution in Turin with generalized additive models. *Advanced in Meteorology*, Vol. 2, 1–16.
2. Informacja o jakości powietrza na terenie miasta Wrocławia, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Wrocław 2016.
3. Informacja z dnia 27 marca 2017 r. o przekroczeniach i ryzyku przekroczeń poziomów dopuszczalnych i docelowych substancji w powietrzu na terenie województwa dolnośląskiego w 2017 r.
4. Lana I., Del Ser J., Padro A., Velez M. 2016. Casanova-Mateo C. The role of local urban traffic and meteorological conditions in air pollution: a data-based case study in Madrid Spain. *Atmospheric Environment*, 145, 424–438.
5. Moré J.J. 1977. The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory in numerical analysis. In: *Lecture Notes in Mathematics*, G.A. Watson, Eds. Berlin, Springer-Verlag.
6. Pasela R., Milik J., Budzińska K., Szejniuk B. 2017. Analiza wyników pomiarów stężeń zanieczyszczenia powietrza pyłem PM₁₀ i PM_{2,5} na stacji pomiarowej Plac Poznański w Bydgoszczy, *Inżynieria Ekologiczna*, 18(1), 240–246.
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 stycznia 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych.
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012, poz. 1031)
9. Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. 2012, poz. 1032)
10. Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 2 sierpnia 2012 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza (Dz.U. 2012, poz. 914)
11. <http://encyklopedia.pwn.pl/>