

INSPEKCJA OCHRONY ŚRODOWISKA



Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 i PM2,5 z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych

RAPORT SYNTETYCZNY



Praca wykonana na podstawie umowy nr 39/2009/F z dnia 12.10.2009 r. z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska i sfinansowana przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy nr 147/2009/Wn-50/MN-PO-BD/D z dnia 29 kwietnia 2009 r. i aneksu nr 1/190 z dnia 31 marca 2011 r.

Zabrze, kwiecień 2011

Zleceniodawca: **Główny Inspektorat Ochrony Środowiska**
ul. Wawelska 52/54
00-922 Warszawa

Finansujący: **Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska**
i Gospodarki Wodnej
ul. Konstruktorska 3a
02-673 Warszawa

**Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$
z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł
naturalnych**

RAPORT SYNTETYCZNY

Dyrektor Instytutu-Lidera Konsorcjum:
prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska

Kierownik pracy:
dr inż. Krzysztof Klejnowski

Praca wykonana przez Konsorcjum składające się z **Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN**, **Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych**, **Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB** i **Instytutu Ochrony Środowiska PIB**, działające na podstawie umowy z dnia 10.09.2009 r., reprezentowane przez **Lidera Konsorcjum - Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN**.

W wykonanie etapu III pracy pt. „Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych”, obejmującego opracowanie raportu syntetycznego, zaangażowani byli następujący wykonawcy reprezentujący poszczególnych członków Konsorcjum:

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN:

mgr Barbara Błaszczak
mgr Jadwiga Błaszczyk
dr inż. Krzysztof Klejnowski
mgr Andrzej Krasa
inż. Patrycja Rogula
dr inż. Wioletta Rogula-Kozłowska
dr inż. Barbara Mathews

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

dr Leszek Ośródka
dr Ewa Krajny
dr Marek Wojtylak
mgr Jolanta Godłowska
mgr Monika Hajto
mgr Wiesław Kaszowski
mgr inż. Wojciech Rozwoda
mgr Anna Monika Tomaszewska

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

mgr Urszula Białoskórska
mgr inż. Henryk Bruszewski
dr inż. Anna Degórska
mgr inż. Zdzisław Prządka
dr inż. Tomasz Śnieżek
techn. Dorota Typiak-Nowak

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych:

mgr inż. Ewa Strzelecka-Jastrząb
dr Czesław Kliś
mgr inż. Katarzyna Korszun
dr Janina Fudała
mgr Józefa Krajewska
mgr inż. Krystyna Łukasik
mgr Magdalena Kwosek
mgr inż. Joanna Kubrak
mgr Monika Witoszek
technik Maria Kotuła

SPIS TREŚCI

1.	Wprowadzenie	9
2.	Omówienie wyników I etapu pracy	11
2.1.	Analiza polskich i zagranicznych dokumentów i opracowań oraz wyników badań i danych PMŚ na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$	11
2.2.	Opis i uzasadnienie lokalizacji stacji wybranych do pomiarów stężenia i składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}	13
2.2.1.	Stacja komunikacyjna.....	13
2.2.2.	Stacje tła miejskiego.....	14
2.2.3.	Stacja tła regionalnego	15
2.2.4.	Scenariusz realizacji pomiarów i badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}	15
2.3.	Wnioski z realizacji I etapu pracy	18
3.	Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych – II etap pracy	20
4.	Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych – wyniki badań prowadzonych w etapie III	24
4.1.	Analiza zmienności stężeń i składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}	26
4.2.	Analiza składu chemicznego pyłu – identyfikacja podstawowych substancji wchodzących w skład $PM_{2,5}$ i PM_{10} (dopełnienie masy)	51
4.3.	Analiza epizodów	52
4.3.1.	Analiza epizodów wysokich stężeń (IMGW)	53
4.3.2.	Identyfikacja strumieni pyłu w trakcie wybranych epizodów (IETU).....	59
4.4.	Wytyczne do monitorowania stężeń pyłu na stacjach tła dla potrzeb oceny oddziaływań naturalnych.....	67
5.	Wnioski z realizacji projektu	71
5.1.	Stężenie i skład chemiczny pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$	71
5.2.	Analiz składu chemicznego pyłu – identyfikacja podstawowych substancji wchodzących w skład $PM_{2,5}$ i PM_{10} (dopełnienie masy)	73
5.3.	Analiza epizodów	75
5.4.	Wytyczne i wnioski dotyczące monitorowania $PM_{2,5}$ dla potrzeb oceny oddziaływania źródeł i naturalnych i antropogenicznych	80
5.5.	Podsumowanie.....	83

SPIS RYSUNKÓW

- Rys. 4.1. Średnie miesięczne stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.
- Rys. 4.2. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu $PM_{2,5}$ z poziomem dopuszczalnym, w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.
- Rys. 4.3. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM_{10} w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.
- Rys. 4.4. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu PM_{10} z poziomem dopuszczalnym, w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych
- Rys. 4.5. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku
- Rys. 4.6. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku.
- Rys. 4.7. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha w 2010 roku.
- Rys. 4.8. Zależność stężeń pyłu PM_{10} od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku.
- Rys. 4.9. Zależność stężeń pyłu PM_{10} od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji komunikacyjnej w Katowicach.
- Rys. 4.10. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej.
- Rys. 4.11. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa.
- Rys. 4.12. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha.
- Rys. 4.13. Skład chemiczny pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa.
- Rys. 4.14. Skład chemiczny pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4).
- Rys. 4.15. Wiązka modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} w czasie od godz. 23:00 - 26 stycznia, do godz. 14:00 - 27 stycznia 2010 r.

SPIS TABEL

- Tabela 2.1. Zakres pomiarowy i częstotliwość pomiarów pyłu $PM_{2,5}$ (dla każdego z trzech stanowisk pomiarowych) – nie dotyczy epizodów.
- Tabela 2.2. Zakres pomiarowy i częstotliwość pomiarów pyłu PM_{10} (dla każdego z dwóch stanowisk pomiarowych) – nie dotyczy epizodów.
- Tabela 3.1. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego dla przyjętych kryteriów (wartości zaokrąglone do $1 \mu g/m^3$).
- Tabela 4.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym
- Tabela 4.2. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku.
- Tabela 4.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.
- Tabela 4.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku.
- Tabela 4.5. Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.
- Tabela 4.6. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w 2010 roku.
- Tabela 4.7. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.
- Tabela 4.8. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku.
- Tabela 4.9. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w 2010 roku oraz w sezonach grzewczym i niegrzewczym.
- Tabela 4.10. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w 2010 roku.
- Tabela 4.11. Liczba dni z potencjalnym oddziaływaniem aerozolu morskiego na obszary przybrzeżne w wyniku sztormu.

Tabela 4.12. Potencjalny wpływ na zanieczyszczenia pyłowe aerozolu naturalnego.

1. Wprowadzenie

Celem projektu, realizowanego przez konsorcjum IPIŚ PAN, IMGW, IETU, IOŚ na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, jest analiza składu chemicznego frakcji $PM_{2,5}$ i PM_{10} ¹ pyłu zawieszonego oraz ocena wpływu źródeł emisji (ze szczególnym uwzględnieniem źródeł naturalnych) na skład i stężenie $PM_{2,5}$ i PM_{10} .

Realizacja pracy podzielona została na trzy etapy, obejmujące:

- ✓ w I etapie – analizę polskich i zagranicznych dokumentów i opracowań oraz wyników badań i danych PMŚ na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$, w tym:
 - informacje na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$ w oparciu o analizę polskich i zagranicznych dokumentów, w tym materiałów EEA i programu EMEP oraz danych pochodzących z inwentaryzacji emisji, zarówno na poziomie europejskim, krajowym jak i regionalnym;
 - przegląd i analizę publikacji naukowych z zakresu badań zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym $PM_{2,5}$;
 - analizę danych Państwowego Monitoringu Środowiska w zakresie zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$;
 - wybór lokalizacji stanowisk pomiarowych jakości powietrza pod kątem pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} ,
- ✓ w II etapie – pomiary i analizy składu chemicznego pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$, w okresie od 01.01.2010 do 30.06.2010 r. na czterech stacjach monitoringu jakości powietrza wybranych w I etapie pracy,
- ✓ w III etapie:
 - pomiary i analizy składu chemicznego pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$, w okresie od 01.07.2010 do 31.12.2010 r. na czterech stacjach monitoringu jakości powietrza,
 - wykonanie dodatkowych analiz składu chemicznego pyłu dla co najmniej 5 epizodów wysokich stężeń w okresie od 01.01.2010 do 31.12.2010 r. (5 punktów pomiarowych),
 - ocenę i analizę zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem jego składu chemicznego, obejmującą:
 - analizę zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem składu pyłu,
 - analizy wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem, w tym: szczegółową analizę epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu pod kątem źródeł jego pochodzenia w powiązaniu z analizą danych meteorologicznych,

¹ Z uwagi na występowanie w literaturze naukowej i dokumentacjach co najmniej kilku różnych oznaczeń dla frakcji pyłu zawieszonego, w niniejszej pracy przyjęto jednolity, zgodny z definicją (zamieszczoną między innymi, w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy) sposób oznaczania wszystkich wskazywanych frakcji pyłu. Zasada ta nie dotyczy tytułów cytowanych prac i dokumentów, w których pozostawiono źródłowe oznaczenia i symbole.

- analizę możliwości ekstrapolacji otrzymanych wyników na podobne sytuacje w Polsce;
- opracowanie wskazówek metodycznych i organizacyjnych do prowadzenia monitoringu składu pyłu $PM_{2,5}$ na stacjach tła oraz prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych,
- opracowanie raportu końcowego, obejmującego:
 - prezentację wyników z przeprowadzonych analiz i ocen,
 - wskazówki metodyczne i organizacyjne do prowadzenia monitoringu składu pyłu $PM_{2,5}$ na stacjach tła regionalnego,
 - wytyczne prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych,
 - informacje na temat procedur zapewnienia jakości pomiarów i analiz chemicznych,
 - wnioski dotyczące składu chemicznego pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$, wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym oraz sposobu podejścia do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych,
- opracowanie raportu syntetycznego z realizacji pracy.

2. Omówienie wyników I etapu pracy

I etap pracy obejmował prace studialne w zakresie „Analizy polskich i zagranicznych dokumentów i opracowań oraz wyników badań i danych PMS na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$ ”.

W opracowanym raporcie przedstawiono w szczególności:

- ✓ *informacje na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$ w oparciu o analizę polskich i zagranicznych dokumentów w tym materiałów EEA i programu EMEP oraz danych pochodzących z inwentaryzacji emisji zarówno na poziomie europejskim krajowym jak i regionalnym;*
- ✓ *przegląd i analizę publikacji naukowych z zakresu badań zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym $PM_{2,5}$;*
- ✓ *analizę danych Państwowego Monitoringu Środowiska w zakresie zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$.*

Ponadto w oparciu o ww. analizy i wymogi zawarte w umowie dokonano wyboru lokalizacji stanowisk pomiarowych jakości powietrza pod kątem badań pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} .

2.1. Analiza polskich i zagranicznych dokumentów i opracowań oraz wyników badań i danych PMS na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$

W liczącej 158 stron monografii przedstawiono analizę dostępnych danych i publikacji krajowych i zagranicznych, dotyczących problematyki badań $PM_{2,5}$ i PM_{10} w zakresie stężeń, jak też składu chemicznego oraz analiz modelowych, związanych z identyfikacją źródeł powstawania pierwotnych i wtórnych zanieczyszczeń pyłowych.

W analizie polskich i zagranicznych dokumentów i opracowań oraz wyników badań i danych PMS na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$ wykorzystano 33 źródła informacji.

W raporcie przedstawiono szczegółowe zestawienia graficzne i tabelaryczne dotyczące następujących problemów związanych z aspektami globalnymi:

- emisja pyłu $PM_{2,5}$ w krajach europejskich,
- stężenia pyłu $PM_{2,5}$ na terenie Europy,
- skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ w Europie,
- wyniki obliczeń modelowych EMEP – stężenia i skład pyłu $PM_{2,5}$,
- epizody stężenia pyłu w Europie w latach 2006-2007.

Przegląd danych krajowych o zanieczyszczeniu powietrza pyłem $PM_{2,5}$ opracowano głównie w oparciu o raporty, wykonane w poprzednich latach w Polsce na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Przeanalizowano dostępne dane, dotyczące wielkości emisji pyłu $PM_{2,5}$ w Polsce, stężeń pyłu $PM_{2,5}$ notowanych na terenie kraju, jak również jego składu chemicznego oraz wyników modelowania stężeń pyłu na terenie kraju.

Przedstawiono informacje dotyczące:

- wielkości emisji pierwotnych,
- stężenia pyłu $PM_{2,5}$ na poziomie krajowym,
- składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$,
- wyników modelowania stężeń pyłu $PM_{2,5}$ na terenie kraju.

Przedstawiono informacje o istniejących, innych niż $PM\dot{S}$, krajowych źródłach danych, dotyczących pyłu $PM_{2,5}$.

Przegląd i analiza publikacji naukowych z zakresu badań zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym $PM_{2,5}$ ze szczególnym uwzględnieniem prac poświęconych badaniom jego składu, struktury i pochodzenia obejmował analizę 197 publikacji dotyczących:

- źródeł pochodzenia i emisji pyłu zawieszonego,
- wpływu zanieczyszczeń pyłowych na zdrowie,
- regulacji prawnych dotyczących problematyki PM ,
- monitoringu PM , w tym:
 - metod poboru próbek pyłu i wyznaczania stężeń,
 - przestrzennego rozkładu stężeń PM i lokalizacji stanowisk (punktów) pomiarowych,
- składu chemicznego pyłu w zakresie:
 - związków węgla w tym węgla pierwiastkowego (EC) i organicznego (OC),
 - wyekstrahowanych w wodzie jonów,
 - pierwiastków śladowych,
- metod wyznaczania źródeł pyłu,
- metod wyznaczania udziału źródeł naturalnych.

Ponadto przedstawiono analizę:

- wybranych badań prowadzonych na świecie,
- badań prowadzonych w ramach programu COST633,
- wybranych badań opisanych w publikacjach naukowych.

W oparciu o dostarczone przez GIOŚ dane z Państwowego Monitoringu Środowiska przeprowadzono analizę w zakresie zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$ pod kątem ich wykorzystania w realizacji przedsięwzięcia. Przeanalizowano pomiary stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w Polsce w latach 2006–2008.

Szczegółowo omówiono wyniki pomiarów stężenia pyłu $PM_{2,5}$ uzyskane na stacji Puszcza Borecka i wyniki pomiarów stężenia pyłu $PM_{2,5}$ uzyskane na stacji w Zabrze. Oceniono dostępność danych meteorologicznych, możliwość wykorzystania danych o stężeniach $PM_{2,5}$ w dalszych badaniach oraz dostępność danych pomiarowych z zakresu składu chemicznego pyłów.

Przegląd danych $PM\dot{S}$ dotyczących zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$ pozwolił na wyciągnięcie następujących, przedstawionych poniżej wniosków.

- ✓ Baza danych dotycząca pomiarów $PM_{2,5}$ w Polsce jest stosunkowo skąpa i niejednorodna. Na podstawie dotąd uzyskanych danych można jedynie dokonać wstępnej analizy ilościowej zanieczyszczenia pyłem tej frakcji.
- ✓ Analiza przebiegów czasowych (w kroku dobowym) stężeń pyłu $PM_{2,5}$ pozwala natomiast na identyfikowanie tzw. epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń tą substancją i ich analizę pod względem genezy sytuacji. W szczególności przy wykorzystaniu metod modelowania pola warunków meteorologicznych można szacować źródło pochodzenia pyłu. W tym celu należy wykorzystać jednak dane z mezoskalowych modeli pogody, a także pomocniczo dane meteorologiczne z sieci stacji naziemnych i teledetekcyjnych IMGW. Zatem dotychczas zebrane dane PMŚ mogą być wykorzystane zarówno do testowania metodyki oceny źródeł zanieczyszczeń jak też ich ekstrapolacji przestrzennej.
- ✓ Baza danych o składzie chemicznym pyłu $PM_{2,5}$ jest nad wyraz uboga i ogranicza się do niewielkiej liczby rozproszonych informacji. Nieliczne prace dotyczące składu chemicznego pyłu wykonywane na zamówienie PMŚ mają charakter wstępny i mogą w tej chwili stanowić jedynie podstawę do dalszych analiz.

2.2. Opis i uzasadnienie lokalizacji stacji wybranych do pomiarów stężenia i składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}

Wyboru lokalizacji stanowisk pomiarowych jakości powietrza, na których prowadzone będą pomiary stężenia i składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} , dokonano na podstawie przeprowadzonej analizy polskich i zagranicznych dokumentów i opracowań, dotyczących wyników badań oraz danych PMŚ na temat zanieczyszczenia powietrza pyłem $PM_{2,5}$.

W szczególności zgodnie z Umową, lokalizację stanowisk zaproponowano w trzech strefach, spełniając równolegle warunek kryterium ogólnego i wymagań szczegółowych Zamawiającego.

2.2.1. Stacja komunikacyjna

Katowice

Stanowisko pomiarów zlokalizowane w Katowicach dla potrzeb badania składu pyłu PM_{10} pod kątem występowania przekroczeń związanych z posypywaniem dróg piaskiem lub solą w okresie zimowym spełnia następujące warunki:

- jest stanowiskiem komunikacyjnym (pomiar prowadzone z uwagi na oddziaływanie transportu), spełniającym kryteria określone w rozporządzeniu MŚ z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2009 r., Nr 5, poz. 31);

- znajduje się w strefie, w której miało miejsce przekroczenie dobowej wartości dopuszczalnej pyłu PM_{10} więcej niż 35 razy, w co najmniej jednym roku kalendarzowym (2006-2008)²;
- znajduje się w sąsiedztwie ulicy (autostrada A4), która w zimie jest posypywana solą i/lub piaskiem.

2.2.2. Stacje tła miejskiego

Stanowiska pomiarów zlokalizowane w Katowicach i w Gdańsku dla potrzeb badania składu pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} w aglomeracjach i/lub miastach powyżej 100 tys. mieszkańców spełniają następujące warunki:

- są stanowiskami tła miejskiego, dla których kryteria określone są w rozporządzeniu MŚ z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2009 r., Nr 5, poz. 31); preferowano lokalizacje, w których prowadzone są pomiary pyłu $PM_{2,5}$ w celu określenia wskaźnika średniego narażenia;
- stanowiska pyłu $PM_{2,5}$ (spełniające kryteria tła miejskiego) znajdują się:
 - jedno w południowej Polsce do 52° szerokości geograficznej północnej,
 - drugie na terenie północnej Polski powyżej 52° szerokości geograficznej północnej (lokalizacja w pasie nadmorskim).

Obie wybrane stacje tła miejskiego reprezentują atmosferę miejską, nie znajdują się w bezpośredniej bliskości ruchliwej drogi (< 2500 samochodów na dobę w odległości do 50 m), ani źródeł punktowych; znajdują się w obszarze dzielnicy mieszkalnej bądź obiektów szkolnictwa średniego i wyższego (Gdańsk) otoczonej pasmami zieleni. Miejsca te spełniają warunki wymaganego oddalenia od lokalnych punktowych źródeł emisji, dróg, dużych źródeł powierzchniowych. Zapewnia to warunki meteorologiczne typowe dla obszaru badanej strefy i wymagane oddalenie od obiektów i czynników wpływających na zniekształcenie pola rozkładu wiatrów, a tym samym warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Ponadto na stacjach tych mierzony jest pył PM_{10} (na stacji Katowice od 2000 r.), co jest zgodne z warunkami prowadzenia badań tła miejskiego określonymi w załączniku do dyrektywy 2008/50/WE.

Katowice

Do pomiaru jakości powietrza pod kątem pyłu $PM_{2,5}$ została wybrana stacja pomiarowa reprezentująca tło miejskie, typ obszaru miejski, zlokalizowana przy ulicy Kossutha w Katowicach.

² wg oceny jakości powietrza GIOŚ w 2008 r. w aglomeracji górnośląskiej odnotowano następującą liczbę przekroczeń stężeń 24 h:

Katowice - 97,
Dąbrowa Górnicza - 78,
Zabrze - 108,
Gliwice - 63.

Gdańsk

Do pomiaru jakości powietrza pod kątem pyłu $PM_{2,5}$ została wybrana stacja pomiarowa zlokalizowana przy ulicy Leczkowa w Gdańsku-Wrzeszczu.

Na stacji tej w ramach projektu prowadzono pomiary stężeń i składu chemicznego pyłu PM_{10} .

2.2.3. Stacja tła regionalnego

Puszcza Borecka-Diabla Góra

Stanowisko pomiarowe pyłu $PM_{2,5}$ zlokalizowane w Puszczy Boreckiej spełnia następujące kryteria:

- jest stanowiskiem tła regionalnego;
- odległość od miast, zakładów przemysłowych oraz głównych szlaków komunikacyjnych – powyżej 15 km;
- odległość od dróg lokalnych (powyżej 50 pojazdów dziennie) – powyżej 100 m;
- odległość od dróg powyżej 500 pojazdów – powyżej 500 m;
- odległość od źródeł emisji powierzchniowej (domów ogrzewanych węglem, olejem opałowym lub drewnem) – wystarczająca, by zapobiec bezpośredniemu wpływowi emisji z tych źródeł na stężenie i skład pyłu $PM_{2,5}$ na stanowisku pomiarowym, jednak nie mniejsza niż 100 m.

W ramach realizowanego projektu przewidziano lokalizację stanowiska pomiarów regionalnego tła pozamiejskiego w rejonie Polski o niskiej antropopresji. Należąca do Instytutu Ochrony Środowiska stacja, położona w rejonie leśnictwa Diabla Góra spełnia te wymogi.

2.2.4. Scenariusz realizacji pomiarów i badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}

W ramach I etapu określono scenariusze pomiarowe.

- ✓ Badania będą prowadzone z wykorzystaniem filtrów kwarcowych (ta sama partia) o średnicy 150 mm i 47 mm (firma Whatman).
- ✓ Dla zapewnienia powtarzalnej wielkości wycinanych prób (filtry obciążone), dla potrzeb projektu wykonano dwa komplety precyzyjnych wykrojników.
- ✓ Zważone próbki aż do czasu analizy chemicznej będą przechowywane w chłodni w hermetycznych pojemnikach.
- ✓ Próbkę przeznaczoną do analiz chemicznych stanowić będą cztery części wycinane z jednego filtra pomiarowego.
- ✓ Analizy będą wykonywane co drugi dzień na przemian i będą obejmowały oznaczanie metali i jonów oraz węgla i WWA.

Zakres pomiarowy przedstawiono w tabelach 2.1. i 2.2.

Tabela 2.1. Zakres pomiarowy i częstotliwość pomiarów pyłu $PM_{2,5}$ (dla każdego z trzech stanowisk pomiarowych) – nie dotyczy epizodów.

Lp.	Zanieczyszczenie	Minimalna częstotliwość wykonywania pomiarów /analiz	Minimalna liczba wyników pomiarów dla każdego stanowiska	Częstotliwość pomiarów, która będzie realizowana przez Wykonawcę	Minimalna liczba wyników pomiarów planowana do uzyskania przez Wykonawcę dla każdego stanowiska
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.	$PM_{2,5}$	dobowa	347	dobowa	347
2.	As	maksymalnie łączone próby miesięczne	12	łączone próby miesięczne	12
3.	Ni		12		12
4.	Cd		12		12
5.	Pb		12		12
6.	Al		12		12
7.	Ti		12		12
8.	Fe		12		12
9.	benzo(a)piren		12		12
10.	benzo(a)antracen		12		12
11.	benzo(b)fluoranten		12		12
12.	benzo(j)fluoranten		12		12
13.	benzo(k)fluoranten		12		12
14.	całkowity węgiel organiczny		12		12
15.	węgiel elementarny		12		12
16.	Na^+		12		12
17.	K^+		12		12
18.	Ca^{2+}		12		12
19.	Mg^{2+}		12		12
20.	NH_4^+		12		12
21.	SO_4^{2-}		12		12
22.	NO_3^-		12		12
23.	Cl^-		12		12

Tabela 2.2. Zakres pomiarowy i częstotliwość pomiarów pyłu PM₁₀ (dla każdego z dwóch stanowisk pomiarowych) – nie dotyczy epizodów.

Lp.	Zanieczyszczenie	Minimalna częstotliwość wykonywania pomiarów/ analiz	Minimalna liczba wyników pomiarów dla każdego stanowiska	Częstotliwość pomiarów, która będzie realizowana przez Wykonawcę	Minimalna liczba wyników pomiarów planowana do uzyskania przez Wykonawcę dla każdego stanowiska
1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.	PM ₁₀	dobowa	347	dobowe	347
2.	As	maksymalnie łączone próby miesięczne	12	łączone próby miesięczne	12
3.	Ni		12		12
4.	Cd		12		12
5.	Pb		12		12
6.	Al		12		12
7.	Ti		12		12
8.	Fe		12		12
9.	benzo(a)piren		12		12
10.	benzo(a)antracen		12		12
11.	benzo(b)fluoranten		12		12
12.	benzo(j)fluoranten		12		12
13.	benzo(k)fluoranten		12		12
14.	całkowity węgiel organiczny		12		12
15.	węgiel elementarny		12		12
16.	Na ⁺		12		12
17.	K ⁺		12		12
18.	Ca ²⁺		12		12
19.	Mg ²⁺		12		12
20.	NH ₄ ⁺		12		12
21.	SO ₄ ²⁻		12		12
22.	NO ₃ ⁻		12		12
23.	Cl ⁻		12		12

Minimalny zakres pomiarowy dla analizy epizodów podwyższonych stężeń pyłu (minimum 20 epizodów)

Minimalny zakres analizy epizodów podwyższonych stężeń pyłu będzie obejmował analizę stężenia: Fe, Al, Ti, benzo(a)pirenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluorantenu, NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , węgla organicznego, węgla elementarnego. Dla pyłu $PM_{2,5}$ oraz dla pyłu PM_{10} przewidziano, że zawartość krzemionki w $PM_{2,5}$ i PM_{10} zostanie określona na podstawie stężenia oznaczanych w ramach zamówienia składników mineralnych.

W raporcie przedstawiono też proponowane metody oznaczania ww. substancji w pyłe oraz zaproponowano procedury ważenia i procedury zapewniania jakości.

2.3. Wnioski z realizacji I etapu pracy

- ✓ W raporcie z realizacji I etapu pracy przedstawiono przegląd najważniejszych (zdaniem autorów) informacji dotyczących problematyki zanieczyszczenia atmosfery pyłem $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem jego składu chemicznego i źródeł pochodzenia.
- ✓ Stwierdzono, że istnieje bogaty materiał faktograficzny związany z problematyką $PM_{2,5}$. Liczba publikacji naukowych i raportów dotyczących zagadnienia zanieczyszczenia powietrza pyłami drobnymi od roku 2000 gwałtownie rośnie, co związane jest zarówno z programem CAFE w Europie, jak też intensywnymi badaniami w zakresie $PM_{2,5}$ prowadzonymi przez grono badaczy, naukowców oraz służby monitoringu jakości powietrza w Stanach Zjednoczonych (m.in. US EPA) i na całym świecie. Warto tu wspomnieć o rosnącej aktywności krajów Azji w badaniach atmosfery. Wskazane jest powołanie stałego zespołu ekspertów do monitorowania postępu badań w zakresie problematyki $PM_{2,5}$ w celu oceny ich skutków na poziomie gospodarki krajowej, szczególności w kontekście wdrażania Dyrektywy 2008/50/WE.
- ✓ Problematyka identyfikacji naturalnych i antropogenicznych źródeł pochodzenia pyłu, jest bardzo złożona i wymaga stosowania skomplikowanego aparatu statystyczno-matematycznego w połączeniu z wynikami badań emisji i imisji.
- ✓ Stosunkowo niewielka ilość krajów korzysta z możliwości jakie stwarza Dyrektywa 2008/50/WE. Przyczyn tego należy upatrywać w braku doświadczeń i ograniczonym zakresie badań składu chemicznego $PM_{2,5}$, oraz w wysokich kosztach takich analiz.
- ✓ Doświadczenia krajowe w zakresie prowadzenia systematycznych badań $PM_{2,5}$ z wykorzystaniem metodyki referencyjnej są ograniczone. Jednak w roku 2010 należy oczekiwać istotnego wzrostu liczby punktów pomiarowych w związku z wdrażaniem programu Dyrektywy 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy.
- ✓ W oparciu o analizę stanu zanieczyszczenia powietrza, o kryteria lokalizacyjne wynikające z Dyrektywy, uwzględniając ograniczenia techniczne i logistyczne, Konsorcjum zaproponowało następujące lokalizacje stacji pomiarowych:

- Katowice: ul. Wita Stwosza 36 (nowa lokalizacja stacji dla potrzeb opracowania), stanowisko pomiarowe pyłu PM_{10} spełniające kryteria stacji komunikacyjnej, aglomeracja górnośląska PL.24.01.a.14 (PL2401);
 - Katowice: ul. Kossutha 6 (stacja WIOŚ Katowice), stanowisko pomiarowe pyłu $PM_{2,5}$ spełniające kryteria stacji tła miejskiego w aglomeracjach i/lub miastach powyżej 100 tys. mieszkańców, aglomeracja górnośląska PL.24.01.a.14 (PL2401);
 - Gdańsk: ul. Leczkowa (stacja WIOŚ Gdańsk), stanowisko pomiarowe PM_{10} spełniające kryteria stacji tła miejskiego w aglomeracji i/lub mieście powyżej 100 tys. mieszkańców, aglomeracja trójmiejska PL.22.01.a.03 (PL2201);
 - Gdańsk: ul. Leczkowa (stacja WIOŚ Gdańsk), stanowisko pomiarowe $PM_{2,5}$ spełniające kryteria stacji tła miejskiego w aglomeracji i/lub mieście powyżej 100 tys. mieszkańców, aglomeracja trójmiejska PL.22.01.a.03 (PL2201);
 - Puszcza Borecka: Diabla Góra (SKMS IOŚ Warszawa), stanowisko pomiarowe pyłu $PM_{2,5}$ spełniające kryterium stacji tła regionalnego, strefa ełckiego-węgorzewskiego PL.28.06.z.05 (PL2806).
-
- ✓ Zaproponowane lokalizacje reprezentują obszary o znacząco różnym poziomie stężeń $PM_{2,5}$ i zlokalizowane są w rejonach o odmiennym profilu emisji dominujących źródeł $PM_{2,5}$ i jego prekursorów, co winno znaleźć odzwierciedlenie w analizach składu chemicznego PM i umożliwić ekstrapolację wyników na większe obszary.
 - ✓ W obszarach o niskim poziomie stężeń przewidziano pobory prób miernikami wysokoprzepływowymi, w aglomeracji górnośląskiej – miernikami niskoprzepływowymi.
 - ✓ Pobór prób PM odbywać się będzie w cyklu 24 h z wymianą filtrów co 14 dni.
 - ✓ Analizy chemiczne poszczególnych substancji zgodnie z ustaleniami w Umowie prowadzone będą z 50% pokryciem czasowym. Przewidziano analizę próbki średniej miesięcznej (4-tygodniowej). Założono, że do analizy metali i anionów próbki pochodzą z jednego filtra, a do analizy OC i EC oraz WWA próbki również będą wzięte z jednego filtra (naprzemiennie co drugi dzień).
 - ✓ Rozpoczęcie pomiarów zaplanowano w dniu 1.01.2010 r. Pomiarów będą prowadzone do 31.12.2010 r.

3. Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych – II etap pracy

W II etapie pracy, w okresie od 01.01.2010 do 30.06.2010 r., prowadzono pomiary stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ oraz analizy ich składu chemicznego, na czterech stacjach monitoringu jakości powietrza wybranych w I etapie.

Ponadto wykonano dodatkowe analizy składu chemicznego pyłu dla wybranych epizodów w sezonie zimowym w 4 punktach pomiarowych.

Przygotowanie filtrów do pomiarów i wyznaczanie stężeń $PM_{2,5}$ i PM_{10} prowadzono w laboratorium grawimetrycznym IPIŚ PAN. Analizy chemiczne wykonywano w laboratorium IETU (WWA i metale), oraz IPIŚ PAN (jony oraz analizę OC/EC).

Równoległe z pomiarami w IMGW prowadzono dokumentację warunków meteorologicznych dla potrzeb analiz przewidzianych w III etapie pracy.

Zgodnie z warunkami dla sprawozdania z II etapu przedstawiono zbiór danych stanowiących wyniki pomiarów pyłu oraz wyniki badań składu chemicznego pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ w wybranych regionach kraju za okres od 01.01.2010 do 30.06.2010 r..

W załączniku nr 1 do raportu z II etapu projektu przedstawiono zasady wyboru epizodów wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ dla potrzeb analizy stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych.

Stwierdzono, że identyfikacja epizodów wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ powinna przebiegać w oparciu o współistnienie dwóch czynników:

- odpowiednio wysokich stężeń zanieczyszczeń (np. przekraczających poziom dopuszczalny),
- współistnienie zespołu czynników meteorologicznych odpowiedzialnych za wysokie stężenia zanieczyszczeń.

Z uwagi na zróżnicowanie lokalizacji i charakteru stacji oraz ocenione w oparciu o analizę zagospodarowania terenu i charakterystykę pola emisji, potencjalnie odmienne czynniki wpływające na występowanie epizodów, kryteria i procedury ich wyboru opracowano dla każdej lokalizacji.

Z uwagi na konieczność niezwłocznego poddania analizie chemicznej próbek z danego okresu pomiarowego, stosowanie kryteriów epizodów wielkoobszarowych wykracza poza możliwości i dane będące w posiadaniu wykonawców projektu.

Ze względu na zróżnicowane wielkości stężenia zanieczyszczeń w poszczególnych badanych miejscach nie zdecydowano się na określenie jednego progu, od którego kwalifikowano by sytuacje do dalszej analizy. Z kolei ze względu na fakt zbyt małej próbki danych nie wykorzystano także kryterium statystycznego (np. percentyla rozkładu) dla tych celów.

W zamian za to, do dalszej analizy epizodów ze względu na kryterium stężenia zanieczyszczeń przyjęto:

Puszcza Borecka – Diabla Góra – stanowisko tła regionalnego

- stężenie pyłu $PM_{2,5} > 30 \mu g/m^3$ oraz kierunek napływu mas powietrza z północnego zachodu (prawdopodobny wpływ aerozolu morskiego),
- stężenie pyłu $PM_{2,5} > 30 \mu g/m^3$ (różne pochodzenie pyłu),
i dodatkowo:
- ewentualne porywanie cząstek gleby w warunkach suszy i silnego wiatru ($v > 10$ m/s),
- ewentualny wpływ Puszczy Boreckiej – przy silnym wietrze ($v > 10$ m/s) w okresie pylenia drzew – fragmenty cząstek pyłków.

Gdańsk Wrzeszcz – ul. Leczkowa – stanowisko tła miejskiego (w przypadku braku danych stacje sąsiednie)

- stężenie dobowe $PM_{10} > 50 \mu g/m^3$, dodatkowo identyfikowany na podstawie różny wiatru napływ znad morza, stężenie $PM_{2,5} > 30 \mu g/m^3$.

Katowice – ul. S. Kossutha – stanowisko tła miejskiego (w przypadku braku danych: Gliwice, Zabrze, Bytom, Chorzów)

- stężenie dobowe $PM_{2,5} > 100 \mu g/m^3$, stężenie dobowe $PM_{10} > 150 \mu g/m^3$.

Katowice - ul. W. Stwosza - stanowisko komunikacyjne

- stężenie $PM_{10} > 150 \mu g/m^3$, a także podane przez operatora autostrady okresy, gdy stosowano środki chemiczne na drodze.

Występowanie wysokich stężeń zanieczyszczeń pyłowych, szczególnie w chłodnej porze roku spowodowane jest warunkami meteorologicznymi.

Warunki meteorologiczne oddziałują na poziom stężeń zanieczyszczeń dwójako:

- poprzez „sterowanie” emisją,
- poprzez wpływ na warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Pod pojęciem „sterowania” emisją rozumiany jest wpływ warunków meteorologicznych, głównie termicznych, na długość i natężenie sezonu grzewczego, intensywność ruchu samochodowego, itp.

Spośród tych czynników największe znaczenie ma prędkość i kierunek wiatru. Prędkość wiatru decyduje o tempie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, zaś kierunek wiatru odpowiada za trasę ich transportu.

Dotychczasowe doświadczenia związane z identyfikacją epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń wykazały, że sytuacje takie związane są z zespołem czynników meteorologicznych, z których najważniejsze znaczenie mają:

- układ wysokiego ciśnienia atmosferycznego,

- średnia dobową temperaturę powietrza $< 5^{\circ}\text{C}$,
- średnią dobową prędkość wiatru $< 3 \text{ m/s}$,
- kierunek wiatru,
- średnią dobową wilgotność powietrza $> 85\%$,
- brak opadu atmosferycznego.

Wymienione kryteria meteorologiczne nie są sztywne i przy zakwalifikowaniu dnia do sytuacji z epizodem wysokich stężeń zanieczyszczeń wymagają dodatkowego opracowania, które zawierać będzie:

- analizę sytuacji synoptycznej na podstawie mapy synoptycznej dolnej (typ cyrkulacji),
- analizę przebiegu warunków meteorologicznych z pobliskich stacji meteorologicznych IMGW i stacji monitoringowych ze szczególnym uwzględnieniem róży wiatru (identyfikacja napływów bliższych lub warunków lokalnych),
- analizę trajektorii wstecznych celem identyfikacji napływów z dalszych źródeł, w tym transgranicznych.

Poniżej w tabeli 3.1 zamieszczono listę epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego frakcji PM_{10} i $PM_{2,5}$ zarejestrowanych w okresie od 01 stycznia do 30 czerwca 2010 roku dla pięciu stanowisk pomiarowych, na których prowadzone były pomiary składu chemicznego pyłu dla potrzeb realizacji niniejszej pracy, zgodnie z powyżej opisanymi kryteriami. Analizę chemiczną wykonano dla epizodów wyróżnionych podkreśleniem, zaznaczono też najwyższe wartości poprzez pogrubienie.

Tabela 3.1. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego dla przyjętych kryteriów (wartości zaokrąglone do $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Data	Stacja pomiarowa				
	Katowice ul. W. Stwosza	Katowice ul. S. Kossutha	Gdańsk ul. Leczkowa		Puszcza Borecka Diabla Góra
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM _{2,5}
	stężenie 24-godz. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
	> 150	> 100	> 50	> 30	> 30
Analiza chemiczna epizodów	6/10 przypadków		11/16 przypadków		9/9 przypadków
05-01-2010	-	-	-	-	<u>39</u>
06-01-2010	-	-	<u>50</u>	<u>41</u>	-
07-01-2010	214	<u>152</u>	<u>75</u>	<u>62</u>	<u>40</u>
08-01-2010	<u>152</u>	<u>147</u>	-	-	<u>69</u>
15-01-2010	-	-	<u>54</u>	<u>41</u>	-
19-01-2010	<u>170</u>	<u>108</u>	<u>50</u>	<u>36</u>	-
25-01-2010	<u>211</u>	124	<u>144</u>	<u>114</u>	<u>47</u>

Data	Stacja pomiarowa				
	Katowice ul. W. Stwosza	Katowice ul. S. Kossutha	Gdańsk ul. Leczkowa		Puszcza Borecka Diabla Góra
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM2,5
	stężenie 24-godz. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]				
	> 150	> 100	> 50	> 30	> 30
26-01-2010	<u>206</u>	<u>199</u>	<u>116</u>	<u>93</u>	<u>37</u>
27-01-2010	<u>319</u>	<u>229</u>	-	-	<u>37</u>
01-02-2010	140	<u>87</u>	-	-	-
02-02-2010	-	-	-	-	<u>49</u>
08-02-2010	-	-	105	<u>82</u>	-
09-02-2010	<u>159</u>	126	<u>112</u>	<u>89</u>	<u>47</u>
10-02-2010	-		<u>113</u>	<u>92</u>	-
16-02-2010	168	129	74	55	-
17-02-2010	-	-	60	46	-
18-02-2010	-	-	75	57	-
19-02-2010			<u>77</u>	54	<u>58</u>
25-02-2010	168	114			
26-02-2010			89	61	
11-03-2010			<u>72</u>	<u>54</u>	
31-03-2010			<u>58</u>	<u>42</u>	

Przedstawione w tabeli 3.1, epizody wyczerpują zakres przewidziany do analizy przypadków wysokich stężeń. Brak gwarancji, że w drugiej połowie roku wystąpią sytuacje spełniające ww. kryteria i możliwe będzie wykonanie pełnego zakresu analizy modelowej uznano więc za celowe skoncentrowanie się na ww. przypadkach przy realizacji III etapu pracy (w zakresie analizy studialnej).

4. Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych – wyniki badań prowadzonych w etapie III

Zakres prowadzonych prac:

- 1) Kontynuacja pomiarów i analiz składu chemicznego pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$, w okresie od 01.07.2010 do 31.12.2010 r., na czterech stacjach monitoringu jakości powietrza wybranych w I etapie pracy.
- 2) Wykonanie dla każdego z 3 stanowisk pomiarowych pyłu $PM_{2,5}$ oraz dla stanowiska pomiarowego pyłu PM_{10} spełniającego kryteria stanowiska tła miejskiego, wybranych w I etapie pracy, dodatkowych analiz składu chemicznego pyłu dla co najmniej 5 epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu, które miały miejsce w okresie od 01.01.2010 do 31.12.2010, pod kątem źródeł jego pochodzenia ze szczególnym uwzględnieniem przypadków spowodowanych potencjalnym wpływem źródeł naturalnych (analiza minimum 20 epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu).
- 3) Ocena i analiza zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem jego składu chemicznego obejmująca:
 - analizę zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem składu pyłu;
 - analizy wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem, w tym szczegółową analizę epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu pod kątem źródeł jego pochodzenia w powiązaniu z analizą danych meteorologicznych;
 - analizę możliwości ekstrapolacji otrzymanych wyników na podobne sytuacje w Polsce;
 - opracowanie wskazówek metodycznych i organizacyjnych do prowadzenia monitoringu składu pyłu $PM_{2,5}$ na stacjach tła regionalnego zgodnie z dyrektywą 2008/50/WE oraz prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych w oparciu o przeprowadzone analizy, wyniki pomiarów, doświadczenia zdobyte podczas realizacji zamówienia oraz wnioski z realizacji niniejszego zadania;
- 4) Opracowanie raportu końcowego zawierającego:
 - prezentację wyników z przeprowadzonych analiz i ocen,
 - wskazówki metodyczne i organizacyjne do prowadzenia monitoringu składu pyłu $PM_{2,5}$ na stacjach tła regionalnego zgodnie z dyrektywą 2008/50/WE oraz prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych, a także informacje na temat procedur zapewnienia jakości pomiarów i analiz chemicznych oraz wnioski dotyczące składu chemicznego pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$, wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym oraz sposobu podejścia do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych.
- 5) Opracowanie raportu syntetycznego z realizacji pracy „Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych”.

Metodyka:

Pomiary stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ prowadzono metodami referencyjnymi:

- dobowy pobór prób w cyklu 24 h ze zmianą filtrów o godzinie 00:00.
- oznaczanie masy metodą grawimetryczną.

Zakres analiz chemicznych i stosowane metodyki:

Dla średnich miesięcznych próbek pobranych 2 frakcji pyłów, zakres analizy obejmował następujące substancje:

- metale: **As, Ni, Cd, Pb, Al, Ti, Fe**;
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne: **benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten**;
- aniony: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ ;
- kationy: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- ;
- formy związków węgla: **węgiel organiczny (OC), węgiel elementarny (EC)**.

Zakres badań dla epizodów obejmował oznaczanie następujących substancji:

- metale: **Al, Ti, Fe**;
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne: **benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten**;
- aniony: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ ;
- kationy: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- ;
- formy związków węgla: **węgiel organiczny (OC), węgiel elementarny (EC)**.

Szczegółowy opis metodyk analitycznych przedstawiono w raporcie z II etapu i w raporcie końcowym.

Analizy studialne:

Analizy studialne obejmowały:

- opracowanie statystyczne i graficzne wyników pomiarów stężeń oraz analiz składu chemicznego pyłu,
- analizy profilu chemicznego pyłu dla $PM_{2,5}$ i PM_{10} ,
- analizę skupień (statystyczna analiza podobieństw składu chemicznego w sytuacjach ekstremalnych i próbkach miesięcznych),
- analizy synoptyczne,
- modelowanie matematyczne – trajektorie wsteczne,
- analizę danych literaturowych aktów prawnych.

Poniżej przedstawiono podsumowanie wyników badań w ramach poszczególnych zadań.

4.1. Analiza zmienności stężeń i składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}

W roku 2010 prowadzono pomiary $PM_{2,5}$ w trzech lokalizacjach charakteryzujących się odmienną strukturą emisyjną, warunkami klimatycznymi i charakterem. Badania prowadzono:

- na stacji tła miejskiego w aglomeracji górnośląskiej (obszar o wysokiej antropopresji związanej z przemysłem, energetyką opartą na węglu, w rejonie o dużym zaludnieniu – ponad 3 miliony mieszkańców – związek metropolitalny, w strefie narażonej na transgraniczne przenoszenie zanieczyszczeń z rejonu północnych Czech – o analogicznej jak Śląsk sytuacji emisyjnej, uznawanych za hot spot w Europie);
- na stacji tła miejskiego w Gdańsku (duża aglomeracja miejska, w obszarze oddziaływania przemysłu, transportu drogowego, morskiego, w obszarze oddziaływania klimatu morskiego, narażona na adwekcję zanieczyszczeń z centralnej i południowej części kraju, gdzie koncentruje się przemysł energetyczny bazujący na węglu kamiennym i brunatnym);
- na stacji tła regionalnego (krajowego) w Diablej Górze (obszar rolniczo-leśny, o niskiej antropopresji, spełniający kryteria stacji tłowej EMEP).

Ponadto prowadzono pomiar stężeń PM_{10} w dwóch lokalizacjach:

- na stacji tła miejskiego w Gdańsku,
- na stacji komunikacyjnej w Katowicach.

W okresie prowadzenia pomiarów 1.01. 2010 r. – 31.12.2010 r. pobrano następującą liczbę próbek dobowych PM_{10} i $PM_{2,5}$:

- ✓ Diabla Góra – tło regionalne ($PM_{2,5}$) – 365 próbek (100% pokrycie czasu pomiarowego, 98,1% ważnych danych – 358 dni);
- ✓ Gdańsk – tło miejskie ($PM_{2,5}$) – 358 próbek (98,1% pokrycie czasu pomiarowego, 95,9% ważnych danych – 350 dni);
- ✓ Katowice – tło miejskie ($PM_{2,5}$) – 356 próbek (97,5% pokrycie czasu pomiarowego, 92,1% ważnych danych – 336 dni);
- ✓ Gdańsk – tło miejskie (PM_{10}) – 363 próbek (99,5% pokrycie czasu pomiarowego, 98,1% ważnych danych – 358 dni);
- ✓ Katowice – stacja komunikacyjna (PM_{10}) – 358 próbek (98,1% pokrycie czasu pomiarowego, 94,8% ważnych danych – 346 dni).

Analizę statystyczną uzyskanych wyników stężeń pyłu oraz statystyki miesięcznych zmienności stężeń badanych substancji zawartych w pyłe przedstawiono w tabelach 4.1-4.10, kolejno dla każdej stacji pomiarowej.

Stwierdzono występowanie przekroczeń dopuszczalnych poziomów stężeń $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach. W Gdańsku i w Diablej Górze stężenia roczne $PM_{2,5}$ nie przekroczyły poziomu $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

W przypadku stężeń PM_{10} , w Gdańsku wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej liczby dni z przekroczoną wartością dobową. Na stacji komunikacyjnej w Katowicach przekroczenia

dotyczyły zarówno liczby dni z przekroczoną dopuszczalną wartością 24 h, jak też stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego stężenia średniorocznego.

Wyniki pomiarów stężeń oraz analizy składu chemicznego ilustrują podstawowe (typowe) problemy wynikające z obecnej struktury emisyjnej w kraju. Wyniki te obrazują jednocześnie stan świadomości ekologicznej, poziom i efektywność zarządzania jakością powietrza w skali lokalnej i globalne podejście do problematyki ochrony powietrza.

Analiza przebiegów zmienności stężeń w badanych punktach ilustruje charakterystyczne czynniki wpływające na stężenie $PM_{2,5}$ w kraju. Charakter zmienności stężeń ilustruje roczny cykl zmienności temperatur i powiązaną z nim emisję z energetycznego spalania rzutującą w decydujący sposób na poziom stężeń. Różnice stężeń wynikają z odległości od pierwotnych, źródeł emisji i uzależnione są od koncentracji niskich emitatorów.

Maksymalne stężenia występują w obszarze aglomeracji górnośląskiej o największej emisji, stężenia w aglomeracji trójmiejskiej są o połowę niższe, w stacji tła regionalnego stanowią ok. $\frac{1}{4}$ stężeń notowanych na Śląsku (rysunek 4.1). W obszarze Śląska odnotowano znaczące przekroczenie poziomu dopuszczalnego $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O wysokości stężeń średniorocznych we wszystkich lokalizacjach decyduje sezon zimowy (grzewczy) – rysunek 4.2.

Podobnie jak dla $PM_{2,5}$ stężenia PM_{10} , mierzone na przeciwległych krańcach kraju wykazują analogiczny cykl roczny, skorelowany ze zmiennością warunków termicznych i związaną z nimi emisją ze spalania paliw w celach grzewczych.

Przedstawione na rysunku 4.3 przebiegi średnich miesięcznych stężeń PM odzwierciedlają główne problemy zarządzania jakością powietrza w odniesieniu do PM_{10} . W obszarze Polski południowej występuje najczęściej sytuacja przekraczania normy rocznej w powiązaniu z naruszeniem dopuszczalnej liczby dni z przekroczeniem wartości dobowej. Jest to efektem kumulowania wysokiej emisji komunalnej, związanej ze spalaniem, dostępnego w tym rejonie niskogatunkowego węgla i innych paliw generujących emisję PM_{10} oraz niekorzystnych warunków klimatycznych, związanych z występowaniem sytuacji stagnacyjnych na dużych obszarach (rejonu górskich dolin, Wyżyny Śląskiej, Małopolski itp.).

W obszarze Polski centralnej, o wyższym indeksie przewietrzania, lepszej dostępności do paliw gazowych oraz większym rozproszeniu zabudowy i mniejszej koncentracji przemysłu, występuje problem liczby dni z przekroczoną normą dla PM_{10} . Wynika to bezpośrednio z warunków klimatycznych w okresie chłodnej pory roku (liczba dni z niską temperaturą). Stosowanie paliw kopalnych, węgla brunatnego w centralnej Polsce, drewna i węgla kamiennego do opalania zasobów komunalnych skutkuje przekroczeniami stężeń dobowych. Na emisje z energetycznego spalania, nakłada się wysokie tło regionalne i emisja komunikacyjna. Efektem są odnotowywane przekroczenia poziomów dobowych, co z powodu występowania długich okresów zimnych skutkuje naruszeniem standardów.

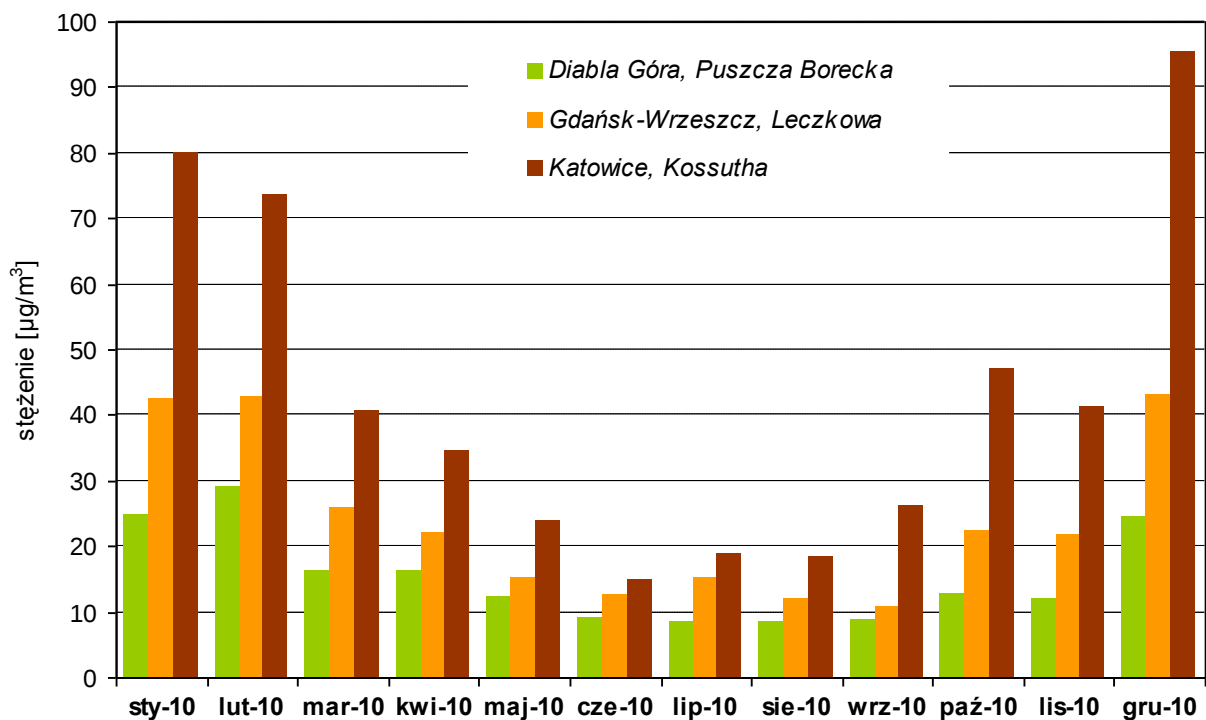
Na rysunkach 4.5-4.9 przedstawiono zmienność stężeń dobowych w funkcji parametrów meteorologicznych. We wszystkich rozpatrywanych lokalizacjach uwidacznia się odwrotna zależność stężeń od temperatury, widoczne są też efekty oczyszczania powietrza z pyłów w przypadku występowania opadów atmosferycznych. Jak wspomniano wcześniej wysokość stężeń związana jest z lokalizacją, z której wynika narażenie na emisję niską spowodowaną strukturą użytkowania energii i oddziaływanie wtórnych zanieczyszczeń – tło powodowane przez wtórny aerozol nieorganiczny.

Przeprowadzone badania składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} wykazały małe jego zróżnicowanie. Wyniki świadczą o zdecydowanie antropogenicznym pochodzeniu pyłów. W składzie pyłu $PM_{2,5}$ dominują składniki emisji pierwotnej: związki węgla, w tym pierwiastki typowe dla popiołów lotnych, metale ciężkie, WWA. Stwierdzono znaczący udział wtórnego aerozolu nieorganicznego, siarczanów i azotanów oraz związków amonowych. Udział frakcji mineralnej w $PM_{2,5}$ jest ograniczony – zakres badań (powiązany z obowiązującymi normami) nie pozwala w pełni zidentyfikować wszystkich składników $PM_{2,5}$. W tym celu wymagane są badania pełnego profilu pierwiastkowego np. metodą XRF (ponad 40 pierwiastków), które pozwalają na konstrukcję pełnego profilu chemicznego – odpowiadającego profilom stosowanych, uznanych w świecie modelach receptorowych (do identyfikacji źródeł pochodzenia PM).

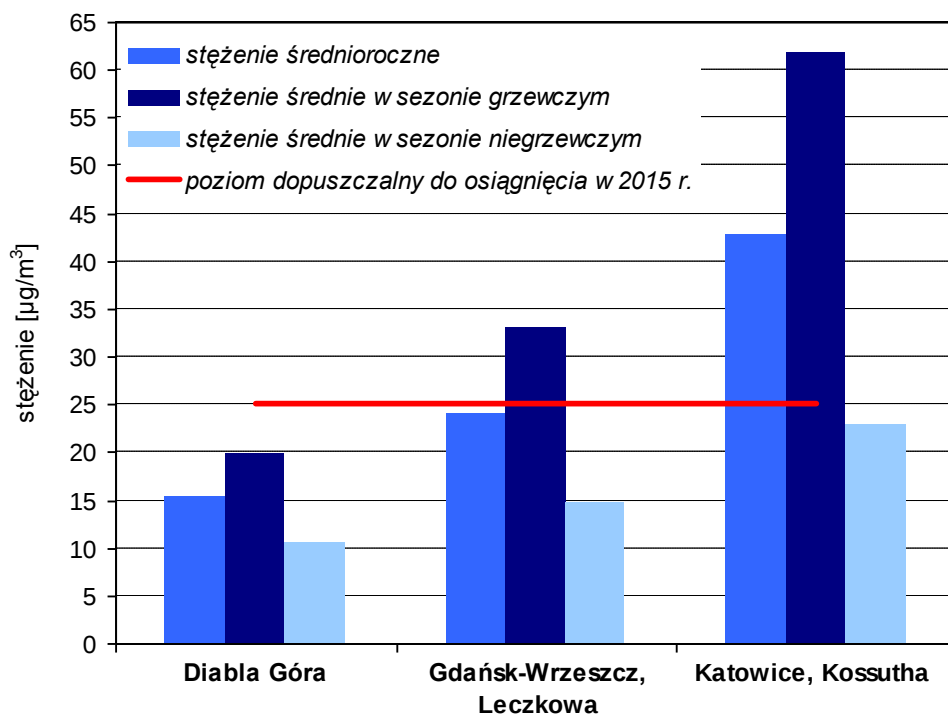
Stwierdzone różnice stężeń analizowanych substancji wynikają raczej ze stężeń PM niż ze specyfiki lokalnej. Specyfiki tej nie da się zidentyfikować prawidłowo w systemie analizy próbek miesięcznych. Chcąc sprostać wymogom KE w zakresie identyfikacji źródeł naturalnych konieczne jest dokumentowanie dobowych zmian składu chemicznego (w przypadku aerozolu morskiego). Podobnie, dla oddziaływań bliskich – emisja z erozji – konieczne są badania równoległe $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz oznaczanie w nich składników mineralnych charakterystycznych dla gleb w obszarze oddziaływania. Jak wynika z przeprowadzonych badań emisja naturalna w okresie udokumentowanych przekroczeń jest pomijalna.

Odjęcie udziału chlorków w stacji komunikacyjnej nie wpłynie istotnie na średnią roczną jak też na dobową – w Katowicach trudno jest wydzielić chlorki ze spalania od chlorków z zimowego utrzymania dróg. Dla KE niezbędne jest opracowanie bardzo precyzyjnych metod oceny z oceną niepewności włącznie.

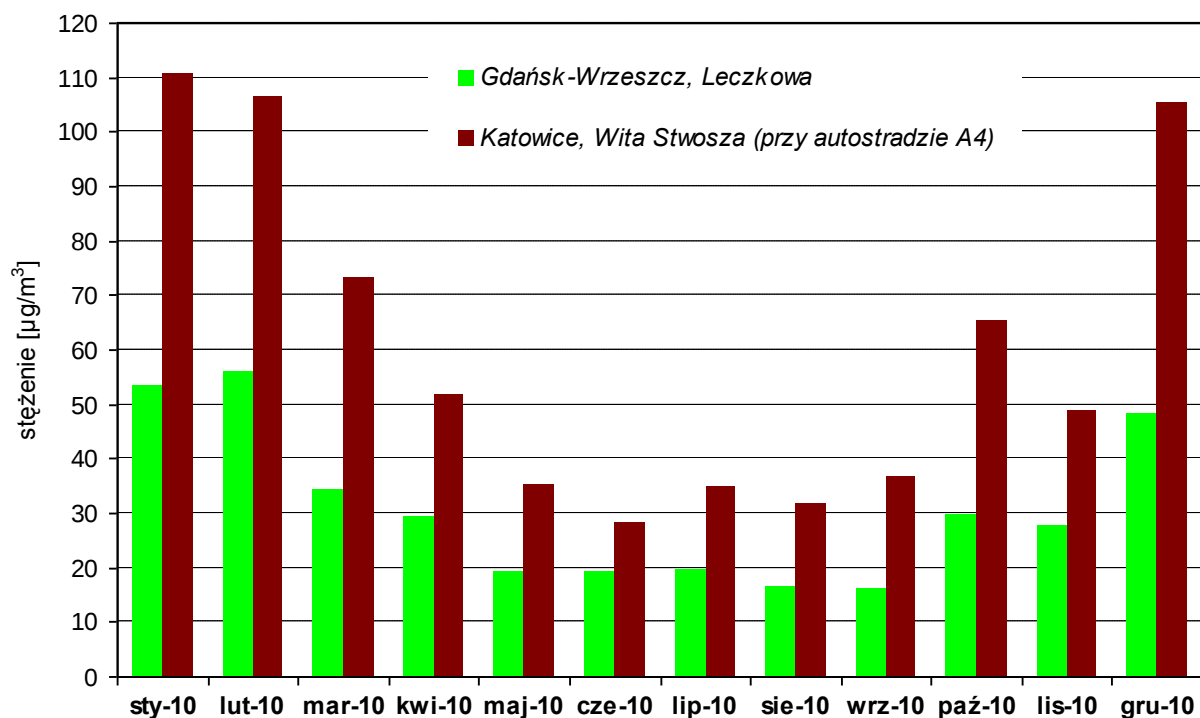
Jedynie w obszarach nadmorskich można oczekiwać wysokiego prawdopodobieństwa oddziaływania aerozolu morskiego, jednak sytuacje adwekcji z obszarów Morza Północnego związane są z bardzo niskim poziomem stężeń (w obszarze GOP występują wtedy stężenia rzędu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), zatem odjęcie udziału aerozolu morskiego nie da spodziewanych efektów w zakresie ograniczenia stężenia średniorocznego czy też liczby epizodów.



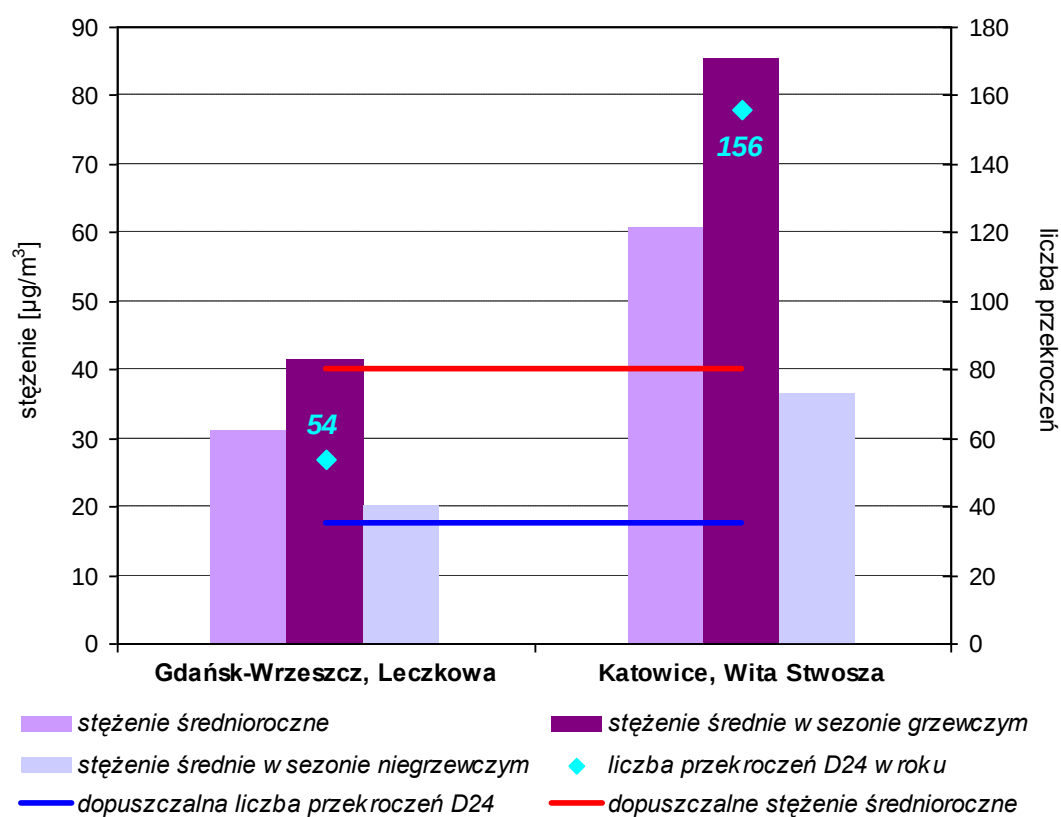
Rys. 4.1. Średnie miesięczne stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.



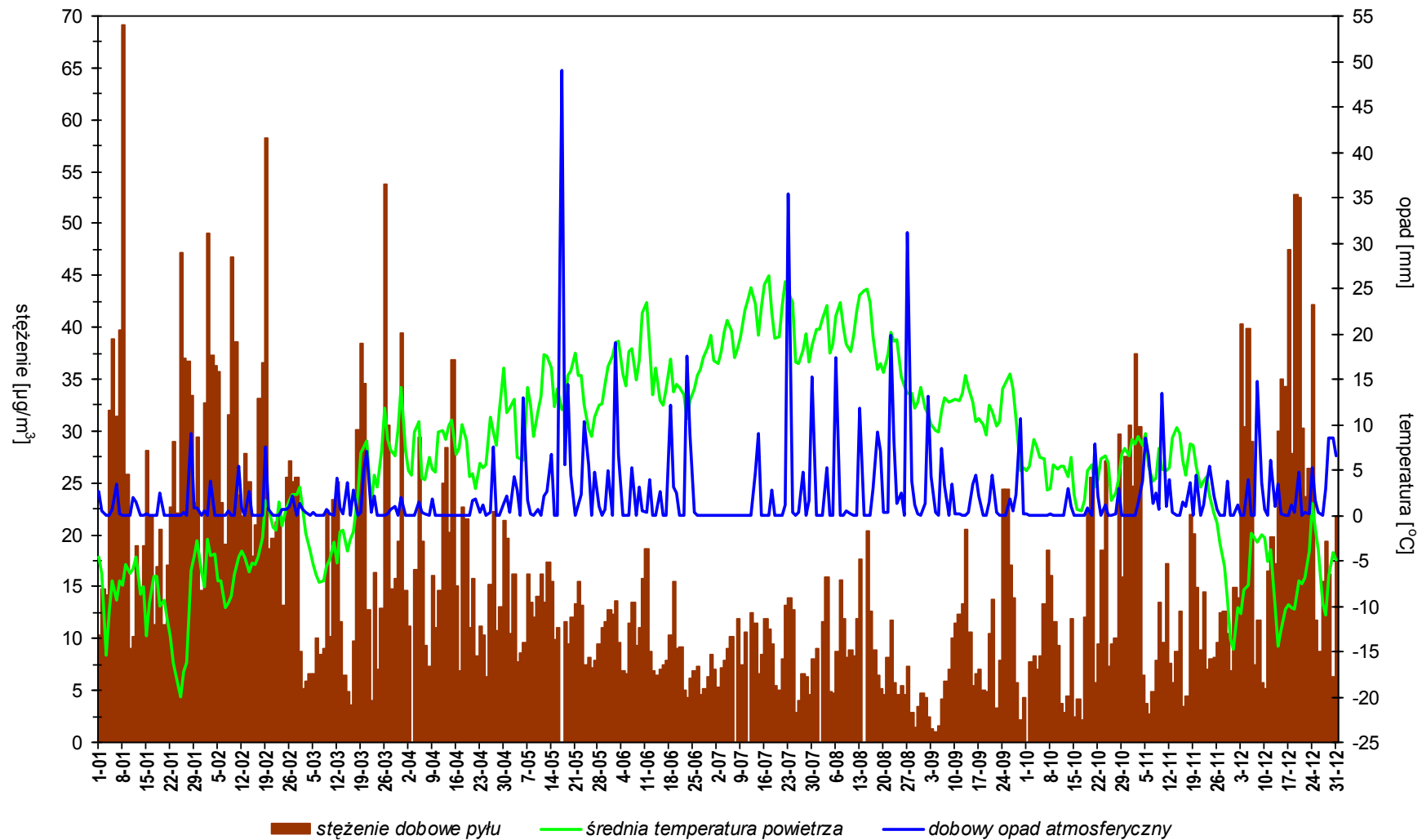
Rys. 4.2. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu $PM_{2,5}$ z poziomem dopuszczalnym, w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.



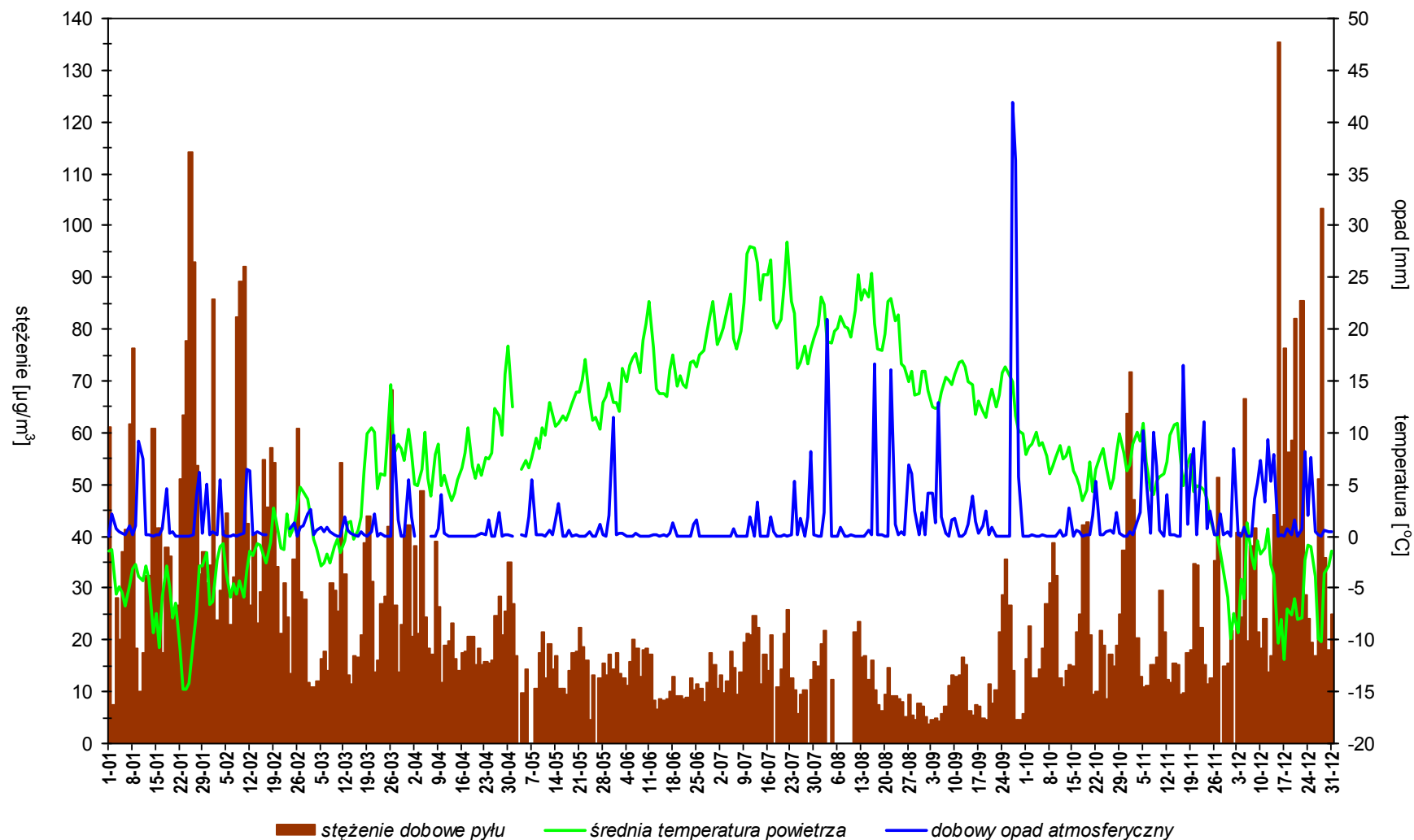
Rys. 4.3. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM_{10} w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.



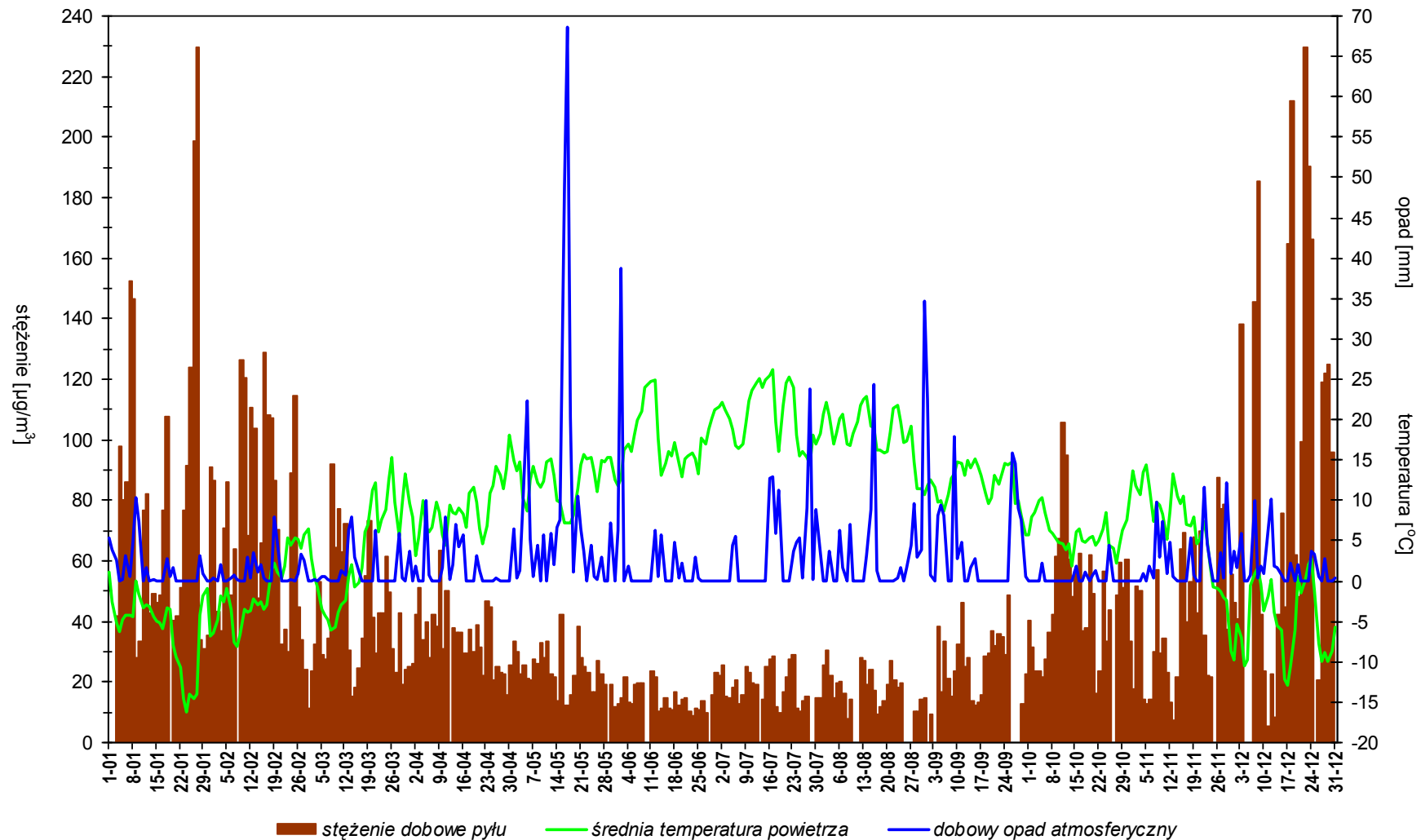
Rys. 4.4. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu PM_{10} z poziomem dopuszczalnym, w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych.



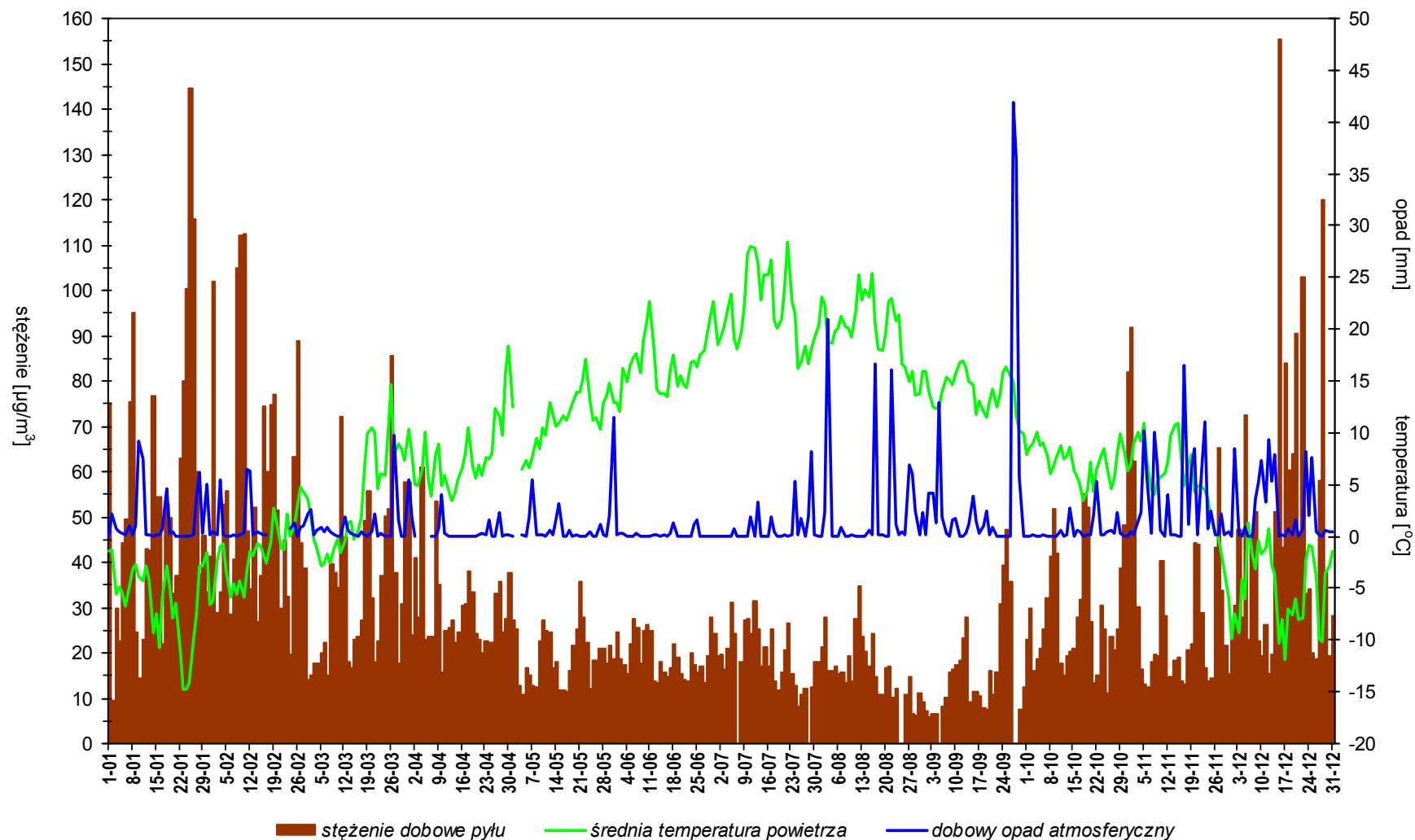
Rys. 4.5. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku.



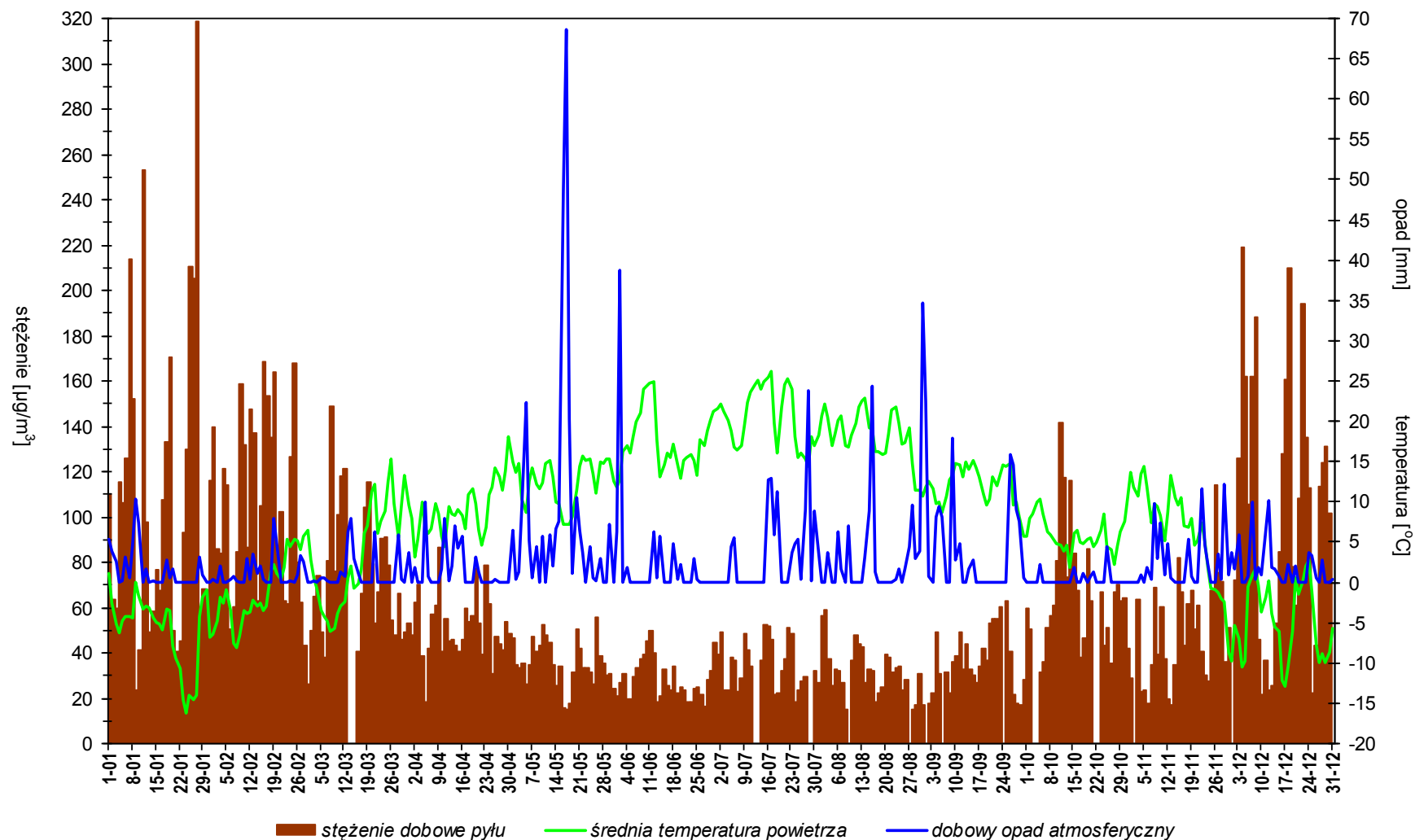
Rys. 4.6. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku.



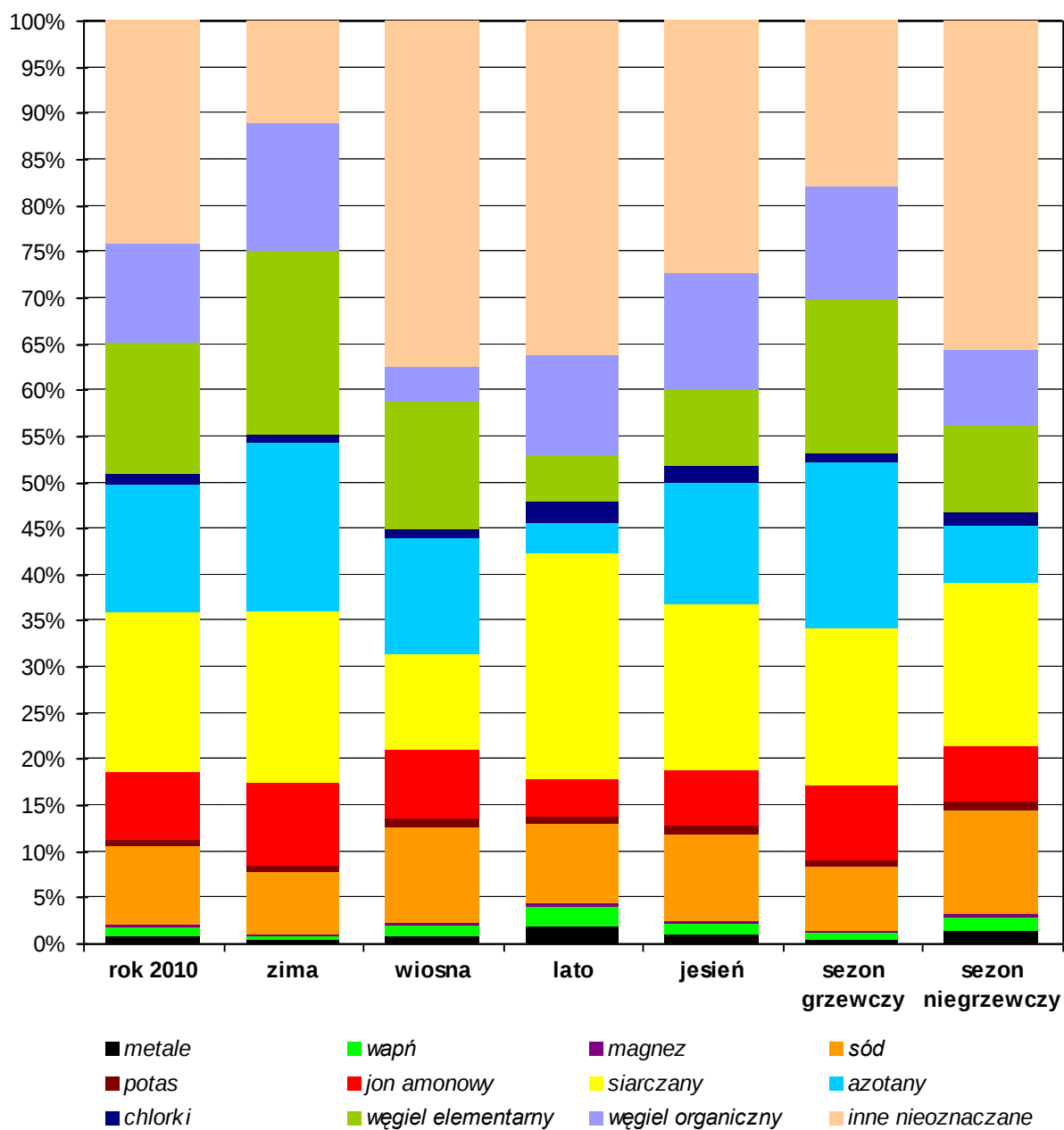
Rys. 4.7. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha w 2010 roku.



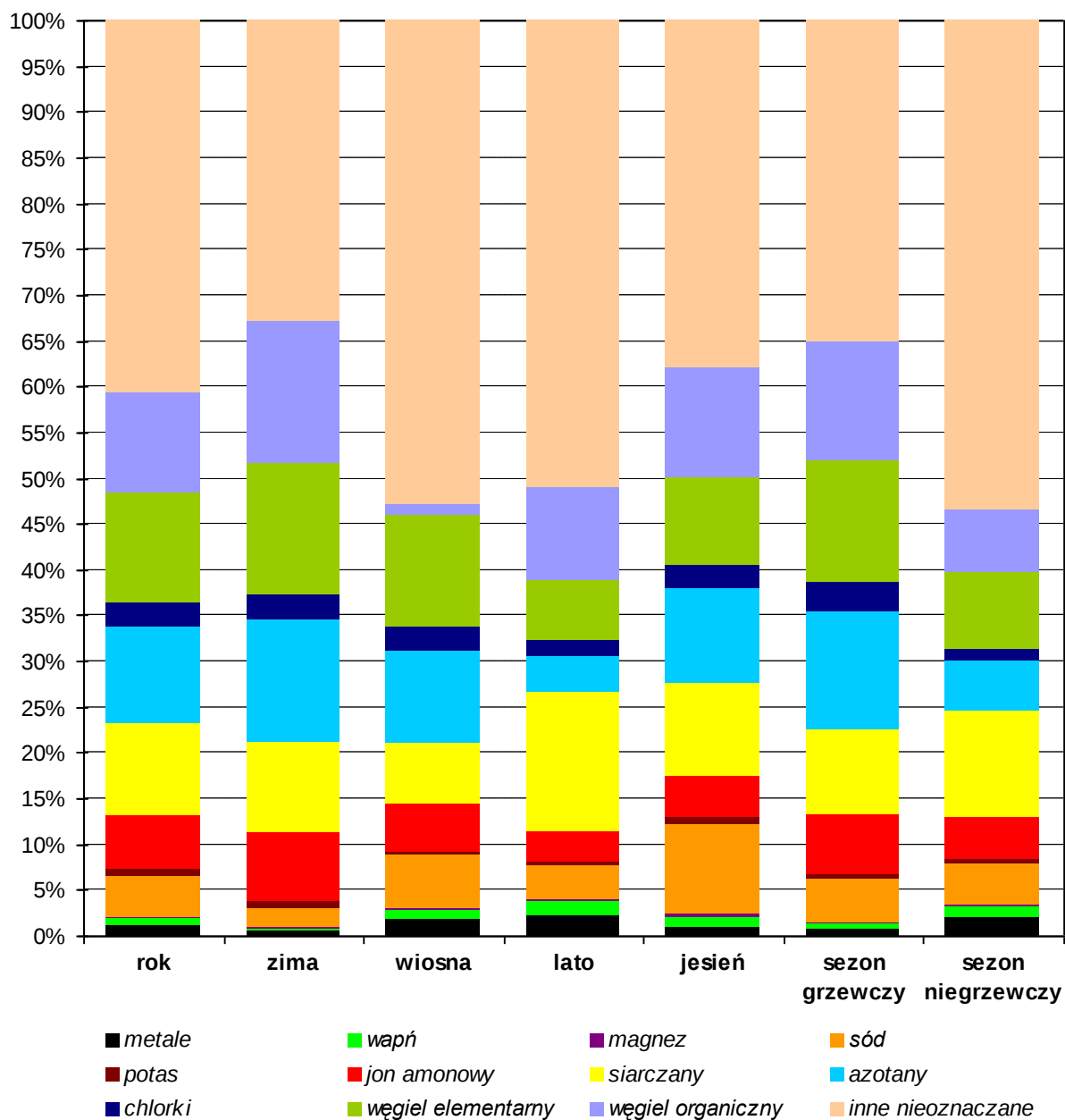
Rys. 4.8. Zależność stężeń pyłu PM_{10} od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku.



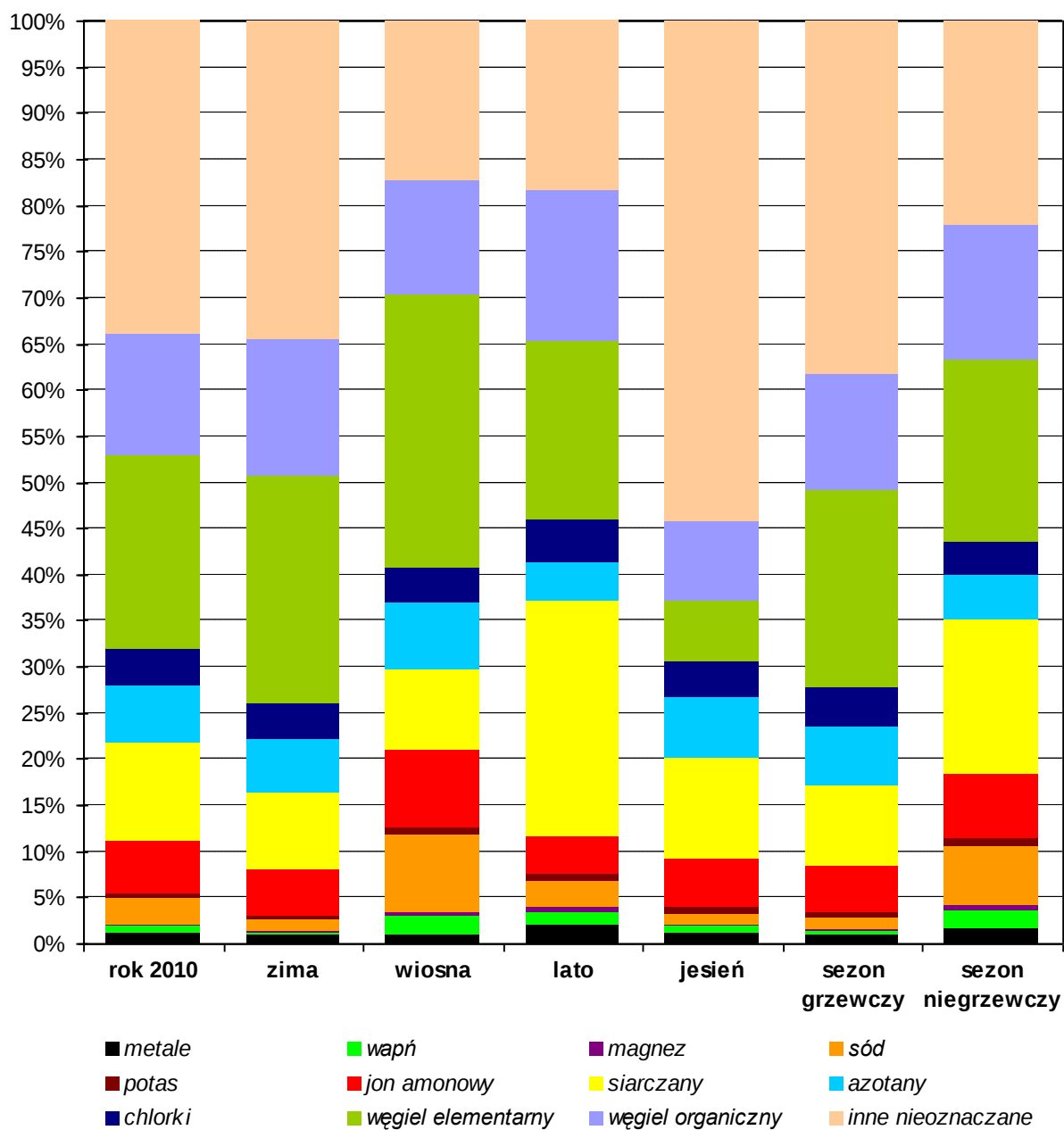
Rys. 4.9. Zależność stężeń pyłu PM_{10} od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji komunikacyjnej w Katowicach.



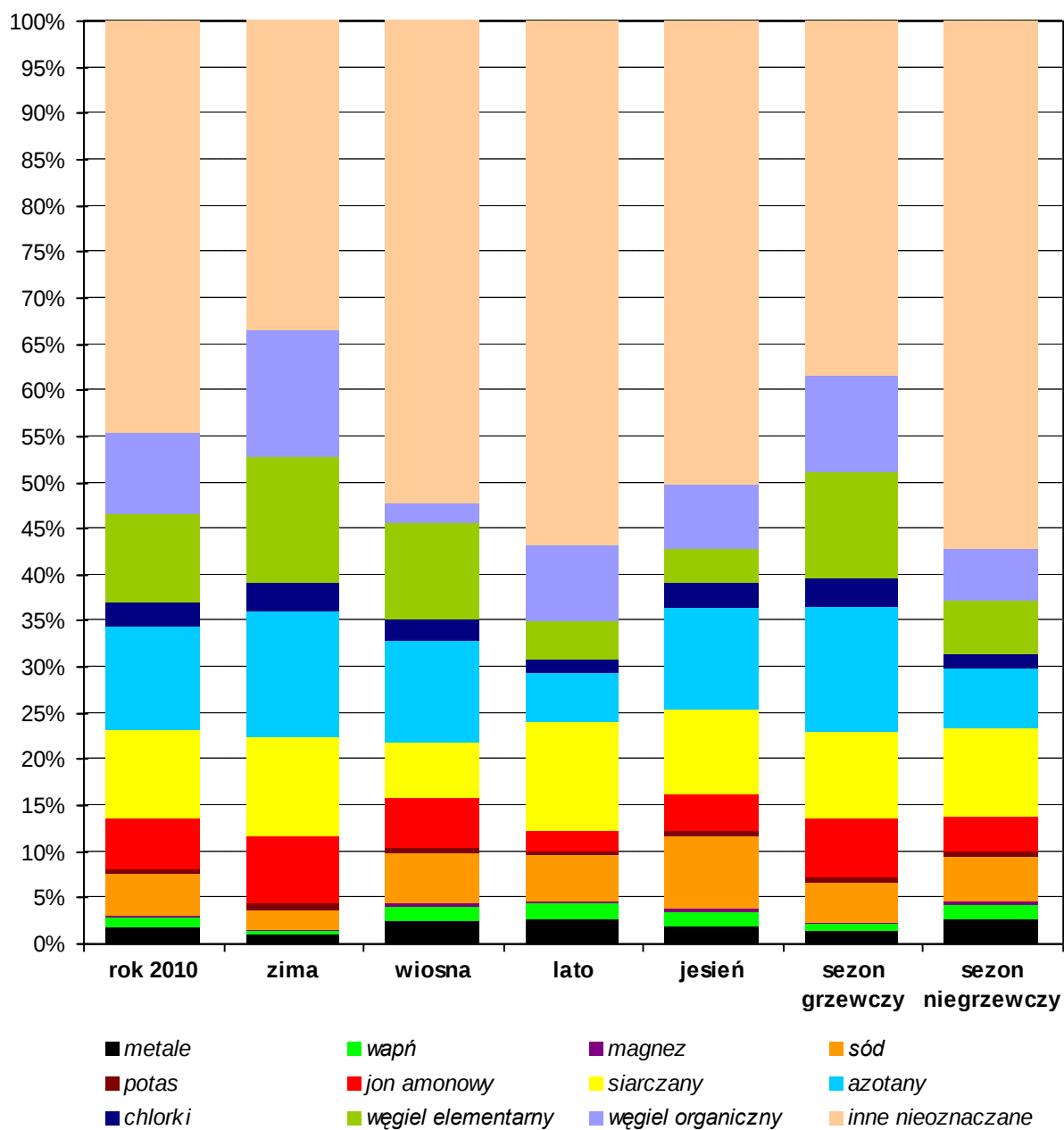
Rys. 4.10. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej.



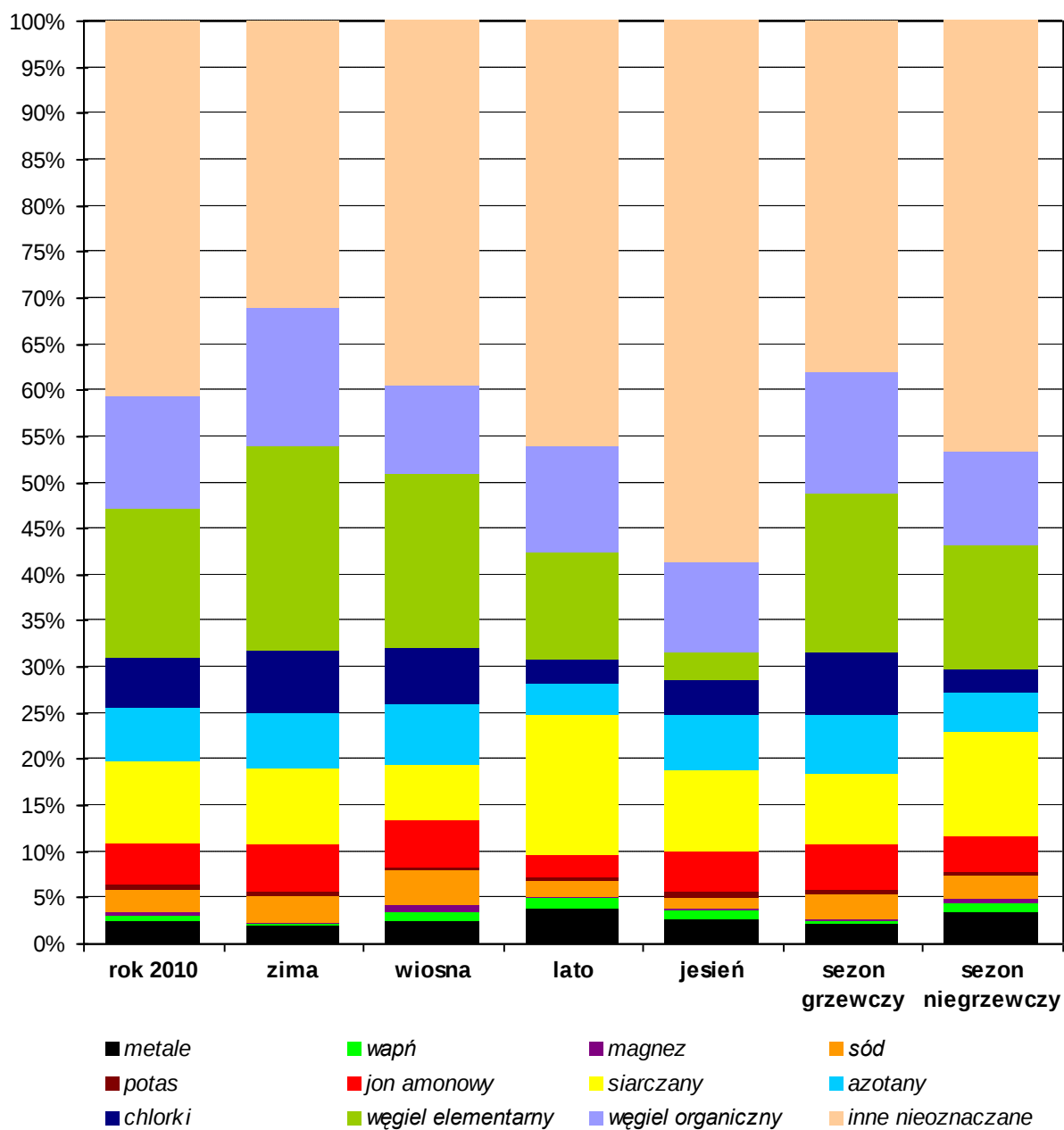
Rys. 4.11. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa.



Rys. 4.12. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha.



Rys. 4.13. Skład chemiczny pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa.



Rys. 4.14. Skład chemiczny pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4).

Tabela 4.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.

Wyszczególnienie	Rok	Sezon grzewczy ^{*)}	Sezon niegrzewczy ^{*)}
Liczba stężeń dobowych ^{**)}	358	181	177
Udział ważnych danych [%]	98,08	99,45	96,72
Minimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1,07	2,19	1,07
Data wystąpienia minimum	04-wrz-10	17-paź-10	04-wrz-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	9,2	0,5	9,2
prędkość wiatru [m/s]	1,6	1,0	1,6
kierunek wiatru	W	W	W
opad atmosferyczny [mm]	0,2	0,0	0,2
Maksimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	69,08	69,08	36,81
Data wystąpienia maksimum	08-sty-10	08-sty-10	15-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-7,8	-7,8	10,5
prędkość wiatru [m/s]	1,1	1,1	1,2
kierunek wiatru	SW	SW	N
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0
Średnia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	15,22	19,81	10,53
Odchylenie standardowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	11,03	12,91	5,70
Percentyl 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	7,49	9,38	6,55
Mediana [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	11,82	17,00	9,51
Percentyl 75 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	20,05	27,80	13,30

^{*)} sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku,

^{**)} czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

Tabela 4.2. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM_{2,5} na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku.

Wyszczególnienie Substancja	Liczba stężeń miesięcznych	Udział ważnych danych	Minimum	Miesiąc wystąpienia minimum	Maksimum	Miesiąc wystąpienia maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
PYŁ:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
PM _{2,5}	12	100,00	8,49	VIII	29,06	II	15,21	7,17	12,43
METALE:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Arsen (As)	12	100,00	0,05	V	1,06	II	0,40	0,29	0,38
Nikiel (Ni)			0,13	V	1,40	VI	0,59	0,49	0,50
Kadm (Cd)			0,05	III, IV, VIII	2,02	II	0,40	0,56	0,21
Ołów (Pb)			0,46	VII	39,71	II	8,95	10,37	7,19
Tytan (Ti)			1,03	V	8,47	VII	2,41	2,28	1,09
Glin (Al)			27,30	III	166,25	X	78,56	53,55	67,07
Żelazo (Fe)			6,57	III	41,85	V	24,12	11,99	22,67
WWA:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Benzo(a)antracen	12	100,00	0,02	VII	4,10	XII	0,86	1,25	0,44
Benzo(j)fluoranten			0,003	VI	2,60	XII	0,66	0,81	0,47
Benzo(b)fluoranten			0,03	VII	3,76	XII	1,01	1,19	0,68
Benzo(k)fluoranten			0,02	VII	1,92	XII	0,47	0,57	0,34
Benzo(a)piren			0,02	VII	3,72	XII	0,88	1,11	0,50
JONY:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Sód (Na ⁺)	12	100,00	278,17	VIII	3732,23	XII	1291,20	1010,18	928,93
Potas (K ⁺)			16,83	VI	234,80	I	118,65	63,85	110,82
Wapń (Ca ²⁺)			40,73	II	231,21	VI	144,18	54,32	139,42
Magnez (Mg ²⁺)			13,35	II	71,48	XII	40,35	16,85	39,75
Jon amonowy (NH ₄ ⁺)			167,58	VI	2977,24	II	1117,14	837,65	811,55
Siarczany (SO ₄ ²⁻)			170,94	V	5712,50	II	2626,74	1513,00	2276,76
Azotany (NO ₃ ⁻)			103,94	V	5812,60	II	2102,48	1919,70	1872,96
Chlorki (Cl ⁻)			18,51	V	241,51	I	187,75	55,12	199,52
WĘGIEL:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
Węgiel elementarny (EC)	12	100,00	0,18	VII	7,58	II	2,16	2,62	1,02
Węgiel organiczny (OC)			0,41	III	4,69	I	1,63	1,40	1,08

Tabela 4.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.

Wyszczególnienie	Rok	Sezon grzewczy ^{*)}	Sezon niegrzewczy ^{*)}
Liczba stężeń dobowych ^{**)}	350	180	170
Udział ważnych danych [%]	95,89	98,90	92,90
Minimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	3,78	7,47	3,78
Data wystąpienia minimum	02-wrz-10	02-sty-10	02-wrz-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	14,0	-1,3	14,0
prędkość wiatru [m/s]	2,5	2,2	2,5
kierunek wiatru	NW	NE	NW
opad atmosferyczny [mm]	4,1	2,2	4,1
Maksimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	135,52	135,52	48,66
Data wystąpienia maksimum	15-gru-10	15-gru-10	04-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-10,4	-10,4	6,3
prędkość wiatru [m/s]	1,4	1,4	1,0
kierunek wiatru	SE	SE	N
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	b.d.
Średnia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24,05	32,93	14,65
Odchylenie standardowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	19,10	22,33	7,26
Percentyl 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	12,48	16,74	9,55
Mediana [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	17,62	26,67	13,97
Percentyl 75 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	29,09	41,50	18,20

^{*)} sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku,

^{**)} czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

b.d. brak danych.

Tabela 4.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM_{2,5} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku.

Wyszczególnienie Substancja	Liczba stężeń miesięcznych	Udział ważnych danych	Minimum	Miesiąc wystąpienia minimum	Maksimum	Miesiąc wystąpienia maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
PYŁ:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
PM _{2,5}	12	100,00	10,80	IX	43,04	XII	23,79	12,38	21,96
METALE:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Arsen (As)	12	100,00	0,24	VII	1,60	XII	0,67	0,43	0,53
Nikiel (Ni)			0,13	I	2,48	VII	1,39	0,76	1,33
Kadm (Cd)			0,05	III, IV	4,11	II	0,79	1,12	0,62
Ołów (Pb)			4,43	VIII	49,47	II	22,34	15,97	20,51
Tytan (Ti)			0,95	X	8,84	V	4,97	2,99	5,71
Glin (Al)			24,49	IX	222,78	V	113,01	77,36	108,67
Żelazo (Fe)			64,03	XI	183,60	VII	116,56	32,18	115,62
WWA:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Benzo(a)antracen	12	100,00	0,08	VIII	15,92	XII	3,81	5,29	1,20
Benzo(j)fluoranten			0,06	VII, VIII	6,12	XII	1,83	2,20	0,77
Benzo(b)fluoranten			0,18	VII, VIII	10,02	XII	2,76	3,30	1,17
Benzo(k)fluoranten			0,07	VIII	5,68	XII	1,49	1,85	0,64
Benzo(a)piren			0,11	VII	12,87	XII	3,22	4,29	1,06
JONY:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Sód (Na ⁺)	12	100,00	177,01	IX	4021,82	XI	1077,48	1019,06	711,96
Potas (K ⁺)			3,50	VI	618,69	I	152,61	159,36	108,79
Wapń (Ca ²⁺)			74,20	V	333,82	XI	184,35	86,74	159,36
Magnez (Mg ²⁺)			6,31	VI	135,40	II	61,66	32,93	56,27
Jon amonowy (NH ₄ ⁺)			337,97	VII	3535,66	II	1393,30	1124,64	1021,12
Siarczany (SO ₄ ²⁻)			180,27	V	5140,13	II	2388,60	1327,54	2013,99
Azotany (NO ₃ ⁻)			146,02	V	6842,43	II	2535,51	2223,60	2493,53
Chlorki (Cl ⁻)			28,09	V	1333,72	I	615,81	488,71	478,24
WĘGIEL:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
Węgiel elementarny (EC)	12	100,00	0,38	VII	8,28	II	2,83	2,69	1,75
Węgiel organiczny (OC)			0,15	IV	9,69	I	2,60	3,13	1,59

Tabela 4.5. Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.

Wyszczególnienie	Rok	Sezon grzewczy ^{*)}	Sezon niegrzewczy ^{*)}
Liczba stężeń dobowych ^{**)}	336	171	165
Udział ważnych danych [%]	92,05	93,96	90,16
Minimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	5,55	5,55	7,74
Data wystąpienia minimum	11-gru-10	11-gru-10	08-sie-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-2,0	-2,0	16,9
prędkość wiatru [m/s]	5,5	5,5	2,7
kierunek wiatru	SW	SW	SW
opad atmosferyczny [mm]	6,3	6,3	0,0
Maksimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	229,61	229,61	63,51
Data wystąpienia maksimum	22-gru-10	22-gru-10	09-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	0,0	0,0	8,4
prędkość wiatru [m/s]	1,4	1,4	2,0
kierunek wiatru	NE	NE	W
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0
Średnia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	42,72	61,89	22,86
Odchylenie standardowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	37,56	43,89	10,21
Percentyl 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	19,65	32,47	14,86
Mediana [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	29,92	48,79	21,66
Percentyl 75 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	49,81	77,20	28,25

^{*)} sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku,

^{**)} czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

Tabela 4.6. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM_{2,5} na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w 2010 roku.

Wyszczególnienie Substancja	Liczba stężeń miesięcznych	Udział ważnych danych	Minimum	Miesiąc wystąpienia minimum	Maksimum	Miesiąc wystąpienia maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
PYŁ:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
PM _{2,5}	12	100,00	14,84	VI	95,24	XII	42,89	26,59	37,64
METALE:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Arsen (As)	12	100,00	0,97	IV	4,67	I	2,19	1,14	1,63
Nikiel (Ni)			0,73	XI	4,25	XII	2,71	1,18	2,94
Kadm (Cd)			0,08	III	3,50	II	1,65	1,07	1,48
Ołów (Pb)			8,47	VIII	100,26	I	49,52	24,48	47,96
Tytan (Ti)			1,58	V	28,58	II	12,80	9,27	8,49
Glin (Al)			46,06	VI	1195,90	I	238,67	312,02	130,58
Żelazo (Fe)			116,15	XI	226,85	I	163,02	32,13	163,52
WWA:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Benzo(a)antracen	12	100,00	0,46	VIII	77,56	XII	18,62	23,52	11,49
Benzo(j)fluoranten			0,28	VIII	17,46	I	6,37	6,17	4,65
Benzo(b)fluoranten			1,01	VII	35,02	XII	10,83	10,71	8,19
Benzo(k)fluoranten			0,44	VII	22,27	XII	6,15	6,73	4,15
Benzo(a)piren			0,67	VII	49,84	XII	13,42	15,37	7,47
JONY:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Sód (Na ⁺)	12	100,00	337,86	VIII	5895,49	V	1189,20	1525,58	675,55
Potas (K ⁺)			23,17	III	475,95	V	237,34	168,55	206,75
Wapń (Ca ²⁺)			59,67	VI	1161,47	V	359,05	277,55	317,77
Magnez (Mg ²⁺)			38,27	XI	312,04	V	91,49	76,22	70,25
Jon amonowy (NH ₄ ⁺)			510,73	VI	5083,90	V	2430,27	1633,65	2225,06
Siarczany (SO ₄ ²⁻)			400,67	V	8441,63	I	4580,68	2029,94	4625,58
Azotany (NO ₃ ⁻)			183,36	V	5640,22	II	2595,86	1808,70	3019,39
Chlorki (Cl ⁻)			110,85	V	4408,04	XII	1716,97	1215,36	1534,14
WĘGIEL:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
Węgiel elementarny (EC)	12	100,00	1,83	XI	29,45	I	9,02	9,96	3,67
Węgiel organiczny (OC)			1,23	V	15,10	I	5,62	4,48	3,60

Tabela 4.7. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym.

Wyszczególnienie	Rok	Sezon grzewczy ^{*)}	Sezon niegrzewczy ^{*)}
Liczba stężeń dobowych ^{**)}	358	182	176
Udział ważnych danych [%]	98,08	100,00	96,17
Liczba stężeń > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^{***)}	54	52	2
Minimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	5,80	9,41	5,80
Data wystąpienia minimum	02-wrz-10	02-sty-10	02-wrz-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	14,0	-1,3	14,0
prędkość wiatru [m/s]	2,5	2,2	2,5
kierunek wiatru	NW	NE	NW
opad atmosferyczny [mm]	4,1	2,2	4,1
Maksimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	155,48	155,48	61,09
Data wystąpienia maksimum	15-gru-10	15-gru-10	04-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-10,4	-10,4	6,3
prędkość wiatru [m/s]	1,4	1,4	1,0
kierunek wiatru	SE	SE	N
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	b.d.
Średnia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30,88	41,36	20,05
Odchylenie standardowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	22,82	27,01	8,72
Percentyl 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	16,67	20,75	13,90
Mediana [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	23,49	33,43	18,26
Percentyl 75 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	37,44	52,04	24,75

^{*)} sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku,

^{**)} czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

^{***)} 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – dopuszczalne stężenie dobowe pyłu PM_{10} , które może być przekraczane co najwyżej 35 razy w roku,

b.d. brak danych.

Tabela 4.8. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM₁₀ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku.

Wyszczególnienie Substancja	Liczba stężeń miesięcznych	Udział ważnych danych	Minimum	Miesiąc wystąpienia minimum	Maksimum	Miesiąc wystąpienia maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
PYŁ:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
PM ₁₀	12	100,00	16,20	IX	55,97	II	30,74	14,41	28,47
METALE:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Arsen (As)	12	100,00	0,27	VII	1,81	II	0,88	0,51	0,70
Nikiel (Ni)			0,46	I	3,71	IV	1,67	0,93	1,48
Kadm (Cd)			0,05	III, IV	2,53	II	0,71	0,74	0,53
Ołów (Pb)			6,38	VII	56,16	I	24,31	16,71	23,01
Tytan (Ti)			5,01	XI	22,93	I	11,21	5,79	9,74
Glin (Al)			28,61	IX	379,16	IV	170,96	106,07	167,67
Żelazo (Fe)			226,05	XI	443,73	X	324,29	76,95	297,22
WWA:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Benzo(a)antracen	12	100,00	0,09	VIII	19,92	XII	4,78	6,77	1,20
Benzo(j)fluoranten			0,06	VIII	6,86	I	1,99	2,39	0,67
Benzo(b)fluoranten			0,21	VIII	11,77	XII	3,25	3,97	1,13
Benzo(k)fluoranten			0,09	VIII	7,97	XII	1,88	2,52	0,60
Benzo(a)piren			0,13	VIII	15,47	XII	3,80	5,09	1,15
JONY:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Sód (Na ⁺)	12	100,00	334,86	IX	3891,20	XI	1385,01	984,81	1255,82
Potas (K ⁺)			3,55	VI	665,88	I	178,31	172,52	143,48
Wapń (Ca ²⁺)			147,43	II	489,58	X	314,69	112,73	323,36
Magnez (Mg ²⁺)			6,39	VI	128,11	V	68,41	32,49	63,60
Jon amonowy (NH ₄ ⁺)			354,25	VII	4641,23	II	1683,11	1412,49	1231,23
Siarczany (SO ₄ ²⁻)			193,56	V	7073,49	II	2934,01	1845,26	2460,14
Azotany (NO ₃ ⁻)			234,07	V	9125,58	II	3450,53	2797,42	3547,10
Chlorki (Cl ⁻)			39,79	V	1830,21	I	792,37	597,85	654,21
WĘGIEL:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
Węgiel elementarny (EC)	12	100,00	0,44	VII	10,35	I	2,97	3,55	1,22
Węgiel organiczny (OC)			0,24	V	10,71	II	2,73	3,18	1,57

Tabela 4.9. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w 2010 roku oraz w sezonach grzewczym i niegrzewczym.

Wyszczególnienie	Rok	Sezon grzewczy ^{*)}	Sezon niegrzewczy ^{*)}
Liczba stężeń dobowych ^{**)}	346	172	174
Udział ważnych danych [%]	94,79	94,51	95,08
Liczba stężeń > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^{***)}	156	128	28
Minimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	14,87	17,01	14,87
Data wystąpienia minimum	17-maj-10	13-lis-10	17-maj-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	7,1	13,1	7,1
prędkość wiatru [m/s]	3,8	6,6	3,8
kierunek wiatru	W	SW	W
opad atmosferyczny [mm]	68,5	0,5	68,5
Maksimum [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	318,72	318,72	86,42
Data wystąpienia maksimum	27-sty-10	27-sty-10	09-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$]	-14,0	-14,0	8,4
prędkość wiatru [m/s]	2,7	2,7	2,0
kierunek wiatru	S	S	W
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0
Średnia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	60,77	85,39	36,44
Odchylenie standardowe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	44,33	50,64	13,65
Percentyl 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	32,15	49,93	25,87
Mediana [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	46,75	67,80	34,13
Percentyl 75 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	70,23	114,46	45,21

^{*)} sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku,

^{**)} czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

^{***)} 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – dopuszczalne stężenie dobowe pyłu PM_{10} , które może być przekraczane co najwyżej 35 razy w roku.

Tabela 4.10. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyłe PM₁₀ na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w 2010 roku.

Wyszczególnienie Substancja	Liczba stężeń miesięcznych	Udział ważnych danych	Minimum	Miesiąc wystąpienia minimum	Maksimum	Miesiąc wystąpienia maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Mediana
PYŁ:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
PM ₁₀	12	100,00	28,23	VI	110,43	I	60,66	31,23	50,19
METALE:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Arsen (As)	12	100,00	1,13	V	6,22	I	3,01	1,77	2,10
Nikiel (Ni)			1,69	XI	5,22	XII	3,35	1,14	3,32
Kadm (Cd)			0,08	IV	5,13	II	2,17	1,56	1,91
Ołów (Pb)			23,12	VIII	129,30	I	59,56	30,24	54,34
Tytan (Ti)			13,32	XII	62,28	II	30,35	14,76	26,02
Glin (Al)			241,34	V	1611,56	I	592,78	440,44	400,07
Żelazo (Fe)			561,27	XII	1055,68	X	772,55	149,90	733,97
WWA:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Benzo(a)antracen	12	100,00	0,77	VII	65,03	XII	18,32	21,23	11,61
Benzo(j)fluoranten			0,43	VIII	16,14	I	6,21	5,77	4,68
Benzo(b)fluoranten			1,14	VIII	30,29	XII	10,49	9,84	8,39
Benzo(k)fluoranten			0,52	VIII	18,98	XII	5,69	5,80	4,23
Benzo(a)piren			0,84	VIII	39,40	XII	12,34	12,93	7,74
JONY:	-	[%]	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	-	[ng/m ³]	[ng/m ³]	[ng/m ³]
Sód (Na ⁺)	12	100,00	418,61	VIII	4066,50	I	1553,89	1266,94	966,72
Potas (K ⁺)			23,08	VI	705,68	I	271,13	227,69	208,29
Wapń (Ca ²⁺)			53,81	VI	621,71	V	387,71	150,80	404,54
Magnez (Mg ²⁺)			41,54	VI	565,46	III	171,02	165,53	117,89
Jon amonowy (NH ₄ ⁺)			593,19	VI	5664,89	I	2784,12	1897,44	2651,45
Siarczany (SO ₄ ²⁻)			440,20	V	10450,19	I	5335,73	2721,17	5000,48
Azotany (NO ₃ ⁻)			224,23	V	7426,57	II	3538,37	2477,10	3652,05
Chlorki (Cl ⁻)			121,09	V	8857,71	I	3285,98	3172,10	2027,81
WĘGIEL:	-	[%]	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	-	[μg/m ³]	[μg/m ³]	[μg/m ³]
Węgiel elementarny (EC)	12	100,00	1,42	X	36,21	I	9,75	11,93	3,92
Węgiel organiczny (OC)			1,56	V	21,11	I	7,43	6,20	4,86

4.2. Analiza składu chemicznego pyłu – identyfikacja podstawowych substancji wchodzących w skład $PM_{2,5}$ i PM_{10} (dopełnienie masy)

Za wyjątkiem $PM_{2,5}$ w Katowicach, w pozostałych analizowanych lokalizacjach większą część składu chemicznego masy pyłu zidentyfikowano i określono w sezonie zimowym, w sezonie letnim udział niezidentyfikowanej masy jest większy.

W poszczególnych porach roku (zima: styczeń, luty, grudzień; jesień: wrzesień październik, listopad; lato: czerwiec, lipiec, sierpień; wiosna: marzec, kwiecień, maj) nie stwierdzono bardzo wyraźnych różnic w udziałach oznaczanych siedmiu grup związków: nieorganiczny aerozol wtórny (NAW), sól morską (SM), materia organiczna (MO), węgiel elementarny (WE), materia mineralna (MM), metale ciężkie (MC), materia nieoznaczona (MN).

Ze względu na zastosowaną technikę pomiarową (metoda termiczna analizator IR – OC/EC) średniomiesięczne stężenia materii organicznej uzyskane w tej pracy mogą być niedoszacowane.

Na podstawie wyników uzyskanych w tej pracy trudno jest ocenić udział OC_{sec} w całkowitym stężeniu OC w wybranych lokalizacjach. Do tego celu konieczne jest prowadzenie analiz pojedynczych próbek dobowych, metodą termo-optyczną, w każdej lokalizacji oddzielnie.

Dla każdej z lokalizacji objętych badaniami, stężenia węgla elementarnego i jego udział w masie pyłu były najwyższe w styczniu i lutym.

Wyniki bilansu chemicznego masy pyłu wykonane dla próbek dobowych w dniach uznanych za epizody podwyższonego stężenia PM potwierdziły, że generalnie w każdej lokalizacji wysokie stężenia węgla elementarnego miały związek z występowaniem w zimie dodatkowego źródła – spalania paliw dla celów grzewczych.

Najwyższy udział aerozolu wtórnego w PM odnotowano dla próbek $PM_{2,5}$ z Diabłej Góry – wartość średnioroczna tego udziału wynosiła około 36%.

W Gdańsku, gdzie na jednej stacji pobierano pył PM_{10} i $PM_{2,5}$ stwierdzono, że w udział NAW w PM_{10} był o kilka % niższy niż w $PM_{2,5}$.

Najmniejszą zawartością NAW charakteryzowały się próbki PM_{10} ze stacji komunikacyjnej w Katowicach, gdzie udział NAW w masie PM wynosił średnio około 18% w całym roku 2010.

We wszystkich lokalizacjach, za wyjątkiem Diabłej Góry, średni udział soli morskiej (SM) w masie pyłu wynosił w granicach 8-9%.

W Diabłej Górze i w Katowicach ($PM_{2,5}$) zaskakująco wysoki udział SM zanotowano w maju i w czerwcu. W miesiącach tych odnotowano stosunkowo niskie stężenia jonów Cl^- , jednak wysokie stężenia składników alkalicznych pyłu. Może to świadczyć o pojawieniu się dodatkowego, być może naturalnego, źródła sodu i innych substancji alkalicznych w powietrzu, np. pożaru czy spalania biomasy.

Analiza składu chemicznego próbek średniomiesięcznych z punktu komunikacyjnego w Katowicach wskazuje, że źródłem SM w PM_{10} może być posypywanie dróg solą.

W celu ustalenia ilościowego wpływu posypywania dróg solą na stężenia PM_{10} wskazana jest w przyszłości pełna analiza składu pierwiastkowego znacznej ilości równoległych próbek dobowych $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz przeprowadzenie dokładnej oceny w oparciu o dane meteorologiczne (zwłaszcza kierunek i prędkość wiatru).

Niezależnie od lokalizacji punktu pomiarowego – tło regionalne, tło miejskie – udział materii mineralnej w $PM_{2,5}$ wynosił około 13% w sezonie letnim, 5% w sezonie zimowym i około 8% średnio w ciągu całego 2010 roku. Ponieważ udziały te bardzo dobrze zgadzają się z danymi literaturowymi z różnych stanowisk pomiarowych $PM_{2,5}$ na świecie, można uznać, że przyjęty sposób szacowania udziału materii mineralnej w pyłe jest poprawny i średnio w roku 8% masy $PM_{2,5}$ związanych jest ze źródłami naturalnymi – glebą, piaskiem.

Nie mniej niż 10% PM_{10} w Gdańsku pochodzi ze źródeł naturalnych – gleby, piasku, itd.

Główny udział w materii mineralnej zidentyfikowanej w miesiącach zimowych w PM_{10} w Katowicach ma krzemionka, zatem posypywanie drogi w Katowicach piaskiem w zimie to znaczące (kilka $\mu\text{g}/\text{m}^3$) źródło pyłu PM_{10} (jakkolwiek przekazany do badań materiał do zimowego utrzymania autostrady w 100% zawierał NaCl).

W przypadku punktów komunikacyjnych takich jak punkt pomiarowy PM_{10} w Katowicach materia mineralna nie musi być związana ze źródłami naturalnymi. Jest to prawdopodobnie mieszanina pyłu drogowego i glebowego, wzbijana poprzez mieszające się masy powietrza i zmieniająca, pod wpływem różnego rodzaju przemian i procesów, swój skład i wielkość wchodzących w jej skład cząstek.

4.3. Analiza epizodów

Celem tej części pracy była ocena wybranych epizodów podwyższonych stężeń pyłu pod kątem próby oceny źródeł jego pochodzenia.

Analiza ta była wykonywana dwoma sposobami:

- ✓ przy wykorzystaniu metod zalecanych w Wytycznych Komisji Europejskiej z rozszerzeniem toku postępowania o szczegółową analizę warunków meteorologicznych (Wykonawca IMGW – PIB – rozdziały 4.1.–4.5.);
- ✓ na podstawie analizy strumieni pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} zmierzonych na stacjach monitoringu oraz trajektorii wstecznych wyznaczonych przy pomocy modelowanego pola wiatru (Wykonawca – IETU).

Celem przeprowadzonej przez IETU analizy dla wybranych epizodów podwyższonych stężeń pyłu było zidentyfikowanie:

- obszarów, na których znajdowały się źródła emisji pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} (tzw. obszarów zasilania) w zasięgu 24-godzinnych trajektorii wstecznych oraz oszacowanie stężeń powodowanych przez te źródła;

- zlokalizowanie dużych, punktowych źródeł pyłu PM_{10} oraz $PM_{2,5}$ znajdujących się w bliskim otoczeniu stacji pomiarowych (zasięg kilkugodzinnych trajektorii wstecznych) oraz określenie zakresu stężeń pyłów powodowanych przez te źródła,
- określenie najbardziej prawdopodobnych stężeń pyłu powodowanych przez odległe źródła.

4.3.1. Analiza epizodów wysokich stężeń (IMGW)

Zadania IMGW obejmowały analizę wybranych w wyniku etapu I epizodów stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ pod kątem meteorologicznych uwarunkowań ich powstawania ze szczególnym uwzględnieniem analizy napływu zanieczyszczeń.

Celem tej części pracy była ocena wybranych epizodów podwyższonych stężeń pyłu pod kątem próby oceny źródeł jego pochodzenia. Specyfika zanieczyszczenia pyłem w Polsce nie pozostawia wątpliwości, że podstawowym źródłem jego pochodzenia pozostaje emisja antropogeniczna. Biorąc jednak pod uwagę cele założone przez Zamawiającego w analizie uwzględniono potencjalne wpływy naturalne. Przeprowadzone poniżej analizy warunków meteorologicznych, w celu określenia takiego wpływu, wykonano przy uwzględnieniu wybranych wskazówek metodycznych do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych zawartych w Wytycznych Komisji Europejskiej.

Według wspomnianych Wytycznych najważniejszymi źródłami, których udziały kwalifikują się do odejmowania od stężeń zaobserwowanych, zgodnie z ustaleniami Dyrektywy 2008/50/WE, a dla których wyznaczanie ich udziałów objęte jest określoną metodyką, są:

- transport pyłów naturalnych z regionów suchych,
- aerozol morski,
- erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczna i geotermalna,
- pożary lasów.

Jak wiadomo występowanie takich przypadków (poza oddziaływaniem aerozolu morskiego) ma w warunkach Polski znaczenie epizodyczne i nie należy oczekiwać, aby udział tych źródeł mógł mieć większy wpływ na stężenie pyłu. Niezależnie od powyższej tezy w ramach niniejszej pracy wybrane epizody podwyższonych stężeń pyłu poddano takiej analizie.

W związku z tym, w tej części pracy dokonano szczegółowej analizy wpływu warunków meteorologicznych na transport zanieczyszczeń pyłowych wykorzystując, w miarę możliwości, zalecenia zawarte w cytowanych wyżej Wytycznych. Dotyczyło to zwłaszcza analizy napływu mas powietrza (zanieczyszczeń) przy wykorzystaniu analizy synoptycznej i badania tzw. trajektorii wstecznych.

Dodatkowo przy opracowaniu meteorologicznego tła powstawania epizodów zanieczyszczeń wykonano m.in.:

- analizę przyziemnych warunków meteorologicznych,
- analizę sytuacji barycznych i jej wpływu na kształtowanie się epizodów,
- dokonano próby oceny wpływu lokalnych warunków meteorologicznych na napływ zanieczyszczeń,
- określono wpływ typów cyrkulacji atmosfery na kształtowanie i przebieg epizodów,

- zidentyfikowano zespół czynników meteorologicznych odpowiedzialnych za powstawanie epizodów celem ekstrapolacji czasowej i przestrzennej tych zjawisk.

W ramach pracy dokonano także analizy wpływu erupcji wulkanicznej i pożarów lasów na stężenie pyłu w przyziemnej warstwie atmosfery na podstawie epizodów obserwowanych w Europie w 2010 roku.

W wyniku analizy przyziemnych warunków meteorologicznych oraz analizy sytuacji barycznej zidentyfikowano typowe warunki meteorologiczne, odpowiadające występowaniu wybranych epizodów, określono lokalne i ogólnocyrkulacyjne uwarunkowania powstawania, transformacji i zaniku epizodów, dokonano próby oceny wpływu warunków lokalnych i regionalnych na napływ zanieczyszczeń pyłowych.

Zasadniczą częścią tego rozdziału pracy była analiza źródeł napływu zanieczyszczeń przy wykorzystaniu modelu trajektorii wstecznej HYSPLIT. Model ten zastosowano dwójako, ze względu na przeznaczenie:

- po pierwsze do określenia najbardziej prawdopodobnych obszarów źródłowych napływu zanieczyszczeń na wskazane stacje w całym I kwartale 2010 roku,
- po drugie do wyznaczenia najbardziej prawdopodobnych trajektorii ruchu cząstek powietrza (zanieczyszczeń pyłowych) w dniach wyznaczonych epizodów.

Analiza ta pozwoliła na określenie najbardziej prawdopodobnych kierunków napływu zanieczyszczeń podczas trwania epizodów.

Rozszerzeniem analizy było przyporządkowanie sytuacjom występowania epizodów określonego typu cyrkulacji atmosfery, wyznaczonego na podstawie metodyki zaproponowanej przez Lityńskiego.

Określono najbardziej prawdopodobne sytuacje synoptyczne odpowiadające za występowanie takich sytuacji, a następnie na podstawie analizy częstości występowania w roku i sezonach przeprowadzono próbę czasowej ekstrapolacji takich zdarzeń.

Zważywszy na fakt, że za powstawanie epizodów pyłowych odpowiada zespół czynników meteorologicznych, których wkład jest nieliniowy zastosowano zaawansowane metody statystyczne (analiza wielowymiarowa, sztuczne sieci neuronowe, rzutowanie Sammona) do kompleksowej oceny wpływu warunków meteorologicznych na powstawanie epizodów pyłowych, a także podjęto próbę kompleksowej identyfikacji źródeł napływu przy wykorzystaniu dodatkowo danych o składzie chemicznym pyłu.

Przeprowadzone analizy doprowadziły do wniosku, że podstawowym źródłem pochodzenia pyłu jest aerozol antropogeniczny (emisja przemysłowa i komunalna) w niewielkim tylko stopniu są to źródła naturalne.

W pracy przeprowadzono także próbę oceny wpływu źródeł naturalnych na zanieczyszczenia pyłowe opartą o metodę wnioskowania pośredniego.

Specyfika zanieczyszczeń pyłowych w Polsce powoduje, że dominującym źródłem wpływającym na imisję są źródła antropogeniczne. Udowadnia to zarówno przestrzenne zróżnicowanie stężeń pyłu PM_{10} jak również ich przebieg roczny. Najwyższe stężenia, a

także największą liczbą przekroczeń w ciągu całego roku, obserwuje się na stacjach tła miejskiego położonych w dużych aglomeracjach, a w przebiegu rocznym przekroczenia wartości dopuszczalnych dotyczą głównie okresu chłodnego.

Zgodnie z Art. 20(2) Dyrektywy 2008/50/WE przekroczenie poziomu dopuszczalnego może nie być uznane za przekroczenie w rozumieniu Dyrektywy, jeżeli Komisja Europejska zostanie poinformowana, że było ono spowodowane wpływem źródeł naturalnych. Oznacza to, że:

- a) udział konkretnych „epizodów naturalnych” lub udział tła naturalnego musi być wyrażony zależnościami numerycznymi, tak aby umożliwić identyfikację i rozróżnienie udziału komponentów naturalnych i antropogenicznych w obserwowanych stężeniach;
- b) ocena ilościowa udziału naturalnego powinna być dokonana z możliwie największą dokładnością; należy każdorazowo dokonać obliczeń niepewności wyznaczenia udziału naturalnego oraz starać się usunąć wszelkie błędy systematyczne oraz wszelkie zaburzenia wprowadzane przez udział antropogeniczny;
- c) niepewności związane z oceną ilościową udziałów naturalnych muszą być dostarczone w sprawozdaniu.

Ocena ilościowa udziału naturalnego musi być dostosowana do okresu uśredniania rozważanej wartości granicznej. Oznacza to, że dla każdej wartości granicznej zdefiniowany jest okres uśredniania wyników, w obrębie którego uśrednione są zmierzone stężenia. Według Komisji udziały te można podzielić na dwie grupy:

- pierwszą, obejmującą faktyczne epizody krótkotrwałe (związane z transportem cząstek naturalnych z regionów suchych, erupcje wulkaniczne, aktywność sejsmiczną oraz pożary lasów),
- drugą, obejmującą epizody naturalne, których czas trwania jest stosunkowo długi; do tych drugich należy zaliczyć oddziaływanie aerozolu morskiego.

Rozpatrując sytuacje wyodrębnionych w pracy epizodów z punktu widzenia meteorologicznego należy zauważyć, że ocena potencjalnego wpływu źródeł naturalnych w tych przypadkach jest niezwykle trudna do przeprowadzenia.

Wszystkie poddane analizie epizody dotyczą sytuacji związanych z niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi (występowanie niskiej temperatury powietrza – czynnik termicznego sterowania emisją, słabego wiatru, zalegania niskiej inwersji i niezbyt wysokiej warstwy mieszania). Wybrane epizody miały miejsce w przeważającej większości w sytuacjach słabo gradientowych, przy znacznym udziale sytuacji antycyklonalnych. Przeprowadzona analiza napływu za pomocą oceny sytuacji synoptycznej, a także analiza tzw. trajektorii wstecznych, pozwoliła co prawda na wnioskowanie o możliwości udziału napływu zanieczyszczeń pochodzących z dalekiego transportu, jednak ich udział nie przekraczał wartości $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla pyłu PM_{10} i do $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pyłu $PM_{2,5}$, a na kształtowanie się stężeń na stacjach wpływały przede wszystkim źródła lokalne.

Potwierdzeniem podobnego pochodzenia epizodów pyłowych jest analiza dokonana przy wykorzystaniu zaawansowanych metod statystycznych (rzutowania Sammona, klasyfikacji za pomocą sztucznych sieci neuronowych itp.), gdzie wszystkie analizowane przypadki epizodów grupują się w podobnym położeniu. Świadczy to o oddziaływaniu podobnego

zespołu czynników meteorologicznych, które odpowiadają głównie za oddziaływanie lokalne (komunalne bądź przemysłowe).

Do takich samych wniosków doprowadziła także analiza warunków meteorologicznych i stężeń pyłu przeprowadzona dla całego roku na danych uśrednionych. W wyniku tej analizy wyodrębniono kilka grup sytuacji podobnych meteorologicznie (6 – 8 zależnie od regionu), podczas których zanieczyszczenie pyłem przekraczało wartości dopuszczalne. Sygnalizowany wpływ odległych źródeł, związany z warunkami ogólnej cyrkulacji atmosfery, a udokumentowany na podstawie analizy trajektorii wstecznych, dotyczy prawie w całości źródeł antropogenicznych bądź takich źródeł naturalnych, które nie kwalifikują się do ubiegania się o odliczenia udziału.

Z tego punktu widzenia należy zatem uznać, że rozpatrywane epizody nie wynikały ze znaczącego udziału czynników naturalnych w świetle Wytocznych Komisji.

Transport pyłów naturalnych z regionów suchych

Transport z pustyni Sahara lub z obszaru Azji Środkowej może stanowić znaczące wartości całkowitego stężenia PM_{10} jedynie w krajach śródziemnomorskich, a tylko incydentalnie w krajach Europy Centralnej i Środkowej. W Polsce zjawisko to może sporadycznie zdarzać się w przypadku napływu powietrza z sektora południowego przy typach cyrkulacji Lityńskiego S_a , SE_a . Zważywszy na fakt, że według badań (Querol i in., 2009) ocenia się, że udział pyłu z pustyni Sahara w średnim rocznym stężeniu PM_{10} w Hiszpanii wynosił do $10 \mu g \cdot m^{-3}$ we wschodniej części obszaru śródziemnomorskiego, $6 \mu g \cdot m^{-3}$ na Wyspach Kanaryjskich, $4 \mu g \cdot m^{-3}$ w południowej Hiszpanii i $2 \mu g \cdot m^{-3}$ w północno-zachodniej części obszaru śródziemnomorskiego, to udział tej substancji w Polsce może dochodzić do $0,5 \mu g \cdot m^{-3}$. Zasięg takiego wpływu jest jednak ograniczony do obszaru Polski Południowej, a wielkość stężenia pyłu nie może stanowić znaczącego udziału w odliczeniach.

Podobnie marginalne znaczenie może mieć wpływ pyłu eolicznego znad Wielkiej Niziny Węgierskiej. Zjawisko takie miało w Polsce miejsce np. w dniach 23 – 24 marca 2007 roku na obszarze Polski południowej i spowodowane było depozycją pyłu pochodzącego z nieporośniętych roślinnością obszarów w rejonie Zbiornika Kachowskiego na Dnieprze w południowej Ukrainie. Przeprowadzona przez IOŚ analiza tego epizodu wykazała wzrost chwilowych stężeń pyłu zawieszonego tak, że maksymalne jego stężenia na wielu stacjach PMŚ przekraczało $500 \mu g/m^3$ (w Nowym Sączu $1000 \mu g/m^3$).

Wystąpienie natomiast epizodu pyłu o charakterze pyłu saharyjskiego bądź eolicznego stanowi interesujące zjawisko przyrodnicze i jako takie powinno być poddawane dokładniejszym badaniom.

Podsumowując ten wątek należy uznać, że udział transportu pyłów naturalnych z regionów suchych, jako zjawisko mało prawdopodobne i trudne do udokumentowania w naszych warunkach, nie stwarza możliwości do istotnego ograniczenia poziomu emisji przez odliczenie udziału w stężeniach chwilowych i długookresowych. Nie wyklucza to prowadzenia analiz epizodów w ramach rutynowych prac, wzorem roku 2007.

Aerozol morski

Występowanie w pyłe aerozolu morskiego związane jest prawie wyłącznie z sytuacjami sztormowymi. Sytuacje sztormowe wywoływane są przemieszczaniem się układów niskiego ciśnienia z aktywnymi frontami. Na podstawie badań prowadzonych m.in. przez Trzeciaka, przyjęto za dzień sztormowy taki, w którym średnia prędkość wiatru na stacji brzegowej przekraczała 10 m/s. Liczbę dni z takimi sytuacjami przedstawiono w tabeli 4.11.

Tabela 4.11. Liczba dni z potencjalnym oddziaływaniem aerozolu morskiego na obszary przybrzeżne w Polsce w wyniku sztormu

Sezon roku	Wybrzeże Zachodnie	Wybrzeże Środkowe	Wybrzeże Wschodnie
Cały rok	45	55	48
Sezon chłodny (X-III)	30	36	31
Sezon ciepły (IV-IX)	15	19	17

W takich sytuacjach należy oczekiwać, że bezpośrednie oddziaływanie aerozolu może sięgać odległości do 50-75 km w głąb lądu. Jednocześnie trzeba zaznaczyć, że ze względu na prędkość wiatru, w atmosferze panują wówczas dobre warunki dyspersji i mierzone stężenia pyłu są na ogół nieznaczne.

Innym potencjalnym źródłem aerozolu morskiego w pyłe mogą być sytuacje związane z cyrkulacją lokalną (bryzą morską). Mechanizm powstawania bryzy związany jest z występowaniem sytuacji słabo gradientowych, ograniczonych do okresu letniego (maj – wrzesień), przy dominującej pogodzie insolacyjno-radiacyjnej. Wówczas różnice w nagrzewaniu się akwenu i lądu powodują lokalne różnice ciśnienia i w rezultacie wymuszają lokalną cyrkulację atmosfery. W takich sytuacjach napływ aerozolu morskiego może potencjalnie występować w ciągu dnia, gdy kierunek bryzy skierowany jest od morza ku lądowi. Ocenia się, że częstość występowania sytuacji bryzowej nie przekracza 40 dni rocznie, a maksymalna prędkość wiatru wynosi 4 m/s. Zasięg bryzy morskiej jest ograniczony i wynosi do około 5 km w głąb lądu. W przypadku mechanizmu bryzowego z punktu widzenia potencjalnego transportu aerozolu morskiego, większe znaczenie ma wykształcająca się w godzinach późno popołudniowych bryza frontowa, której towarzyszy większa prędkość wiatru, znaczny wzrost wilgotności i spadek temperatury powietrza. Mechanizm bryzy morskiej, choć potencjalnie sprzyja transportowi aerozolu morskiego, to jednak ze względu na małą prędkość wiatru i lokalny zasięg nie stanowi większego znaczenia.

Podsumowując należy uznać, że sytuacje meteorologiczne sprzyjające oddziaływaniu aerozolu morskiego na imisję zanieczyszczeń na obszarach lądowych przybrzeża stanowią ogółem około 15% czasu w roku. Faktyczna wielkość udziału aerozolu morskiego w stężeniu pyłu jest jednak trudna do oceny.

Erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczna i geotermalna

Erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczna i geotermalna mogą przyczynić się do podwyższenia poziomów PM_{10} , choć jednak najczęściej znaczące udziały w jego stężeniach będą obserwowane w obszarach śródziemnomorskich, na niektórych wyspach oraz na

Islandii. Należy także podkreślić, że ten typ oddziaływania będzie miał charakter wyjątkowo incydentalny i zaznaczy się prawdopodobnie w co najwyżej tygodniowych epizodach. Oddziaływanie tych zjawisk na imisję zanieczyszczeń w obszarach położonych z dala od erupcji wulkanicznych (w tym w Polsce) jest jednak porównywalne do oddziaływania pyłu saharyjskiego lub eolicznego. Dowodem na to może być incydent erupcji wulkanu Eyjafjöll na Islandii, w nocy z 13 na 14 kwietnia 2010 r., który choć spowodował znaczące zmiany w ładunku pyłu w atmosferze, nie był obserwowany w postaci podwyższonych stężeń pyłu PM_{10} na stacjach pomiaru jego imisji w Polsce.

Należy także podnieść, z analizy literatury, że niewiele miejsca poświęca się depozycji bądź wpływowi stężeń pyłu pochodzenia wulkanicznego na zanieczyszczenie powietrza przy powierzchni Ziemi, koncentrując się na aspektach związanych z potencjalnym wpływem aerozolu wulkanicznego na zmiany klimatu związane ze zmianą bilansu radiacyjnego atmosfery.

Podsumowując ten wątek należy uznać, że także ten rodzaj źródeł naturalnych nie ma większego wpływu na wielkość imisji pyłu w Polsce, choć niewątpliwie w przypadku wystąpienia podobnych sytuacji należy wdrożyć procedurę zaproponowaną w Wytycznych Komisji.

Pożary lasów

Według Wytycznych Komisji główną przyczyną pożarów lasów jest zazwyczaj działalność człowieka. Ocenia się, że około 90% pożarów w obszarze śródziemnomorskim i 87% pożarów w północnym rejonie Rosji ma charakter antropogeniczny. W przypadku pożarów lasów znajdujących swe źródło poza terytorium kraju członkowskiego UE można odliczyć udział tego pyłu w stężeniu całkowitym PM_{10} .

Długotrwałe pożary lasów na terenie Rosji w sierpniu 2010 roku nie znalazły jednak odzwierciedlenia w stężeniach zanieczyszczeń pyłowych na terenie Polski. Należy zatem oczekiwać, że sytuacje takie nie będą miały znaczącego udziału w stężeniach pyłu PM_{10} w Polsce, choć podobnie jak w przypadku wystąpienia erupcji wulkanicznych, i w takich sytuacjach należy postępować zgodnie z procedurą zaproponowaną w Wytycznych Komisji.

Potencjalny wpływ aerozolu naturalnego na zanieczyszczenie pyłowe w Polsce przedstawia poniższa tabela.

Tabela 4.12. Potencjalny wpływ na zanieczyszczenia pyłowe aerozolu naturalnego

Rodzaj aerozolu	Wpływ na stężenia pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$	Prawdopodobny obszar występowania
Pyły naturalne z rejonów suchych	Bez istotnego znaczenia – występowanie sporadyczne	Polska Południowa
Aerozol morski	Minimalny	Pas wybrzeża do około 100 km w głąb lądu oraz Polska Północno-wschodnia
Pył wulkaniczny	Bez istotnego znaczenia – występowanie sporadyczne	Obszar oddziaływania pyłu – konieczne śledzenie obłoku

Rodzaj aerozolu	Wpływ na stężenia pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$	Prawdopodobny obszar występowania
Pożary lasów	Minimalny – występowanie sporadyczne	Obszar oddziaływania pyłu – konieczne śledzenie obłoku

Na zakończenie pracy przedstawiono analizę możliwości ekstrapolacji otrzymanych wyników na podobne sytuacje w Polsce.

4.3.2. Identyfikacja strumieni pyłu w trakcie wybranych epizodów (IETU)

W zarządzaniu jakością powietrza, oprócz kontroli poziomu stężeń zanieczyszczeń, pojawia się konieczność ustalenia odpowiedzialności za rejestrowane stężenia zanieczyszczeń, czyli pojawia się potrzeba identyfikacji źródeł emisji. Identyfikacja źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza jest możliwa wówczas, gdy można wyznaczyć drogę zanieczyszczenia od miejsca, gdzie zanieczyszczenia prawdopodobnie zostało wprowadzone do powietrza do receptora mierzącego stężenie zanieczyszczenia.

Zbiór punktów, w których znajdowała się cząstka powietrza zanim dotarła do ustalonego receptora, tworzy krzywą zwaną trajektorią wsteczną. Styczna do trajektorii w dowolnym punkcie, czyli prędkość cząstek trajektorii, jest wektorem wiatru w tym punkcie. Więc aby wyznaczyć trajektorię wsteczną cząstki zanieczyszczenia, np. cząstki pyłu, trzeba znać prędkość wiatru w całej przypowierzchniowej warstwie powietrza, punkt startowy i czas, w jakim cząstka dotarła do receptora.

Wiązka trajektorii cząstek pyłu, które w ustalonym przedziale czasu dotarły do receptora wyznacza punkty na powierzchni terenu, w których cząstka mogła być wprowadzona do atmosfery – źródła emisji. Rzut wiązki trajektorii tworzy obszar zasilania receptora (obszar źródłowy receptora).

Wzdłuż trajektorii płyną różne ilości zanieczyszczenia. Jeżeli trajektoria wsteczna miała kontakt ze źródłem emisji to stężenie zanieczyszczenia wzdłuż trajektorii wzrastało, a więc było większe również w receptorze. Jest oczywiste, że aby zidentyfikować zmiany stężenia zanieczyszczenia w wiązkach, konieczne jest prowadzenie pomiarów stężeń z odpowiednią częstością. Przy krótkim czasie integracji, analizując najniższe stężenia przypisane wiązkom, można ocenić maksymalny poziom stężenia zanieczyszczenia w dużej odległości od receptora. Jeżeli trajektoria omijała duże źródła emisji w pobliżu receptora, to stężenia zanieczyszczenia przenoszone przez trajektorię pochodzą najprawdopodobniej ze źródeł odległych. Możemy na tej podstawie wnioskować o zakresie najwyższych stężeń zanieczyszczenia w dużych odległościach od receptora.

Selekcjonując zwarte wiązki trajektorii możemy zlokalizować źródła emisji nawet w bardzo wąskich sektorach napływu. Ta własność pozwala dodatkowo zweryfikować poprawność modelowanego pola wiatru i zorientować się czy identyfikacja kierunków napływu jest prawidłowa.

Bezpośredni pomiar prędkości i kierunku wiatru na stacji monitoringu wyznacza kierunek trajektorii wstecznej (rzeczywistej trajektorii zanieczyszczenia), a jednocześnie natężenie strumienia zanieczyszczenia w tej trajektorii rozumiane jako iloczyn stężenia

zanieczyszczenia i prędkości wiatru. Natężenie strumienia zanieczyszczenia jest dodatkową informacją o tym, czy wzdłuż trajektorii płyną zanieczyszczenia z dużych źródeł emisji.

Tak więc wstępna analiza pomiarów prędkości i kierunku wiatru oraz stężenia zanieczyszczenia jest punktem wyjścia do klasyfikacji rzeczywistych trajektorii zanieczyszczenia jakie dotarły do receptora.

W pierwszym etapie analizy napływu pyłu wybierane są przedziały czasu tak, aby zmienność kierunku rzeczywistych trajektorii wstecznych w wiązce dla tego przedziału czasu była mała. Dla takiej wiązki wyznacza się:

- 1) zakres zmienności kierunku trajektorii,
- 2) zakres zmienności prędkości wiatru,
- 3) zakres zmienności stężeń zanieczyszczenia,
- 4) zakres natężenia strumienia zanieczyszczenia.

Informacja taka, w połączeniu z czasem trwania okresu, zakresem prędkości i zakresem kierunku wiatru, pozwala określić czy w obszarze zasilania rzeczywistych trajektorii znajdowały się duże źródła emisji pyłu. Przyrost stężeń pyłu w wiązce dostarcza informacji o zakresie stężeń powodowanym przez lokalne źródła emisji pyłu. Minimalne stężenie pyłu w wiązce pokazuje, jakie najwyższe stężenia powodowały odległe źródła emisji pyłu.

Bezpośrednie pomiary wiatru w receptorze pozwalają na rozpoznanie trajektorii wstecznych w bliskim otoczeniu stacji pomiarowej. Aby uzyskać obraz ruchu mas powietrza w większych odległościach od stacji, konieczne jest wyznaczenie 3-wymiarowego pola wiatru w odpowiednim otoczeniu stacji.

Pole parametrów meteorologicznych można uzyskać jako rozwiązanie równań stanu atmosfery. Do wyznaczenia tych parametrów służą różne modele meteorologiczne (np. MM5, CALMET).

Jest oczywiste, że modelowane pole wiatru, jako efekt statystycznego uzgodnienia z rzeczywistymi pomiarami, może różnić się od wiatru mierzonego. Warunkiem wykorzystania wiązki modelowanych trajektorii wstecznych do zidentyfikowania źródeł emisji pyłu jest ustalenie czy modelowany wiatr był zgodny z wiatrem na najbliższych stacjach meteorologicznych.

Jeżeli różnice między kierunkami modelowanych trajektorii a wiatrem na sąsiednich stacjach meteorologicznych są duże, to trzeba brać pod uwagę to, że wnioskowanie co do lokalizacji źródeł emisji pyłu będzie odciążone dużą niepewnością.

Jeśli natomiast wiązki modelowanych trajektorii były zgodne z trajektoriami rzeczywistymi, to można przeprowadzić analizę napływu analogicznie jak w przypadku trajektorii rzeczywistych.

Modelowanie ruchu mas powietrza

Aby określić jak przemieszcza się powietrze w określonym fragmencie przyziemnej warstwy atmosfery, konieczny jest dostęp do 3-wymiarowego pola wiatru. Taką informację można uzyskać jedynie za pomocą odpowiednich modeli meteorologicznych. Modele, wykorzystując

dane z naziemnych pomiarów meteorologicznych, pionowego sondażu atmosfery, obserwacji satelitarnych i radarowych oraz rozwiązując równania wiążące te parametry dają informacje o stanie atmosfery w czasie i przestrzeni. Światowe centra meteorologiczne np. National Center for Environmental Prediction (NCEP) łącznie z National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA) prowadzą symulacje globalnych warunków meteorologicznych i wyniki tych symulacji udostępniane są społeczności międzynarodowej. Dane te stanowiły punkt wyjścia do wykonania na potrzeby projektu symulacji lokalnych warunków meteorologicznych, uwzględniających warunki terenowe i lokalne pomiary meteorologiczne. Do symulacji trajektorii wstecznych został zastosowany program wykorzystujący dane meteorologiczne generowane przy pomocy modelu MM5 oraz program HYSPLIT udostępniony w Internecie.

Trajektorie wyznaczone przy pomocy programu HYSPLIT

Model HYSPLIT (Hybrid Single – Particle Lagrangian Integrated Trajectory) jest systemem numerycznym służącym do obliczania toru ruchu cząstek powietrza. Powstał we współpracy między NOAA i Australijskim Biurem Meteorologii. Danymi wejściowymi do modelu są pola wielkości meteorologicznych (kierunki i prędkości wiatrów, ciśnienie, temperatura). W modelu wykorzystane zostały dane w formacie fnl NCEP/NCAR z reanalizy dla siatki o rozdzielczości $2,5^\circ$ na $2,5^\circ$. Program jest dostępny interaktywnie na stronach internetowych Air Resources Laboratory (ARL). Trajektorie wyznaczone przez system mają postać rysunków bądź plików w formacie kml (kmz) do edycji przy pomocy Google Earth. W takiej też postaci zostały wykorzystane w projekcie.

Trajektorie wyznaczone przy pomocy modułu SINZaP

Druga metoda generowania trajektorii wstecznych została oparta na module trajektoryjnym Systemu Identyfikacji Napływu Zanieczyszczeń Powietrza SINZaP opracowanym w IETU prawie 10 lat temu. Model ten, pierwotnie korzystał z 3-wymiarowego pola parametrów meteorologicznych opracowywanego przy pomocy fińskiego modelu meteorologicznego HIRLAM. W roku 2008, po uruchomieniu w IETU klastra obliczeniowego, powstała możliwość włączenia danych z modelu MM5.

MM5 jest numerycznym modelem meteorologicznym zbudowanym w latach 90' na uniwersytecie w Pensylwanii. Po udostępnieniu kodów źródłowych tego programu, model MM5 szybko rozprzestrzenił się w świecie. Jest wykorzystany przez różne zespoły jako element warsztatu badawczego, a przez szereg organizacji państwowych w różnych krajach był wykorzystany jako podstawowy model służb meteorologicznych.

W projekcie model MM5 został wykorzystany do wygenerowania warunków meteorologicznych w okresie od początku stycznia do końca marca 2010 roku w domenę zawierającą obszar Polski oraz sąsiednich krajów, przetransformowanej odwzorowaniem Lamberta z punktem styczności 52°N , 20°E , równoleżnikami 50°N i 54°N , oraz przesunięciem 540 km, 540 km. Domena została opisana przy pomocy siatki 120×120 węzłów i rozmiarami komórki 9 km x 9 km.

Wejściowymi danymi meteorologicznymi były 6 godzinne, globalne dane meteorologiczne fnl z NCAR/NCEP o rozdzielczości 1.0° na 1.0° .

W celu uwzględnienia lokalnych warunków meteorologicznych do obliczeń włączono moduł LITTLE_R. Moduł ten wprowadza korektę danych uwzględniającą informacje z lokalnych stacji meteorologicznych. W NOAA zakupiono serwis z ok. 100 stacji meteorologicznych znajdujących się w domenie projektu, z okresu od stycznia do marca 2010.

Poza wyznaczeniem pola wiatru, modelowane dane meteorologiczne były wykorzystane do wyznaczenia innych czynników mających wpływ na emisję zanieczyszczeń oraz stężania zanieczyszczeń powietrza takich jak:

- temperatura powietrza,
- wysokość warstwy mieszania,
- prędkość dynamiczna.

Wysokość warstwy mieszania jest bardzo istotną informacją umożliwiającą ocenę pionowej migracji zanieczyszczeń. Mała wysokość warstwy mieszania powoduje ograniczenie pionowych ruchów powietrza utrudniając w ten sposób mieszanie się zanieczyszczeń wprowadzonych do atmosfery w warstwie przy powierzchniowej. Oznacza to wzrost stężeń pyłu emitowanego z niskich emitorów.

Należy zwrócić uwagę na to, że w całym okresie 1 kwartału 2010 roku wysokość warstwy mieszania w godzinach wieczornych, nocnych i porannych utrzymywała się poniżej 100 m (najczęściej ok. 70 m). Wzrost wysokości warstwy mieszania następował w godzinach południowych.

Prędkość dynamiczna jest parametrem meteorologicznym, który pozwala na oszacowanie skali dyfuzji turbulencyjnej, a w konsekwencji szybkości spadku stężeń zanieczyszczeń w powietrzu. Prędkość dynamiczna powyżej 1 m/s wskazuje na występowanie intensywnego mieszania się zanieczyszczeń. W przeciwnym przypadku mieszanie jest mało intensywne a spadek stężeń zanieczyszczeń jest powolny.

Moduł symulacji trajektorii wstecznych SINZaP rozwiązuje równanie różniczkowe ruchu cząstek powietrza, wyznaczając listę węzłów trajektorii wstecznej startującej we wskazanym miejscu i czasie. Lista wierzchołków trajektorii wstecznej jest następnie przetwarzana na plik w formacie kml. Otrzymane pliki wykorzystano do wizualizacji trajektorii przy pomocy przeglądarki Google Earth.

Zakres przeprowadzonych analiz

Analizę warunków przeprowadzono dla stacji w Diabłej Górze, Gdańsku i Katowicach:

Stacja:	Długość geograficzna [°E]	Szerokość geograficzna [°N]
Diabla Góra	22,038	54,125
Gdańsk	18,620	54,380
Katowice	18,975	50,265

Na stacji pomiarowej pyłu PM_{10} przy ul. Wita Stwosza w Katowicach nie były prowadzone pomiary wiatru umożliwiające identyfikację rzeczywistych strumieni pyłu z bezpośredniego otoczenia stacji. Z tego powodu dla tej stacji było możliwe jedynie tworzenie modelowanych trajektorii napływu. Przy małej rozdzielczości siatek do modelowania wiatru (zarówno

w modelu HYSPLIT jak i SINZaP) trajektorie generowane dla stacji przy ul. S. Kossutha w Katowicach były wystarczające do opisu napływu w rejonie ul. Wita Stwosza.

Identyfikacja strumieni pyłu przy wykorzystaniu krótkich serii danych pomiarowych powinna być oparta na informacjach o krótkookresowych danych na temat natężenia wektora strumienia pyłu (iloczyn stężenia pyłu i składowych wektora wiatru). Przy wykorzystaniu 1-godzinnych stężeń pyłu oraz 1-godzinnego wektora wiatru można identyfikować strumienie pyłu z różnych emitorów. Z tego powodu w prowadzonych analizach konieczne było interpolowanie 1-godzinnych stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ przy pomocy uśrednionych stężeń dobowych mierzonych w ramach niniejszego projektu oraz wyników automatycznych pomiarów stężeń pyłu PM_{10} .

Poza średniodobowymi stężeniami pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} w analizach wykorzystano dodatkowe informacje umożliwiające bardziej precyzyjną charakterystykę zmienności strumieni pyłu.

Były to:

- ✓ 1-godzinne prędkości i kierunki wiatru na stacji prowadzącej monitoring pyłu:
 - dane ze stacji w Diablej Górze (pomiar prowadzone przez IOŚ w ramach PMŚ - program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego),
 - dane z stacji AM8 w Gdańsku (pomiar prowadzone przez Fundację ARMAAG w ramach PMŚ),
 - dane ze stacji 12.009 w Katowicach (pomiar prowadzone przez WIOŚ w Katowicach w ramach PMŚ),
- ✓ 1-godzinne stężenia pyłu PM_{10} uzyskane z pomiarów automatycznych na stacjach pomiarowych PMŚ w rejonie prowadzonych pomiarów:
 - stacje ARMAAG,
 - stacje WIOŚ w Katowicach.

Na potrzeby analizy warunków meteorologicznych na stacjach pomiarowych, dla stacji w Diablej Górze, Gdańsku i Katowicach zostały zestawione modelowane przy pomocy MM5 następujące informacje:

- czas pomiaru,
- wysokość warstwy mieszania,
- prędkość dynamiczna,
- prędkość i kierunek wiatru na wysokości 625 m,
- prędkość i kierunek wiatru na wysokości 106 m,
- prędkość i kierunek wiatru na wysokości 36 m,
- prędkość i kierunek wiatru na wysokości 10 m.

W celu analizy wiązek trajektorii wstecznych dla stacji w Diablej Górze, Gdańsku i Katowicach zestawiono następujące dane:

- czas pomiaru,
- prędkość i kierunek wiatru modelowane przy pomocy MM5 na stacji pomiarowej,
- prędkość i kierunek wiatru mierzone na stacji pomiarowej,

- prędkość i kierunek wiatru oraz temperatura mierzone na sąsiednich stacjach meteorologicznych,
- 1-godzinne stężenie pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ interpolowane na podstawie pomiarów automatycznych i pomiaru manualnego.

Analiza napływu obejmowała:

- wyznaczenie wiązek rzeczywistych trajektorii wstecznych,
- określenie potencjalnych źródeł emisji pyłu w obszarach zasilania wiązek,
- oszacowanie stężeń pyłu powodowanych przez emisje tych źródeł,
- określenie wpływu warunków meteorologicznych na poziom stężeń pyłu,
- ustalenie czy modelowane trajektorie wsteczne można wykorzystać do lokalizacji potencjalnych źródeł emisji pyłu w dużych odległościach od receptora i oszacowanie stężeń powodowanych oddziaływaniem źródeł odległych,
- oszacowanie stężenia pyłu napływającego z dużych odległości.

Wnioski

Przeprowadzone w ramach pracy analizy trajektorii wstecznych dla wszystkich wybranych epizodów na stacjach w Diabłej Górze, Gdańsku i Katowicach prowadzą do następujących wniosków:

Diabla Góra

Analiza strumieni pyłu zarejestrowanych na stacji w Diabłej Górze w trakcie epizodów przy wykorzystaniu średniodobowych stężeń pyłu pozwoliła zidentyfikować i rozróżnić napływ pyłu z całej północno-wschodniej części Polski oraz przepływy transgraniczne w tym rejonie. Analiza tych napływów pokazała, że epizodom na stacji w Diabłej Górze towarzyszyły na całym obszarze źródłowym (niezależnie od kierunku napływu) stężenia pyłu $PM_{2,5}$ przekraczające $35 \mu g/m^3$. Wynika z tego że w trakcie zidentyfikowanych epizodów pyłowych w Diabłej Górze w całym obszarze zasilania tej stacji średniodobowe stężenia pyłu PM_{10} przekraczały $40 \mu g/m^3$.

Gdańsk

Analiza strumieni pyłu w rejonie Trójmiasta pozwoliła na zidentyfikowanie lokalizacji dużych źródeł emisji pyłu w rejonie Gdańska, obszarowych źródeł emisji pyłu na terenie Gdańska oraz źródeł emisji pyłu w Trójmieście i jego okolicy oraz określić zakres stężeń, za który one odpowiadają.

Za poziomy stężenie notowane w trakcie epizodów na terenie Trójmiasta w zbliżonym stopniu odpowiadają:

- źródła przemysłowe na terenie Gdańska,
- inne źródła emisji pyłu na terenie Gdańska (małe źródła przemysłowe, emisja komunalna emisja komunikacyjna),
- źródła emisji pyłu w kilkunastokilometrowym otoczeniu stacji, źródła na terenie Sopotu i Gdyni oraz przede wszystkim źródła w miejscowościach na południe od Gdańska.

Szacunkowa ocena najwyższych stężeń pyłu PM_{10} powodowanych przez źródła odległe daje zakres 35-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w zależności od rejonu skąd pochodził pył.

Wszystkim epizodom w Gdańsku towarzyszyły niesprzyjające warunki propagacji zanieczyszczeń – mała prędkość wiatru, mała wysokość warstwy mieszania oraz zwiększona emisja pyłu z powodu niskich temperatur powietrza.

Katowice

Analiza strumieni pyłu w rejonie GOP pozwoliła zidentyfikować duże przemysłowe źródła pyłu oraz określić zakres stężeń, za który one odpowiadają. Źródła te mają znaczący wpływ na poziom stężeń pyłu tylko przez pewien czas.

Za pozostałe stężenia pyłu odpowiedzialne są różne mniejsze źródła emisji występujące w dużej liczbie i w dużej koncentracji na całym obszarze GOP (w tym źródła niskiej emisji).

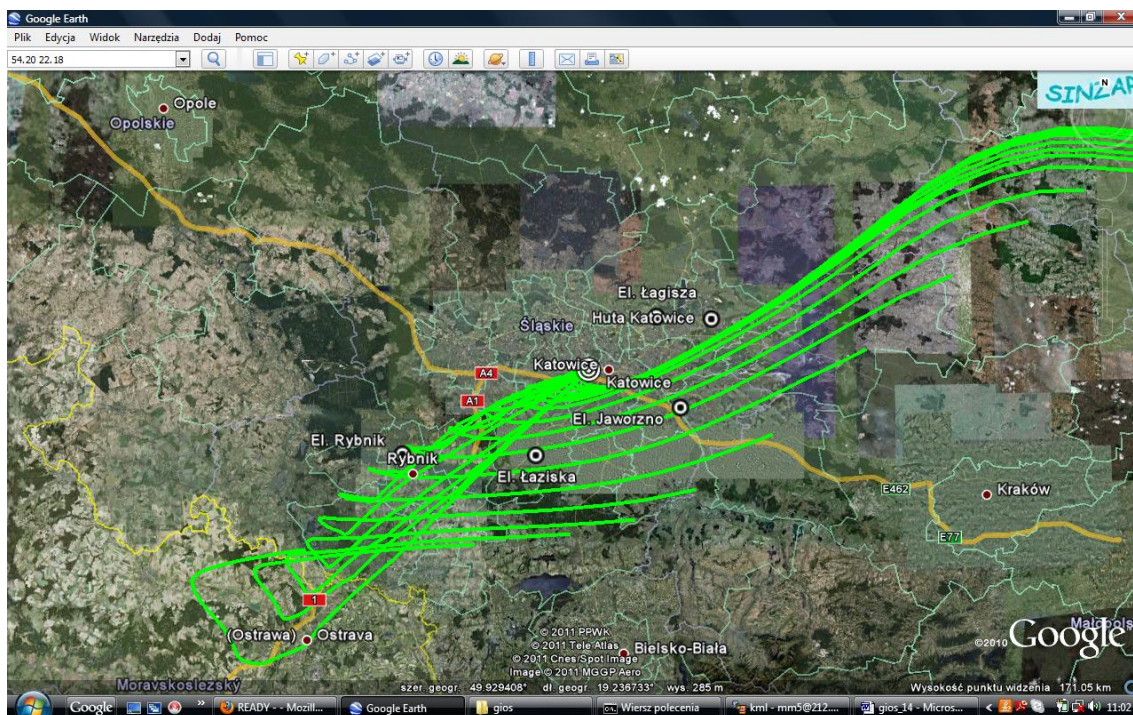
Bardzo istotny wpływ na poziom stężeń ma napływ pyłu spoza obszaru GOP. W trakcie epizodów taki napływ miał miejsce głównie ze wschodu. Mniejsze znaczenie miał stwierdzony napływ pyłu z południa oraz zachodu.

Oszacowanie oddziaływań źródeł odległych jest praktycznie niemożliwe.

Na poziom stężeń pyłu w rejonie GOP duży wpływ mają warunki meteorologiczne.

Bliskość równoleżnikowego pasma górskiego oraz ukształtowanie terenu w pozostałej części GOP formuje przepływ coraz bardziej zanieczyszczonego powietrza nad obszarami dużej emisji pyłu. Powoduje to bardzo duży wzrost stężeń pyłu. Ekstremalna sytuacja miała miejsce 27 stycznia (rysunek 4.15), kiedy to powietrze ze wschodniej części GOP, zanieczyszczone pyłem z lokalnych źródeł emisji i El. Jaworzno oraz innych dużych źródeł przemysłowych popłynęło na południowy-zachód, gdzie zostało zasilone pyłem z dwóch elektrowni i źródeł obszarowych, następnie popłynęło dalej w rejon Ostrawy, otrzymując kolejny zastrzyk pyłu skierowało się na północny-wschód i przepływając w rejonie El. Rybnik trafiło do Katowic.

W trakcie tego epizodu (ok. godz. 01:00) stężenie pyłu PM_{10} oszacowane na podstawie zmierzonego w tym dniu stężenia średniodobowego (wyznaczonego w ramach projektu na stacji przy ul. Wita Stwosza) i stężeń jednogodzinnych (mierzonych na stacji WIOŚ w Chorzowie) przekraczało 700 mg/m^3 .



Rys. 4.15. Wiązka modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} w czasie od godz. 23:00 - 26 stycznia, do godz. 14:00 - 27 stycznia.

Emisje naturalne

W kontekście tego, co zostało powiedziane powyżej, identyfikacja w trakcie epizodów tych stężeń, które były powodowane przez źródła o małym natężeniu emisji pyłu (do których zalicza się źródła naturalne) jest niemożliwa.

Wnioski ogólne

Nadzór przepływów zanieczyszczeń i ocena udziału poszczególnych źródeł emisji stają się głównym zadaniem w zarządzaniu jakością powietrza. Może on być zrealizowany poprzez identyfikację długodystansowych strumieni zanieczyszczeń.

Stacja PMŚ w Diablej Górze, ze względu na bardzo dobrą lokalizację, ma możliwość identyfikacji mało zmiennych strumieni zanieczyszczeń w długich okresach czasu.

Jednakże, aby w pełni wykorzystać ten atut, konieczne jest prowadzenie pomiarów natężenia strumienia pyłu z odpowiednią częstością. Obecnie zasadniczym mankamentem pomiarów pyłu na stacji jest brak rozpoznania wpływu, jaki na mierzone stężenia pyłu mają emisje ze źródeł zlokalizowanych w niewielkiej odległości od stacji.

Poprzez odpowiednio wybrany czas próbkowania stężeń i filtrację otrzymanego sygnału, można wydzielić stężenia powodowane oddziaływaniem bliskich źródeł emisji.

Podobna kontrola przepływu pyłu powinna być prowadzona w południowo-zachodniej części kraju, aby ustalić przepływ pyłu na granicy zachodniej.

4.4. Wytyczne do monitorowania stężeń pyłu na stacjach tła dla potrzeb oceny oddziaływań naturalnych

W przypadku, gdy stężenia zanieczyszczeń objętych regulacjami przekraczają wartości dopuszczalne ustanowione prawem UE, przekroczenia te mogą być częściowo powodowane przez źródła naturalne, zwłaszcza w przypadku pyłu zawieszonego i dwutlenku siarki. Przekroczenia poziomów dopuszczalnych mogą również być powodowane (zwłaszcza na stacjach komunikacyjnych) posypywaniem dróg piaskiem i solą w okresie zimowym. Dyrektywa 2008/50/WE zezwala państwom członkowskim, w pewnych ustalonych warunkach, na odejmowanie udziału źródeł naturalnych, i/lub posypywania dróg piaskiem i solą przed porównaniem zmierzonych stężeń pyłu zawieszonego PM_{10} z poziomem dopuszczalnym. W pracy dokonano analizy Wytycznych Komisji Europejskiej w odniesieniu do możliwości i metod odliczania udziału tych źródeł w wartościach stężenia pyłu przekraczających poziom dopuszczalny. Odliczanie jest możliwe jedynie wówczas, gdy zostanie udowodniony i ilościowo określony udział źródeł naturalnych bądź udział soli/piasku pochodzących z zimowego utrzymania dróg w stężeniu pyłu.

Do źródeł naturalnych, dla których istnieje możliwość odliczania udziału w stężeniu pyłu PM_{10} według Wytycznych Komisji Europejskiej zalicza się:

- transport pyłów naturalnych z regionów suchych,
- aerozol morski,
- erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczną i geotermalną,
- pożary lasów.

Źródłami, których udział nie powinien być brany pod uwagę przy ewentualnych odliczeniach, są:

- pylenie wtórne (resuspensja),
- pierwotny aerozol pochodzenia biologicznego,
- wtórny aerozol pochodzenia biologicznego.

W przypadku odliczania udziałów źródeł naturalnych w stężeniach zanieczyszczeń powietrza należy przestrzegać poniższych zasad określonych w Wytycznych Komisji Europejskiej:

- udziały muszą mieć pochodzenie naturalne i nie mogą być wynikiem bezpośredniej lub pośredniej działalności człowieka,
- ocena ilościowa udziału naturalnego powinna być dostatecznie precyzyjna,
- ocena ilościowa udziału naturalnego musi być dostosowana do okresu uśredniania rozważanej wartości stężenia,
- ocena ilościowa źródeł naturalnych musi być opisana przestrzennie,
- udział źródeł naturalnych należy wykazać w procesie systematycznej oceny,
- ocena ilościowa musi być zademonstrowana dla każdego zanieczyszczenia oddzielnie.

Podobne zasady zostały sformułowane w przypadku odliczania udziału posypywania dróg solą lub piaskiem w okresie zimowym:

- udziały muszą być jednoznacznie przypisane posypywaniu ulic piaskiem lub solą w zimie,

- ocena ilościowa musi być wystarczająco precyzyjna i dokładna oraz odpowiadać okresowi uśredniania wartości stężenia,
- reprezentatywność stacji pomiarowych, na których wyznaczany jest udział posypywania ulic piaskiem/solą w okresie zimowym musi być określona (problem dotyczy stacji komunikacyjnych),
- udział posypywania ulic piaskiem lub solą w zimie w zmierzonych stężeniach PM_{10} musi być określony ilościowo w $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla każdego dnia przekroczeń,
- metoda wyznaczania tego udziału musi być udokumentowana.

W opracowanych przez Komisję Europejską Wytycznych do oceny wpływu solenia i piaskowania dróg za poziom stężenia pyłu PM_{10} w obecnej chwili są rekomendowane dwie metody postępowania:

- chemiczna – uwzględnienie zawartości chlorków w pyłe (odzwierciedlająca wpływ soli używanej w zimowym utrzymaniu dróg),
- uwzględnienie frakcji pomiędzy 2,5 a 10 μm (świadczącej o wpływie posypywania dróg piaskiem, gdy stosunek stężenia pyłu $PM_{2,5}/PM_{10}$ jest mniejszy lub równy 0,5).

Metoda pierwsza wymaga dodatkowych badań pyłu (oznaczanie chlorków), a metoda druga wymaga wykorzystania wyników pomiarów stężenia pyłu $PM_{2,5}$ – najlepiej pochodzących z tej samej stacji komunikacyjnej; na ogół dane te nie są dostępne i w takich przypadkach wytyczne dopuszczają posługiwanie się danymi pochodzącymi ze stacji tła pozamiejskiego w mieście, dla którego prowadzi się procedurę odliczania.

Udział cząstek pochodzących z omawianych wcześniej źródeł powinien być określany dla wartości dobowych, a następnie może zostać odliczony od poszczególnych wartości 24-godzinnych. Jeśli przekroczenie poziomu dopuszczalnego dotyczy także wartości średniej rocznej stężenia pyłu PM_{10} , zredukowana wartość średnia roczna może zostać obliczona z uwzględnieniem zredukowanych wartości dobowych. Nie zawsze uwzględnienie udziału cząstek pochodzących ze źródeł naturalnych lub z solenia/piaskowania (odjęcie od zmierzonego stężenia części związanej z tymi źródłami) pozwala na uzyskanie wartości niższej od poziomu dopuszczalnego i tym samym, mimo zastosowanej redukcji stężenia, ten dzień pozostanie dniem, w którym odnotowano przekroczenie poziomu dopuszczalnego.

W ocenie udziału źródeł naturalnych w poziomach stężeń pyłu notowanych na obszarze kraju mogą być pomocne badania prowadzone na stacjach tła pozamiejskiego. Dyrektywa 2008/50/WE nakłada na państwa członkowskie obowiązek prowadzenia szczegółowych pomiarów drobnego pyłu zawieszonego na stacjach monitoringu tła pozamiejskiego.

Celem prowadzenia pomiarów pyłu na terenach tła pozamiejskiego, oddalonych od istotnych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza, jest uzyskanie średnich rocznych informacji, co najmniej na temat całkowitego stężenia wagowego i składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$.

Ustanowione zgodnie ze „Strategią monitoringu pyłu $PM_{2,5}$ zgodnie z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy” stacje tła pozamiejskiego spełniają kryteria lokalizacyjne ustalone przez program EMEP. Są one zatem oddalone od znaczących źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza (instalacji przemysłowych, aglomeracji i dużych ośrodków miejskich, znaczących szlaków komunikacyjnych), tak by zapewnić ich reprezentatywność w skali regionalnej. Zasadniczym celem pomiarów pyłu $PM_{2,5}$ w punktach pomiarowych tła

pozamiejskiego – niezależnie od stężenia – jest dostarczenie rzetelnej informacji na temat poziomów w tle (Załącznik IV Dyrektywy 2008/50/WE). Informacja ta ma służyć do analiz podwyższonych poziomów stężeń w bardziej zanieczyszczonych terenach (obszarach miejskich, przemysłowych, terenach narażonych na wpływ ruchu drogowego). Wyniki pomiarów prowadzonych na stacjach tła pozamiejskiego mają dostarczać informacji o możliwym wpływie zanieczyszczeń przemieszczających się na dalekie odległości na kształtowanie poziomów stężeń pyłu w kraju oraz o identyfikacji źródeł pochodzenia składników pyłu. Badania stężenia pyłu i jego składu na stacjach tła pozamiejskiego mają służyć lepszemu poznaniu jego składu, źródeł pochodzenia, przemieszczania z masami powietrza na dalekie odległości. Uzyskiwane informacje mogą również znaleźć zastosowanie do modelowania zanieczyszczenia powietrza, także na obszarach miast.

W oparciu o analizy przeprowadzone w ramach niniejszej pracy, poczynione spostrzeżenia oraz sformułowane w niej wnioski opracowano zestaw wytycznych do prowadzenia monitoringu pyłu oraz do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału różnych źródeł, tak by ułatwić prowadzenie analogicznych analiz w przyszłości oraz by poprawić ich jakość poprzez poprawę kompletności danych niezbędnych do analizy.

- ✓ Program pomiarowy dla stacji tła pozamiejskiego obejmuje badania stężenia i składu pyłu PM_{10} , zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2004/107/WE (metale ciężkie i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) oraz badania stężenia i składu pyłu $PM_{2,5}$, zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2008/50/WE (aniony stanowiące wtórny aerozol nieorganiczny, metale lekkie, węgiel elementarny i organiczny). Z analiz prowadzonych w projekcie wynika celowość rozszerzenia zakresu analiz składu chemicznego PM dla stacji tła o szersze spektrum pierwiastków (np. oznaczenia metodą EDXRF), dla scharakteryzowania lokalnego profilu chemicznego pyłu powiązanego z naturalnymi źródłami (gleby) i charakterystycznych profili związanych z napływem z określonych obszarów i zidentyfikowanych znaczących regionalnych źródeł emisji zanieczyszczeń. Badania takie winny być prowadzone okresowo, dla zgromadzenia reprezentatywnej dla kraju i regionalnych stacji tła informacji, o zmienności czasowo-przestrzennej profilu chemicznego pyłu i śledzenia zmian w tym zakresie powiązanych ze zmianami zagospodarowania przestrzennego kraju i zmianami BAT wdrażanymi w przemyśle.
- ✓ Analiza danych ze stacji monitoringu Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w pokazała, że dla stacji, które nie są w zasięgu bezpośredniego oddziaływania lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń, możliwa jest ocena oddziaływania odległych źródeł emisji pyłów oraz transportu pyłu z dalekich odległości przy pomocy:
 - pomiarów stężeń,
 - pomiarów natężenia strumieni pyłów,
 - 24-godzinnych trajektorii wstecznych (zgodnych z lokalnymi warunkami meteorologicznymi).
- ✓ Na wszystkich stacjach monitoringu należy wykonywać analizę statystyczną stężeń pyłu $PM_{2,5}$ i/lub pyłu PM_{10} względem kierunków napływu pyłu oraz natężenia strumienia tych zanieczyszczeń w sektorach napływu w celu identyfikacji sektorów napływu, w których występują podwyższone stężenia i natężenia zanieczyszczeń pyłowych. Postępowanie takie zwiększy wiedzę na temat źródeł emisji odpowiedzialnych za notowane poziomy stężenia.

- ✓ Do analizy epizodów, celowe jest wykorzystanie informacji o zmienności stężeń chwilowych lub liczebności cząstek. Z uwagi na dużą zmienność procesów atmosferycznych wynikającą z dobowych cykli zmienności parametrów meteorologicznych zagregowane dane do doby nie dają pełnego obrazu napływu. Z tego względu należy rozważyć wyposażenie stacji tła regionalnego w aparaturę pozwalającą na śledzenie szybkozmiennych parametrów emisji pyłów, takiej jak wielokanałowe mierniki optyczne, nefelometry, liczniki ziaren itd. Informacja uzyskana na tej drodze może być przydatna do identyfikacji sytuacji potencjalnych epizodów związanych z oddziaływaniem naturalnych źródeł emisji i określania czasu ich trwania.
- ✓ Wyniki pomiarów podstawowych składników jonowych i metali winny być prowadzone w cyklu dobowym (próbki składane nie pozwalają na analizę epizodów i prowadzenie dokumentacji udziału składników naturalnych w sposób opisany w Wytycznych KE).
- ✓ Należy rozważyć wariant prowadzenia monitoringu z wykorzystaniem filtrów teflonowych do pobierania pyłów do analiz składu chemicznego – filtry kwarcowe i szklane wprowadzają wysokie tło.
- ✓ Stosowanie mierników wysokoprzepływowych w kontekście analiz OC/EC, jonów i metali wymaga lepszego udokumentowania homogeniczności rozkładu ww. substancji na powierzchni filtrów.
- ✓ Lokalizacja czerpni na stanowiskach tła winna gwarantować ograniczenie ryzyka pobierania pyłów podnoszonych bezpośrednio z powierzchni terenu przyległego przy słabych porywach wiatru – poziom winien być ujednolicony dla całego kraju.
- ✓ Ocena oddziaływania odległych źródeł emisji pyłu przy pomocy danych pomiarowych ze stacji monitoringu, które znajdują się pod wpływem dużych lokalnych źródeł emisji pyłu jest obciążona dużą niepewnością. Na tak zlokalizowanych stacjach należy natomiast:
 - ustalić lokalizację dużych źródeł emisji pyłu $PM_{2,5}$ oraz PM_{10} w sąsiedztwie stacji, wyznaczonym jako obszar, z którego zanieczyszczenia pyłowe docierają do stacji w ciągu kilku godzin,
 - wyznaczyć strumień napływu pyłu przy pomocy rzeczywistych pomiarów wiatru na stacji monitoringu oraz modelowania lokalnych warunków meteorologicznych skorygowanych przy pomocy danych ze stacji monitoringu (dane muszą zawierać minimalny zestaw parametrów umożliwiających analizę adwekcji zanieczyszczeń),
 - wyznaczyć charakterystykę statystyczną przyrostów stężeń pyłów przy napływie zanieczyszczeń z kierunku zidentyfikowanych źródeł emisji w stosunku do stężeń występujących przy napływie z innych kierunków,
 - określić statystyczną charakterystykę lokalnego tła stężeń pyłów.

5. Wnioski z realizacji projektu

5.1. Stężenie i skład chemiczny pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$

Stwierdzono występowanie przekroczeń dopuszczalnych poziomów stężeń $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach. W Gdańsku i Diablej Górze stężenia roczne $PM_{2,5}$ nie przekroczyły poziomu $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

W przypadku stężeń PM_{10} , w Gdańsku wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej liczby dni, w których stężenia PM_{10} były wyższe niż dobową wartość dopuszczalną dla tego zanieczyszczenia. Na stacji komunikacyjnej w Katowicach przekroczenia dotyczyły zarówno liczby dni z przekroczonym dopuszczalnym stężeniem dobowym, jak również stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego stężenia średniorocznego.

Dla benzo(a)pirenu stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych poziomów stężeń w pyłe PM_{10} w Gdańsku i w Katowicach. Nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych poziomów stężeń dla badanych metali ciężkich.

Wyniki pomiarów stężeń oraz analizy składu chemicznego ilustrują podstawowe (typowe) problemy wynikające z obecnej struktury emisyjnej w kraju. Wyniki te obrazują jednocześnie stan świadomości ekologicznej, poziom i efektywność zarządzania jakością powietrza w skali lokalnej i globalne podejście do problematyki ochrony powietrza.

Analiza przebiegów zmienności stężeń w badanych punktach ilustruje charakterystyczne czynniki wpływające na stężenie $PM_{2,5}$ w kraju. Charakter zmienności stężeń ilustruje roczny cykl zmienności temperatur i powiązaną z nim emisję z energetycznego spalania, rzutującą w decydujący sposób na poziom stężeń. Różnice stężeń wynikają z odległości od pierwotnych źródeł emisji i uzależnione są od koncentracji niskich emitatorów.

Maksymalne stężenia występują w obszarze aglomeracji górnośląskiej o największej emisji zanieczyszczeń, stężenia w aglomeracji trójmiejskiej są o połowę niższe – w stacji tła stanowią ok. $\frac{1}{4}$ stężeń notowanych na Śląsku. W obszarze Śląska odnotowano znaczące przekroczenie poziomu dopuszczalnego $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O wysokości stężeń we wszystkich lokalizacjach decyduje sezon zimowy. Podobnie jak dla stężeń $PM_{2,5}$, stężenia PM_{10} , mierzone na przeciwległych krańcach kraju wykazują analogiczny cykl roczny, skorelowany ze zmiennością warunków termicznych i związaną z nimi emisją ze spalania paliw w celach grzewczych.

Przebiegi średnich miesięcznych stężeń PM odzwierciedlają główne problemy zarządzania jakością powietrza w odniesieniu do PM_{10} . W obszarze Polski południowej występuje najczęściej sytuacja przekraczania normy rocznej w powiązaniu z naruszeniem dopuszczalnej liczby dni z przekroczeniem wartości dobowej. Jest to efektem kumulowania wysokiej emisji komunalnej, związanej ze spalaniem dostępnego w tym rejonie niskogatunkowego węgla i innych paliw generujących emisję PM_{10} oraz niekorzystnych warunków klimatycznych, związanych z występowaniem sytuacji stagnacyjnych na dużych obszarach (rejonów górskich dolin, Wyżyny Śląskiej, Małopolski, itp.).

W obszarze Polski centralnej, o wyższym indeksie przewietrzania i lepszej dostępności do paliw gazowych oraz większym rozproszeniu zabudowy i mniejszej koncentracji przemysłu,

występuje problem przekraczania liczby dni z przekroczoną normą dobową dla PM_{10} . Wynika to bezpośrednio z warunków klimatycznych w okresie chłodnej pory roku (liczba dni z niską temperaturą). Stosowanie paliw kopalnych do opalania zasobów komunalnych skutkuje przekroczeniami stężeń dobowych. Na emisje z energetycznego spalania nakłada się wysokie tło regionalne i emisja komunikacyjna. Efektem są odnotowywane przekroczenia poziomów dobowych, co z powodu występowania długich okresów zimnych skutkuje naruszeniem standardów jakości powietrza.

We wszystkich rozpatrywanych lokalizacjach uwiadamia się odwrotna zależność stężeń PM od temperatury, widoczne są też efekty depozycji mokrej PM w przypadku występowania opadów deszczu. Jak wspomniano wcześniej poziomy stężenie związane są z lokalizacją, a zatem z narażeniem na emisję niską i oddziaływaniem wtórnych zanieczyszczeń (tło powodowane przez wtórny aerozol organiczny).

Przeprowadzone badania składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} wykazały małe jego zróżnicowanie. Wyniki świadczą o zdecydowanie antropogenicznym pochodzeniu PM . W składzie pyłu $PM_{2,5}$ dominują składniki emisji pierwotnej: związki węgla, w tym pierwiastki alkaliczne, metale ciężkie, WWA.

Stwierdzono znaczący udział wtórnego aerozolu nieorganicznego, siarczanów i azotanów oraz związków amonowych. Udział frakcji mineralnej w $PM_{2,5}$ jest ograniczony – zakres badań (powiązany z obowiązującymi normami) nie pozwala w pełni zidentyfikować wszystkich składników $PM_{2,5}$. W tym celu wymagane są badania pełnego profilu pierwiastkowego np. metodą XRF (ponad 40 pierwiastków), które pozwalają na konstrukcję pełnego profilu chemicznego – odpowiadającego profilom stosowanych, uznanych w świecie modelach receptorowych (do identyfikacji źródeł pochodzenia PM).

Stwierdzone różnice stężeń analizowanych substancji wynikają raczej z odnotowanych poziomów stężeń PM niż ze specyfiki lokalnej. Specyfiki tej nie da się zidentyfikować prawidłowo w systemie analizy próbek miesięcznych, dane te mogą być jedynie wskazówką do podejmowania decyzji o potrzebie analiz dobowych. Chcąc sprostać Wytężnym KE w zakresie identyfikacji źródeł naturalnych konieczne jest dokumentowanie dobowych zmian składu chemicznego (w przypadku aerozolu morskiego konieczne jest zbadanie co najmniej 1 składnika soli morskiej w stężeniach dobowych dla danego epizodu).

Podobnie dla oddziaływań komunikacyjnych konieczne są badania równoległe $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz oznaczanie w nich składników mineralnych charakterystycznych dla posypywania solą lub piaskiem w obszarze oddziaływania. Jak wynika z przeprowadzonych badań, emisję naturalną w okresie udokumentowanych przekroczeń można pominąć. Odjęcie udziału chlorków w stacji komunikacyjnej nie wpłynie istotnie na średnią roczną jak też na dobową.

Jedynie w obszarach nadmorskich można oczekiwać znaczącego oddziaływania aerozolu morskiego w okresach sprzyjających emisji aerozolu z powierzchni morza (okresy sztormowe).

W rejonie południowej Polski w odległościach ponad 500 km od morza, w udokumentowanych sytuacjach adwekcji z obszarów Morza Północnego zwykle występują niskie poziomy stężenie (w obszarze GOP – stężenia rzędu $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), zatem odjęcie udziału aerozolu morskiego nie da spodziewanych efektów w zakresie ograniczenia stężenia średniorocznego, nie wpłynie też na ocenę i liczbę epizodów.

Wprowadzenie systemu umożliwiającego analizę wpływu źródeł naturalnych na stężenia pyłu wymaga podjęcia działań organizacyjnych i znacznych nakładów finansowych na:

- stworzenie systemu monitorowania i obrazowania trajektorii napływu mas powietrza na obszary potencjalnie czułe,
- prowadzenie badań składu chemicznego obu frakcji PM dla potrzeb identyfikacji składu chemicznego i określania udziału materii mineralnej,
- zwiększenie liczby stacji tłowych o obszary reprezentatywne:
 - dla napływów z obszarów morskich (w przypadku decyzji o odliczaniu średniorocznego stężenia aerozolu morskiego i epizodów 24 h w danej strefie zlokalizowanej w rejonie oddziaływania Bałtyku),
 - dla terenów podlegających erozji (w przypadku stwierdzenia, że tereny te kwalifikują się do uznania przez KE jako tereny, z których następuje emisja „naturalna”),
- rozbudowę segmentu pomiarów pionowego profilu atmosfery (w zakresie meteo i rozkładu pionowego aerozoli) dla identyfikacji skali adwekcji (lokalna, kontynentalna),
- wprowadzenie pomiarów $PM_{2,5}$ na filtrach teflonowych z wykorzystaniem szybkich technik analitycznych do określania profilu chemicznego (EDXRF i chromatografia jonowa z jednej próbki).

Wprowadzenie tych zmian w systemie monitoringu przy określonych obecnie przyczynach wysokich stężeń nie gwarantuje uzyskania pozytywnej opinii KE w sprawie podjęcia prób odliczania udziałów emisji naturalnych.

5.2. Analiz składu chemicznego pyłu – identyfikacja podstawowych substancji wchodzących w skład $PM_{2,5}$ i PM_{10} (dopełnienie masy)

Za wyjątkiem $PM_{2,5}$ w Katowicach, w pozostałych analizowanych lokalizacjach większą część składu chemicznego masy pyłu zidentyfikowano i określono w sezonie zimowym; w sezonie letnim udział niezidentyfikowanej masy był większy.

W poszczególnych porach roku (zima: styczeń, luty, grudzień; jesień: wrzesień, październik, listopad; lato: czerwiec, lipiec, sierpień; wiosna: marzec, kwiecień, maj) nie stwierdzono bardzo wyraźnych różnic w udziałach oznaczanych siedmiu grup związków (nieorganiczny aerozol wtórny, sól morską, materia organiczna, węgiel elementarny, materia mineralna, metale ciężkie, materia nieoznaczona).

Ze względu na zastosowaną technikę pomiarową (metoda termiczna analizator IR – OC/EC) średniomiesięczne stężenia materii organicznej uzyskane w tej pracy mogą być niedoszacowane.

Na podstawie wyników uzyskanych w tej pracy trudno jest ocenić udział OC_{sec} w całkowitym stężeniu OC w wybranych lokalizacjach. Do tego celu konieczne jest prowadzenie analiz pojedynczych próbek dobowych, najlepiej metodą termo-optyczną, w każdej lokalizacji oddzielnie.

Dla każdej z lokalizacji objętych badaniami, stężenia węgla elementarnego i jego udział w masie pyłu były najwyższe w styczniu i lutym.

Wyniki bilansu chemicznego masy pyłu, wykonane dla próbek dobowych w dniach uznanych za epizody podwyższonego stężenia PM, potwierdziły, że generalnie w każdej lokalizacji wysokie stężenia węgla elementarnego miały związek z występowaniem w zimie dodatkowego źródła – spalania paliw dla celów grzewczych.

Najwyższy udział aerozolu wtórnego w PM odnotowano dla próbek $PM_{2,5}$ z Diabiej Góry – wartość średnioroczna tego udziału wynosiła około 36%.

W Gdańsku, gdzie na jednej stacji pobierano pył PM_{10} i $PM_{2,5}$ stwierdzono, że udział nieorganicznego aerozolu wtórnego (NAW) w PM_{10} był o kilka % niższy niż w $PM_{2,5}$.

Najmniejszą zawartością NAW charakteryzowały się próbki PM_{10} ze stacji komunikacyjnej w Katowicach, gdzie udział NAW w masie PM wynosił średnio około 18% w całym roku 2010.

We wszystkich lokalizacjach, za wyjątkiem Diabiej Góry średni udział soli morskiej (SM) w masie pyłu wynosił w granicach 8-9%.

W Diabiej Górze i w Katowicach ($PM_{2,5}$) zaskakująco wysoki udział SM zanotowano w maju i w czerwcu. W miesiącach tych odnotowano stosunkowo niskie stężenia jonów Cl^- , jednak wysokie stężenia składników alkalicznych pyłu. Może to świadczyć o pojawieniu się dodatkowego, być może naturalnego, źródła sodu i innych substancji alkalicznych w powietrzu, np. pożaru czy spalania biomasy.

Analiza składu chemicznego próbek średniomiesięcznych z punktu komunikacyjnego w Katowicach wskazuje, że źródłem SM w PM_{10} może być posypywanie dróg solą.

W celu ustalenia ilościowego wpływu posypywania dróg solą na stężenia PM_{10} wskazana jest w przyszłości pełna analiza składu pierwiastkowego równoległych próbek dobowych $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz przeprowadzenie dokładnej oceny w oparciu o dane meteorologiczne (zwłaszcza kierunek i prędkość wiatru).

Niezależnie od lokalizacji punktu pomiarowego – tło regionalne, tło miejskie – udział materii mineralnej w $PM_{2,5}$ wynosił około 13% w sezonie letnim, 5% w sezonie zimowym i około 8% średnio w ciągu całego 2010 roku. Ponieważ udziały te bardzo dobrze zgadzają się z danymi literaturowymi z różnych stanowisk pomiarowych $PM_{2,5}$ na świecie, można uznać, że przyjęty sposób szacowania udziału materii mineralnej w pyłe jest poprawny i średnio w roku 8% masy $PM_{2,5}$ związanych jest ze źródłami naturalnymi – glebą, piaskiem.

Nie mniej niż 10% PM_{10} w Gdańsku pochodzi ze źródeł naturalnych – gleby, piasku, itd.

Główny udział w materii mineralnej zidentyfikowanej w miesiącach zimowych w PM_{10} w Katowicach ma krzemionka, zatem posypywanie drogi w Katowicach piaskiem w zimie to znaczące (kilka $\mu g/m^3$) źródło pyłu PM_{10} (jakkolwiek przekazany do badań materiał do zimowego utrzymania autostrady w 100% zawierał NaCl).

W przypadku punktów komunikacyjnych, takich jak punkt pomiarowy PM_{10} w Katowicach, materia mineralna to prawdopodobnie mieszanina pyłu drogowego i glebowego, porywana poprzez mieszające się masy powietrza, zmieniająca pod wpływem różnego rodzaju przemian i procesów swój skład chemiczny oraz rozmiar cząstek PM.

5.3. Analiza epizodów

Specyfika zanieczyszczeń pyłowych w Polsce powoduje, że dominującym źródłem wpływającym na imisję są źródła antropogeniczne. Udowadnia to zarówno przestrzenne zróżnicowanie stężeń pyłu PM_{10} jak również jego przebieg roczny. Najwyższe stężenia a także największą liczbą przekroczeń w ciągu całego roku obserwuje się na stacjach tła miejskiego położonych w dużych aglomeracjach. W przebiegu rocznym przekroczenia wartości dopuszczalnych dotyczą głównie okresu chłodnego.

Zgodnie z Art. 20(2) Dyrektywy 2008/50/WE przekroczenie poziomu dopuszczalnego może nie być uznane za przekroczenie w rozumieniu Dyrektywy, jeżeli Komisja Europejska zostanie poinformowana, że było ono spowodowane wpływem źródeł naturalnych. Oznacza to, że:

- a) udział konkretnych „epizodów naturalnych” lub udział tła naturalnego musi być wyrażony zależnościami numerycznymi, tak aby umożliwić identyfikację i rozróżnienie udziału komponentów naturalnych i antropogenicznych w obserwowanych stężeniach;
- b) ocena ilościowa udziału naturalnego powinna być dokonana z możliwie największą dokładnością; należy każdorazowo dokonać obliczeń niepewności wyznaczenia udziału naturalnego oraz starać się usunąć wszelkie błędy systematyczne oraz wszelkie zaburzenia wprowadzane przez udział antropogeniczny;
- c) niepewności związane z oceną ilościową udziałów naturalnych muszą być dostarczone w sprawozdaniu.

Ocena ilościowa udziału naturalnego musi być dostosowana do okresu uśredniania rozważanej wartości granicznej. Według Komisji pod tym względem udziały naturalne można podzielić na dwie grupy:

- pierwszą obejmującą faktyczne epizody krótkotrwałe (związane z transportem cząstek naturalnych z regionów suchych, erupcje wulkaniczne, aktywność sejsmiczną oraz pożary lasów,
- drugą obejmującą epizody naturalne, których czas trwania jest stosunkowo długi. Do tych drugich należy zaliczyć oddziaływanie aerozolu morskiego.

Rozpatrując sytuacje wyodrębnionych w pracy epizodów z punktu widzenia meteorologicznego należy zauważyć, że ocena potencjalnego wpływu źródeł naturalnych w tych przypadkach jest niezwykle trudna do przeprowadzenia. Wszystkie poddane analizie epizody dotyczą sytuacji związanych z niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi (występowanie niskiej temperatury powietrza i niezbyt wysokiej warstwy mieszania). Wybrane epizody miały miejsce w przeważającej większości w sytuacjach słabo-gradientowych, przy znacznym udziale sytuacji antycyklonalnych.

Przeprowadzona analiza napływu za pomocą oceny sytuacji synoptycznej a także analiza tzw. trajektorii wstecznych pozwoliła co prawda na wnioskowanie o możliwości udziału napływu zanieczyszczeń, pochodzących z dalekiego transportu, jednak ich udział nie

przekraczał wartości $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla pyłu PM_{10} i do $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pyłu $PM_{2,5}$, a wpływ na stężenia PM w wybranych lokalizacjach miały przede wszystkim źródła lokalne.

Potwierdzeniem podobnego pochodzenia epizodów pyłowych jest analiza dokonana przy wykorzystaniu zaawansowanych metod statystycznych (rzutowania Sammona, klasyfikacji za pomocą sztucznych sieci neuronowych itp.), gdzie wszystkie analizowane przypadki epizodów grupują się w podobnym położeniu. Świadczy to o oddziaływaniu podobnego zespołu czynników meteorologicznych, które odpowiadają głównie za oddziaływanie lokalne (komunalne bądź przemysłowe).

Do takich samych wniosków doprowadziła także analiza warunków meteorologicznych i stężeń pyłu przeprowadzona dla całego roku na danych uśrednionych. W wyniku tej analizy wyodrębniono kilka grup sytuacji podobnych meteorologicznie (6 – 8 zależnie od regionu), podczas których zanieczyszczenie pyłem przekraczało wartości dopuszczalne. Sygnalizowany wpływ odległych źródeł, związany z warunkami ogólnej cyrkulacji atmosfery a udokumentowany na podstawie analizy trajektorii wstecznych, dotyczy prawie w całości źródeł antropogenicznych bądź takich źródeł naturalnych, które nie kwalifikują się do ubiegania się o odliczenia udziału.

Z tego punktu widzenia należy uznać, że rozpatrywane epizody nie wynikały ze znaczącego udziału czynników naturalnych w świetle Wytycznych Komisji.

Transport pyłów naturalnych z regionów suchych

Transport z pustyni Sahara lub z obszaru Azji Środkowej może stanowić znaczące wartości całkowitego stężenia PM_{10} jedynie w krajach śródziemnomorskich, a tylko incydentalnie w krajach Europy Centralnej i Środkowej. W Polsce zjawisko to może sporadycznie zdarzać się w przypadku napływu powietrza z sektora południowego,

Zasięg takiego wpływu jest jednak ograniczony do obszaru Polski Południowej, a wielkość stężenia pyłu nie może stanowić znaczącego udziału w odliczeniach.

Podobnie marginalne znaczenie może mieć wpływ pyłu eolicznego znad Wielkiej Niziny Węgierskiej.

Podsumowując, należy uznać, że udział transportu pyłów naturalnych z regionów suchych nie może stanowić podstawy do odliczenia udziału.

Aerozol morski

Występowanie w pyłe aerozolu morskiego związane jest prawie wyłącznie z sytuacjami sztormowymi, wywołanymi przemieszczaniem się układów niskiego ciśnienia z aktywnymi frontami. W takich sytuacjach należy oczekiwać, że bezpośrednie oddziaływanie aerozolu może sięgać do 50 – 75 km w głąb lądu. Jednocześnie trzeba zaznaczyć, że ze względu na prędkość wiatru, w atmosferze panują wówczas dobre warunki dyspersji i mierzone stężenia pyłu są na ogół stosunkowo niskie.

Innym potencjalnym źródłem aerozolu morskiego w pyłe mogą być sytuacje związane z cyrkulacją lokalną (bryzą morską).

W takich sytuacjach napływ aerozolu morskiego może potencjalnie występować w ciągu dnia, gdy kierunek bryzy skierowany jest od morza ku lądowi.

Ocenia się, że częstość występowania sytuacji bryzowej nie przekracza 40 dni rocznie, a maksymalna prędkość wiatru wynosi 4 m/s. Zasięg bryzy morskiej jest ograniczony i wynosi do około 5 km w głąb lądu.

Ze względu na małą prędkość wiatru i lokalny zasięg oddziaływania, mechanizm bryzy morskiej nie stanowi większego znaczenia.

Podsumowując należy uznać, że sytuacje meteorologiczne sprzyjające oddziaływaniu aerozolu morskiego na imisję zanieczyszczeń na obszarach lądowych przybrzeża stanowią ogółem około 15% czasu w roku. Faktyczna wielkość udziału aerozolu morskiego w stężeniu pyłu jest jednak trudna do oceny.

Erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczna i geotermalna

Podsumowując, należy uznać, że erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczna i geotermalna nie mają większego wpływu na wielkość imisji pyłu w Polsce, choć niewątpliwie w przypadku wystąpienia podobnych sytuacji należy wdrożyć procedurę zaproponowaną w Wytocznych Komisji.

Pożary lasów

W przypadku pożarów lasów znajdujących swe źródło poza terytorium kraju członkowskiego można odliczyć udział tego pyłu w stężeniu całkowitym PM_{10} .

Długotrwałe pożary lasów na terenie Rosji w sierpniu 2010 roku nie znalazły odzwierciedlenia w stężeniach zanieczyszczeń pyłowych na terenie Polski. Należy zatem oczekiwać, że sytuacje takie nie będą miały znaczącego udziału w stężeniach pyłu PM_{10} w Polsce, choć w przypadku ich wystąpienia, należy postępować zgodnie z procedurą zaproponowaną w Wytocznych Komisji.

Przeprowadzone badania wykazały, że dominującym źródłem wpływającym na skład pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ w Polsce są aerozole antropogeniczne.

Jest to wyraźnie widoczne przy analizie wszystkich opisywanych epizodów, zwłaszcza na stacjach tła miejskiego. Analiza warunków napływu zanieczyszczeń na stację Diabla Góra a także analiza chemiczna składu pyłu z tej lokalizacji wykazuje co prawda potencjalny wpływ źródeł naturalnych, jednak ich ilościowe wyodrębnienie jest trudne.

Także w przypadku Gdańska pewien wpływ na stężenia pyłu może mieć aerozol morski, co wynika z analizy warunków napływu zanieczyszczeń nad stację.

Wyodrębnienie jednak wielkości takiego udziału jest niemożliwe bez szerokiego zakresu analiz chemicznych wykonywanych w cyklach dobowych.

Analiza trajektorii w trakcie epizodów

Przeprowadzone w ramach pracy analizy trajektorii wstecznych dla wszystkich wybranych epizodów na stacjach w Diablej Górze, Gdańsku i Katowicach prowadzą do następujących wniosków.

Diabla Góra

Analiza strumieni pyłu zarejestrowanych na stacji w Diablej Górze w trakcie epizodów przy wykorzystaniu średniodobowych stężeń pyłu pozwoliła zidentyfikować i rozróżnić napływ pyłu z całej północno-wschodniej części Polski oraz przepływy transgraniczne w tym rejonie. Analiza tych napływów pokazała, że epizodom na stacji w Diablej Górze towarzyszyły na całym obszarze źródłowym (niezależnie od kierunku napływu) stężenia pyłu $PM_{2,5}$ przekraczające $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wynika z tego że w trakcie zidentyfikowanych epizodów pyłowych w Diablej Górze w całym obszarze zasilania tej stacji średniodobowe stężenia pyłu PM_{10} przekraczały $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gdańsk

Analiza strumieni pyłu w rejonie Trójmiasta pozwoliła na zidentyfikowanie lokalizacji dużych źródeł emisji pyłu w rejonie Gdańska, obszarowych źródeł emisji pyłu na terenie Gdańska oraz źródeł emisji pyłu w Trójmieście i jego okolicy oraz określić zakres stężeń, za który one odpowiadają.

Za poziomy stężenie notowane w trakcie epizodów na terenie Trójmiasta w zbliżonym stopniu odpowiadają:

- źródła przemysłowe na terenie Gdańska,
- inne źródła emisji pyłu na terenie Gdańska (małe źródła przemysłowe, emisja komunalna emisja komunikacyjna),
- źródła emisji pyłu w kilkunastokilometrowym otoczeniu stacji, źródła na terenie Sopotu i Gdyni oraz przede wszystkim źródła w miejscowościach na południe od Gdańska.

Szacunkowa ocena najwyższych stężeń pyłu PM_{10} powodowanych przez źródła odległe daje zakres $35\text{-}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w zależności od rejonu skąd pochodził pył.

Wszystkim epizodom w Gdańsku towarzyszyły niesprzyjające warunki propagacji zanieczyszczeń – mała prędkość wiatru, mała wysokość warstwy mieszania oraz zwiększona emisja pyłu z powodu niskich temperatur powietrza.

Katowice

Analiza strumieni pyłu w rejonie GOP pozwoliła zidentyfikować duże przemysłowe źródła pyłu oraz określić zakres stężeń, za który one odpowiadają. Źródła te mają znaczący wpływ na poziom stężeń pyłu tylko przez pewien czas.

Za pozostałe stężenia pyłu odpowiedzialne są różne mniejsze źródła emisji występujące w dużej liczbie i w dużej koncentracji na całym obszarze GOP (w tym źródła niskiej emisji).

Bardzo istotny wpływ na poziom stężeń ma napływ pyłu spoza obszaru GOP. W trakcie epizodów taki napływ miał miejsce głównie ze wschodu. Mniejsze znaczenie miał stwierdzony napływ pyłu z południa oraz zachodu.

Oszacowanie oddziaływań źródeł odległych jest praktycznie niemożliwe.

Na poziom stężeń pyłu w rejonie GOP duży wpływ mają warunki meteorologiczne.

Bliskość równoleżnikowego pasma górskiego oraz ukształtowanie terenu w pozostałej części GOP formuje przepływ coraz bardziej zanieczyszczonego powietrza nad obszarami dużej emisji pyłu. Powoduje to bardzo duży wzrost stężeń pyłu. Ekstremalna sytuacja miała miejsce 27 stycznia. W trakcie tego epizodu (ok. godz. 01:00) stężenie pyłu PM_{10} oszacowane na podstawie zmierzonego w tym dniu stężenia średniodobowego (wyznaczonego w ramach projektu na stacji przy ul. Wita Stwosza) i stężeń jednogodzinnych (mierzonych na stacji WIOŚ w Chorzowie) przekraczało 700 mg/m^3 .

Emisje naturalne

W kontekście tego, co zostało powiedziane powyżej, identyfikacja w trakcie epizodów tych stężeń, które były powodowane przez źródła o małym natężeniu emisji pyłu (do których zalicza się źródła naturalne) jest niemożliwa.

Wnioski ogólne

Nadzór przepływów zanieczyszczeń i ocena udziału poszczególnych źródeł emisji stają się głównym zadaniem w zarządzaniu jakością powietrza. Może on być zrealizowany poprzez identyfikację długodystansowych strumieni zanieczyszczeń.

Stacja PMŚ w Diablej Górze, ze względu na bardzo dobrą lokalizację, ma możliwość identyfikacji mało zmiennych strumieni zanieczyszczeń w długich okresach czasu.

Jednakże, aby w pełni wykorzystać ten atut, konieczne jest prowadzenie pomiarów natężenia strumienia pyłu z odpowiednią częstością. Obecnie zasadniczym mankamentem pomiarów pyłu na stacji jest brak rozpoznania wpływu, jaki na mierzone stężenia pyłu mają emisje ze źródeł zlokalizowanych w niewielkiej odległości od stacji.

Poprzez odpowiednio wybrany czas próbkowania stężeń i filtrację otrzymanego sygnału, można wydzielić stężenia powodowane oddziaływaniem bliskich źródeł emisji.

Podobna kontrola przepływu pyłu powinna być prowadzona w południowo-zachodniej części kraju, aby ustalić przepływ pyłu na granicy zachodniej.

5.4. Wytyczne i wnioski dotyczące monitorowania $PM_{2,5}$ dla potrzeb oceny oddziaływania źródeł i naturalnych i antropogenicznych

W pracy dokonano analizy Wytycznych Komisji Europejskiej w odniesieniu do możliwości i metod odliczania udziału tych źródeł w wartościach stężenia pyłu przekraczających poziom dopuszczalny.

Odliczanie jest możliwe jedynie wówczas, gdy zostanie udowodniony i określony ilościowo udział źródeł naturalnych bądź udział soli/piasku pochodzących z zimowego utrzymania dróg w stężeniu pyłu.

Do źródeł naturalnych, dla których istnieje możliwość odliczania udziału w stężeniu pyłu PM_{10} Wytyczne Komisji Europejskiej zaliczają:

- transport pyłów naturalnych z regionów suchych,
- aerozol morski,
- erupcje wulkaniczne oraz aktywność sejsmiczną i geotermalną,
- pożary lasów.

Źródłami, których udział nie powinien być brany pod uwagę przy ewentualnych odliczeniach, są:

- pylenie wtórne (resuspensja),
- pierwotny aerozol pochodzenia biologicznego,
- wtórny aerozol pochodzenia biologicznego.

W przypadku odliczania udziałów źródeł naturalnych w stężeniach zanieczyszczeń powietrza należy przestrzegać poniższych zasad określonych w Wytycznych Komisji Europejskiej:

- udziały muszą mieć pochodzenie naturalne i nie mogą być wynikiem bezpośredniej lub pośredniej działalności człowieka,
- ocena ilościowa udziału naturalnego powinna być dostatecznie precyzyjna,
- ocena ilościowa udziału naturalnego musi być dostosowana do okresu uśredniania rozważanej wartości stężenia,
- ocena ilościowa źródeł naturalnych musi być opisana przestrzennie,
- udział źródeł naturalnych należy wykazać w procesie systematycznej oceny,
- ocena ilościowa musi być zademonstrowana dla każdego zanieczyszczenia oddzielnie.

Podobne zasady zostały sformułowane w przypadku odliczania udziału posypywania dróg solą lub piaskiem w okresie zimowym:

- udziały muszą być jednoznacznie przypisane posypywaniu ulic piaskiem lub solą w zimie,
- ocena ilościowa musi być wystarczająco precyzyjna i dokładna oraz odpowiadać okresowi uśredniania wartości stężenia,

- reprezentatywność stacji pomiarowych, na których wyznaczany jest udział posypywania ulic piaskiem/solą w okresie zimowym musi być określona (problem dotyczy stacji komunikacyjnych),
- udział posypywania ulic piaskiem lub solą w zimie w zmierzonych stężeniach PM_{10} musi być określony ilościowo w $\mu g \cdot m^{-3}$ dla każdego dnia przekroczeń,
- metoda wyznaczania tego udziału musi być udokumentowana.

W opracowanych przez Komisję Europejską Wytycznych do oceny wpływu solenia i piaskowania dróg za poziom stężenia pyłu PM_{10} w obecnej chwili są rekomendowane dwie metody postępowania:

- chemiczna – uwzględnienie zawartości chlorków w pyłe (odzwierciedlająca wpływ soli używanej w zimowym utrzymaniu dróg),
- uwzględnienie frakcji pomiędzy 2,5 a 10 μm (świadczącej o wpływie posypywania dróg piaskiem, gdy stosunek stężenia pyłu $PM_{2,5}/PM_{10}$ jest mniejszy lub równy 0,5).

Metoda pierwsza wymaga dodatkowych badań pyłu (oznaczanie chlorków), a metoda druga wymaga wykorzystania wyników pomiarów stężenia pyłu $PM_{2,5}$ – najlepiej pochodzących z tej samej stacji komunikacyjnej; na ogół dane te nie są dostępne i w takich przypadkach wytyczne dopuszczają posługiwanie się danymi pochodzącymi ze stacji tła miejskiego w mieście, dla którego prowadzi się procedurę odliczania.

Udział cząstek pochodzących z omawianych wcześniej źródeł powinien być określany dla wartości dobowych, a następnie może zostać odliczony od poszczególnych wartości 24-godzinnych.

Jeśli przekroczenie poziomu dopuszczalnego dotyczy także wartości średniej rocznej stężenia pyłu PM_{10} , można obliczyć „zredukowaną” wartość stężenia średniorocznego.

W oparciu o analizy przeprowadzone w ramach pracy, poczynione spostrzeżenia oraz sformułowane w niej wnioski opracowano zestaw wytycznych do prowadzenia monitoringu pyłu oraz do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału różnych źródeł, tak by ułatwić prowadzenie analogicznych analiz w przyszłości oraz by poprawić ich jakość, poprzez poprawę kompletności danych niezbędnych do analizy.

- ✓ Program pomiarowy dla stacji tła pozamiejskiego obejmuje badania stężenia i składu pyłu PM_{10} , zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2004/107/WE oraz badania stężenia i składu pyłu $PM_{2,5}$, zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2008/50/WE. Zakres analiz chemicznych dla stacji tła winien obejmować szersze spektrum pierwiastków (np. oznaczenia metodą EDXRF), dla scharakteryzowania lokalnego profilu chemicznego pyłu powiązanego z naturalnymi źródłami (gleby) i charakterystycznych profili związanych z napływem z określonych obszarów. Badania takie winny być prowadzone okresowo dla zgromadzenia reprezentatywnej dla kraju i regionalnych stacji tła informacji, o zmienności czasowo-przestrzennej profilu chemicznego pyłu i śledzenia zmian w tym zakresie powiązanych ze zmianami zagospodarowania przestrzennego kraju.
- ✓ Analiza danych ze stacji monitoringu Diabla Góra w Puszczy Boreckiej pokazała, że dla stacji, które nie są w zasięgu bezpośredniego oddziaływania lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń, możliwa jest ocena oddziaływania odległych źródeł emisji pyłów oraz

transportu pyłu z dalekich odległości przy pomocy pomiarów stężeń, pomiarów natężenia strumienia pyłów, 24-godzinnych trajektorii wstecznych (zgodnych z lokalnymi warunkami meteorologicznymi).

- ✓ Na wszystkich stacjach monitoringu należy wykonywać analizę statystyczną stężeń pyłu $PM_{2,5}$ i/lub pyłu PM_{10} względem kierunków napływu pyłu oraz natężenia strumienia tych zanieczyszczeń w sektorach napływu. Umożliwi to identyfikację tych sektorów, w których występują podwyższone stężenia i natężenia zanieczyszczeń pyłowych. Postępowanie takie zwiększy wiedzę na temat źródeł emisji odpowiedzialnych za notowane poziomy stężeń.
- ✓ Do analizy epizodów, celowe jest wykorzystanie informacji o zmienności stężeń chwilowych lub liczebności cząstek. Z uwagi na dużą zmienność procesów atmosferycznych, wynikającą z dobowych cykli zmienności parametrów meteorologicznych, dane uśrednione w okresie 1 doby nie dają pełnego obrazu napływu. Z tego względu należy rozważyć wyposażenie stacji tła regionalnego w aparaturę pozwalającą na śledzenie szybkozmiennych parametrów emisji pyłów, takiej jak wielokanałowe mierniki optyczne, nefelometry, liczniki ziaren itd.
- ✓ Wyniki pomiarów podstawowych składników jonowych i metali winny być prowadzone w cyklu dobowym (próbki składane nie pozwalają na analizę epizodów i prowadzenie dokumentacji udziału składników naturalnych w sposób opisany w Wytycznych KE).
- ✓ Należy rozważyć wariant prowadzenia monitoringu z wykorzystaniem filtrów teflonowych do pobierania pyłów do analiz składu chemicznego (filtry kwarcowe i szklane wprowadzają wysokie tło).
- ✓ Lokalizacja czerpni na stanowiskach tła powinna gwarantować ograniczenie ryzyka pobierania pyłów pochodzących z wtórnego pylenia; poziom usytuowania czerpni powinien być ujednolicony dla całego kraju.
- ✓ Ocena oddziaływania odległych źródeł emisji pyłu przy pomocy danych pomiarowych ze stacji monitoringu, które znajdują się pod wpływem dużych lokalnych źródeł emisji pyłu jest obarczona dużą niepewnością. Na tak zlokalizowanych stacjach należy natomiast:
 - ustalić lokalizację dużych źródeł emisji pyłu $PM_{2,5}$ oraz PM_{10} w sąsiedztwie stacji, wyznaczonym jako obszar, z którego zanieczyszczenia pyłowe docierają do stacji w ciągu kilku godzin,
 - wyznaczyć strumień napływu pyłu przy pomocy rzeczywistych pomiarów wiatru na stacji monitoringu oraz modelowania lokalnych warunków meteorologicznych skorygowanych przy pomocy danych ze stacji monitoringu (dane muszą zawierać minimalny zestaw parametrów umożliwiających taką analizę),
 - wyznaczyć charakterystykę statystyczną przyrostów stężeń pyłów przy napływie zanieczyszczeń z kierunku zidentyfikowanych źródeł emisji w stosunku do stężeń występujących przy napływie z innych kierunków,
 - określić statystyczną charakterystykę lokalnego tła stężeń pyłów.

5.5. Podsumowanie

- ✓ Przeprowadzono roczną serię badań stężeń i składu chemicznego PM_{10} i $PM_{2,5}$, w obszarach o zróżnicowanej emisji i charakterze stacji pomiarowej.
- ✓ Zgromadzono bogaty materiał faktograficzny, dotyczący składu chemicznego pyłu.
- ✓ Przetestowano szereg procedur postępowania z filtrami w zakresie ich przygotowania do analiz i prowadzenia badań składu chemicznego pyłu.
- ✓ Uzyskano wymagane przepisami stopnie pokrycia czasu pomiarowego i ważności danych pomiarowych.
- ✓ W oparciu o analizy chemiczne przeprowadzono identyfikację składników głównych i substancji śladowych w obu frakcjach pyłu.
- ✓ Zaproponowano wytyczne do prowadzenia pomiarów w stacjach tłowych i przedstawiono propozycje metodyk pomiarowych oraz zaprezentowano uwagi, dotyczące dobrych praktyk laboratoryjnych w zakresie badań składu chemicznego pyłów.
- ✓ Wykonano analizy synoptyczne i modelowe, ilustrujący obiektywny sposób podejścia do oceny epizodów wysokich stężeń.
- ✓ Zbadano zróżnicowanie profilu chemicznego pyłów w wybranych lokalizacjach w Polsce.
- ✓ Stwierdzono, że wprowadzenie systemu umożliwiającego analizę wpływu źródeł naturalnych na stężenia pyłu wymaga podjęcia działań organizacyjnych i znacznych nakładów finansowych na:
 - stworzenie systemu monitorowania i obrazowania trajektorii napływu mas powietrza na obszary potencjalnie czułe,
 - powołanie stałej komórki „synoptycznej” analizującej na bieżąco sytuację imisyjną i synoptyczną w kraju, określającej zakres badań dodatkowych, w laboratoriach prowadzących analizy w stacjach tła, dokumentującej dla potrzeb Komisji Europejskiej oraz dla potrzeb zarządzania jakością powietrza w kraju niezbędne dane o epizodach i składzie chemicznym PM,
 - prowadzenie w ramach PMŚ szerszego zakresu badań składu chemicznego obu frakcji PM dla potrzeb identyfikacji składu chemicznego i określania udziału materii mineralnej i innych form chemicznych w PM,
 - zwiększenie liczby stacji tłowych o obszary reprezentatywne dla napływu z obszarów morskich i terenów podlegających erozji – tereny rolnicze w Polsce (Kujawy Mazowsze, rejon pogranicza z Białorusią i Ukrainą),
 - rozbudowę segmentu pomiarów pionowego profilu atmosfery,
 - wprowadzenie pomiarów $PM_{2,5}$ na filtrach teflonowych z wykorzystaniem szybkich technik analitycznych do określania profilu chemicznego (EDXRF i chromatografia jonowa – analiza pojedynczych próbek),
 - wdrożenie modeli receptorowych do wykonywania analiz źródeł pochodzenia obejmujące: wybranie metodologii analiz receptorowych, przygotowanie profili

- chemicznych PM_{10} i $PM_{2,5}$ dla typowych naturalnych i antropogenicznych procesów charakterystycznych dla działalności gospodarczej w kraju,
- powołanie zespołu ekspertów koordynujących działania w zakresie monitorowania profili chemicznych, statystycznej i numerycznej analizie danych z analiz składu fizykochemicznego PM.
- ✓ Wprowadzenie ww. zmian w systemie monitoringu przy określonych obecnie przyczynach wysokich stężeń nie gwarantuje uzyskania pozytywnej opinii KE w sprawie podjęcia prób odliczania udziałów naturalnych i wpływu posypywania dróg solą i/lub piaskiem w okresie zimowym na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem drobnym.
 - ✓ Wszelkie tego typu działania powinny być poprzedzone analizą ekonomiczną, również w kontekście działań lokalnych związanych z wdrażaniem POP w poszczególnych strefach.
 - ✓ Niezależnie od możliwości skorzystania z zapisów Dyrektywy odnośnie określania udziału źródeł naturalnych, należy zauważyć, że badania składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} powinny być zintensyfikowane w strefach potencjalnych przekroczeń, ze względu na potrzebę opracowania realnych strategii naprawczych dla POP.
 - ✓ Rezultaty niniejszego projektu po raz kolejny potwierdzają (badania GIOŚ z 2008 r.) istotne znaczenia wtórnego aerozolu nieorganicznego w kształtowaniu się stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$ we wszystkich częściach kraju.
 - ✓ Przeprowadzone w ramach projektu analizy trajektorii wstecznych dobitnie ilustrują rolę tła regionalnego, w tym potencjalne efekty powodowane przepływem transgranicznym – w szczególności w rejonie Bramy Morawskiej i obszarów południowo-zachodniej części kraju.
 - ✓ Istniejący system monitorowania powinien zostać doposażony o typowe stacje rangi krajowej, badające przepływy transgraniczne – w tym rejonie nie funkcjonują stacje o rozbudowanym zakresie badań aerozoli – stacje takie są we wszystkich krajach ościennych.