

## WARUNKI TERMICZNE A STĘŻENIE PYŁU ZAWIESZONEGO W POWIETRZU ATMOSFERYCZNYM ZIMĄ W WYBRANYCH MIASTACH POLSKI

### THERMAL CONDITIONS AND CONCENTRATION OF PARTICULATE MATTER IN ATMOSPHERIC AIR IN WINTER IN SELECTED POLISH CITIES

**Kacper Rawicki**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa  
Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni  
ul. Papieża Pawła VI nr 3  
71-459 Szczecin  
e-mail: kacper.rawicki@zut.edu.pl

**Abstract:** The aim of the study was to assess the impact of thermal conditions on emission of PM10 in the atmosphere during the winter period in selected Polish cities. The basis of the work were average daily PM10 and air temperature measurement results, which were made in six cities during three of calendar winters (December-February) in 2011–2014. It has been shown that every decrease in temperature during the winter affects the increase in the concentration of PM10 in ambient air in most of the analyzed cities. The greatest role of air temperature in shaping emission of the fraction of particulate matter variability was found in a relatively cool winter 2011/2012, when the number of days with oversize levels of contamination ranged from 7 in Suwałki to even 46 in Nowy Sącz. The smallest impact of this weather element was found during a warm winter 2013/2014.

**Keywords:** PM10, air temperature, air pollution.

#### Wprowadzenie

Dynamiczny postęp cywilizacyjny utrzymujący się w ostatnich dekadach, w połączeniu z gwałtownym rozwojem przemysłu i wzrostem urbanizacji, wywierają znaczący wpływ na środowisko naturalne. Wśród zagrożeń środowiska istotny problem stanowi zanieczyszczenie atmosfery pyłem zawieszonym [1]. Wysokie stężenia tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym notuje się w szczególności na obszarach miejskich. Jednak emisja pyłu zawieszzonego nie jest jedynie kwestią ochrony powietrza w obrębie miast, ale stanowi ona zarówno regionalne, jak i globalne zagrożenie dla środowiska ze względu na transgraniczny zasięg tego zanieczyszczenia [14]. Pył definiuje się jako fazę rozproszoną układu dwufazowego, złożoną z ciała stałego zawieszzonego w gazowej fazie rozpraszającej, którą jest powietrze [2]. Cząstki pyłu zawieszzonego różnią się średnicą aerodynamiczną, składem chemicznym i procesem powstawania. Na terenach miejskich zarówno w Polsce, jak w innych krajach Europy, w ramach monitoringu jakości powietrza dokonuje się m. in. pomiaru imisji pyłu PM10, którego cząstki mają średnicę aerodynamiczną poniżej 10  $\mu\text{m}$  [1]. Według danych Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) w 2011 roku aż 6 polskich miast z 387 w Unii Europejskiej należało do pierwszej dziesiątki z największą liczbą dni z przekroczeniem dopuszczalnej dobowej normy tej frakcji pyłu w powietrzu atmosferycznym. Na podstawie

danych z Państwowego Monitoringu Środowiska stwierdza się, że na terenie Polski skala notowanych ponadnormatywnych stężeń zanieczyszczeń atmosferycznych jest zróżnicowana w zależności od lokalizacji punktów pomiarowych. Generalnie w województwach położonych na południu kraju rejestruje się kilkakrotnie wyższą imisję pyłu zawieszzonego w powietrzu atmosferycznym, niż na północy [10].

Pył PM10 może pochodzić ze źródeł naturalnych (np. pożary lasów, materiały osadowe), jednak jego głównym źródłem jest działalność człowieka. Do źródeł antropogenicznych zalicza się m. in. procesy produkcyjne (np. produkcja cementu), czy procesy spalania, w tym emisja z palenisk domowych [2]. Ponadto pyły drobne emitowane są również przez ruch uliczny [13]. Pył PM10 niewątpliwie stanowi zagrożenie dla zdrowia ludności, ponieważ posiada dużą powierzchnię zatrzymującą niebezpieczne substancje [12]. W składzie tej frakcji pyłu mogą występować metale ciężkie (np. arsen, nikiel, kadm, rtęć) i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), które są silnie toksyczne, cancerogenne i mutagenne [2]. Narażenie na wysokie stężenia pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym zwiększa ryzyko dostawania się tej frakcji pyłu do płuc, czego następstwem mogą być choroby układu oddechowego, tj. astma oskrzelowa, czy przewlekła obturacyjna choroba płuc [7]. Ponadto pył zawieszony po opadnięciu na powierzchnię gleby może przedostawać się do wód powierzchniowych i roślin, a następnie wraz z

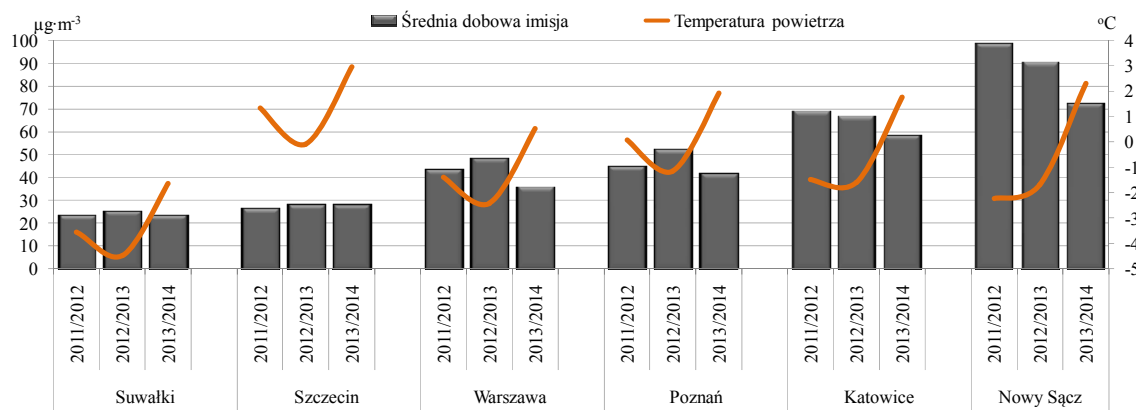
żywnością trafiać do organizmu człowieka [12]. Na terenie Polski ponadnormatywne stężenia pyłu PM10 notowane są najczęściej w okresie zimowym. Wielkość emisji tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym nie zależy jedynie od wielkości jego emisji do atmosfery, ale może być również determinowana przez warunki meteorologiczne [3, 8, 10, 15]. Z tego powodu za cel pracy przyjęto ocenę wpływu warunków termicznych na wielkość emisji pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym podczas okresu zimowego na terenie wybranych miast Polski.

## Material i metody

Podstawę opracowania stanowiły średnie dobowe wyniki pomiarów stężenia pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym, uzyskane z automatycznego zapisu sześciu stacji monitoringu jakości powietrza, należących do wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska. Wybrane stacje były zlokalizowane na terenie następujących miast: Suwałki, Szczecin, Warszawa, Poznań, Katowice i Nowy Sącz. Dane średnich dobowych wyników pomiarów temperatury powietrza uzyskano natomiast ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego, położonych w tych samych miastach co stacje imisyjne. Okres badań obejmował trzy kalendarzowe zimy (grudzień–luty) w latach 2011–2014. Wielkość dobowego stężenia analizowanej frakcji pyłu zawieszonego porównano z wartościami dopuszczalnymi, zawartymi w przepisach prawnych. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 roku w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu określa dopuszczalną średniodobową normę dla pyłu PM10, która wynosi  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Wpływ temperatury powietrza na wielkość emisji pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym przeprowadzono przy pomocy analizy regresji liniowej w programie STATISTICA12. Przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Ocenę normalności rozkładów badanych zmiennych dokonano przy użyciu testu Kołmogorowa-Smirnowa. W przypadku potrzeby przekształcenia ciągów danych wykorzystano metodę Boxa-Coxa, która jest wykorzystywana m. in. w analizach ciągów wyników pomiarów elementów meteorologicznych.

## Wyniki i dyskusja

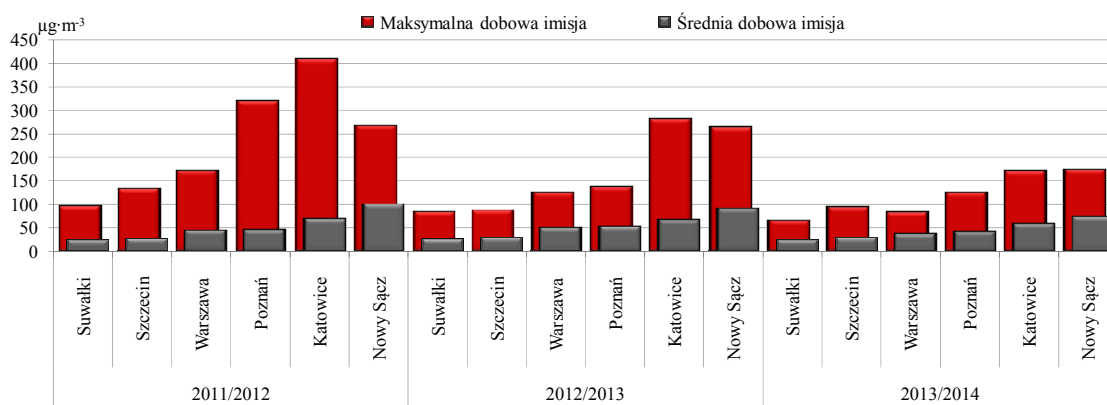
W analizowanym okresie trzech kalendarzowych zim (grudzień–luty 2011–2014) średnia dobowa emisja pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym była zróżnicowana w zależności od okresu i miejsca pomiaru tego zanieczyszczenia (rys. 1). We wszystkich zimach najwyższe średnie stężenia tej frakcji pyłu zawieszonego stwierdzono w Nowym Sączu, które były około trzy- lub nawet czterokrotnie wyższe niż w miastach położonych na północy Polski – w Suwałkach i Szczecinie. Równie wysoką średnią emisję tego zanieczyszczenia, bo wynoszącą około od 60 do  $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , notowano w powietrzu atmosferycznym podczas trzech analizowanych zim w Katowicach. Zarówno w tym mieście, jak i Nowym Sączu, najwyższe średnie dobowe stężenia tej frakcji pyłu zawieszonego zarejestrowano zimą 2011/2012. Według IMGW PIB [4] okres ten na południu Polski odznaczał się lekko chłodnymi lub chłodnymi warunkami termicznymi. Na pozostałym obszarze warunki te nie odbiegały od normy wieloletniej. W Nowym Sączu średnia emisja pyłu PM10 w tym okresie wynosiła aż około  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , przy stosunkowo niskiej średniej temperaturze powietrza równej około  $-2^\circ\text{C}$ . W Katowicach stężenie tej frakcji pyłu zawieszonego było natomiast o około  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  niższe przy zbliżonej średniej temperaturze powietrza. W innych miastach objętych analizą najwyższe średnie stężenia tego zanieczyszczenia zarejestrowano w zimie 2012/2013, która według IMGW PIB [5] była na przeważającym obszarze Polski sezonem chłodnym – jedynie na południu kraju lekko chłodnym. Najniższe średnie stężenie pyłu PM10 w analizowanych okresach zimowych stwierdzono natomiast w większości miast zimą 2013/2014, która według IMGW PIB [6] wyróżniała się bardzo ciepłymi warunkami termicznymi. Na przykład w Nowym Sączu w tej zimie średnia emisja pyłu PM10 była o około  $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  niższa niż w chłodnej zimie 2011/2012. Podobnie w Warszawie i Poznaniu, w porównaniu do chłodnej zimy 2012/2013 stężenia tej frakcji pyłu zawieszonego były kolejno o około  $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  i  $11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  niższe. Jedynie w Szczecinie i Suwałkach średnia emisja tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym nie różniła się znacząco w poszczególnych okresach zimowych.



Rys. 1. Maksymalne dobowe stężenia pyłu PM10 w poszczególnych okresach zimowych (grudzień–luty 2011–2014).

We wszystkich miastach objętych analizą maksymalne dobowe stężenia pyłu PM10 były od około 2 do nawet 7 razy wyższe niż średnia dobową emisję tego zanieczyszczenia w poszczególnych okresach zimowych (rys. 2). Najwyższe dobowe stężenie tej frakcji pyłu zawieszonego zarejestrowano w powietrzu atmosferycznym zimą 2011/2012. Rekordowo wysoką emisję pyłu PM10 w tym okresie, wynoszącą około  $410 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , zanotowano w lutym w Katowicach, kiedy średnia

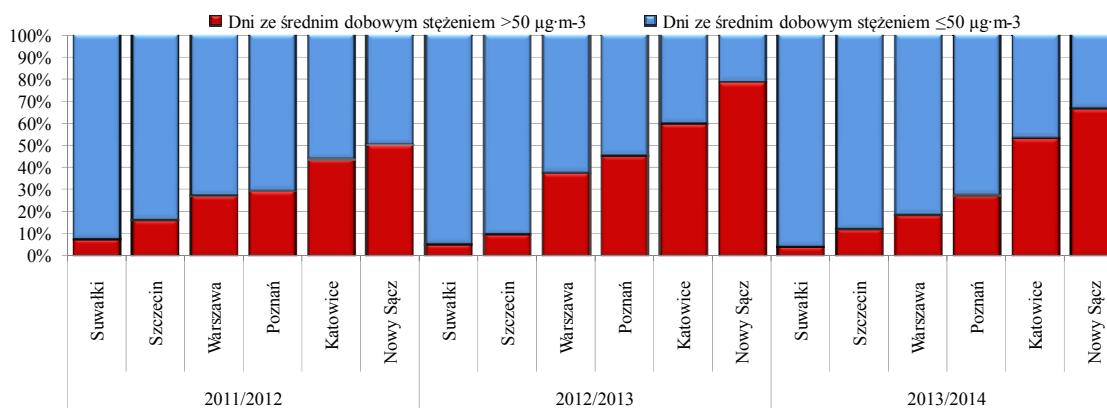
dobowa temperatura powietrza spadła do około  $-15^{\circ}\text{C}$ . W tym samym miesiącu bardzo wysokie stężenie tego zanieczyszczenia stwierdzono również w Poznaniu (około  $320 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) i Nowym Sączu (około  $270 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), kiedy średnia temperatura powietrza na terenie tych miast wynosiła również poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ . W pozostałych okresach zimowych najwyższe maksymalne stężenia tej frakcji pyłu rejestrowano w Nowym Sączu i Katowicach, natomiast najniższe w Suwałkach i Szczecinie.



Rys. 2. Maksymalne dobowe stężenia pyłu PM10 w poszczególnych okresach zimowych (grudzień–luty 2011–2014).

We wszystkich analizowanych zimach stwierdzono ponadnormatywne dobowe stężenia pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym (powyżej  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). W tym okresie liczba dni z przekroczeniem dobowej normy emisji tego zanieczyszczenia stanowiła od około 4% do nawet blisko 80% okresu zimowego (rys. 3). Największą liczbę dni z ponadnormatywnym stężeniem tej frakcji pyłu zawieszonego zanotowano w Nowym Sączu zimą 2012/2013 – aż 71 dni. W dwóch pozostałych zimach objętych analizą na terenie tego miasta dni z

ponadnormatywną emisją pyłu PM10 obejmowały również minimum połowę okresu kalendarzowej zimy. Równie dużą liczbę dni z przekroczeniem dobowej normy stężenia tego zanieczyszczenia notowano w Katowicach (od 40 do 48 dni). Najmniejszą liczbę dni ze średnim dobowym stężeniem powyżej  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  stwierdzono natomiast we wszystkich analizowanych zimach w Suwałkach (od 4 do 7 dni) i Szczecinie (od 9 do 15 dni).



Rys. 3. Procent liczby dni z ponadnormatywnym dobowym stężeniem pyłu PM10 w poszczególnych okresach zimowych (grudzień–luty 2011–2014).

Rolę temperatury powietrza w kształtowaniu zmienności emisji pyłu PM10 dobrze ilustrują zamieszczone poniżej wykresy przedstawiające średnie dobowe stężenia tego

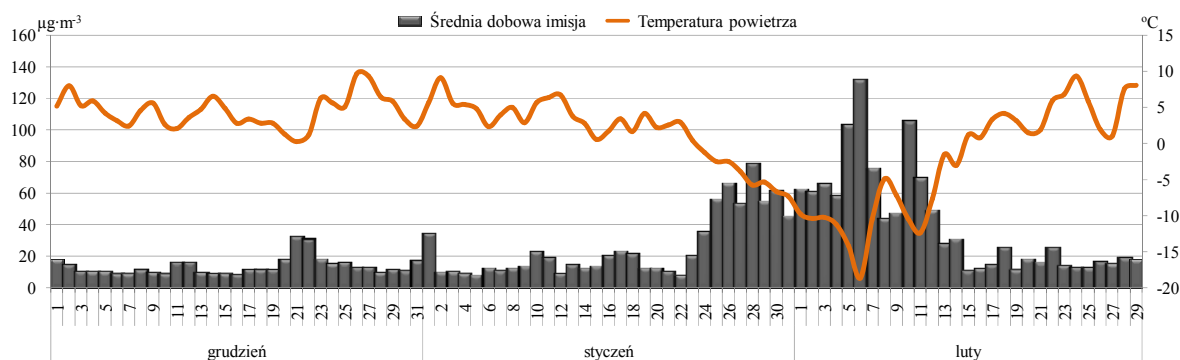
zanieczyszczenia na tle temperatury powietrza w wybranych miastach Polski. Na przykład w Szczecinie zimą 2011/2012 w dniach ze średnią dodatnią

temperaturą powietrza średnie stężenie tej frakcji pyłu wynosiło jedynie około  $14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , natomiast przy jej spadku poniżej  $0^\circ\text{C}$  było średnio o około  $49 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  wyższe. Znaczny wzrost emisji tej frakcji pyłu zawieszonego uwidocznił się szczególnie w tym okresie pod koniec stycznia i w pierwszej połowie lutego, kiedy średnia dobowa temperatura spadła poniżej  $-5^\circ\text{C}$ . W tych dniach na terenie Szczecina średnie stężenie pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym wahało się od około  $48 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  do nawet  $132 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (rys. 4). Podobnie w Poznaniu zimą 2012/2013 wysokie stężenia tej frakcji pyłu (średnio około  $78 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) notowano w dniach, w których średnia temperatura powietrza spadła poniżej  $-5^\circ\text{C}$ . W tym miesiącu podczas wymienionej zimy najwyższą emisję pyłu PM10 zanotowano przy spadku średniej dobowej temperatury powietrza do około  $-9^\circ\text{C}$ . Przy równie niskich średnich dobowych temperaturach powietrza (od  $-9^\circ\text{C}$  do  $-11^\circ\text{C}$ ) notowano także wysokie stężenia tej frakcji pyłu, przekraczające dopuszczalną wartość emisji tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym (rys. 5).

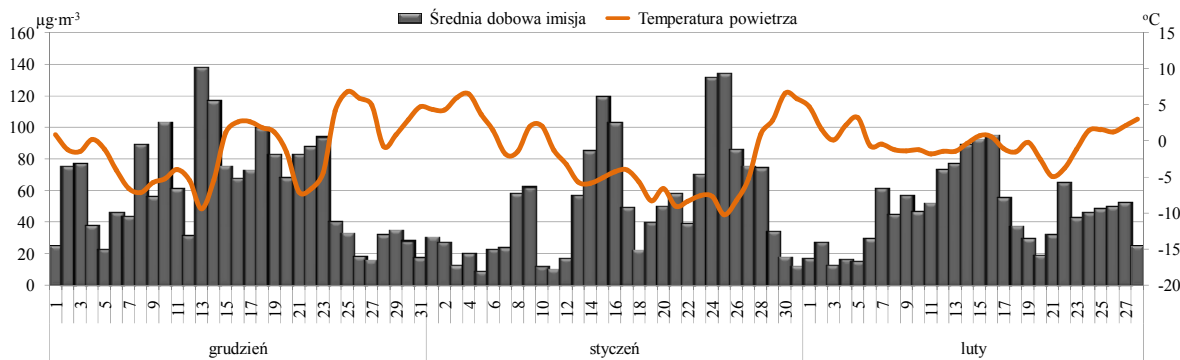
Mniejszą rolę temperatury powietrza stwierdzono natomiast w ostatniej, cieplej zimy. Na przykład na terenie Nowego Sącza w tym okresie zimowym stwierdzono podobne wielkości emisji pyłu PM10 w

powietrzu atmosferycznym zarówno podczas dni z dodatnią, jak i ujemną temperaturą powietrza. W tym okresie na terenie Nowego Sącza w dniach, w których notowana średnia temperatura powietrza wynosiła powyżej  $0^\circ\text{C}$ , dobowa emisja tego zanieczyszczenia wynosiła około  $66 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Podczas dni ze spadkiem temperatury powietrza poniżej  $-5^\circ\text{C}$  stężenie to było natomiast tylko nieco wyższe – wynosiło średnio  $72 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (rys. 6).

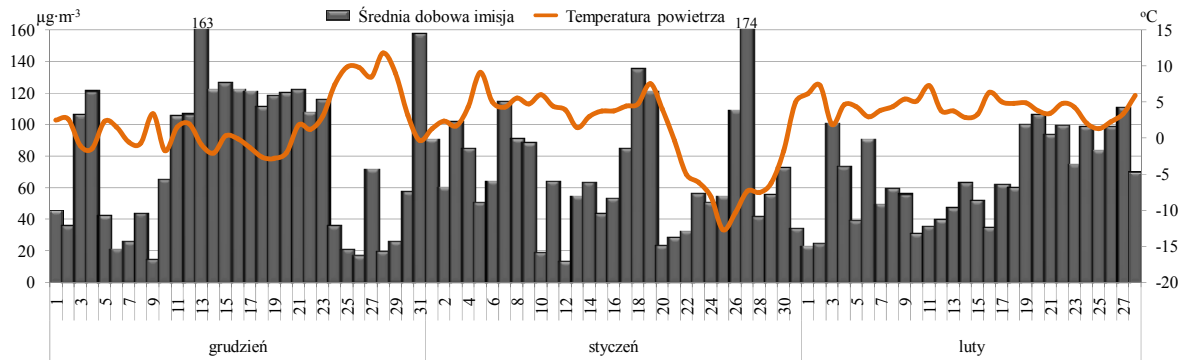
Na podstawie analizy dobowych danych emisji pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym we wszystkich miastach objętych analizą stwierdzono, że warunki termiczne mają niewątpliwie wpływ na wielkość stężenia tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym. Wraz ze spadkiem temperatury powietrza następuje wzrost stężenia pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym. Jest to silnie związane ze wzrostem emisji tego zanieczyszczenia z procesów spalania. Największy udział bowiem w zanieczyszczeniu atmosfery tą frakcją pyłu ma tzw. emisja z niskich źródeł, w szczególności z sektora komunalno-mieszkaniowego w wyniku spalania w przydomowych instalacjach słabej jakości paliw oraz niskiej sprawności użytkowanych urządzeń, a także ich wysokiej emisyjności [10, 11].



Rys. 4. Średnie dobowe stężenia pyłu PM10 na tle temperatury powietrza zimą 2011/2012 w Szczecinie.



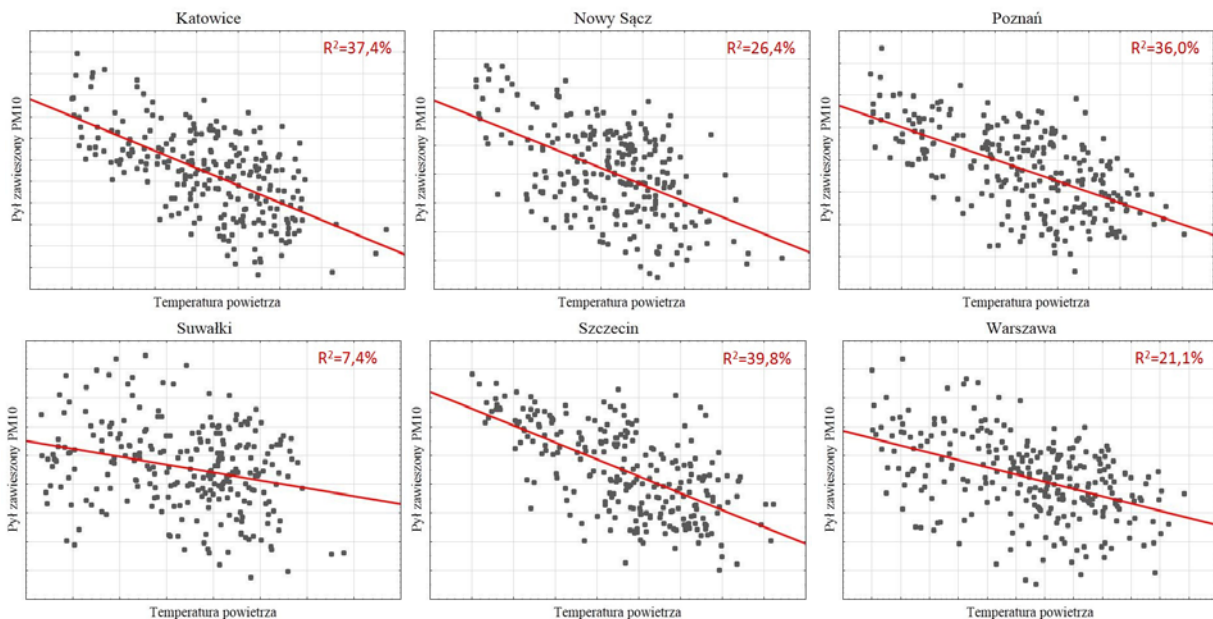
Rys. 5. Średnie dobowe stężenia pyłu PM10 na tle temperatury powietrza zimą 2012/2013 w Poznaniu.



Rys. 6. Średnie dobowe stężenia pyłu PM10 na tle temperatury powietrza zimą 2013/2014 w Nowym Sączu.

Wpływ temperatury powietrza na kształtowanie zmienności imisji pyłu PM10 w okresie zimowym na terenie wybranych sześciu miast Polski potwierdzają wyniki analizy statystycznej. Na podstawie przeprowadzonej analizy regresji jednoczyniowej stwierdzono statystycznie istotną rolę temperatury atmosferycznego w determinowaniu wielkości stężenia pyłu PM10 we wszystkich miastach objętych analizą.

Poniżej przedstawiono wykresy rozrzutu, z których wynika, że spadek temperatury powietrza powoduje wzrost imisji pyłu PM10. Współczynnik determinacji ( $R^2$ ), przy łącznej analizie wyników średnich dobowych stężeń tej frakcji pyłu i temperatury powietrza z trzech okresów zimowych, w zależności od miasta wahał się od około 7% w Suwałkach do nawet około 40% w Szczecinie (rys. 7).



Rys. 7. Wykresy rozrzutu zależności stężenia pyłu PM10 od temperatury powietrza (grudzień–luty 2011–2014).

We wszystkich analizowanych miastach temperatura powietrza odgrywała większą rolę w kształtowaniu imisji pyłu PM10 w dwóch pierwszych, chłodnych zimach, niż w trzecim, ciepłym okresie zimowym. W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ ) dla zależności stężeń pyłu PM10 od temperatury powietrza w poszczególnych okresach kalendarzowej zimy. Na przykład wyniki potwierdzają, że w Katowicach i Nowym Sączu zimą 2011/2012, która odznaczała się w północnej Polsce chłodnymi warunkami termicznymi, temperatura powietrza wyjaśniała

kolejno aż w około 62% i 48% zmienność imisji tej frakcji pyłu w powietrzu atmosferycznym. W zimie 2013/2014, która była natomiast stosunkowo ciepła, spadek temperatury powietrza na terenie tych dwóch miast nie odgrywał tak znaczącej roli w kształtowaniu zmienności tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym. Podobnie w pozostałych analizowanych miastach największy wpływ temperatury powietrza stwierdzono zimą 2011/2012 – współczynnik determinacji ( $R^2$ ) wynosił od około 26% w Suwałkach do blisko 57% w Poznaniu. W okresie ostatniej, ciepłej

zimy oprócz Nowego Sącza i Katowic, wpływ temperatury na zmienność wielkości analizowanego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym stwierdzono również w Szczecinie i Poznaniu. W Suwałkach i

Warszawie zależność między badanymi zmiennymi w tym okresie okazała się być natomiast nieistotna statystycznie.

Tab. 1. Współczynniki determinacji  $R^2$  (%) dla statystycznie istotnej (przy  $\alpha = 0,05$ ) zależności stężeń pyłu PM10 od temperatury powietrza.

Stacja	Okres zimowy (XII–II)		
	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Katowice	(-) 61,6	(-) 40,0	(-) 6,5
Nowy Sącz	(-) 47,4	(-) 20,0	(-) 10,5
Poznań	(-) 57,2	(-) 30,9	(-) 8,7
Suwałki	(-) 26,4	(-) 21,1	*
Szczecin	(-) 52,7	(-) 29,2	(-) 24,5
Warszawa	(-) 37,4	(-) 21,8	*

\* wyniki nieistotne statystycznie

## Podsumowanie

Zimą najczęstszym powodem naruszania standardów jakości powietrza na terenach miejskich jest wysoka imisja pyłu zawieszonego. W analizowanych trzech okresach zimowych (grudzień–luty 2011–2014) najwyższe stężenie pyłu PM10 notowano w miastach położonych na południu kraju, natomiast najniższe na północy. Najwyższą średnią dobową imisję tej frakcji pyłu, wynoszącą około  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , stwierdzono w zimie 2011/2012 w Nowym Sączu, natomiast najniższą w Suwałkach – około  $23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , która była zbliżona we wszystkich analizowanych zimach w tym mieście. Maksymalne dobowe stężenia pyłu PM10 w analizowanych zimach były od około 2 do nawet 7 razy wyższe niż przeciętna notowana imisja tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym. W wybranych miastach podczas trzech analizowanych zim liczba dni z ponadnormatywnym stężeniem tej frakcji pyłu stanowiła od około 4% w Suwałkach do nawet blisko 80% w Nowym Sączu okresu zimowego. Zmienność stężenia pyłu PM10 w powietrzu atmosferycznym uwarunko-

wana jest wielkością emisji głównie z tzw. niskich źródeł, co powiązane jest ściśle z warunkami termicznymi. W pracy wykazano istotną rolę temperatury powietrza w kształtowaniu imisji tego zanieczyszczenia na terenie sześciu polskich miast. Znacznie większy wpływ analizowanego elementu meteorologicznego na stężenie tej frakcji pyłu w powietrzu atmosferycznym stwierdzono, w porównaniu do ciepłego okresu zimowego (2013/2014), podczas chłodnych zim (2011/2012 i 2012/2013). Wraz ze spadkiem temperatury powietrza następuje bowiem wzrost emisji z procesów spalania przeprowadzanych w celach grzewczych budynków mieszkalnych, często za pomocą nieefektywnych pieców oraz przy wykorzystaniu węgla niskiej jakości. Na terenie polskich miast wskazane jest przeprowadzenie termomodernizacji budynków mieszkalnych, polegających między innymi na dociepleniu, czy wymianie systemów grzewczych na bardziej przyjazne środowisku, co pozwoli na zmniejszenie zużycia paliw opałowych, a tym samym skutecznie ograniczy wysoką imisję pyłu PM10 w okresie zimowym.

## Literatura

1. Cembrzyńska, J., Krakowiak, E., Brewczyński, P.Z., Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 oraz PM2, 5 w warunkach silnej antropopresji na przykładzie miasta Sosnowiec, *Medycyna Środowiskowa-Environmental Medicine*, 2012, 15(4), s. 31–38.
2. Chłopek, Z., Suchocka, K., Analiza przepisów ochrony środowiska przed emisją cząstek stałych w aspekcie ruchu samochodowego, *ZESZYTY NAUKOWE INSTYTUTU POJAZDÓW*, 2014, 1(97), s. 21–32.
3. Czarnecka, M., Nidzgorska-Lencewicz, J., 2011. Impact of weather conditions on winter and summer air quality, *Int. Agrophys*, 2011, 25, s. 7-12.
4. Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski. Zima 2011–2012, IMGW PIB, Warszawa, 2012.
5. Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski. Zima 2012–2013, IMGW PIB, Warszawa, 2013.

6. Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski. Zima 2013–2014, IMGW PIB, Warszawa, 2014.
7. Krzeszowiak, J., Michalak, A., Pawlas, K., Zanieczyszczenie powietrza we Wrocławiu i potencjalne zagrożenie dla zdrowia z tym związane, *Medycyna Środowiskowa-Environmental Medicine*, 2015, 18(2), s. 66–73.
8. Majewski, G., Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 na Ursynowie i jego związek z warunkami meteorologicznymi, *Inżyniera i Kształtowanie Środowiska*, 2005, 1(31), Rocznik XIV, s. 210–223.
9. Nidzgorska-Lencewicz, J., Czarnecka, M., Winter weather conditions vs. air quality in Tricity, Poland, *Theoretical and Applied Climatology*, 2015, 119(3-4), pp. 611–627.
10. Pankowska, M., Gorczyca, M., Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami – dlaczego w Polsce nie można odetchnąć pełną piersią? *Kontrola Państwowa*, 2015, 60(3(362)), s. 60–78.
11. Rataj, M., Wymagania w analizie zawartości pyłów w spalinach z kominków i wkładów kominkowych, *Nafta-Gaz*, 2014, 70(6), s. 370–374.
12. Rogala, D., Hajok, I., Marchwińska-Wyrwał, E., Narażenie mieszkańców Siemianowic Śląskich na pył zawieszony PM10 i metale ciężkie, *Probl. Hig. Epidemiol.*, 2015, 96(2), s. 427–436.
13. Sówka, I., Fortuna, M., Zwoździak, A., Rybak, J., Skrętowicz, M., Kwiecińska, K., Analiza stężeń pyłów drobnych w wybranych punktach Wrocławia. W: *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska* [red. T.M. Traczewska], Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012, 2, s. 451–457.
14. Tiwari, S., Hopke, P.K., Pipal, A.S., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., Tiwari, S., Singh, A.K., Soni, V.K., Attri, S.D., Intra-urban variability of particulate matter (PM 2.5 and PM 10) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India, *Atmospheric Research*, 2015, 166, pp. 223–232.
15. Wang, P., Cao, J., Tie, X., Wang, G., Li, G., Hu, T., Wu, Y., Xu, Y., Xu, G., Zhao, Y., Ding, W., Liu, H., Huang, R., Zhan, C., Impact of Meteorological Parameters and Gaseous Pollutants on PM 2.5 and PM 10 Mass Concentrations during 2010 in Xi'an, China, *Aerosol and Air Quality Research*, 2015, 15(5), pp. 1844–1854.