

ZAGROŻENIA PYŁOWE ORAZ MONITORING POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

Agnieszka Malec¹, Gabriel Borowski²

¹ Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Lublinie, ul. Obywatelska 13, 20-092 Lublin, e-mail: aga_malec@interia.pl

² Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, e-mail: g.borowski@pollub.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia związane z emisją pyłów do powietrza atmosferycznego. Wskazano główne źródła emisji pyłów, ich rodzaje i właściwości. Omówiono czynniki wpływające na zdrowie ludzi związane z występowaniem podwyższonego stężenia pyłów w powietrzu. Pokazano rozkłady średniorocznych stężeń pyłu zawieszonego w Polsce z podziałem na klasy jakości powietrza. Opisano metodykę monitoringu powietrza oraz sposoby weryfikacji wyników pomiarów stężenia pyłu. Przedstawiono działania zapobiegawcze mające na celu zmniejszenie ilości zanieczyszczeń pyłowych w najważniejszych źródłach emisji. W podsumowaniu stwierdzono, że problem nadmiernego zanieczyszczenia powietrza w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem pyłu zawieszonego, wymaga wprowadzenia rozwiązań zarówno w skali międzynarodowej, jak i lokalnej.

Słowa kluczowe: pyły, zanieczyszczenie powietrza, monitoring

THE HAZARDS OF DUSTING AND MONITORING OF ATMOSPHERIC AIR

ABSTRACT

The article presents selected issues connected with emission of dusts to the atmospheric air. The main sources of emission but also types of dusts and their properties were indicated. Factors which have impact on human's health connected with occurrence of higher concentration of dusts in the air were discussed. The paper also shows the distributions of yearly average dusts concentration in Poland with the division of air quality. Methodology of air monitoring with the way of results modification was described. Preventive actions for lowering the amount of dust in the most important emission sources were also shown. In the last part of this paper it was said that the problem of air pollution in Poland especially with particulate matter needs the introduction of some solutions, not only in the local scale but also in the international scale.

Keywords: dust, air pollution, monitoring

WPROWADZENIE

Jedną z głównych przyczyn pogarszania się stanu środowiska naturalnego są zanieczyszczenia powietrza, rozumiane jako wprowadzenie do atmosfery w ilości lub natężeniu szkodliwym dla środowiska substancji stałych, ciekłych, gazowych lub energii falowej. Substancja lub energia wprowadzona mają zdolność do utrzymywania się w atmosferze przez określony odcinek czasu, przez co istotnie zmieniają jej skład, a także mogą wywoływać negatywne skutki na biosferę lub inne elementy środowiska. Światowa Organizacja Zdrowia za

zanieczyszczenia powietrza uznaje każde skażenie powietrza przez substancję, która oddziałuje szkodliwie na zdrowie lub jest niebezpieczna z innych przyczyn, bez względu na postać fizyczną tej substancji [Krzyżanowski 2008].

Jako główne źródło zanieczyszczeń powietrza wskazywana jest emisja antropogeniczna wynikająca z działalności przemysłowej oraz emisja komunikacyjna. Jedną z cech zanieczyszczeń powietrza jest możliwość ich przemieszczania się. Za zanieczyszczenia pyłowe w największej ilości odpowiada przemysł paliwowo-energetyczny oraz metalurgiczny.

Podjęte zostały kroki, zarówno na szczeblu międzynarodowym jak i krajowym, mające na celu ograniczenie emisji szkodliwych substancji. W tym celu stworzono dokumenty prawne regulujące określone normy i stężenia substancji szkodliwych, które nie powinny być przekraczane. Do najważniejszych z nich należą:

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy, tzw. dyrektywa CAFE,

Decyzja wykonawcza Komisji 2011/850/WE z dnia 12 grudnia 2011 r. ustanawiająca zasady stosowania dyrektyw 2004/107/WE i 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do systemu wzajemnej wymiany informacji oraz sprawozdań dotyczących jakości otaczającego powietrza,

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2010/75/WE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola),

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/81/WE z dnia 23 października 2001 r. w sprawie krajowych poziomów emisji dla niektórych rodzajów zanieczyszczenia powietrza.

Również prawo polskie porusza problem powietrza oraz wskazuje normy graniczne dotyczące dopuszczalnych stężeń substancji szkodliwych. Najważniejsze z tych aktów prawnych to:

- Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r.,
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko.

Poza przepisami ustawodawczymi istnieją Rozporządzenia Ministra Środowiska poruszające omawiany temat.

ŹRÓDŁA, RODZAJE ORAZ WŁAŚCIWOŚCI PYŁÓW

Charakterystyczne zanieczyszczenia powietrza to pyły. Definicja pyłu zapisana i wydana w Polskiej Normie PN-64/Z-01001 stanowi, że mianem pyłu określa się fazę stałą układu dwufazowego ciała stałe-gaz lub gaz-ciało stałe, jeżeli stopień rozdrobnienia fazy stałej jest tak duży, że w nieruchomym powietrzu o ciśnieniu 1013,25

hPa i temperaturze 20 °C ziarna ciała stałego, na które działa tylko siła ciężenia, po bardzo krótkim okresie przyspieszenia, wskutek obrotu przepływu ośrodka, będą opadały ze stałą prędkością mniejszą niż 500 cm·s⁻¹ lub będą wykonywały ruchy Browna.

Pyły mogą mieć różne pochodzenie:

- naturalne pierwotne – pył z gleby, wulkaniczny i biologiczny oraz sole morskie;
- naturalne wtórne – siarczany pochodzące z gazów biogenych, siarczany pochodzenia wulkanicznego, organiczne związki lotne i azotany;
- antropogeniczne pierwotne – pył z przemysłu, sadza;
- antropogeniczne wtórne – siarczany, azotany, spalanie biomasy, związki lotne.

Właściwości jakimi charakteryzują się poszczególne ziarna pyłu zależą od rozmiarów ziaren, źródła pochodzenia pyłu, a także od formy w jakiej on występuje. Podział zaproponowany przez Fuksa [Marian 2016] zakłada podział aerozoli na dyspersyjne i kondensyjne. Pierwsze z wymienionych powstają w wyniku rozproszenia w ośrodku gazowym rozdrabnianych ziaren, które są większe niż 500 μm. Aerozole dyspersyjne charakteryzują się nieregularnym kształtem ziaren. Aerozol kondensyjny, z kolei jest skutkiem skraplania lub zestalania par.

Aerozole w zależności od wielkości ziaren dzielą się na [Marian 2016]:

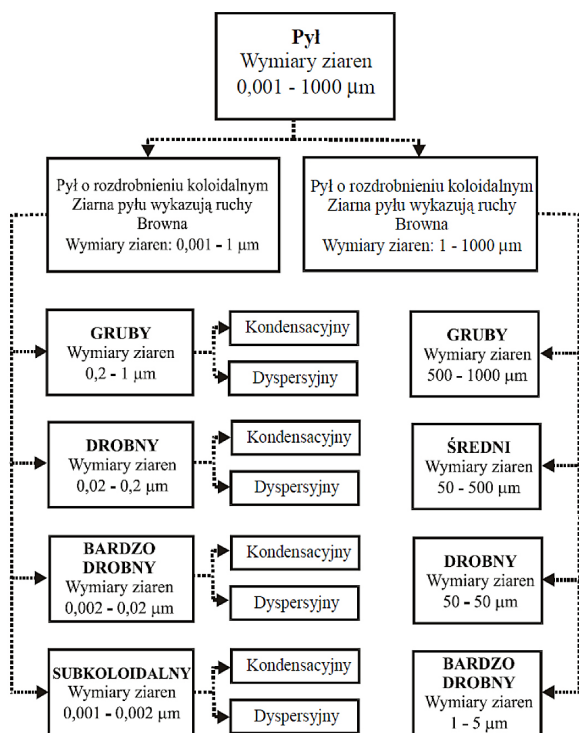
- mgłę, inaczej tuman, będący zarówno aerozolem dyspersyjnym jak i kondensacyjnym, w którym fazę rozproszoną stanowi ciecz;
- dym będący aerozolem kondensacyjnym, w którym fazą rozproszoną jest ciało stałe;
- pył, będący aerozolem kondensacyjnym, w którym fazą rozproszoną jest ciało stałe.

Z kolei Klumb [Marian 2016] dokonał podziału aerozoli uwzględniając ich pochodzenie. Zgodnie z jego podziałem mamy do czynienia z:

- aerozolami komunikacyjnymi, do których zaliczane są gazy wydechowe pojazdów mechanicznych oraz pył drogowy;
- aerozole przemysłowe;
- aerozole biologiczne.

Norma PN-64/Z-01001 klasyfikuje pyły w zależności od wielkości cząstki. Schematyczny podział przedstawia rysunek 1.

Jednym z kryteriów podziału pyłów może być również wielkość cząstek, wówczas mówimy o:



Rys. 1. Klasyfikacja pyłów zgodnie z PN-64/Z-01001
 Fig. 1. Classification of dusts according to PN-64/Z-01001

- TSP (*total suspended particulates*) – całkowity pył zawieszony,
- PM10 (*particulate matter*) – pył drobny, średnica aerodynamiczna cząstek frakcji respirabilnej jest mniejsza lub równa 10 µm, są to cząstki złożone między innymi z siarki, metali ciężkich, toksycznych dioksyn i wielopierścieniowych węglowodorów;
- PM2,5 – bardzo drobny pył, średnica aerodynamiczna cząstek pyłu zawieszonego jest mniejsza lub równa 2,5 mm, są to cząstki złożone między innymi z siarki, metali ciężkich, toksycznych dioksyn i wielopierścieniowych węglowodorów, a także węglowodory aromatyczne oraz alergeny.

Innym kryterium podziału pyłów jest sposób klasyfikacji oparty na ich oddziaływaniu na organizm ludzki [Jankowska, Więcek 2016]:

- drażniące – przypuszcza się, że nie stanowią bezpośredniej przyczyny zachorowań, jednak ich obecność potęguje szkodliwe działanie innych rodzajów pyłów, ponadto pyły, które zawierają związki wapnia, żelaza, magnezu, węgla czy gipsu mają zdolność przenoszenia bakterii chorobotwórczych,
- uczulające – stwierdzono, że przyczyniają się do takich zachorowań jak: gorączka włóknista,

nowa, chroniczny katar, dychawica oskrzelowa, jak sama nazwa wskazuje pyły te wywołują uczulenia przez co zwiększają skłonność do wystąpienia u narażonej osoby chorób zakaźnych,

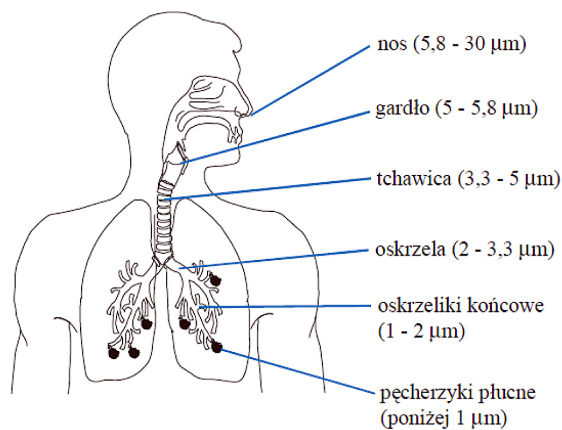
- pylicotwórcze – stanowią bezpośrednią przyczynę wystąpienia uszkodzeń zarówno anatomicznych jak i funkcjonalnych płuc, jak również pylic (szczególnie związki krzemu),
- toksyczne – po wnikięciu do organizmu ulegają rozpuszczeniu w płynie fizjologicznym, a tym samym zostają zaabsorbowane przez krew, a tym samym stanowią poważne zagrożenie zatrucia organizmu, należą tutaj: m.in. kadm, krople rtęci czy cząstki ołowiu.

Ziarna pyłku, które mają zdolność do ruchów Browna określane są jako koloidalne lub submikronalne.

ZAGROŻENIA PYŁOWE W POWIETRZU ATMOSFERYCZNYM

Cząsteczki pyłów mogą łączyć się z różnymi związkami chemicznymi, takimi jak: siarka, węglowodory aromatyczne, metale ciężkie, dioksyny, alergeny. Pył jest bardzo lekki, dzięki temu może unosić się w powietrzu i wnika bez problemu do pęcherzyków płucnych, a stamtąd dostawać się nawet do krwiobiegu. Najbardziej szkodliwy jest pył typu PM10. Miejsca przedostawania się pyłu do organizmu człowieka przedstawiono na rysunku 2.

Ziarna pyłku o większych rozmiarach powodują podrażnienia i stany zapalne spojówek oraz



Rys. 2. Układ oddechowy z zaznaczonymi rozmiarami poszczególnych elementów
 Fig. 2. Respiratory system with its indicated parts

błon śluzowych nosa i gardła. Ponadto osoby, które cierpią na choroby płuc czy serca, a także osoby starsze i dzieci odczuwają skutki narażenia na zanieczyszczenia pyłowe przez nasilenie objawów negatywnych czy złego samopoczucia, zmęczenia i problemów z oddychaniem, pogorszenia pracy serca, a także częstym zapadaniem na choroby związane z układem oddechowym [Anderson i in. 2011]. Pył wpływa również negatywnie na osoby aktywne fizycznie. Uprawianie sportu na świeżym powietrzu powoduje szybszy i głębszy oddech, a co za tym idzie wdychanie większej ilości zanieczyszczonego szkodliwego pyłu. U osób starszych podwyższony poziom zanieczyszczeń wpływa na zwiększenie potrzeby hospitalizacji, a nawet zgonu z powodu chorób płuc czy sercowo-naczyniowych. Długotrwała ekspozycja na wysokie stężenia pyłów zawieszonych w atmosferze skutkuje zwiększeniem prawdopodobieństwa wystąpienia przewlekłej zaporowej choroby płuc, a także zmniejsza sprawność i wydolność płuc u osoby poddanej szkodliwej ekspozycji [Neupane i in. 2010, Pénard-Morand i in. 2010]. Narażenie krótkotrwałe na szkodliwe stężenie pyłów może nasilać objawy chorób płuc oraz serca, głównie są to zwiększona krzepliwość płuc oraz zaburzenia rytmu [Simkhovich 2008], a także zwiększa prawdopodobieństwo infekcji górnych dróg oddechowych [Kim i in. 2011].

Związki zaabsorbowane przez pyły odznaczają się mutagennością i kancerogennością (dioksyny, związki nitrowe, metale ciężkie). Ponadto dioksyny mają zdolność do kumulacji zarówno w organizmach ludzkich jak i zwierzęcych, co może powodować zatrucia i uszkodzenia wątroby, śledziony, trzustki oraz nerek [Min i in. 2008]. Wykazują one również działanie teratogenne oraz wpływają na zakłócenie funkcji reprodukcyjnych [Edwards i in. 2010, Jędrychowski i in. 2004]. Z kolei metale ciężkie związane z pyłami zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia nowotworów, a także przyczyniają się do chorób układu nerwowego. Podwyższone stężenie pyłów ma również negatywny wpływ na zwierzęta, rośliny oraz otaczające budynki i dzieła sztuki.

Najnowsze badania Światowej Organizacji Zdrowia wskazują wyraźny związek pomiędzy PM i umieralnością już przy stężeniach niższych niż obecnie zalecane PM_{2,5} poniżej 10 µg/m³. W regionie europejskim WHO szacuje że 20% wszystkich zgonów jest spowodowane narażeniem na szkodliwe czynniki środowiska. Podwyższone stężenie PM₁₀ i PM_{2,5} w Polsce wpły-

wa na zmniejszenie oczekiwanej długości życia o około 9 miesięcy [Zrównoważone miasta... 2016, Krzyżanowski 2008].

Unia Europejska wprowadziła prawnie wiążące limity odnoszące się do emisji zanieczyszczeń powietrza. Zawarto je w Dyrektywie w sprawie jakości powietrza i czystego powietrza dla Europy 2008 r. (2008/50/WE) oraz w Dyrektywa ramowej w sprawie oceny i zarządzania jakością otaczającego powietrza z 1996 r. (96/62/WE). W Polsce obowiązuje Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [Dz. U. z 2012 r. poz. 1031].

Normy stężeń pyłu zawieszonego zalecane WHO są następujące [Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE]:

- średnie 24-godz. stężenie pyłu PM₁₀ – 50 µg/m³,
- średnie roczne stężenie pyłu PM₁₀ – 20 µg/m³, oraz 40 µg/m³ zgodnie z Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [Dz. U. z 2012 r. poz. 1031]:
- średnie 24-godz. stężenie pyłu PM_{2,5} – 25 µg/m³,
- średnie rocznego stężenie pyłu PM_{2,5} – 0 µg/m³.

Ponadto zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [Dz.U. z 2012 r., poz. 1032]:

- poziom informowania o ryzyku przekroczenia poziomu alarmowego stężenia średniego 24-godzinnego wynosi 200 µg/m³,
- poziom alarmowy stężenia średniego 24-godzinnego – 300 µg/m³,
- poziom dopuszczalny stężenia średniorocznego pyłu PN₁₀ ma być zmniejszany odpowiednio:
 - w latach 2013–2014 do wartości 26 µg/m³,
 - w roku 2015 do wartości 25 µg/m³,
 - w roku 2020 do wartości 20 µg/m³.

W Polsce normy dla PM₁₀ są ustalone na trzech poziomach:

- poziom dopuszczalny (dobowy) – 50 µg/m³,
- poziom informowania (dobowy) – 200 µg/m³,
- poziom alarmowy (dobowy) – 300 µg/m³.

W celu oceny stanu jakości powietrza na terenie Polski wyróżniono strefy:

- A – nie przekroczonego poziomu dopuszczalnego,
- B – powyżej poziomu dopuszczalnego, ale poniżej marginesu tolerancji,
- C – powyżej poziomu dopuszczalnego i marginesu tolerancji.

Przypisanie do klasy C oznacza jedynie potrzebę podjęcia działań w wybranych strefach i dla określonych zanieczyszczeń odpowiednich programów ochrony środowiska. Jeśli w ciągu 3 lat nie nastąpi poprawa wskaźników wówczas zarząd województwa jest zobowiązany do aktualizacji programu. W programie powinny zostać ujęte także działania ochronne zastosowane wobec osób wrażliwych na przekroczenie określonych parametrów, osób starszych i dzieci.

Średnie roczne stężenie zawieszony pyłu PM10 w Polsce w 2014 r. przedstawiono na rysunku 3. Wyniki zostały opracowane dla 27 stref, z czego około 59% przypisano klasę powietrza A, zaś 19 stref zaliczono do klasy C. Najwyższe stężenie pyłu odnotowano w województwach centralnej i południowej części Polski oraz w województwie pomorskim. Liczba klas powietrza zaliczanych do C w porównaniu do roku 2013 wzrosła o 2.

Główną przyczyną przekroczeń wartości dopuszczalnych są emisje w sektorze komunalno-bytowym (50% emisji w Polsce), głównie związane z ogrzewaniem budynków – stanowiące około 92% ogółu tego sektora. Transport drogowy natomiast stanowi około 9% udziału emisji PM10 (rys. 4). Sektor produkcji i transformacji energii dostarcza 10% emisji krajowej, procesy spalania w przemyśle dostarczają 8% pyłów, a procesy produkcyjne – 7%.



Rys. 3. Klasy stref opracowane na podstawie średnich rocznych stężeń pyłu PM10 w Polsce w 2014 roku [Państwowy Monitoring Środowiska, 2015]

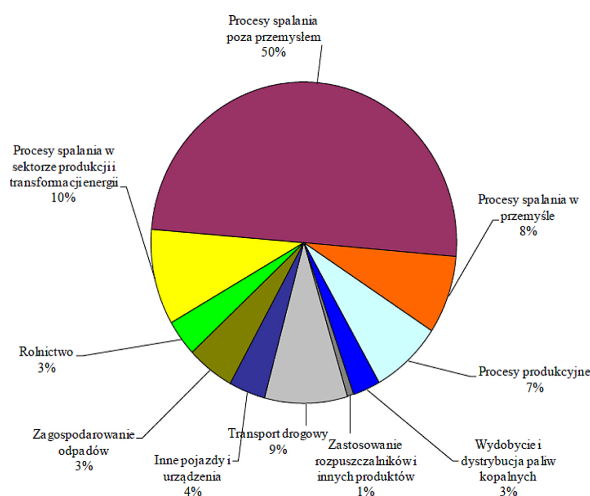
Fig. 3. Zone classes elaborated basing on average annual PM10 air dusts concentration in Poland in 2014 [State Environment Monitoring, 2015]

W ocenie średniorocznej pyłu PM2,5 oznaczono 46 stref, z czego 22 strefy (ok. 48%) zaliczono do klasy C jakości powietrza, 2 strefom przypisano klasę B, a pozostałe 22 strefy należą do klas jakości powietrza A (kujawsko-pomorskie, lubuskie, warmińsko-mazurskie, i zachodniopomorskie) – rys. 5. W porównaniu do roku 2013 odnotowano mniej o dwie strefy, które należą do klasy C.

Źródłem pyłu PM2,5 jest głównie emisja pierwotna, a mianowicie spalanie paliw w piecach grzewczych oraz transport drogowy. Wkład ma również emisja zanieczyszczeń gazowych, z których w wyniku przemian powstają cząsteczki aerozolu wtórnego PM2,5. W całkowitym bilansie emisji pyłu PM2,5 na terenie kraju, aż 51% pochodzi ze spalania paliw poza przemysłem, szczególnie w sektorze komunalno-bytowym. Transport drogowy jest źródłem 13% całkowitej krajowej emisji pyłu PM2,5, produkcja i transformacja energii – 10% oraz spalanie w przemyśle – 7% pyłu. Wkład poszczególnych sektorów w emisje PM2,5 przedstawiono na rysunku 6.

MONITORING POWIETRZA W ZAKRESIE ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ PYŁÓW

Protokół EMEP z 2004 r. wprowadził program rutynowego monitoringu zanieczyszczeń powietrza PM10 lub PM2,5 oraz składu chemicznego powietrza na stacjach badawczych na lata



Rys. 4. Udział badanych sektorów w emisji pyłu PM10 w Polsce w roku 2013 [GIOŚ 2015]

Fig. 4. Participation of studied sectors in PM10 air dust emission in Poland in 2013 [GIOŚ 2015]



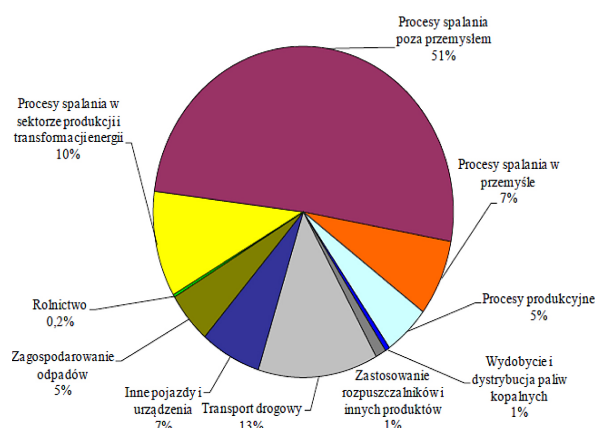
Rys. 5. Klasy stref opracowane na podstawie rocznej oceny jakości powietrza dla pyłu PM_{2,5} w Polsce w 2014 roku [Państwowy Monitoring Środowiska 2015]
Fig. 5. Zone classes elaborated basing on yearly evaluation of air quality for PM_{2,5} air dust in Poland in 2014 [State Environment Monitoring 2015]

2000-2009. Ponadto Dyrektywa 2008/50/WE nakłada konieczność pomiaru składu chemicznego pyłu PM_{2,5} również na terenie stacji pozamiejskich tła regionalnego.

Na terenie Europy dane dotyczące masowych stężeń i składu chemicznego zbierane są w programie EMEP i raportowane Komisji Europejskiej przez poszczególne państwa członkowskie, co pozwala na utworzenie ogólnodostępnej bazy danych EFA-Airbase. Wykonywanie monitoringu zanieczyszczeń powietrza jest złożonym procesem, w szczególności podczas analizy dane pomiarowych pyłu PM uzyskanych ze stacji znajdujących się na terenie różnych krajów.

Wymagany pomiar składu chemicznego PM_{2,5} jest prowadzony między innymi na stacjach znajdujących się w Austrii, Niemczech, Hiszpanii, we Włoszech, ponadto stężenia metali ciężkich są mierzone w Norwegii i Czechach. Jednakże są to często pomiary wyrzykowe, prowadzone raz w tygodniu lub w wybranych dniach miesiąca. Dużą liczbę informacji o składzie chemicznym pyłu PM dostarczają projekty badawcze oraz duże projekty infrastrukturalne, takie jak:

- European Supersites for Atmospheric Aerosol Research (EUSAAR) – zajmujący się aerozolami atmosferycznymi,



Rys. 6. Udział badanych sektorów w emisji pyłu PM_{2,5} w Polsce w roku 2013 [GIOŚ 2015]

Fig. 6. Participation of studied sectors in PM_{2,5} air dust emission in Poland in 2013 [GIOŚ 2015]

- Integrated non-CO₂ Greenhouse gas Observing System (InGOS) – badanie gazów cieplarnianych,
- Aerosols, Clouds and Trace gases Research Infrastructure Network (ACTRIS) – badanie aerozoli atmosferycznych i reaktywnych gazów prekursorowych.

Monitoring zanieczyszczeń w Polsce prowadzony jest systematycznie od 2000 roku. Zbierane informacje są jednak ciągle niewystarczające, wymagają ponadto usystematyzowania. W Polsce są cztery stacje EMEP i GAW/WMO: w Jarczewie od 1984 r., na Śnieżce od 1981 r., w Łebie od 1993 r. oraz Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka z siedzibą w Diablej Górze.

W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska stosuje się metodologię, która została określona w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystości powietrza dla Europy oraz Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu.

Przy pomiarach PM₁₀ i PM_{2,5} przez pracowników Inspekcji Ochrony Środowiska stosowane są dwie metody:

- metodę grawimetryczną, tzw. referencyjną, uznawaną za najdokładniejszą z metod pomiaru,
- metodę automatyczną, równoważną do referencyjnej.

Metoda grawimetryczna (manualna, referencyjna) polega na stosowaniu pobornika pyłowego zasysającego powietrze atmosferyczne na filtry, których znajduje się 14 sztuk w zestawie. Zmieniają się one automatycznie co 24 godziny i oznaczone są charakterystycznymi numerami identyfikacyjnymi. Filtry wymieniane są co 2 tygodnie, a przed założeniem są ważone w laboratorium. Po dobowej ekspozycji każdy z filtrów jest wyjmowany i umieszczany w specjalnym pojemniku przeznaczonym do transportu oraz ponownie dostarczany do laboratorium, gdzie ważone są po raz drugi. Stężenia pyłów są wyliczane z różnicy mas filtra przed i po eksploatacji, w porównaniu do prędkości przepływu powietrza w poborniku. Jednostką pomiaru jest $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Opisana metoda jest bardzo dokładna, ale czasochłonna.

W Europie i Stanach Zjednoczonych przedstawioną metodą oznacza się metale ciężkie [Hitzenberger i in. 2004], wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, a na 160 stanowiskach w Polsce oznacza się stężenie pyłu PM10 i na 64 stanowiskach – PM2,5.

W metodzie równoważnej wykorzystuje się mierniki automatyczne, które umożliwiają dokonywanie pomiarów na bieżąco i przesyłanie wyników do portalu Inspekcji Ochrony Środowiska i aplikacji GIOŚ „Jakość powietrza w Polsce”. Aktualizacja danych odbywa się co godzinę, a dodatkowo w celu ułatwienia porównań, wyliczane są wartości średniodobowe. Prowadzona jest ponadto weryfikacja, czyli sprawdzenie uzyskanych wartości zarówno pod względem technicznym, jak i merytorycznym. Przy pomiarach ilości zawieszonego pyłu istotne jest poznanie prawidłowych prędkości przepływu powietrza, dbałości o czystość pobranych próbek oraz równoważność wykonanych pomiarów. Weryfikacje wyników i ich ewentualną korekcję przeprowadza się na podstawie regularnych kalibracji przepływów, badania metod równoważności, a także innych zdarzeń, które mogą mieć wpływ na uzyskane wyniki.

Stosowane są następujące systemy weryfikacji wyników pomiarów stężenia pyłu zawieszonego:

- weryfikacja bieżąca – prowadzona jest od poniedziałku do piątku rano,
- weryfikacja okresowa – dokonywana jest po zakończeniu każdego miesiąca kalendarzowego,
- weryfikacja roczna – ma miejsce po zakończeniu roku kalendarzowego,
- weryfikacja krajowa – dodatkowa analiza wszystkich pomiarów przez pracowników WIOŚ.

Wielostopniowa weryfikacja wyników ma na celu zapewnienie i zagwarantowanie najwyższej jakości spójnych danych. W celu nadzorowania tego procesu powołano krajowe Laboratorium Referencyjne i Wzorujące, które w latach 2014/2015 przeprowadziło krajowe zorganizowane badania równoważności dla mierników pyłu zawieszonego. Badania prowadzono w Krakowie, Warszawie i Gdańsku. Umożliwiły one opracowanie współczynników korelacji dla danych uzyskiwanych automatycznie względem metody referencyjnej.

DZIAŁANIA ZAPOBIEGAWCZE

W sektorze komunalno-bytowym, gdzie są największe emisje pyłów do atmosfery, bardzo ważne jest podnoszenie świadomości ludzi oraz zmienianie ich nawyków związanych ze stosowaniem rodzajów paliw w piecach centralnego ogrzewania. Wprowadzane są kary za korzystanie z najbardziej emisyjnych źródeł energii, a jednocześnie dotacje na zmianę przestarzałych pieców grzewczych na nowoczesne o niskiej emisyjności zanieczyszczeń.

Kolejne działania prowadzone są w celu obniżenia ilości spalin samochodowych w miastach poprzez wspieranie i propagowanie transportu publicznego, zamiast korzystania z samochodów osobowych. Coraz częściej stanowione są strefy zakazu wjazdu samochodów osobowych oraz opłaty za wjazd na wydzielony teren miasta.

W sektorze przemysłowym należy precyzyjnie określić najlepsze dostępne technologie do stosowania w celu ograniczenia emisji pyłów. Konieczne jest ponadto powołanie niezależnych organów kontroli i nadzoru, które będą prowadziły niezapowiedziane kontrole na terenach zakładów przemysłowych podejrzanych o działania niezgodne z obowiązującymi przepisami prawa. Proponuje się także wprowadzenie nowych przepisów nakładających obowiązek stosowania odpowiednich filtrów powietrza oraz urządzeń odpylających, aby pyły nie przedostawały się do atmosfery.

PODSUMOWANIE

Pyłowe zanieczyszczenia powietrza w Polsce stanowią coraz większy problem, szczególnie w dużych aglomeracjach. Częstym zjawiskiem jest smog, z którym wiąże się zwiększe-

nie występowania alergii, nasilenie się chorób obturacyjno-płucnych, sercowych, a także występowanie nowotworów. W raporcie Najwyższej Izby Kontroli z roku 2014 podano, że w Polsce z powodu chorób związanych z zanieczyszczeniem powietrza umiera rocznie 45 tys. osób. Komisja Europejska wytoczyła Polsce w roku 2015 proces przed Trybunałem Sprawiedliwości o nadmierne zanieczyszczenie powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem pyłu zawieszonego, który stwarza duże zagrożenie dla zdrowia ludzi, a także powoduje zmiany właściwości gleb oraz obniżenie plonów roślin.

Wynika stąd konieczność modernizacji zarówno instalacji oczyszczania powietrza w przemyśle, jak i kotłów grzewczych stosowanych w sektorze komunalno-bytowym. Niezbędne jest również ustanowienie przepisów prawa wspomagających ograniczenie emisji pyłów do atmosfery z sektora transportu drogowego. Władze lokalne powinny być zobowiązane do podjęcia działań zapobiegawczych oraz stosowania odpowiednich programów edukacyjnych w szerokich kręgach społeczeństwa.

LITERATURA

1. Air quality in Europe – 2011 report. EEA, Copenhagen 2011. <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2011> [dostęp 12.07.2016].
2. Amann M., Bertok I., Cofala J., Gyarmas F., Heyes C., Klimont Z., Schöpp W., Winiwarter W. 2005. Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) Programme. Final Report. [http://www.iiasa.ac.at/rains/CAFE_files/Cafe-Lot1_FINAL\(Oct\).pdf](http://www.iiasa.ac.at/rains/CAFE_files/Cafe-Lot1_FINAL(Oct).pdf) [dostęp 12.07.2016].
3. Anderson Z.J., Hvidberg M., Jensen S.S., Ketzel M., Loft S., Sørensen M., Tjønneland A., Overvad K., Raaschou-Nielsen O. 2011. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: a cohort study. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 183(4).
4. Dear K., Ranmuthugala G., Kjellström T., Skinner C., Hanigan I. 2005. Effects of temperature and ozone on daily mortality during the August 2003 heat wave in France. *Arch. Environ. Occup. Health*, 60(4).
5. Decyzja wykonawcza Komisji 2011/850/WE z dnia 12 grudnia 2011 r. ustanawiająca zasady stosowania dyrektyw 2004/107/WE i 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do systemu wzajemnej wymiany informacji oraz sprawozdań dotyczących jakości otaczającego powietrza, Dz.U. L 335 z 17.12.2011.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/81/WE z dnia 23 października 2001 r. w sprawie krajowych poziomów emisji dla niektórych rodzajów zanieczyszczenia powietrza, Dz.U. L 309 z 27.11.2001.
7. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy, Dz. Urz. UE L 152 z 11.06.2008, str.1.
8. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2010/75/WE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola, Dz.U. L 334/17 z 17.12.2010.
9. Edwards S.C., Jedrychowski W., Butscher M., Camann D., Kieltyka A., Mroz E., Flak E., Li Z., Wang S., Rauh V., Perera F. 2010. Prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and children's intelligence at 5 years of age in a prospective cohort study in Poland. *Environ. Health Perspect*; 118(9).
10. EMEP 2004. EMEP monitoring strategy and measurement programme 2004-2009 [online] http://www.unece.org/env/lrtap/emep/Monitoring%20Strategy_full.pdf [dostęp 12.07.2016].
11. EMEP 2011. Transboundary Particulate Matter in Europe: EMEP Status Report 4/2011, edited by Yttri K.E. et al.
12. EMEP 2012. Transboundary Particulate Matter in Europe: EMEP Status Report 4/2012, edited by Yttri K.E. et al.
13. EMEP 2013a. Transboundary particulate matter in Europe. EMEP Status report 4/2013, edited by Yttri K.E. et al.
14. EMEP 2013b. Transboundary particulate matter in Europe. EMEP Status report 4/2013; edited by Aas W. et al.
15. Glinianaia S.V., Rankin J., Bell R., Pless-Mulloli T., Howel D. 2004. Particulate air pollution and fetal health: a systematic review of the epidemiologic evidence. *Epidemiology*, 15.
16. GIOŚ 2015. Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. http://www.gios.gov.pl/stansrodowiska/gios/pokaz_artykul/pl/front/stanwpolsce/srodowisko_i_zdrowie/zanieczyszczenia_powietrza [dostęp 12.07.2016].
17. WHO 2004. Health aspects of air pollution. Results from the WHO project "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe". http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0003/74730/E83080.pdf [dostęp 12.07.2016].

18. Hitzenberger R., Berner A., Galambos Z., Manenhaut W., Cafmeyer J., Schwarz J., Müller K., Spindler G., Wiedprecht W., Acker K., Hillamo R., Mäkelä T. 2004. Intercomparison of methods to measure the mass concentration of the atmospheric aerosol during INTERCOMP2000 – influence of instrumentation and size cuts. *Atmospheric Environment*, 38.
19. Inspekcja Ochrony Środowiska 2015. Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2014. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Warszawa.
20. Marian J.R. 2016. Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
21. Jankowska E., Więcek W. 2016. http://nop.ciop.pl/m6-10/m6-10_4 [dostęp 12.07.2016].
22. Jędrychowski W., Bendkowska I., Flak E., Penar A., Jacek R., Kaim I. 2004. Estimated risk for altered fetal growth resulting from exposure to fine particles during pregnancy: an epidemiologic prospective cohort study in Poland. *Environ. Health Perspect.*, 112. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1247567/pdf/ehp0112-001398.pdf> [dostęp 12.07.2016].
23. Jędrychowski W.A., Perera F.P., Maugeri U., Mroz E., Klimaszewska-Rembiasz M., Flak E., Edwards S., Spengler J.D. 2010. Effect of prenatal exposure to fine particulate matter on ventilatory lung function of preschool children of non-smoking mothers. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 24(5).
24. Katsouyanni K., Samet J.M., Anderson H.R., Atkinson R., Le Tertre A., Medina S., Samoli E., Touloumi G., Burnett R.T., Krewski D., Ramsay T., Dominici F., Peng R.D., Schwartz J., Zanobetti A. 2009. HEI Health Review Committee. Air Pollution and Health: A European and North American Approach (APHENA). *Res. Rep. Health Eff. Inst.*, 142, 5-90. <http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=518> [dostęp 12.07.2016].
25. Kim B.J., Kwon J.W., Seo J.H., Kim H.B., Lee S.Y., Park K.S., Yu J., Kim H.C., Leem J.H., Sakong J., Kim S.Y., Lee C.G., Kang D.M., Ha M., Hong Y.C., Kwon H.J., Hong S.J. 2011. Association of ozone exposure with asthma, allergic rhinitis, and allergic sensitization. *Ann. Allergy Asthma Immunol.*, 107(3).
26. Krzyżanowski M. 2008. WHO Air Quality Guidelines for Europe. *J. Toxicol. Environ. Health A.*, 71(1).
27. Neupane B., Jerrett M., Burnett R.T., Marrie T., Arain A., Loeb M. 2010. Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 181(1).
28. Min J.Y., Min K.B., Cho S.I., Paek D. 2008. Combined effects of cigarette smoking and sulfur dioxide on lung function in Koreans. *J. Toxicol. Environ. Health A.*, 71(5).
29. Państwowy Monitoring Środowiska. 2015. <http://www.gios.gov.pl/pl/stan-srodowiska/pms> [dostęp 12.07.2016].
30. Pénard-Morand C., Raheison C., Charpin D., Kopferschmitt C., Lavaud F., Caillaud D., Annesi-Maesano I. 2010. Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. *Eur. Respir. J.*, 36(1).
31. Perera F.P., Li Z., Whyatt R., Hoepner L., Wang S., Camann D., Rauh V. 2009. Prenatal airborne polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and child IQ at age 5 years. *Pediatrics*, 124(2).
32. Perera F.P., Wang S., Vishnevetsky J., Zhang B., Cole K.J., Tang D., Rauh V., Phillips D.H. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons-aromatic DNA adducts in cord blood and behavior scores in New York city children. *Environ. Health Perspect.*, 119(8).
33. Prawo ochrony środowiska, tekst jednolity, Dz.U. poz. 672 z dnia 16 maja 2016 r.
34. Rauh V.A., Horton M.K., Miller R.L., Whyatt R.M., Perera F. 2010. Neonatology and the Environment: Impact of Early Exposure to Airborne Environmental Toxicants on Infant and Child Neurodevelopment. *Neoreviews*, 11.
35. Rosenlund M., Forastiere F., Porta D., De Sario M., Badaloni C., Perucci C.A. 2009. Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren. *Thorax.*, 64(7).
36. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 sierpnia 2012 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza, Dz.U. z 2012 r. poz. 914.
37. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, Dz.U. z 2012 r. poz. 1031.
38. Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu, Dz.U. z 2012 r., poz. 1032.
39. Simkhovich BZ, Kleinman MT, Kloner RA. 2008. Air Pollution and Cardiovascular Injury Epidemiology, Toxicology, and Mechanisms. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 52(9), 719-726.
40. Sroczynski J. 1988. Wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na zdrowie ludzi. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Zakład Narodowy im. Ossolińskich we Wrocławiu.
41. Tørseth K., Breivik K., Fjaeraa A.M., Fiebig M., Hjellbrekke A.G., Lung Myhre C., Solberg S., Yttri K.E. 2012. Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and observed atmospheric composition change Turing

- 1972–2009. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 5447–5481.
42. Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, Dz.U. z 2013 r. poz. 1235, z późn. zm.
43. WHO 2006. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf, [dostęp 12.07.2016].
44. Weiland K., Neidell M., Rauh V., Perera F. 2011. Cost of developmental delay from prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *J. Health Care Poor Underserved*, 22(1).
45. Weinmayr G., Romeo E., De Sario M., Weiland S.K., Forastiere F. 2010. Short-term effects of PM₁₀ and NO₂ on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis. *Environ. Health Perspect.*, 118(4).
46. Zrównoważone miasta życie w zdrowej atmosferze, 2016. <http://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/2663-Raport-ONZ.pdf> [dostęp 12.07.2016].
47. <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>
48. <http://www.airqualitynow.eu/>
49. <http://www.gios.gov.pl/stansrodowiska/gios>
50. <http://www.who.int/en/>
51. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/>