INSPEKCJA OCHRONY ŚRODOWISKA

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

RAPORT KOŃCOWY

Dofinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

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 PM10 i PM2,5 z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych

RAPORT KOŃCOWY

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 PM10 i PM2,5 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 1
1.1. Cel i zakres opracowania 1
1.2. Etapy realizacji 2
1.3. Wykonawcy 3
2. Prezentacje wyników analizy i ocen zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu 4
2.1. Metodyka badań 4
2.1.1. Lokalizacja, charakterystyka i wyposażenie punktów pomiarowych 4
2.1.2. Metodyka określania stężeń PM2,5 i PM10 21
2.1.3. Procedury transportu filtrów i obsługi sprzętu 22
2.1.4. Pomiar grawimetryczny masy pyłu 23
2.1.5. Przygotowanie próbek pyłu do badań składu chemicznego PM2,5 i PM10 24
2.1.6. Zakres analiz chemicznych i stosowane metodyki 26
2.2. Omówienie wyników pomiarów stężeń i składu chemicznego PM10 i PM2,5 w badanych lokalizacjach 41
2.2.1. Punkt pomiarowy Diabla Góra (stacja tła regionalnego), pył zawieszony PM2,5 42
2.2.2. Punkt pomiarowy Gdańsk-Wrzeszcz (stacja tła miejskiego), pył zawieszony PM2,5 50
2.2.3. Punkt pomiarowy Katowice „IETU" (stacja tła miejskiego), pył zawieszony PM2,5 57
2.2.4. Punkt pomiarowy Gdańsk-Wrzeszcz (stacja tła miejskiego), pył zawieszony PM10 66
2.2.5. Punkt pomiarowy Katowice stacja komunikacyjna, ul. Wita Stwosza, pył zawieszony PM10 76
2.3. Podsumowanie wyników pomiarów stężeń i badania składu chemicznego pyłu 84
3. Analiza wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem 103
4. Analiza epizodów podwyższonych stężeń pyłu 136
4.1. Metodyczne podstawy oceny wpływu różnych źródeł w tym naturalnych na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem 136
4.2. Kryteria wyboru epizodów podwyższonych stężeń pyłu PM10 i PM2,5 137
4.2.1. Stężenia zanieczyszczeń 137
4.2.2. Warunki meteorologiczne 138
4.2.3. Lista epizodów skatalogowanych w roku 2010 139
4.3. Analiza meteorologiczna epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu pod kątem źródeł jego pochodzenia 140
4.3.1. Przyziemne warunki meteorologiczne w miejscu epizodu 140
4.3.2. Opis sytuacji barycznej i ocena źródła napływu zanieczyszczeń przy wykorzystaniu analizy synoptycznej 163
4.3.3. Ocena wpływu źródeł regionalnych emisji PM10 i PM2,5 na wysokość imisji pyłu 179
4.3.4. Metodyka oceny napływu z odległych źródeł 179
4.3.5. Analiza napływu zanieczyszczeń przy wykorzystaniu trajektorii wstecznych w dniach epizodów 187

4.3.6. Ocena napływu zanieczyszczeń w wyniku analiz meteorologicznych w 2010 r. ... 212
4.3.7. Określenie źródeł pochodzenia zanieczyszczeń podczas epizodów PM na podstawie kryteriów meteorologicznych ... 220
4.3.8. Typ cyrkulacji atmosfery jako metoda oceny częstości występowania epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu ... 224
4.3.9. Wpływ erupcji wulkanicznej i pożarów lasów na stężenie pyłu w przyziemnej warstwie atmosfery między innymi na podstawie zdarzeń w roku 2010 ... 234
4.4. Ocena potencjalnych warunków występowania epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu przy wykorzystaniu analizy wielowymiarowej ... 240
4.4.1. Charakterystyka składu chemicznego pyłu podczas wybranych epizodów ... 241
4.4.2. Badanie zróżnicowania składu chemicznego pyłu w zależności od zespołu czynników meteorologicznych ... 241
4.5. Ekstrapolacja otrzymanych wyników na podobne sytuacje w Polsce ... 261
4.6. Identyfikacja strumieni pyłu w trakcie wybranych epizodów ... 266
4.6.1. Metody identyfikacji napływu zanieczyszczeń ... 266
4.6.2. Identyfikacja strumieni pyłu w atmosferze ... 267
4.6.3. Modelowanie ruchu mas powietrza ... 269
4.6.4. Zakres przeprowadzonych analiz ... 270
4.6.5. Analiza wybranych epizodów ... 272
4.7. Podsumowanie i wnioski ... 310

5. Wskazówki metodyczne i organizacyjne do prowadzenia monitoringu składu pyłu PM2,5 i PM10 ... 318

5.1. Wskazówki metodyczne i organizacyjne do prowadzenia monitoringu składu pyłu PM2,5 na stacjach tła regionalnego zgodnie z dyrektywą 2008/50/WE 318
5.1.1. Materiały źródłowe wykorzystane do przygotowania Podrozdziału 5.1. ... 321
5.2. Wskazówki do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych ... 322
5.2.1. „Zasady kluczowe” ... 322
5.2.2. Źródła naturalne spełniające warunki do odliczania udziału ... 324
5.2.3. Źródła naturalne nie spełniające warunków do odliczania udziału ... 326
5.2.4. Metodyki odejmowania udziału od źródeł naturalnych ... 327
5.2.5. Materiały źródłowe wykorzystane do przygotowania Podrozdziału 5.2. ... 333
5.2.6. Wskazówki do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału posypywania dróg piaskiem i/lub solą w okresie zimowym ... 335
5.2.7. „Zasady kluczowe” ... 336
5.2.8. Metodyki zalecane do odejmowania udziału posypywania dróg piaskiem i/lub solą w zimie ... 337
5.2.9. Materiały źródłowe wykorzystane do przygotowania Podrozdziału 5.3. ... 342
5.3. Procedura zapewnienia jakości pomiarów i analiz chemicznych – metodyka wykonywania pomiarów stężenia pyłu PM2,5 oraz oznaczania w nim wybranych składników na stacjach tła pozamiejskiego ... 344
5.4. Procedury laboratoryjne stosowane dla zapewnienia jakości analiz chemicznych pyłu PM10 i PM2,5 – dobra praktyka laboratoryjna ... 346
5.4.1. Oznaczanie pierwiastków i WWA w próbkach pyłu PM2,5 i PM10 ... 346
5.4.2. Oznaczanie wybranych jonów (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) w próbkach pyłu PM2,5 i PM10 ... 348
5.4.3. Oznaczanie węgla elementarnego i organicznego w próbkach pyłu PM2,5 i PM10 ... 349

5.5. Uwagi wynikające z przeprowadzonych analiz dotyczących źródeł naturalnych 350
6. Podsumowanie i wnioski 353
6.1. Stężenie i skład chemiczny pyłu PM10 i PM2,5 353
6.2. Analiz składu chemicznego pyłu identyfikacja podstawowych substancji wchodzących w skład PM2,5 i PM10 – (dopełnienie masy) 356
6.3. Analiza epizodów 357
6.4. Analiza trajektorii w trakcie epizodów 361
6.5. Wytyczne i wnioski dotyczące monitorowania PM2,5 dla potrzeb oceny oddziaływania źródeł i naturalnych i antropogenicznych 362

Spis tabel

Tabela 2.1.1. Kryteria ogólne wybranych lokalizacji do badań stężenia i składu chemicznego pyłu PM2,5 i PM10

Tabela 2.1.2. Lokalizacja i wyposażenie stacji, w których prowadzone były pomiary stężeń i składu chemicznego PM2,5 i PM10

Tabela 2.1.3. Informacja ogólna na temat stacji w Katowicach

Tabela 2.1.4. Mierzone stężenia zanieczyszczeń powietrza i elementy meteorologiczne na stacji pomiarowej w Katowicach

Tabela 2.1.5. Źródła emisji zanieczyszczeń w otoczeniu stacji w Katowicach

Tabela 2.1.6. Informacja ogólna na temat stacji w Gdańsku

Tabela 2.1.7. Mierzone stężenia zanieczyszczeń powietrza i elementy meteorologiczne na stacji pomiarowej w Gdańsku

Tabela 2.1.8. Źródła emisji zanieczyszczeń w otoczeniu stacji w Gdańsku

Tabela 2.1.9. Informacja ogólna na temat stacji w Diablej Górze

Tabela 2.1.10. Mierzone stężenia zanieczyszczeń powietrza i elementy meteorologiczne na stacji pomiarowej w Diablej Górze

Tabela 2.1.11. Źródła emisji zanieczyszczeń w otoczeniu stacji w Diablej Górze

Tabela 2.1.12. Granice wykrywalności dla próbek średniodobowych (epizody)

Tabela 2.1.13. Granice wykrywalności metali dla próbek średniomiesięcznych

Tabela 2.1.14. Parametry analityczne oznaczania metali w pyłach

Tabela 2.1.15. Wzorce kontrolne metali stosowane podczas analiz pyłów

Tabela 2.1.16. Referencyjne stężenia metali w SRM NIST 1648a i stężenia oznaczone w Centralnym Laboratorium IETU

Tabela 2.1.17. Granice wykrywalności oznaczanych WWA dla próbek średniodobowych oraz średniomiesięcznych

Tabela 2.1.18. Współczynnik odzysku, precyzja i poprawność (błąd względny) dla oznaczanych WWA w pyle

Tabela 2.1.19. Referencyjne stężenia metali w SRM NIST 1649b z przedziałami ufności i stężenia oznaczone w Centralnym Laboratorium IETU

Tabela 2.1.20. Granice wykrywalności i granice oznaczalności dla oznaczanych jonów

Tabela 2.2.1. Epizody wysokich stężeń (podkreśleniem zaznaczono epizody, dla których wykonano analizy chemiczne, pogrubieniem najwyższe zmierzone wartości)

Tabela 2.2.1.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w poszczególnych miesiącach 2010 roku

Tabela 2.2.1.2. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w poszczególnych porach roku 2010

Tabela 2.2.1.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym

Tabela 2.2.1.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku

Tabela 2.2.1.5. Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku

Tabela 2.2.2.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych miesiącach 2010 roku

Tabela 2.2.2.2. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach roku 2010

Tabela 2.2.2.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym

Tabela 2.2.2.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku

Tabela 2.2.2.5.Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku

Tabela 2.2.3.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w poszczególnych miesiącach 2010 roku

Tabela 2.2.3.2. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w poszczególnych porach roku 2010

Tabela 2.2.3.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym

Tabela 2.2.3.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w 2010 roku

Tabela 2.2.3.5.Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku

Tabela 2.2.4.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych miesiącach 2010 roku

Tabela 2.2.4.2. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach roku 2010

Tabela 2.2.4.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym

Tabela 2.2.4.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku

Tabela 2.2.4.5. Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku

Tabela 2.2.4.6. Statystyka stosunku PM2,5/PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych miesiącach 2010 roku

Tabela 2.2.4.7. Statystyka stosunku PM2,5/PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach roku 2010

Tabela 2.2.4.8. Statystyka stosunku PM2,5/PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym

Tabela 2.2.5.1. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w poszczególnych miesiącach 2010 roku

Tabela 2.2.5.2. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w poszczególnych porach roku 2010

Tabela 2.2.5.3. Statystyka stężeń dobowych pyłu PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w 2010 roku oraz w sezonach grzewczym i niegrzewczym

Tabela 2.2.5.4. Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w 2010 roku

Tabela 2.2.5.5. Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku

Tabela 3.1. Klasy składników pyłu wykorzystane w bilansie chemicznym masy pyłu

Tabela 3.2. Stężenia miesięczne klas składników PM2,5 w Gdańsku w 2010 roku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.3. Stężenia średnie klas składników PM2,5 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Gdańsku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.4. Stężenia średnie klas składników PM2,5 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Gdańsku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.5. Stężenia miesięczne klas składników PM10 w Gdańsku w 2010 roku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.6. Stężenia średnie klas składników PM10 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Gdańsku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.7. Stężenia średnie klas składników PM10 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Gdańsku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.8. Stężenia miesięczne klas składników PM10 w Katowicach w 2010 roku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.9. Stężenia średnie klas składników PM10 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Katowicach, $\mu g/m^3$

Tabela 3.10. Stężenia średnie klas składników PM10 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Katowicach, $\mu g/m^3$

Tabela 3.11. Stężenia dobowe pierwiastków związanych z PM10 w Katowicach wyznaczone techniką EDXRF, $ng*m^{-3}$ (dla Na-Fe, $\mu g/m^3$)

Tabela 3.12. Stężenia miesięczne klas składników PM2,5 w Katowicach w 2010 roku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.13. Stężenia średnie klas składników PM2,5 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Katowicach, $\mu g/m^3$

Tabela 3.14. Stężenia średnie klas składników PM2,5 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Katowicach, $\mu g/m^3$

Tabela 3.15. Stężenia miesięczne klas składników PM2,5 w Puszczy Boreckiej w 2010 roku, $\mu g/m^3$

Tabela 3.16. Stężenia średnie klas składników PM2,5 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Puszczy Boreckiej, $\mu g/m^3$

Tabela 3.17. Stężenia średnie klas składników PM2,5 w porach roku i w sezonach 2010 roku w Puszczy Boreckiej, $\mu g/m^3$

Tabela 3.18. Średniomiesięczne stężenia SiO_2 ($\mu g/m^3$) oszacowane na podstawie stężeń Al_2O_3 w powietrzu w pięciu lokalizacjach

Tabela 3.19. Stężenia SiO_2 ($\mu g/m^3$) oszacowane na podstawie stężeń Al_2O_3 w powietrzu w trakcie epizodów wysokich stężeń

Tabela 4.2.3.1. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM dla przyjętych kryteriów (wartości zaokrąglone do $1\mu g/m^3$; pogrubieniem zaznaczono najwyższe stężenia; podkreśleniem zaznaczono epizody, dla których wykonano analizę składu chemicznego)

Tabela 4.3.6.1. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego w roku 2010 na tle warunków anemologicznych (kolor czerwony, prędkość wiatru > 3 m/s, kolor zielony – prędkość wiatru 2 – 3 m/s, kolor niebieski – prędkość wiatru < 2 m/s; podkreśleniem zaznaczono epizody, dla których wykonano analizy chemiczne, pogrubieniem – najwyższe zmierzone wartości)

Tabela 4.3.7.1. Wykaz typów cyrkulacji według Lityńskiego

Tabela 4.3.7.2. Częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji Lityńskiego w wieloleciu 2001-2010

Tabela 4.3.7.3. Typ cyrkulacji podczas wybranych epizodów pyłowych w roku 2010

Tabela 4.3.7.4. Syntetyczna analiza warunków meteorologicznych dla zdiagnozowanych epizodów w pyle w 2010 roku

Tabela 4.3.8.1. Emisji aerozoli i gazów z wulkanów i innych źródeł

Tabela 4.4.2.1. Elementy składu chemicznego pyłu zawieszonego uwzględnione w obliczeniach

Tabela 4.4.2.2. Elementy meteorologiczne uwzględnione w obliczeniach

Tabela 4.4.2.3. Klasyfikacja wszystkich epizodów na tle miesięcy w 2010 r.

Tabela 4.4.2.4. Charakterystyka grup ze względu na skład chemiczny pyłu zawieszonego w roku 2010 r.

Tabela 4.4.2.5. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego obu frakcji po względem podobieństwa składu chemicznego (wartości zaokrąglone do 1 $\mu g/m^3$) – ten sam kolor epizodu oznacza podobieństwo składu chemicznego

Tabela 4.4.2.6. Zakresy stężeń PM2,5 i PM10 w Gdańsku w zależności od elementów meteorologicznych ze stacji Gdańsk (objaśnienie skrótów dla pierwszej kolumny zawiera tab. 4.4.2.2)

Tabela 4.4.2.7. Zakresy stężeń PM2,5 w Diablej Górze w zależności od elementów meteorologicznych ze stacji Kętrzyn (objaśnienie skrótów dla pierwszej kolumny zawiera tab. 4.4.2.2.)

Tabela 4.4.2.8. Zakresy stężeń PM2,5 i PM10 w Katowicach w zależności od elementów meteorologicznych ze stacji Katowice (objaśnienie skrótów dla pierwszej kolumny zawiera tab. 4.4.2.2.)

Tabela 4.5.1. Przebieg roczny liczby przekroczeń dobowej wartości dopuszczalnej i średniego miesięcznego stężenia pyłu PM10 na stacjach w Złotym Potoku (stacja tła

regionalnego) i Katowicach (stacja tła miejskiego) w 2010 roku (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)

Tabela 4.7.1. Liczba dni z potencjalnym oddziaływaniem aerozolu morskiego na obszary przybrzeżne w Polsce w wyniku sztormu

Tabela 4.7.2. Potencjalny wpływ na zanieczyszczenia pyłowe aerozolu naturalnego

Tabela 5.2.1. Jony obecne w wodzie morskiej

Tabela. 6.3.1. Liczba dni z potencjalnym oddziaływaniem aerozolu morskiego na obszary przybrzeżne w wyniku sztormu

Tabela 6.3.2. Potencjalny wpływ na zanieczyszczenia pyłowe aerozolu naturalnego

Spis rysunków

Rysunek 2.1.1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych dla PM2,5 i PM10

Rysunek 2.1.2. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Katowicach przy ulicy W. Stwosza

Rysunek 2.1.3. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Katowicach przy ulicy S. Kossutha

Rysunek 2.1.4. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Gdańsku przy ulicy K. Leczkowa

Rysunek 2.1.5. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Diablej Górze - Puszcza Borecka

Rysunek 2.1.6. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla PM10 przy ul. W. Stwosza w Katowicach

Rysunek 2.1.7. Widok (z kierunku zachodniego) na punkt pomiarowy PM10 przy ul. W. Stwosza w Katowicach (a); miernik PM10 na stanowisku pomiarowym (b)

Rysunek 2.1.8. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla potrzeb pomiaru pyłu zawieszonego przy ul. Kossutha 6 w Katowicach

Rysunek 2.1.9. Panorama stacji tła miejskiego pomiarów pyłu zawieszonego w Katowicach

Rysunek 2.1.10. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla potrzeb pomiaru pyłu zawieszonego w Gdańsku

Rysunek 2.1.11. Stacji tła miejskiego pomiarów pyłu zawieszonego w Gdańsku

Rysunek 2.1.12. Lokalizacja ogólna Stacji KMŚ Puszcza Borecka w Diablej Górze

Rysunek 2.1.13. Widok zabudowań Stacji na terenie posterunku pomiarowego Diabla Góra

Rysunek 2.1.14. Poborniki wysoko przepływowe Digitel DHA-80 (po lewej PM10, po prawej PM2,5) na terenie ogródka pomiarowego Stacji Puszcza Borecka

Rysunek. 2.1.15. Głowica separująca PM2,5 (otwarta) pobornika Digitel

Rysunek.2.1.16. Wnętrze pobornika Digitel

Rysunek 2.1.17. Pokój wagowy (a) waga Mettler Toledo, (b) waga Sartorius

Rysunek 2.1.18. Komplet wykrojników do podziału filtrów

Rysunek 2.1.19. Stężenie Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} powyżej granicy oznaczalności (próbka rzeczywista nr G/10/2 – próbka dwutygodniowa z marca)

Rysunek 2.1.20. Stężenie Na^+, NH_4^+ powyżej granicy oznaczalności; stężenie K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} poniżej granicy wykrywalności (próbka rzeczywista nr K/10/2 – próbka dwutygodniowa z lutego)

Rysunek 2.1.21. Stężenie K^+, Ca^{2+} poniżej granicy oznaczalności, a powyżej granicy wykrywalności, stężenie Na^+, NH_4^+ powyżej granicy oznaczalności (próbka rzeczywista nr K/10/28 – epizod z lutego)

Rysunek 2.3.1. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM2,5 w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych

Rysunek 2.3.2. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu PM2,5 z poziomem dopuszczalnym w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych

Rysunek 2.3.3. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM10 w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych

Rysunek 2.3.4. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu PM10 z poziomem dopuszczalnym w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych

Rysunek 2.3.5. Stężenia dobowe pyłu PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku

Rysunek 2.3.6. Zależność stężeń pyłu PM2,5 od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku

Rysunek 2.3.7. Stężenia dobowe pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku

Rysunek 2.3.8. Zależność stężeń pyłu PM2,5 od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku

Rysunek 2.3.9. Stężenia dobowe pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha w 2010 roku

Rysunek 2.3.10. Zależność stężeń pyłu PM2,5 od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha w 2010 roku

Rysunek 2.3.11. Stężenia dobowe pyłu PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku

Rysunek 2.3.12. Zależność stężeń pyłu PM10 od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku

Rysunek 2.3.13. Stężenia dobowe pyłu PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4) w 2010 roku

Rysunek 2.3.14. Zależność stężeń pyłu PM10 od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4) w 2010 roku

Rysunek 2.3.15. Skład chemiczny pyłu PM2,5 na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej

Rysunek 2.3.16. Skład chemiczny pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa

Rysunek 2.3.17. Skład chemiczny pyłu PM2,5 na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha

Rysunek 2.3.18. Skład chemiczny pyłu PM10 na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa

Rysunek 2.3.19. Skład chemiczny pyłu PM10 na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4)

Rysunek 3.1. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Gdańsku w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku

Rysunek 3.2. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Gdańsku w miesiącach sezonu letniego 2010 roku

Rysunek 3.3. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Gdańsku w poszczególnych porach roku 2010

Rysunek 3.4. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku

Rysunek 3.5. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku obliczony z wykorzystaniem stężeń OC i EC wyznaczonych analizatorem węgla Sunset Laboratory

Rysunek 3.6. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Gdańsku w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Rysunek 3.7. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 Gdańsku w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku

Rysunek 3.8. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 Gdańsku w miesiącach sezonu letniego 2010 roku

Rysunek 3.9. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Gdańsku w poszczególnych porach roku 2010

Rysunek 3.10. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku

Rysunek 3.11. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku obliczony z wykorzystaniem stężeń OC i EC wyznaczonych analizatorem węgla Sunset Laboratory

Rysunek 3.12. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Gdańsku w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Rysunek 3.13. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Katowicach w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku

Rysunek 3.14. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Katowicach w miesiącach sezonu letniego 2010 roku

Rysunek 3.15. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Katowicach w poszczególnych porach roku 2010

Rysunek 3.16. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Katowicach w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego

Rysunek 3.17. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM10 w Katowicach w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Rysunek 3.18. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Katowicach w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku

Rysunek 3.19. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Katowicach w miesiącach sezonu letniego 2010 roku

Rysunek 3.20. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Katowicach w poszczególnych porach roku 2010

Rysunek 3.21. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Katowicach w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku

Rysunek 3.22. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Katowicach w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Rysunek 3.23. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Diablej Górze w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku

Rysunek 3.24. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Diablej Górze w miesiącach sezonu letniego 2010 roku

Rysunek 3.25. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Diablej Górze w poszczególnych porach roku 2010

Rysunek 3.26. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Diablej Górze w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku

Rysunek 3.27. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Diablej Górze w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku obliczony z wykorzystaniem stężeń OC i EC wyznaczonych analizatorem węgla Sunset Laboratory

Rysunek 3.28. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM2,5 w Diablej Górze w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r

Rysunek 3.29. Stężenia klas składników w 2010 roku w pięciu lokalizacjach w Polsce, $\mu g/m^3$

Rysunek 3.30. Udział klas składników (%) w masie pyłu w pięciu lokalizacjach w roku 2010

Rysunek 3.31. Udział klas składników (%) w masie pyłu w pięciu lokalizacjach w sezonie letnim 2010 r.

Rysunek 3.32. Udział klas składników (%) w masie pyłu w pięciu lokalizacjach w sezonie zimowym 2010 r.

Rysunek 4.3.1.1. Przebieg wartości (co godzinę) prędkości i kierunku wiatru, zmierzonych w okresie 1.01-1.04.2010 na stacjach synoptycznych Katowice, Gdańsk i Kętrzyn; ramkami zaznaczono okresy, w których wystąpiły epizody wysokich stężeń pyłu PM10 i PM2,5

Rysunek 4.3.1.2. Przebieg wartości (co godzinę) temperatury i wilgotności powietrza, zmierzonych w okresie 1.01-1.04.2010 na stacjach synoptycznych Katowice, Gdańsk i Kętrzyn; ramkami zaznaczono okresy, w których wystąpiły epizody wysokich stężeń pyłu PM10 i PM2,5

Rysunek 4.3.1.3. Przebieg wartości (co godzinę) ciśnienia atmosferycznego i stopnia zachmurzenia, zmierzonych w okresie 1.01-1.04.2010 na stacjach synoptycznych Katowice, Gdańsk i Kętrzyn; ramkami zaznaczono okresy, w których wystąpiły epizody wysokich stężeń pyłu PM10 i PM2,5

Rysunek 4.3.1.4. Przebieg dobowych wartości prędkości i kierunku wiatru (stacje synoptyczne Katowice, Gdańsk i Kętrzyn) oraz stężeń pyłu zawieszonego (punkty pomiarowe Katowice, Gdańsk, Diabla Góra), z okresu 1.01-1.04.2010; ramki oznaczają okresy z epizodami PM10 i PM2,5

Rysunek 4.3.1.5. Przebieg dobowych wartości temperatury powietrza (stacje synoptyczne Katowice, Gdańsk i Kętrzyn) oraz stężeń pyłu zawieszonego (punkty pomiarowe Katowice, Gdańsk, Diabla Góra), z okresu 1.01-1.04.2010; ramki oznaczają okresy z epizodami PM10 i PM2,5

Rysunek 4.3.1.6. Przebieg dobowych sum opadów (stacje synoptyczne Katowice, Gdańsk i Kętrzyn) oraz stężeń pyłu zawieszonego (punkty pomiarowe Katowice, Gdańsk, Diabla Góra), z okresu 1.01-1.04.2010; ramki oznaczają okresy z epizodami PM10 i PM2,5

Rysunek 4.3.2.1. Legenda mapy synoptycznej

Rysunek 4.3.2.2. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 5-10.01.2010 (a-f)

Rysunek 4.3.2.3. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 15-20.01.2010 (a-f)

Rysunek 4.3.2.4. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 23-28.01.2010 (a-f)

Rysunek 4.3.2.5. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 30.01-2.02.2010 (a-d)

Rysunek 4.3.2.6. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 8-11.02.2010 (a-d)

Rysunek 4.3.2.7. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 17-20.02.2010 (a-d)

Rysunek 4.3.2.8. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 25-28.02.2010 (a-d)

Rysunek 4.3.2.9. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 9-14.03.2010 (a-f)

Rysunek 4.3.2.10. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 19-20.03.2010 (a-b)

Rysunek 4.3.2.11. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 27.03-1.04.2010 (a-f)

Rysunek 4.3.4.1. Rozmieszczenie odległych źródeł PM10 dla lokalizacji Gdańsk ul. Leczkowa dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.4.2. Rozmieszczenie odległych źródeł PM2,5 dla lokalizacji Gdańsk ul. Leczkowa dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.4.3. Zależność wielkości udziału pyłu zawieszonego PM2,5 w PM10 od lokalizacji obszarów źródłowych mas powietrza dla lokalizacji Gdańsk Leczkowa dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.4.4. Rozkład przestrzenny liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100 m w Gdańsku ul. Leczkowa dla okresu 1.I.-28.03.2010

Rysunek 4.3.4.5. Rozmieszczenie odległych źródeł PM2,5 dla lokalizacji Diabla Góra dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.4.6. Rozkład przestrzenny liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100m w Diablej Górze dla okresu 1.I.-28.03.2010

Rysunek 4.3.4.7. Rozkład przestrzenny liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100m w Diablej Górze dla okresu 1.I.-28.03.2010

Rysunek 4.3.4.8. Rozmieszczenie odległych źródeł PM10 dla lokalizacji Katowice dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.4.9. Rozmieszczenie odległych źródeł PM2,5 dla lokalizacji Katowice dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.4.10. Zależność wielkości udziału pyłu zawieszonego PM2,5 w PM10 od lokalizacji obszarów źródłowych mas powietrza dla lokalizacji Katowice dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Rysunek 4.3.5.1. Katowice 7 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.2. Katowice 8 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.3. Katowice 19 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.4. Katowice 25 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.5. Katowice 26 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.6. Katowice 27 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.7. Katowice 1 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.8. Katowice 9 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.9. Katowice 16 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.10. Katowice 25 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.11. Diabla Góra i Gdańsk 5 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.12. Diabla Góra i Gdańsk 6 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.13. Diabla Góra i Gdańsk 7 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.14. Diabla Góra i Gdańsk 25 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.15. Diabla Góra i Gdańsk 26 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.16. Diabla Góra i Gdańsk 9 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.17. Diabla Góra i Gdańsk 19 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.18. Gdańsk 15 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.19. Gdańsk 19 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.20. Gdańsk 8 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.21. Gdańsk 10 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.22. Gdańsk 16 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.23. Gdańsk 17 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.24. Gdańsk 18 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.25. Gdańsk 26 lutego 2010 r.

Rysunek 4.3.5.26. Gdańsk 11 marca 2010 r.

Rysunek 4.3.5.27. Gdańsk 31 marca 2010 r.

Rysunek 4.3.5.28. Diabla Góra 8 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.29. Diabla Góra 27 stycznia 2010 r.

Rysunek 4.3.5.30. Diabla Góra 2 lutego2010 r.

Rysunek 4.3.6.1. Róże wiatru dla Gdańska (górny rysunek – średnia wieloletnia, dolny – za pierwszy kwartał 2010 r.) – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Rysunek 4.3.6.2. Róże kierunku i prędkości wiatru dla Gdańska (kolorem czerwonym zaznaczono średnią wieloletnią, niebieską – pierwszy kwartał 2010 r.).

Rysunek 4.3.6.3. Róże stężeń [$\mu g/m^3$]pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w I kwartale 2010 r. w Gdańsku – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Rysunek 4.3.6.4. Róża napływu pyłu PM10 na Gdańsk w miesiącach styczeń – marzec 2010 r. – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Rysunek 4.3.6.5. Róża udziału frakcji PM2,5 w PM10 w pierwszym kwartale 2010 r. w Gdańsku

Rysunek 4.3.6.6. Róża temperatury powietrza [^0C] w Gdańsku w pierwszym kwartale 2010 r.

Rysunek 4.3.6.7. Róża wiatru dla Katowic (rysunek górny – średnia wieloletnia, dolny – za I kwartał 2010 r.) – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Rysunek 4.3.6.8. Róże kierunku i prędkości wiatru w Katowicach (kolorem czerwonym zaznaczono średnią wieloletnią, niebieskim – za pierwszy kwartał 2010 r.)

Rysunek 4.3.6.9. Róże stężeń i napływu PM10 w Katowicach w pierwszym kwartale 2010 r. – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Rysunek 4.3.6.10. Róża udziału PM2,5 w PM10 dla Katowic w I kwartale 2010 r. – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru m/s

Rysunek 4.3.6.11. Róża wiatru dla Kętrzyna (powyżej średnia wieloletnia, poniżej za I kwartał 2010 r.) – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Rysunek 4.3.6.12. Róża kierunku i prędkości wiatru w Kętrzynie (kolorem czerwonym zaznaczono średnią wieloletnią, niebieskim – za pierwszy kwartał 2010 r.)

Rysunek 4.3.6.13. Róże stężeń i napływu pyłu PM2,5 dla Diablej Góry w I kwartale 2010 r.

Rysunek 4.3.8.1. Globalny aerozol oszacowany przez grubość optyczną aerozolu wykonaną przez Sato z NASA GISS

Rysunek 4.3.8.2. Pożar biomasy w Ameryce Południowej w dniu 7 października 2004 roku (źródło: http://svs.gsfc.nasa.gov)

Rysunek 4.3.8.3. Ewolucja w czasie wulkanicznej chmury obserwowanej przez sieć EARLINET na stacji w Monachium (źródło: Gelsomina Pappalardo)

Rysunek 4.4.4.2.1. Wyniki rzutowania Sammona dla PM2,5 dla stacji Diabla Góra (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.2. Wyniki rzutowania Sammona dla PM2,5 dla stacji Diabla Góra (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.3. Wyniki rzutowania Sammona dla PM2,5 dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.4. Wyniki rzutowania Sammona dla PM2,5 dla stacji Gdańsk (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.5. Wyniki rzutowania Sammona dla PM10 dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.6. Wyniki rzutowania Sammona dla PM10 dla stacji Gdańsk (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.7. Wyniki rzutowania Sammona dla PM2,5 dla stacji Katowice (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.8. Wyniki rzutowania Sammona dla PM2,5 dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.9. Wyniki rzutowania Sammona dla PM10 dla stacji Katowice (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.10. Wyniki rzutowania Sammona dla PM10 dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.11. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.12. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.13. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.14. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Rysunek 4.4.2.15. Wyniki rzutowania Sammona dla wszystkich epizodów obu frakcji oraz miesięcy dla 3 stacji pomiarowych – etykiety osi w skali bezwymiarowej (kolorem czerwonym zaznaczono epizody obu frakcji pyłu, kolorem niebieskim dane średnie miesięczne 2010 r.).

Rysunek 4.5.1. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu PM10 w 2010 r. na stacji PMŚ Katowice i Złoty Potok (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)

Rysunek 4.5.2. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu PM10 w kwietniu 2010 r. na stacji PMŚ Katowice i Złoty Potok (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)

Rysunek 4.5.3. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu PM10 w okresie lipiec – wrzesień 2010 r. na stacji PMŚ Katowice i Złoty Potok (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)

Rysunek 4.5.4. Potencjalne zagrożenie występowania epizodów pyłu PM10 i PM2,5 w Polsce

Rysunek 4.6.1.1. Przykład wiązki trajektorii wstecznych z serwisu internetowego SINZaP

Rysunek 4.6.5.1.1. Wiązka trajektorii wstecznych 5 stycznia od godz. 01:00 do godz. 16:00 na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.2. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 7 stycznia na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.3. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 8 stycznia na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.4. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 25 stycznia na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.5. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 26 stycznia na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.6. Wiązki trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 27 stycznia na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.7. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 2 lutego na stacji w Diablej Górze modelowana przez HYSPLIT

Rysunek 4.6.5.1.8. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 2 lutego na stacji w Diablej Górze generowana przy pomocy SINZaP

Rysunek 4.6.5.1.9. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 9 lutego na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.1.10. Wiązka trajektorii pyłu PM2,5 w dniu 19 lutego na stacji w Diablej Górze

Rysunek 4.6.5.2.1. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM10 w dniu 6 stycznia nad Gdańskiem

Rysunek 4.6.5.2.2. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu PM10 w dniu 7 stycznia na stacji w Gdańsku

Rysunek 4.6.5.2.3. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM10 w dniu 15 stycznia na stacji w Gdańsku

Rysunek 4.6.5.2.4. Wiązka trajektorii wstecznych w dniu 19 stycznia na stacji w Gdańsku.

Rysunek 4.6.5.2.5. Wiązka M1 trajektorii wstecznych pyłu PM10 od godz. 9:00 do 22:00 dnia 25 stycznia

Rysunek 4.6.5.2.6. Wiązka M2 trajektorii wstecznych pyłu PM10 dnia 26 stycznia od godz. 12:00 do 22:00

Rysunek 4.6.5.2.7 Wiązka M1 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM10 w dniu 8 lutego

Rysunek 4.6.5.2.8. Wiązka M1 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM10 od godz. 01:00 dnia 16 lutego do godz. 19:00 dnia 18 lutego

Rysunek 4.6.5.2.9. Wiązka M3 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM10 od godz. 4:00 do godz. 10:00 dnia 19 lutego

Rysunek 4.6.5.2.10. Wiązka M4 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM10 19 lutego, od godz. 15:00 do godz. 23:00

Rysunek 4.6.5.2.11. Wiązka M2 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM10 31 marca

Rysunek 4.6.5.3.1. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu 19 stycznia, w godz. od 01:00 do 14:00

Rysunek 4.6.5.3.2. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu 19 stycznia w godz. od 15:00 do 23:00

Rysunek 4.6.5.3.3. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu PM10 25 stycznia, w godzinach od 10:00 do 23:00

Rysunek 4.6.5.3.4. Wiązka M5 modelowanych trajektorii pyłu PM10 w czasie 2010-01-26, 23:00 - 2010-01-27, 14:00

Rysunek 4.6.5.3.5. Wiązka M6 modelowanych trajektorii pyłu PM10 27 stycznia od godz. 17:00

Rysunek 4.6.5.3.6. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu w godzinach 1:00-6:00 1 lutego 2010 roku

Rysunek 4.6.5.3.7. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu w godzinach 7- 23 1 lutego 2010 roku na stacji w Katowicach

Rysunek 4.6.5.3.8. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM10 9 lutego od godz. 1:00 do godz. 6:00

Rysunek 4.6.5.3.9. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu PM10 9 lutego

Rysunek 4.6.5.3.10 Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM10 16 lutego od godz.1:00 do godz. 4:00

Rysunek 5.1.1. Synoptyczne układy ciśnienia, sprzyjające transportowi pyłu saharyjskiego na Płw. Iberyjski, (a) Układy niskiego ciśnienia nad zachodnią i/lub południowo zachodnią Portugalią. (b) Układ wysokiego ciśnienia nad wschodnią lub południowo zachodnią częścią Płw. Iberyjskiego. (c) Kombinacja obu systemów niskiego i wysokiego ciśnienia

1. Wprowadzenie

1.1. Cel i zakres opracowania

Celem niniejszego projektu realizowanego na zlecenie GIOŚ, jest analiza składu chemicznego pyłu drobnego $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz ocena wpływu źródeł w szczególności naturalnych na skład i stężenie pyłu drobnego (PM_{10} i $PM_{2,5}$).

W kontekście obowiązku realizacji przez Polskę zapisów dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 roku w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy związanych z koniecznością dotrzymania nowych, bardzo ostrych norm jakości powietrza dla pyłu $PM_{2,5}$ z jednoczesną możliwością skorzystania przez Polskę ze zwolnień od dotrzymania standardów zawartych w art. 20 i art. 21 ww. dyrektywy, niezbędne jest przeprowadzenie pilotowych badań określających możliwości skorzystania z zapisów zawartych w dyrektywie dotyczących postępowania w sytuacji występowania przypadków narażenia na określone kategorie oddziaływań naturalnych i antropogenicznych.

Dyrektywa 2008/50/WE definiuje w Artykule 2 „udział zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł naturalnych" jako emisję zanieczyszczeń, która nie jest spowodowana bezpośrednio lub pośrednio działalnością człowieka, w tym

- zjawiska naturalne takie, jak: wybuchy wulkanów, aktywność sejsmiczna, aktywność geotermiczna, pożary nieużytków (ale nie celowe wypalanie ściernisk i łąk), gwałtowne wichury, aerozole morskie,
- resuspensja – porywanie cząstek gleby w sprzyjających warunkach (susza i silny wiatr),
- transport w powietrzu cząstek pochodzenia naturalnego lub ich przenoszenie z regionów suchych (także z obszarów poza Europą).

Zgodnie z warunkami realizacji pracy określonymi przez GIOŚ, podstawowym elementem pracy było przeprowadzenie trwającej rok kalendarzowy serii badań w 5 punktach pomiarowych na terenie kraju, obejmujących pomiar stężeń pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ i pyłu zawieszonego PM_{10}. Ponadto przewidziano wykonanie serii analiz składu chemicznego pobranych pyłów – po 12 serii (próbki składane dla PM_{10} i $PM_{2,5}$) w zakresie analizy następujących substancji: As, Ni, Cd, Pb, Al, Ti, Fe, benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, całkowity węgiel organiczny, węgiel elementarny, Na^+ ,K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+},NH_4^+, SO_4^{2-},NO_3^-, Cl^-.

Ponadto dla 20 epizodów przewidziano następujący zakres analiz: Al, Ti, Fe, benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten , całkowity węgiel organiczny, węgiel elementarny, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+},NH_4^+, SO_4^{2-},NO_3^-, Cl^-.

Wyniki badań składu chemicznego pyłu zostały wykorzystane do opracowania niniejszej: „Oceny i analizy zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem jego składu chemicznego" obejmującej:

- ocenę i analizę zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem składu pyłu,
- analizę wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem,

- 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 oraz prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych.

1.2. Etapy realizacji

Realizacja niniejszej 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},

(Wyniki prac zawiera sprawozdanie z ETAPU I z listopada 2009r)

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, na czterech stacjach monitoringu jakości powietrza wybranych w I etapie

(Wyniki badań zawiera sprawozdanie z ETAPU II z lipca 2010r)

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, na czterech stacjach monitoringu jakości powietrza, wykonanie dodatkowych analiz składu chemicznego pyłu dla co najmniej 5 epizodów w okresie od 01.01.2010 do 31.12.2010, (4 punkty)

` - Ocenę i analizę zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem jego składu chemicznego obejmującą:
- ocenę i analizę zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem składu pyłu,
- analizy wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem, w tym szczegółowa 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 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 syntetyczny z realizacji pracy" „Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{10} i $PM_{2,5}$ z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych".

(Wyniki badań etapu III zawarto w Raporcie końcowym).

1.3. Wykonawcy

Pracę realizowało konsorcjum naukowe w skład, którego weszły następujące placówki badawcze:

- Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrzu
  41 - 819 Zabrze, ul. Skłodowskiej Curie 34,
- Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych
  40-844 Katowice, ul. Kossutha 6,
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB
  01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61, zwanym dalej „IMGW",
- Instytut Ochrony Środowiska – PIB
  00-548 Warszawa, ul. Krucza 5/11

2. Prezentacje wyników analizy i ocen zanieczyszczenia powietrza pyłem z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu

2.1. Metodyka badań

2.1.1. Lokalizacja, charakterystyka i wyposażenie punktów pomiarowych

W ramach projektu, pomiary stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$ prowadzono w czterech lokalizacjach. Lokalizacje te podano w Tabeli 2.1.1. i na Rysunku 2.1.1. Natomiast róże kierunków wiatru dla poszczególnych stanowisk pomiarowych PM przedstawiają rysunki 2.1.2. – 2.1.5.

Tabela 2.1.1. Kryteria ogólne wybranych lokalizacji do badań stężenia i składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10}

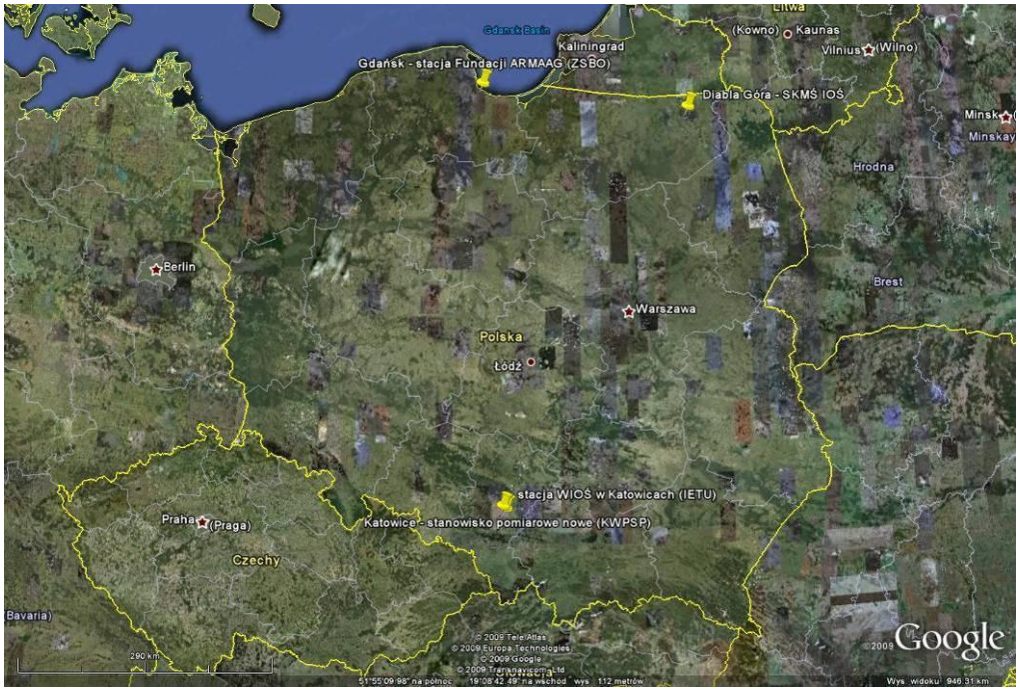
L.p.	Stacja pomiarowa	Kryteria	Stężenie PM mierzone na stanowisku pomiarowym	Nazwa i kod strefy *)	Współrzędne geograficzne
1.	Katowice ul. Wita Stwosza 36 (nowe stanowisko dla potrzeb projektu, obsługa-IPIŚ PAN)	stanowisko pomiarowe pyłu PM_{10} spełniające kryteria stanowiska komunikacyjnego	PM_{10}	Aglomeracja Górnośląska PL.24.01.a.14 (PL2401)	φ = 50º 14´ 48,74" N λ = 19º 01´ 03,48" E h = 298 m n.p.m. (dane orientacyjne)
2.	Katowice ul. S. Kossutha 6 (stacja WIOŚ Katowice, obsługa-IPIŚ PAN)	stanowisko pomiarowe pyłu $PM_{2,5}$ spełniające kryteria stanowiska tła miejskiego w aglomeracjach i/lub miastach powyżej 100 tys. mieszkańców	$PM_{2,5}$	Aglomeracja Górnośląska PL.24.01.a.14 (PL2401)	φ = 50º 15´ 56" N λ = 18º 58´ 40" E h = 274 m n.p.m.
3.	Gdańsk ul. K. Leczkowa (stacja WIOŚ Gdańsk, obsługa-Fundacja ARMAAG)	stanowisko pomiarowe PM_{10} spełniające kryteria dla stanowiska tła miejskiego w aglomeracji i/lub mieście powyżej 100 tys. mieszkańców umiejscowione w tej samej lokalizacji co jedno ze stanowisk pomiarowych pyłu $PM_{2,5}$	PM_{10}	Aglomeracja Trójmiejska PL.22.01.a.03 (PL2201)	φ = 54º 22´ 49" N λ = 18º 37´ 13" E h = 40 m n.p.m.
4			$PM_{2,5}$		

L.p.	Stacja pomiarowa	Kryteria	Stężenie PM mierzone na stanowisku pomiarowym	Nazwa i kod strefy *)	Współrzędne geograficzne
5.	Puszcza Borecka Diabla Góra (stacja KMŚ IOŚ Warszawa, obsługa IOŚ)	stanowisko pomiarowe pyłu $PM_{2,5}$ spełniające kryterium stanowiska tła regionalnego	$PM_{2,5}$	Dawna strefa ełcko-węgorzewska PL.28.06.z.05 obecnie strefa warmińsko-mazurska PL2803	φ = 54º 07´ 32" N λ = 22º 02´ 17" E h = 157 m n.p.m.

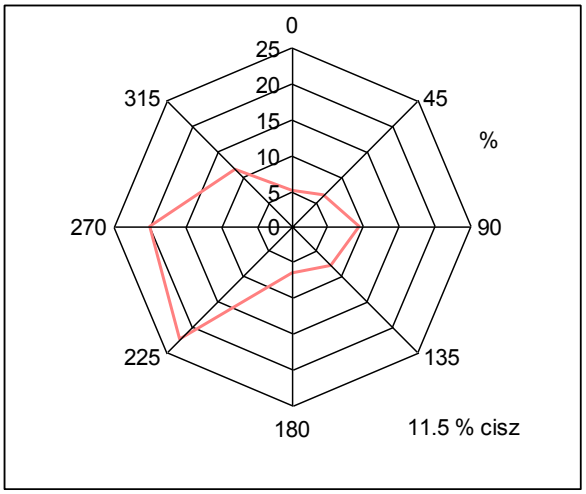
*) zgodnie z RMŚ z 2009 r. Nr 5, poz. 31 dla PM_{10} oraz proponowane strefy dla oceny jakości powietrza pod kątem zawartości pyłu zgodne z wytycznymi GIOŚ do rocznej oceny jakości powietrza w strefach wykonanej wg zasad określonych w art. 89 ustawy POŚ. z uwzględnieniem wymogów dyrektywy 2008/50/WE i dyrektywy 2004/104/WE.

Tabela 2.1.2. Lokalizacja i wyposażenie stacji, w których prowadzone były pomiary stężeń i składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}

L.p.	Stanowisko pomiarowe	Stężenie PM	Określenie wskaźnika średniego narażenia	Typ miernika, producent	Wysokość czerpni nad poziomem gruntu	Okres pomiarowy (czas uśredniania)	Lokalizacja miernika
1.	Katowice, ul. W. Stwosza	PM_{10}	nie dotyczy	LVS ATMOSERVICE	2.,5 m n.p.gr.	24h	mierniki w obudowie zewnętrznej zlokalizowane na terenie stacji pomiarowej
2.	Katowice, ul. Kossutha	$PM_{2,5}$	+	LVS ATMOSERVICE	2,5 m n.p.gr.	24h	
3.	Gdańsk, ul. Leczkowa	PM_{10}	nie dotyczy	HVS DIGITEL	2,0 m n.pg.	24h	
4.		$PM_{2,5}$	-	HVS DIGITEL	2,0 m n.pg.	24h	
5.	Puszcza Borecka, Diabla Góra	$PM_{2,5}$	-	HVS DIGITEL	2,0 m n.p.gr.	24h	

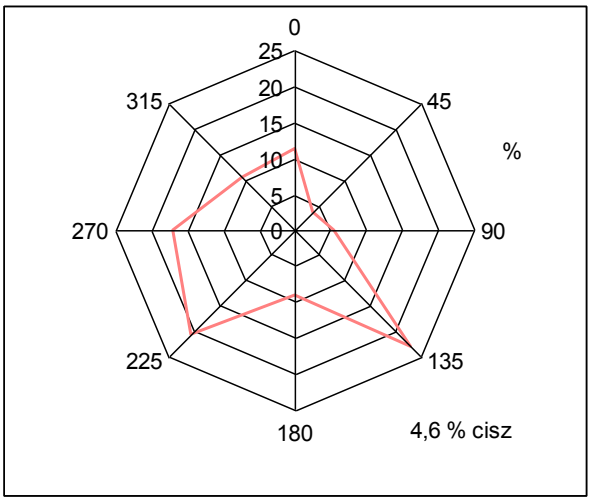


Rysunek 2.1.1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych dla $PM_{2,5}$ i PM_{10}

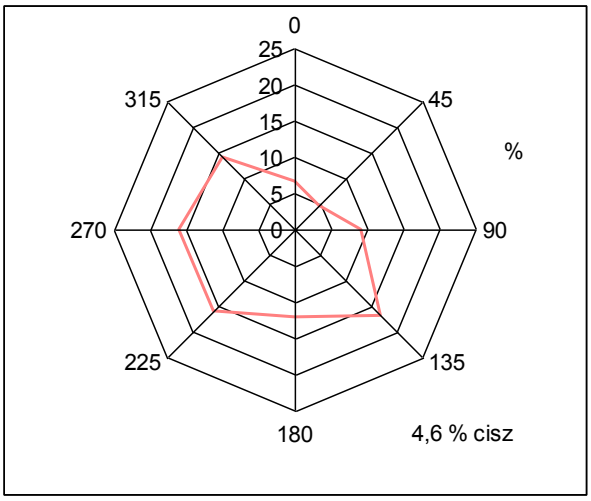


Rysunek 2.1.2. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Katowicach przy ulicy W. Stwosza

Rysunek 2.1.3. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Katowicach przy ulicy S. Kossutha



Rysunek 2.1.4. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Gdańsku przy ulicy K. Leczkowa



Rysunek 2.1.5. Rozkład kierunków wiatru dla stanowiska pomiarowego w Diablej Górze - Puszcza Borecka

2.1.1.1. Katowice - stacja komunikacyjna

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 kryteria:

- jest stanowiskiem komunikacyjnym (pomiary 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)[1];
- znajduje się w sąsiedztwie ulicy (autostrada A4), która w zimie jest posypywana solą i/lub piaskiem.

W klasyfikacji fizyczno-geograficznej stacja położona jest w mezoregionie Wyżyny Katowickiej makroregionu Wyżyny Śląskiej, podprowincji Wyżyna Śląsko-Krakowska.

Stacja pomiaru składu pyłu PM_{10}, umiejscowiona na terenie Wojewódzkiej Straży Pożarnej w Katowicach, znajduje się około 1,5 km na południe od centrum miasta (Rysunki 2.1.1 i 2.1.2).

W tym rejonie do lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku kończył się obszar śródmieścia Katowic, a rozpoczynała się strefa podmiejska z ogródkami, parkiem leśnym, lotniskiem sportowym i terenami rekreacyjnymi. W niektórych miejscach skupiała się tu również działalność przemysłowa, głównie w branży materiałów budowlanych. W pasie przylegania południowego skraju śródmieścia Katowic do strefy podmiejskiej, poprowadzono w tym okresie na kierunku wschód-zachód arterię drogową odciążającą centrum miasta, nazwaną Aleją Górnośląską. Po kilkunastu latach została ona przebudowana pod kątem znaczącego zwiększenia przelotowości ruchu samochodowego i włączenia do krajowego systemu autostrad, jako jeden z odcinków autostrady A4 na trasie Kraków-Wrocław.

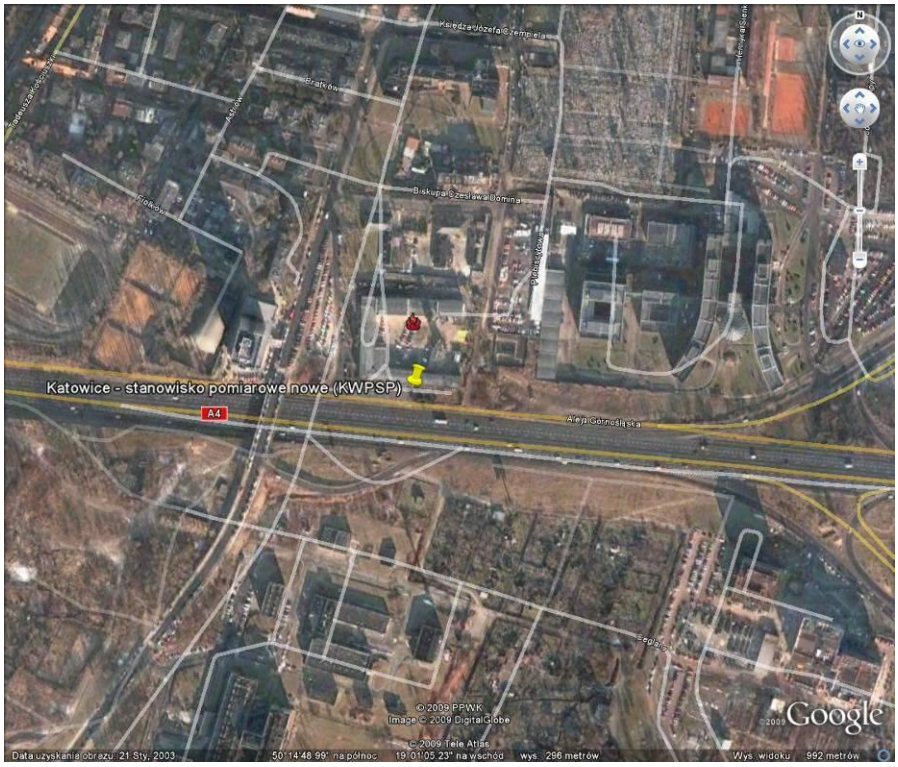
Obecnie średnie natężenie ruchu samochodowego na wysokości Wojewódzkiej Straży Pożarnej wynosi około 30 tysięcy pojazdów na dobę. W ostatnich dwudziestu latach w rozpatrywanym rejonie strefa podmiejska na południe od autostrady uległa zdecydowanemu zmniejszeniu na skutek wznoszenia tu miejskich i wojewódzkich obiektów użyteczności publicznej (m. in. służby zdrowia, wymiaru sprawiedliwości, ośrodków sportowych, centrów handlowych). Skurczyła się przede wszystkim powierzchnia ogródków działkowych i parku leśnego. W niedalekiej przyszłości planowana jest modernizacja i rozbudowa lotniska sportowego na Muchowcu, znajdującego się 1750 m od miejsca lokalizacji stacji, licząc odległość do centrum obecnego pasa startowego.

Teren lokalizacji stacji pomiarowej położony jest na niewielkim pagórku wschodniego stoku wzniesienia brynowskiego, którego kulminacja na terenie Parku Kościuszki osiąga rzędną 314,6 m n.p.m. W odległości około 0,5 km w kierunku południowo-wschodnim zaznacza się wcięcie dolinki niewielkiego strumienia, obecnie częściowo zakrytego i skierowanego do systemu kanalizacji miejskiej. Kiedyś strumień ten odwadniał wyrobiska miejscowej cegielni.

[1] wg oceny jakości powietrza GIOŚ w 2008 r. w Aglomeracji Górnośląskiej odnotowano następującą liczbę przekroczeń stężeń średniodobowych:
Katowice - 97, Dąbrowa Górnicza - 78, Zabrze – 108,
Gliwice – 63.

Obecnie na terenie byłej cegielni zbudowano duże centrum rekreacyjno-sportowe GKS Katowice. Wschodnia i północno-wschodnia ekspozycja rejonu stacji pomiarowej sprawia, iż opisywany teren znajduje się w zlewni Leśnego Potoku, będącego prawobrzeżnym dopływem rzeki Rawy, uchodząc do niej w Katowicach-Zawodziu.

Od strony północnej do rejonu stacji przylega zabudowa śródmieścia Katowic. Jest to tylko w części zabudowa mieszkaniowa. W większej części są to wielkokubaturowe budynki służb publicznych (m.in. Wojewódzkiej Komendy Policji, Kurii Archidiecezjalnej). Od strony południowej przeważa teren otwarty wyznaczony przebiegiem autostrady A4, za którą w odległości ok. 300 m wznoszą się nowoczesne obiekty kliniki okulistycznej. Od wschodu teren łagodnie obniża się, lecz w dość bliskim sąsiedztwie umiejscowiony jest rozległy kompleks Wojewódzkiej Komendy Policji, za którym znajduje się wielkoblokowe osiedle mieszkaniowe im. I.J. Paderewskiego. Po drugiej stronie autostrady A4 wyróżniają się na tym kierunku nowoczesne biurowce TP S.A., budynki sądowe, a za nimi centra handlowe. Od strony zachodniej rejon stacji jest nieco osłonięty wyżej położonym terenem, na którym po drugiej stronie ulicy Wita Stwosza znajduje się 22-piętrowy biurowiec prokuratury.



Rysunek 2.1.6. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla PM_{10} przy ul. W. Stwosza w Katowicach

a) b)

Rysunek 2.1.7. Widok (z kierunku zachodniego) na punkt pomiarowy PM_{10} przy ul. W. Stwosza w Katowicach (a); miernik PM_{10} na stanowisku pomiarowym (b)

2.1.1.2. Stacje tła miejskiego w Katowicach i Gdańsku

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

- są stanowiskami tła miejskiego, dla których kryteria są 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); preferowane lokalizacje, w których są prowadzone 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 to spełnią 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 tych stacjach mierzony jest pył PM_{10} (na stacji Katowice od 2000 r.), zatem lokalizacje są zgodne z warunkami określonymi w § 5 pkt. 5 rozporządzenia w sprawie w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. z 2009 r. Nr 5, poz. 31), w którym określono, że w aglomeracjach, stanowiska pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ powinny być zainstalowane na stacjach tła miejskiego, w których jest mierzony pył zawieszony PM_{10}.

Katowice

Do pomiaru jakości powietrza pod kątem pyłu $PM_{2,5}$ została wybrana stacja pomiarowa reprezentująca tło miejskie, typ obszaru miejski, zlokalizowana na przy ulicy Kossutha w Katowicach (Rysunki 2.1.8. i 2.1.9.).

W klasyfikacji fizyczno-geograficznej stacja położona jest w mezoregionie Wyżyny Katowickiej makroregionu Wyżyny Śląskiej, podprowincji Wyżyna Śląsko-Krakowska.

Stacja zlokalizowana jest w zachodniej części Katowic na osiedlu Witosa na terenie Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (IETU). Otoczenie stacji stanowią: w kierunku północnym bloki mieszkalne, linia kolejowa, a dalej Drogowa Trasa Średnicowa i osiedle "Tysiąclecia", w kierunku wschodnim tereny handlowe, w kierunku południowym zabudowa mieszkalna osiedla "Witosa", natomiast w kierunku zachodnim zabudowa mieszkalna, a dalej tereny pokopalniane KWK "Kleofas".

W poniższych tabelach przedstawiono opis stacji pomiarowej (Tabele 2.1.3 i 2.1.4).

Tabela 2.1.3. Informacja ogólna na temat stacji w Katowicach

Nazwa stacji i adres		**Automatyczna stacja monitoringu jakości powietrza w Katowicach, ul. Kossutha 6**
Krajowy kod stacji		SlKatowKato_kossu
Województwo		śląskie
Typ obszaru, na którym znajduje się stacja		obszar miejski
Typ stacji		tło miejskie
Data uruchomienia stacji		1989
Właściciel stacji		WIOŚ
Wysokość n.p.m.		274
Współrzędne geograficzne w układzie WGS84	szerokość N	$50^{o}15{,}875$
	długość E	$18^{o}58{,}505$

Tabela 2.1.4. Mierzone stężenia zanieczyszczeń powietrza i elementy meteorologiczne na stacji pomiarowej w Katowicach

Stężenie zanieczyszczeń	Elementy meteorologiczne
- dwutlenek siarki - dwutlenek azotu - tlenki azotu - tlenek węgla - ozon - pył zawieszony PM_{10} - pył $PM_{2,5}$	- kierunek wiatru - prędkość wiatru - temperatura powietrza - wilgotność względna - promieniowanie całkowite - promieniowanie UV - ciśnienie atmosferyczne - opad atmosferyczny

Tabela 2.1.5. Źródła emisji zanieczyszczeń w otoczeniu stacji w Katowicach

Typ źródła zanieczyszczeń	Odległość obiektu, (m)	Azymut, (stopnie)	Wysokość głównych emitorów (m)	Emitowane zanieczyszczenia
Kotłownia KWK Kleofas	1000	320	81	pył, SO_2, NO_x, CO, WWA
Kotłownia KWK Wujek	3000	140	120	pył, SO_2, NO_x, CO, WWA

Stacja pomiaru składu pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10} umiejscowiona jest na terenie Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach – Załężu, w odległości około 3,2 km na zachód od centrum miasta. Przebiegająca w bliskim sąsiedztwie stacji pomiarowej (ok. 250 m) magistralna linia kolejowa Katowice – Gliwice rozdziela dzielnicę Załęże na część północną tzw. Stare Załęże, ciągnące się wzdłuż ulicy Gliwickiej, oraz na tzw. Nowe Załęże po południowej stronie linii kolejowej, o sukcesywnie budowanych nowych osiedlach mieszkaniowych z wielkiej płyty (osiedle im. Witosa), a także nowych siedzibach niektórych przedsiębiorstw i instytucji. Najnowsza zabudowa osiedlowa dotarła na południu do rejonu autostrady A4, co ograniczyło od tej strony dalszą rozbudowę dzielnicy.

Nowsza część dzielnicy Załęże wykazuje wyraźne zróżnicowanie funkcjonalne. Na zachodzie dzielnicy duże powierzchnie pełnią funkcje przemysłowo-magazynowe (rejon Obroki), na wschodzie przewagę ma funkcja handlowa (centra handlu hurtowego, największe targowisko miejskie). Na południu dominuje funkcja mieszkaniowa z jej usługowym zapleczem. Stronę północną wyznacza magistralna linia kolejowa, za którą przebiega pas zabudowy Starego Załęża wzdłuż zmodernizowanej ulicy Gliwickiej z równoległą do niej Drogową Trasą Średnicową GOP w dolinie Rawy. Największym emitorem zanieczyszczeń powietrza w okolicy jest Huta Batory w Chorzowie, znajdująca się ok. 2,2 km na zachód od rozpatrywanej stacji.

Rejon lokalizacji stacji pomiarowej znajduje się na południowym obrzeżu doliny Rawy, około 8 metrów powyżej koryta rzeki. Jednak od strony południowo-zachodniej tuż za IETU

powierzchnia terenu wyraźnie podnosi się w kierunku osiedla mieszkaniowego i dalej do autostrady A4, przebiegającej na wysokości około 310 m n.p.m. Kulminacja zalesionego wzniesienia załęskiego za autostradą osiąga rzędną wysokości 340,5 m n.p.m.

Oprócz zróżnicowania funkcjonalnego, drugą wyróżniającą się cechą tego obszaru jest silne natężenie ruchu pojazdów, związane w głównej mierze z obsługą handlu hurtowego i targowiskowego. Równocześnie występuje w tym rejonie bardzo duży samochodowy ruch tranzytowy na osi wschód-zachód zarówno na Drogowej Trasie Średnicowej przebiegającej w odległości 0,6 km od stacji, jaki na Autostradzie A4 w odległości 1,2 km. Bliskie sąsiedztwo obu arterii tranzytowych w tym rejonie stanowiło zasadniczy czynnik lokalizacji i szybkiego rozwoju największej w południowej Polsce strefy handlu szczególnie hurtowego, mieszczącej się niemal w centrum największej aglomeracji miejskiej naszego kraju.

Rysunek 2.1.8. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla potrzeb pomiaru pyłu zawieszonego przy ul. Kossutha 6 w Katowicach

Rysunek 2.1.9. Panorama stacji tła miejskiego pomiarów pyłu zawieszonego w Katowicach

Gdańsk

Do pomiaru jakości powietrza pod kątem pyłu $PM_{2,5}$ została wybrana stacja pomiarowa zlokalizowana przy ulicy Leczkowa w Gdańsku-Wrzeszczu (Rysunki 2.1.10. i 2.1.11.). Wskazane stanowisko pomiarowe pyłu $PM_{2,5}$ spełnia kryteria dla stanowiska tła miejskiego, określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 roku w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2009 roku nr 5, poz.31). Stacja zlokalizowana jest na północ od centrum miasta, w Gdańsku-Wrzeszczu przy ulicy Leczkowa. Otoczenie stacji stanowią: w kierunku północnym zabudowa mieszkaniowa centrum dzielnicy Wrzeszcz, w kierunku wschodnim nowsza zabudowa mieszkaniowa oraz obiekty szkolnictwa wyższego dzielnicy Nowe Szkoły, w kierunku południowym magistralne linie komunikacyjne Trójmiasta: szybka kolej i aleja Grunwaldzka (w odległości ~ 500 m), natomiast w kierunku zachodnim zabudowa mieszkaniowa dzielnicy Wrzeszcz z jej główną ulicą Wyspiańskiego.

W poniższych tabeli przedstawiono opis stacji pomiarowej (Tabele 2.1.6. i 2.1.7.).

Tabela 2.1.6. Informacja ogólna na temat stacji w Gdańsku

Nazwa stacji i adres		**Automatyczna stacja monitoringu jakości powietrza w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa**
Krajowy kod stacji		a08a
Województwo		pomorskie
Typ obszaru, na którym znajduje się stacja		obszar miejski
Typ stacji		tło miejskie
Data uruchomienia stacji		1998
Właściciel stacji		ARMAAG
Wysokość n.p.m.		40
Współrzędne geograficzne w układzie WGS84	szerokość N	$54^{o}22,817$
	długość E	$18^{o}37,217$

Tabela 2.1.7. Mierzone stężenia zanieczyszczeń powietrza i elementy meteorologiczne na stacji pomiarowej w Gdańsku

Stężenie zanieczyszczeń	**Elementy meteorologiczne**
- dwutlenek siarki – pomiar ciągły - dwutlenek azotu – pomiar ciągły - tlenki azotu – pomiar ciągły - tlenek węgla – pomiar ciągły - ozon – pomiar ciągły - 24 h stężenia pyłu zawieszonego PM_{10} - 24 h stężenia pyłu zawieszonego$PM_{2,5}$	- kierunek wiatru - prędkość wiatru - temperatura powietrza - wilgotność względna - ciśnienie atmosferyczne

Tabela 2.1.8. Źródła emisji zanieczyszczeń w otoczeniu stacji w Gdańsku

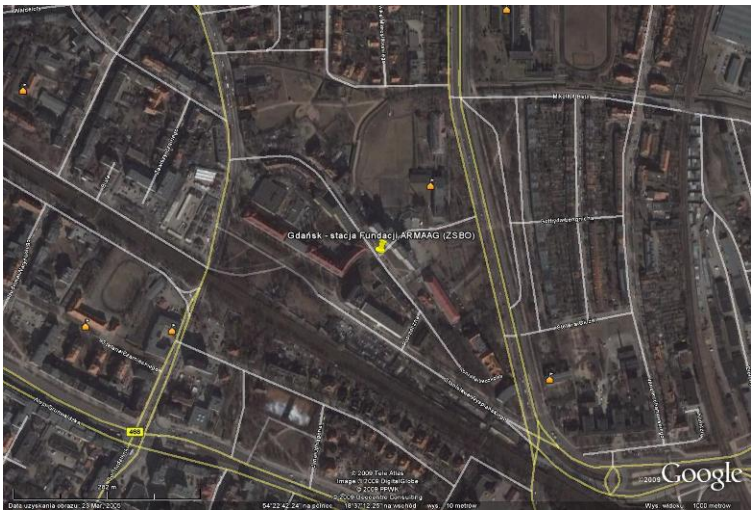
Typ źródła zanieczyszczeń	**Odległość obiektu (m)**	**Azymut, (stopnie)**	**Emitowane zanieczyszczenia**
Elektrociepłownia Wybrzeże S.A. – EC II	1500	50	pył, SO_2, NO_x
Gdańska Stocznia Remontowa	2000	50	pył, SO_2, NO_x

Stacja pomiaru w Gdańsku przy ul. K. Leczkowa znajduje się w dzielnicy Wrzeszcz, w odległości 4030 m na północny zachód od ratusza Głównego Miasta w Gdańsku. Rejon stacji to południowy fragment doliny potoku Strzyża, płynącego z okolic lotniska w Rębiechowie, a uchodzącego do Martwej Wisły powyżej elektrociepłowni około 1600 m na wschód od rozpatrywanej stacji pomiarowej. Zgodnie z przebiegiem doliny, najbliższe otoczenie stacji wyeksponowane jest na stronę północno-wschodnią.

W pobliżu stacji przebiega ujściowy odcinek prawostronnego dopływu potoku Strzyża, który ma źródła w rejonie wzgórz suchanińskich w Gdańsku. Jeszcze do niedawna dopływ ten płynął przez Królewską Dolinę do rejonu ul. Traugutta obok politechniki. Z powodu przebudowy tego rejonu Gdańska, prawie cała zlewnia tego dopływu została skierowana do sieć kanalizacji miejskiej.

Najbliższe otoczenie stacji pomiarowej w promieniu do 150 m nie jest zbyt intensywnie zabudowane, posiadając dzięki temu nieco więcej wolnej przestrzeni, natomiast dalsza okolica to gęsta zabudowa dzielnicy Wrzeszcz, z jej centrum w odległości ok. 500 m na północny zachód od stacji. Od wschodu przylega równie intensywna nowsza zabudowa dzielnicy Nowe Szkoty, o rozwiniętych funkcjach szkolnictwa technicznego i medycznego. Strefy intensywnej zabudowy miejskiej rozdzielone są gęstą siecią ulic, zarówno osiedlowych jak i tranzytowych. Od strony południowej w odległości 400 – 500 m biegną obok siebie dwie główne osie spinające Trójmiasto: szybka kolej dojazdowa i Aleja Grunwaldzka. Od wschodu i zachodu rejon stacji obrzeżają główne ulice tej części Gdańska – Aleja Gen. J. Hallera i ulica Wyspiańskiego, wyprowadzające ruch samochodowy z osi trójmiejskiej w kierunku nadmorskich dzielnic Brzeźno i Przymorze.

W rejonie stacji oprócz funkcji mieszkaniowej dużą rolę odgrywa bliskie sąsiedztwo wyższych uczelni, przede wszystkim Politechniki Gdańskiej i Akademii Medycznej, czego wyrazem są liczne domy studenckie, obiekty dydaktyczne i szpitalne. Około 1 km w kierunku zachodnim ponad zabudową dzielnicy Wrzeszcz zaznacza się zalesiony skraj wzgórz morenowych Jaśkowego Lasu, osiągający wysokość 104 m n.p.m. w rejonie Cmentarza Centralnego w Gdańsku. Obszar ten stanowi strefę ochronną Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego, który obejmuje bardziej na zachodzie rozciągające się Lasy Oliwskie. Natomiast od strony wschodniej ponad zabudową Nowych Szkotów w odległości 1-2 km rozciągają się tereny przemysłowe i portowe przy ujściowych akwenach Martwej Wisły, ze zlokalizowanymi tutaj elektrociepłownią, Mostostalem, Pollytagiem, Olvitem, Stocznią Północną i innymi firmami.



Rysunek 2.1.10. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla potrzeb pomiaru pyłu zawieszonego w Gdańsku

Rysunek 2.1.11. Stacji tła miejskiego pomiarów pyłu zawieszonego w Gdańsku

2.1.1.3. Stacja tła regionalnego – Puszcza Borecka - Diabla Góra

Stanowisko pomiarowe zlokalizowane w Puszczy Boreckiej pyłu $PM_{2,5}$ 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.

Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska „Puszcza Borecka" jest obiektem należącym do Instytutu Ochrony Środowiska z Warszawy. Zlokalizowana jest na zachodnim skraju Puszczy Boreckiej, dużego kompleksu leśnego na granicy gmin Kruklanki i Kowale Oleckie. Położona jest pomiędzy ciągiem Wielkich Jezior Mazurskich na zachodzie, a pojezierzem Ełckim na wschodzie (Rysunek 2.1.12., 2.1.13.), w zlewni jeziora Łękuk oddającego swe wody do jeziora Gołdopiwo i dalej do Węgorapy.

Rysunek 2.1.12. Lokalizacja ogólna Stacji KMŚ Puszcza Borecka w Diablej Górze

Rysunek 2.1.13. Widok zabudowań Stacji na terenie posterunku pomiarowego Diabla Góra

Prowadzone prace badawcze koncentrują się w trzech grupach obszarowych:

- posterunek pomiarowy Diabla Góra - pomiary zanieczyszczeń powietrza, opadów i pomiary meteorologiczne,

- zlewnia jeziora Łękuk wraz z systemem cieków - pomiary i badania chemizmu wód powierzchniowych płynących i stojących oraz wód podziemnych,
- powierzchnie badawcze opadowe, glebowe, florystyczne i faunistyczne - pomiary i badania chemizmu opadów podkoronowych i spływu po pniach, gleb, roztworów glebowych, ściółki, listowia, obserwacje na stałych powierzchniach florystycznych, obserwacje organizmów wskaźnikowych (epifitów nadrzewnych) a także obserwacje fauny, przede wszystkim ptaków.

Podstawowym zadaniem stacji Puszcza Borecka/Diabla Góra, jest monitorowanie stężeń zanieczyszczeń powietrza i opadów atmosferycznych, mające na celu określanie zmian zachodzących w skali regionalnej, ocenę efektów zmian emisji, lepsze zrozumienie procesów fizycznych i chemicznych związanych z oddziaływaniem tych zanieczyszczeń na ekosystemy i zdrowie ludzi. Stacja zlokalizowana jest na obszarze oddalonym od znaczących źródeł emisji. Dane pochodzące ze stacji pracującej w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska są wykorzystywane dla potrzeb związanych z realizacją protokołu EMEP *Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości*[2], potrzeb krajowych związanych z oceną jakości powietrza i opadów atmosferycznych oraz zintegrowanym monitoringiem środowiska przyrodniczego.
W roku 2009 włączono do programu pomiarowego prowadzonego w Diablej Górze badania pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ (pobór próbek przy użyciu wysoko objętościowego pyłomierza szwajcarskiej firmy DIGITEL typu DHA-80, na filtry kwarcowe o średnicy 150 mm).
Stanowisko do poboru próbek pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ mieści się na terenie ogródka pomiarowego. W pobliżu nie występują żadne obiekty mogące utrudniać dopływ powietrza do czerpni pobornika pyłu. Na Stacji nie ma żadnych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza. Najbliższym obiektem w rejonie Stacji jest leśniczówka Diabla Góra, położona ok. 350 m na południowy wschód od punktu pomiarów zanieczyszczenia atmosfery. W pobliżu nie ma żadnej drogi o istotnym znaczeniu ani zakładów przemysłowych.

Gmina Kruklanki, na terenie której znajduje się Stacja KMŚ Puszcza Borecka, ma wybitnie leśno-rolniczy charakter użytkowania ziemi. Grunty orne stanowią tu tylko około 20% powierzchni, łąki i pastwiska 13%, a lasy 53%. Powierzchnia terenów użytkowanych do celów komunikacyjnych oraz obszarów zajętych przez osiedla nie osiągnęła znaczącego udziału. Drogi stanowią około 3%, koleje 0,1%, a osiedla 1,5% powierzchni terenu gminy. Dość znaczny jest udział nieużytków (około 5,7% powierzchni gruntów).

W poniższych tabelach przedstawiono opis stacji pomiarowej (Tabele 2.1.9. – 2.1.11.).

Tabela 2.1.9. Informacja ogólna na temat stacji w Diablej Górze

Nazwa stacji i adres	**Automatyczna stacja monitoringu jakości powietrza w Puszczy Boreckiej, Diabla Góra**
Krajowy kod stacji	WmPuszcz_IOS_Borecka
Województwo	Warmińsko-mazurskie

* [2] KONWENCJA w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości, sporządzona w Genewie dnia 13 listopada 1979 r. Dz.U.85.60.311.

Nazwa stacji i adres		**Automatyczna stacja monitoringu jakości powietrza w Puszczy Boreckiej, Diabla Góra**
Typ obszaru, na którym znajduje się stacja		pozamiejska
Typ stacji		tło pozamiejskie
Data uruchomienia stacji		1983
Właściciel stacji		IOŚ
Wysokość n.p.m.		157
Współrzędne geograficzne w układzie WGS84	szerokość N	$50^0$07’30,45”
	długość E	$22^0$02’16,97”

Tabela 2.1.10. Mierzone stężenia zanieczyszczeń powietrza i elementy meteorologiczne na stacji pomiarowej w Diablej Górze

Stężenie zanieczyszczeń (wybór)	Elementy meteorologiczne
- dwutlenek siarki - dwutlenek azotu - dwutlenek węgla - rtęć gazowa - pył zawieszony PM_{10}, $PM_{2,5}$	- kierunek wiatru - prędkość wiatru - temperatura powietrza - opad atmosferyczny

Tabela 2.1.11. Źródła emisji zanieczyszczeń w otoczeniu stacji w Diablej Górze

Typ źródła zanieczyszczeń	Odległość obiektu (m)	Azymut (stopnie)
Giżycko - 29500 mieszkańców	21000	240
Węgorzewo – 11500 mieszkańców	22000	297
Ełk – 57100 mieszkańców	39000	147
Olecko – 16100 mieszkańców	32000	108
Najbliższe, pojedyncze źródło emisji	2300	128
Droga powyżej 50 pojazdów/dobę	16000	210
Droga powyżej 500 pojazdów/dobę	42000	270

2.1.2. Metodyka określania stężeń $PM_{2,5}$ i PM_{10}

Stężanie pyłu określano metoda grawimetryczną zgodnie z metodyka referencyjna. Do poboru próbek pyłu wykorzystano mierniki wysoko przepływy HVS firmy Digitel (stacja pomiarowa w Diablej Górze ($PM_{2,5}$), stacja pomiarowa Gdańsk ($PM_{2,5}$ i PM_{10}), oraz PNS LVS Atmoserwis.

Wykorzystywany w badaniach pobornik pyłu szwajcarskiej firmy DIGITEL typu DHA-80 ma następujące parametry:

- przepływ w zakresie: 200-1000 l/min,
- pompa: silnik bezszczotkowy,
- zasilanie: 230V, 50/60Hz,
- wyjście: cyfrowe RS 232,
- magazyn filtrów: max. 14 szt.,
- materiały eksploatacyjne: filtry kwarcowe, okrągłe o średnicy 150 mm.

Pobornik zamocowany jest na betonowym postumencie w ogródku pomiarowym, w sąsiedztwie pobornika pyłu PM_{10} (Ryc. 2.13).

Rysunek 2.1.14. Poborniki wysoko przepływowe Digitel DHA-80 (po lewej PM_{10}, po prawej $PM_{2,5}$) na terenie ogródka pomiarowego Stacji Puszcza Borecka

Na rycinie 2.14 przedstawiono widok otwartej głowicy do separacji cząstek pyłu $PM_{2,5}$, a na rycinie 2.15 wnętrze pobornika. Widać na nim rotametr do kontroli przepływu powietrza (po lewej stronie), tor pobierania pyłu i miejsce na filtr roboczy (w środku) oraz magazyn na czyste i eksponowane filtry (po prawej stronie). Na górze zdjęcia umieszczony jest blok układów sterowania pracą pobornika.

Rysunek. 2.1.15. Głowica separująca $PM_{2,5}$ (otwarta) pobornika Digitel

Rysunek.2.1.16. Wnętrze pobornika Digitel

Dla potrzeb badań pyłu PM_{10} na terenie PSP w Katowicach zainstalowano pobornik pyłu PM_{10} PNS 15, produkcji ATMOSERVICE, w obudowie odpowiedniej do instalacji w warunkach polowych. Parametry pracy urządzenia są następujące:

- przepływ 2,3 m^3/h,
- zintegrowany mechaniczny zmieniacz filtrów PNS produkcji ATMOSERVICE - 15 filtrów o średnicy 47mm,
- głowica PM_{10}.

Aparat zainstalowano na platformie, na wysokości ok. 0,5m, dla zapewnienia reprezentatywnych dla ciągu komunikacyjnego warunków poboru prób powietrza (czerpnia powyżej ogrodzenia).
Na stacji tła miejskiego w Katowicach wykorzystywano analogiczny miernik LVS, zainstalowany na platformie pomiarowej zapewniającej swobodny przepływ powietrza (wysokość odpowiadająca wysokości kontenera pomiarowego stacji WIOŚ - Rysunek 2.1.9).

2.1.3. Procedury transportu filtrów i obsługi sprzętu

2.1.3.1. Gdańsk

Filtry są transportowane kurierem, z laboratorium wagowego w Zabrzu do punktów pomiarowych w standardowych izotermicznych walizkach (DIGITEL) przystosowanych do przenoszenia oprawek z filtrami (w pozycji poziomej).

Nadzór nad aparatura do poboru prób prowadzony jest przez pracowników fundacji Agencja Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej ARMAAG w oparciu o porozumienie trójstronne WIOŚ w Gdańsku, ARMAAG IPIŚ PAN.

Wymianę filtrów prowadzi się 2 razy w miesiącu, co 14 dni. Na każdą partię (14 filtrów) przewidziano 1 dodatkowy filtr - próbkę transportową.

2.1.3.2. Diabla Góra

Transport filtrów i próbek prowadzony jest według obecnie stosowanych metodyk na stacji EMEP. Z próbki dla każdej doby są wycinane wykrojnikiem 47mm 4 krążki z każdego filtra 15mm i przesyłką konduktorską, przekazywane są do analiz w laboratoriach IETU i IPIŚ PAN.

2.1.3.3. Katowice

W Aglomeracji Górnośląskiej, w obu punktach pomiarowych (stacja tła miejskiego i stacja komunikacyjna) przewidziano pobór prób z wykorzystaniem mierników LVS o podobnej konstrukcji.

Stacja komunikacyjna jest usytuowana na terenie PSP. Miernik pyłu posadowiony został na platformie pomiarowej o wysokości ok. 0,5 m, a czerpnia usytuowana na wysokości ok. 2,5 metra (powyżej ogrodzenia).

Stacja komunikacyjna w całości jest obsługiwana przez IPIŚ PAN.

Filtry ze stacji tła miejskiego w Katowicach są ważone w laboratorium IPIŚ PAN i w kasetach transportowane, przez pracowników IPIS PAN do Katowic, gdzie są wymieniane w cyklu 14 dniowym.

2.1.4. Pomiar grawimetryczny masy pyłu

Masę pyłu oznaczano grawimetrycznie, w pokoju wagowym wyposażonym w klimatyzację i układ rejestracji parametrów otoczenia temperatury i wilgotności. Filtry o średnicy 47mm ważono na wadze Mettler Toledo (o rozdzielczości 0.002g) rys 2.1.17a , filtry o średnicy 150mm na wadze Sartorius (o rozdzielczości 0,01g) rys 2.1.17b. Wagi posiadają aktualne certyfikaty wzorcowania. Filtry ze stacji Diabla Góra ważono zgodnie z procedurami stosowanymi na potrzeby programu EMEP w IOŚ Warszawa.

2.1.4.1. Ważenie filtrów nieobciążonych (przed pobraniem próbek)

1. Przed ważeniem filtry kondycjonuje się w pokoju wagowym przez minimum 48 godzin; warunki pokoju wagowego: (20 ± 1) °C i (50 ± 5) % RH.
2. Przed rozpoczęciem pomiaru grawimetrycznego waga jest kalibrowana.
3. Przed każdym odrębnym ważeniem filtru nieobciążonego waga jest zerowana.
4. Filtry są ważone dwukrotnie, z odstępem przynajmniej 12-godzinnym, w celu potwierdzenia stabilności masy filtru. Jeżeli masy te różnią się od siebie o więcej niż 40 µg dla metody LVS i 500 µg dla metody HVS, filtr jest odrzucany.
5. Masa filtru wyrażona jest jako średnia z dwóch odrębnych pomiarów, zapisana w miligramach. Odczyt średni masy jest wagą początkową filtru.
6. Nieobciążone filtry przechowuje się w pokoju wagowym nie dłużej niż 28 dni przed pobraniem próbek.

2.1.4.2. Ważenie filtrów obciążonych (po pobraniu próbek)

1. Przed ważeniem filtry obciążone są kondycjonowane w pokoju wagowym przez minimum 48 godzin; warunki pokoju wagowego: (20 ± 1) °C i (50 ± 5) % RH.
2. Przed rozpoczęciem pomiaru grawimetrycznego waga jest kalibrowana.
3. Przed każdym odrębnym ważeniem filtru obciążonego waga jest zerowana.
4. Filtry są ważone dwukrotnie, z odstępem wynoszącym od 24 do 72 godzin. Jeżeli ich masy różnią się o więcej niż 60 µg dla metody LVS i 800 µg dla metody HVS, wyników nie były brane pod uwagę.
5. Masa filtrów obciążonych wyrażona jest jako średnia z dwóch odrębnych pomiarów i zapisana w miligramach. Odczyt średni masy jest wagą końcową filtru.
6. Po zważeniu filtry są archiwizowane.

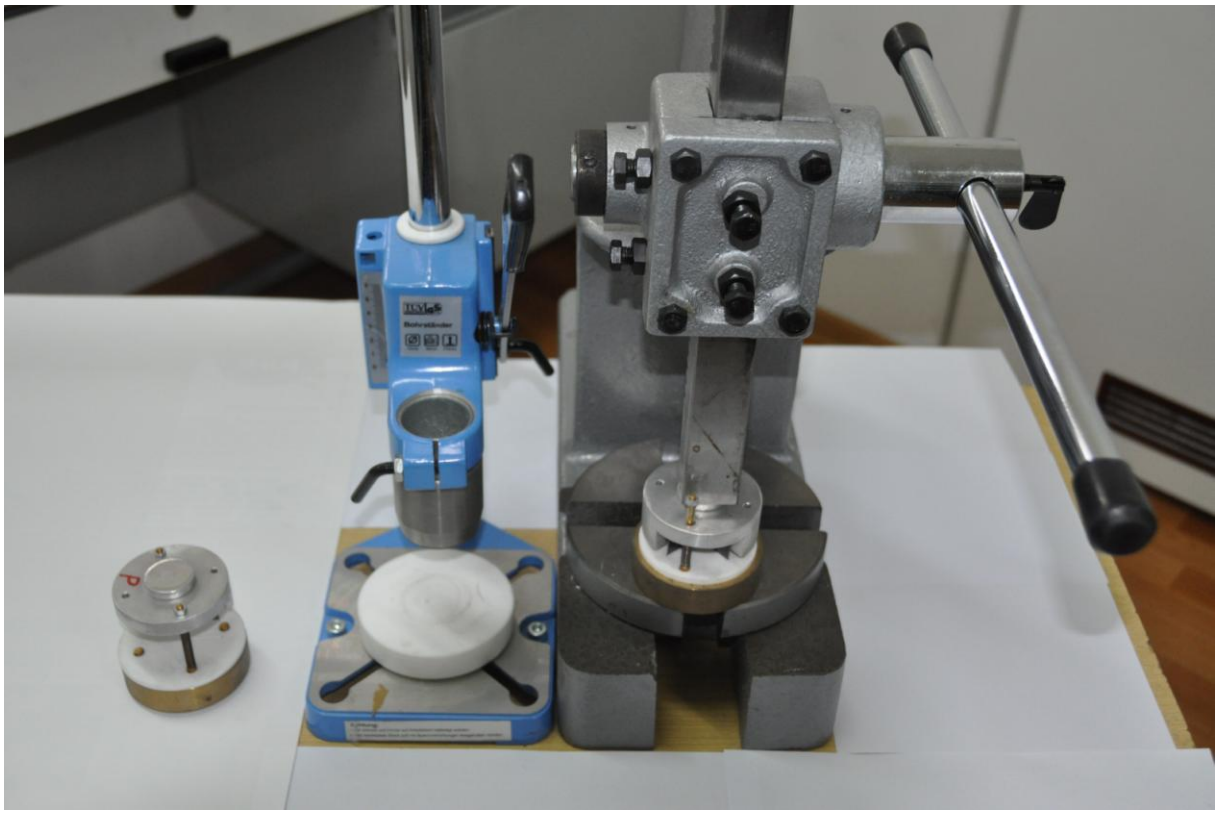
Rysunek 2.1.17. Pokój wagowy (a) waga Mettler Toledo, (b) waga Sartorius

2.1.5. Przygotowanie próbek pyłu do badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}

Z uwagi na szeroki zakres analiz i wymagany wysoki stopień pokrycia (średnie miesięczne z prób dobowych) oraz dobowe analizy dla epizodów, wymagane było przygotowanie ujednoliconych metod podziału materiału badawczego dla potrzeb oddzielnych typów analiz:

- metale ciężkie (IETU),
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (IETU),
- aniony ,kationy (IPIŚ PAN),
- OC/EC (IPIŚ PAN).

W tym celu przygotowano dwa zestawy wykrojników (dla IOŚ i IPIŚ PAN), umożliwiające podział filtrów na próbki o jednakowej powierzchni rysunek 2.1.18.
Dla filtrów 150mm przygotowano wykrojnik umożliwiający wycięcie do 5 krążków o średnicy 47mm.
Dla filtrów 47mm przygotowano wykrojnik umożliwiający ich podział na filtrów 4 ćwiartki.
Każdorazowo po zważeniu filtry podlegały defragmentacji z wykorzystaniem wykrojnika o odpowiednim rozmiarze i były przekładane do opisanych szalek Petrie'go. Przed wysłaniem do analiz filtry przechowywano w chłodni, podobnie jak wycinki archiwalne – tylko z Digitela.



Rysunek 2.1.18. Komplet wykrojników do podziału filtrów

2.1.6. Zakres analiz chemicznych i stosowane metodyki

Dla średnich miesięcznych próbek pobranych dwóch frakcji pyłów, zakresie 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,***
- kationy: Na^+ ,K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+},NH_4^+
- aniony: SO_4^-,NO_3^-, Cl^-,
- formy 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 ,***
- kationy: Na^+ ,K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+},NH_4^+
- aniony: SO_4^-,NO_3^-, Cl^-,
- formy związków węgla: węgiel organiczny (OC), węgiel elementarny (EC).

2.1.6.1. Oznaczanie zawartości metali w pyle

2.1.6.1.1. Przygotowanie próbek do badań

Próbki pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$ z czterech stanowisk pomiarowych pobrane jako próbki dobowe i podzielone na ćwiartki, łączono w próbki dwutygodniowe. Próbki łączone umieszczano w naczyniach teflonowych i mineralizowano je stopniowo, dodając kolejno stężone kwasy : azotowy, fluorowodorowy, nadchlorowy i solny według schematu:
I etap - 12 ml HNO_3,
II etap - 5 ml HF oraz 2 ml $HClO_4$,
III etap - 2 ml $HClO_4$,
IV etap około 5 ml H_2O i 2 ml HCl.
Mineralizację pojedynczych próbek dobowych tzw. epizodów prowadzono według schematu:
I etap - 5 ml HNO_3,
II etap - 5 ml HF oraz 1,5 ml $HClO_4$,
III etap - 2 ml $HClO_4$,
IV etap około 5 ml H_2O i 1 ml HCl.
W taki sam sposób zmineralizowano próbki filtrów bez pyłu, czyli sporządzono próbki ślepe.

2.1.6.1.2. Oznaczanie metali

Metale: kadm, arsen i nikiel w otrzymanych mineralizatach pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$ oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, z atomizacją elektrotermiczną w piecu grafitowym (ETAAS), zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 14902:2006 „Jakość powietrza atmosferycznego - Standardowa metoda oznaczania Pb, Cd, As i Ni we frakcji PM_{10} pyłu zawieszonego” .
Badania wykonano przy użyciu spektrometru absorpcji atomowej z piecem grafitowym Aanalyst 600 firmy Perkin Elmer.

W celu ograniczenia wpływów matrycy stosowano modyfikatory: amonowy i magnezowy do oznaczania kadmu oraz palladowo-magnezowy do oznaczania arsenu i niklu.
Do oznaczania ołowiu zastosowano metodę płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS), gdyż w próbkach łączonych stężenie tego metalu przekraczało zakres oznaczania metody ETAAS i wymagałoby rozcieńczania próbek.
Pozostałe metale: żelazo, glin i tytan oznaczano metodą emisyjnej spektrometrii atomowej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-AES) z użyciem spektrometru ICP Liberty 220 firmy Varian.

2.1.6.1.3. Granice wykrywalności metali

Granicę wykrywalności (DL) metody oznaczania metali w pyle zawieszonym PM_{10} i $PM_{2,5}$ wyznaczono w oparciu o wyniki analizy ślepych próbek. Ślepe próbki w tej metodzie są to próbki czystych filtrów, które wraz z badanymi próbkami pyłów są traktowane tymi samymi odczynnikami i przechodzą cały tok analityczny.
Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 14902 dotyczącej oznaczania metali w pyle zawieszonym zastosowano wzór:

$$\mathbf{DL_{Me} = t_{n-1,\ P=0,95} * s}$$

gdzie:
t-parametr z testu t-Studenta dla n-1 stopni swobody
n- ilość próbek
P- prawdopodobieństwo 95%
s- odchylenie standardowe dla próbek ślepych w µg/filtr

Z uwagi na to, że w pracy analizowano pojedyncze ćwiartki filtrów z poboru 24- godzinnego dla tzw. epizodów oraz próbki łączone w dwie serie po ok. 15 ćwiartek filtrów w przypadku oznaczania pyłu zebranego w okresie całego miesiąca, wyznaczono odrębne granice w obydwu przypadkach.
Granica tak wyznaczona wyrażona jest w µg pyłu/filtr*doba dla próbek średniodobowych lub w µg pyłu/filtr*miesiąc dla próbek średniomiesięcznych.

Uwzględniając parametry mierników do pobierania próbek pyłu w tym wielkość filtra i objętość przepływającego powietrza, granicę wykrywalności metali obliczono ze wzoru:

$$\mathbf{DL = DL_{Me}/V}$$

gdzie:
V- nominalna objętość powietrza w m^3
Uwzględniono dwa rodzaje przepływów; 55 m^3/dobę dla filtrów o średnicy 47 mm oraz 700 m^3/dobę dla filtrów o średnicy 150 mm.
Granice wykrywalności metali dla próbek średniodobowych (epizody) zestawiono w tabeli 2.1.12., a granice wykrywalności metali dla próbek średniomiesięcznych przedstawiono w tabeli 2.1.13.

Tabela 2.1.12. Granice wykrywalności dla próbek średniodobowych (epizody).

Granica wykrywalności	Ti	Al	Fe
DL_{Me} [µg/filtr]	5,3	20,1	8,2
DL_{Me} dla przepływu 55 m^3/dobę [ng/m^3]	95,6	366	149
DL_{Me} dla przepływu 700 m^3/dobę [ng/m^3]	66,6	255	104

Tabela 2.1.13. Granice wykrywalności metali dla próbek średniomiesięcznych.

Granica wykrywalności	Pb	Cd	Ni	As	Ti	Al	Fe
DL [µg/filtr 47 mm*m-c]	2,47	0,26	0,67	0,25	5,19	136,3	5,3
DL dla przepływu 55 m^3 [ng /m^3]	1,5	0,2	0,4	0,1	3,15	82,6	3,24
DL dla przepływu 700 m^3 [ng /m^3]	1,0	0,1	0,3	0,1	2,19	57,6	2,26

Uwaga:
Do obliczeń przyjęto dla filtrów 47 mm całkowity przepływ V= 55 m^3*30 dni w miesiącu=1650 m^3
Dla filtrów o średnicy150 mm uwzględniono współczynnik przeliczeniowy 8,87 oraz całkowity przepływ V= 700 m^3*30 dni w miesiącu=21000 m^3.

2.1.6.1.4. Kontrola jakości badań

W trakcie oznaczania metali w badanych próbkach pyłu zawieszonego realizowano program kontroli jakości wg schematu:

a) Kalibracja spektrometru AAS i ICP

Każdorazowo przed rozpoczęciem pracy kalibrowano spektrometry AAS i ICP w zakresie dostosowanym do oznaczanych stężeń, z użyciem roztworów wzorcowych z certyfikowaną zawartością metali.
Do oznaczania As, Ni, Cd, Pb, Al oraz Fe roztwory wzorcowe do kalibracji sporządzano przez rozcieńczanie wzorców wyjściowych o stężeniu 1000 mg/l wyprodukowanych przez Okręgowy Urząd Miar w Łodzi. Do oznaczania Ti używano wzorca firmy SCP Science o stężeniu 1000 mg/l.
Podstawowe parametry analityczne, takie jak długość fali, zakres stężeń wzorców służących do sporządzenia krzywej wzorcowej dla poszczególnych krzywych przedstawiono w tabeli 2.1.14.

Tabela 2.1.14. Parametry analityczne oznaczania metali w pyłach.

Oznaczany metal	Długość fali [nm]	Stężenia wzorców
Arsen	193,7	10;20;50;75;100 µg/l
Nikiel	232,0	5;10;15;30;50 µg/l
Kadm	228,8	2;5;10;15;20 µg/l
Ołów	283,3	0,2; 0,5; 1; 2 mg/l
Glin	396,15	50 mg/l
Tytan	337,28	5 mg/l
Żelazo	238,20	10 mg/l

b) Sprawdzanie prawidłowości i stabilności kalibracji

Po wykonaniu krzywej wzorcowej sprawdzano prawidłowość kalibracji stosując testy zawierające oznaczane metale. Dla sprawdzenia stabilności kalibracji testy te stosowano również na końcu serii, a przy dłuższych seriach również w połowie serii. Stężenia wzorców stosowanych do kontroli kalibracji zestawiono w tabeli 2.1.15.

Tabela 2.1.15. Wzorce kontrolne metali stosowane podczas analiz pyłów.

Oznaczany metal	Nazwa wzorca kontrolnego/ materiału odniesienia	Stężenie wzorca wyjściowego/materiału odniesienia	Stężenie wzorca kontrolnego (roboczego)/ materiału odniesienia	Średnie stężenia wzorca/mat.odniesienia uzyskane w lab. ± odchylenie standardowe SD
Arsen	ICP Multi Element Standard Solution XVI CertiPUR firmy Merck	102± 5 mg/l	50 µg/l	55,7 ± 3,6 µg/l
Nikiel	ICP Multi Element Standard Solution IV CertiPUR firmy Merck	100 ± 5 mg/l	50 µg/l	48,6 ± 3,9 µg/l
Nikiel	NIVA D Norwegian Institute for Water Research w 2009	6,23± 1,25 µg/l	6,23 µg/l	6,34±1,37 µg/l
Kadm	NIVA D Norwegian Institute for Water Research w 2009	6,13 ± 1,23 µg/l	6,13 µg/l	6,09 ± 0,78 µg/l
Ołów	ICP Multi Element Standard Solution IV CertiPUR firmy Merck	1009± 10 mg/l	1 mg/l	0,98 ± 0,03 mg/l
Glin	ICP Multi Element Standard Solution IV CertiPUR firmy Merck	990± 10 mg/l	10 mg/l	9,76 ±0,23 mg/l
Tytan	ICP Multi Element Standard Solution XVI CertiPUR firmy Merck	99± 5 mg/l	5 mg/l	4,95±0,17 mg/l
Żelazo	ICP Multi Element Standard Solution IV CertiPUR firmy Merck	1000± 10 mg/l	10 mg/l	9,84 ±0,37 mg/l

c) Sprawdzanie czystości naczyń i jakości kwasów użytych do mineralizacji próbek pyłu zebranego na filtrach

W trakcie badań analizowano próbki ślepe odczynnikowe zawierające stężone kwasy, które używano do mineralizacji filtrów z pyłem i postępowano z nimi tak jak z próbkami rzeczywistymi.

d) Analiza ślepych próbek

Z każdą badaną serią próbek analizowano próbki ślepe wykonane z czystych filtrów używanych do pobierania próbek. Filtry te były poddawane mineralizacji w takiej samej ilości kwasów jak próbki rzeczywiste i analizowane wraz z pyłami.
Otrzymane dla poszczególnych metali średnie wartości ślepych dla analizowanych 15 ćwiartek czystych filtrów wynosiły:

- As – 4,76 ± 1,0 µg/l
- Ni – 24,16 ± 2,7 µg/l
- Pb – 92 ,6 ± 10,5 µg/l
- Cd – 6,9 ± 1,1 µg/l
- Al – 19,6 ± 0,62 mg/l
- Ti – 0,647 ± 0,02 mg/l
- Fe – 1,11 ± 0,05 mg/l

e) Okresowa analiza certyfikowanych materiałów odniesienia

Prawidłowość wyników oznaczania metali w pyle zawieszonym opisanymi metodami sprawdzono poddając analizie próbki certyfikowanego materiału odniesienia „Standard Reference Material 1648a - Urban Particulate Matter" firmy NIST. Referencyjne stężenia metali oraz wartości oznaczone w Centralnym Laboratorium IETU przedstawiono w tabeli 2.1.16.

Tabela 2.1.16. Referencyjne stężenia metali w SRM NIST 1648a i stężenia oznaczone w Centralnym Laboratorium IETU.

Oznaczany metal	jednostka	Stężenie referencyjne metali w SRM 1648a	Stężenie oznaczone wartość średnia
As	mg/kg	115,5 ± 3,9	117,6 ± 5,4
Ni	mg/kg	81,8 ± 6,8	74,1 ± 7,4
Cd	mg/kg	73,7 ± 2,3	69,6 ± 2,1
Pb	%	0,655 ± 0,033	0,609 ± 0,055
Al	%	3,43 ± 0,13	3,12 ± 0,24
Ti	%	0,402 ± 0,0086	0,398 ± 0,029
Fe	%	3,92 ± 0,21	3,56 ± 0,28

Opracowały: Józefa Krajewska, Magdalena Kwosek

2.1.6.2. Oznaczanie zawartości WWA w pyle

2.1.6.2.1. Zasada metody

Frakcję WWA z próbek pyłu osadzonego na filtrach wydzielono przez wyekstrahowanie dichlorometanem związków organicznych z filtra, z dodatkiem ziemi okrzemkowej, w automatycznym ekstraktorze typu ASE. Ekstrakt poddawano oczyszczeniu od związków interferujących techniką SPE przy użyciu Florisilu. Analizę ekstraktu prowadzono techniką wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC), przy użyciu detektorów fluorescencyjnego (FLD) i diodowego (DAD). Stężenie badanych WWA w ekstrakcie określono metodą wzorca zewnętrznego przez porównanie powierzchni pików.

2.1.6.2.2. Przygotowanie próbek do oznaczania

Próbki pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$, osadzonego na filtrach kwarcowych, pobrane na czterech stanowiskach pomiarowych jako próbki średniodobowe i podzielone na ćwiartki, łączono w próbki jedno- lub dwutygodniowe, ekstrahowano oddzielnie a następnie ekstrakty łączono w próbki miesięczne. Próbki dobowe epizodów oznaczano oddzielnie.
Filtry z pyłem mieszano z ziemią okrzemkową, umieszczano w metalowych celkach pojemności 5 lub 10 ml i poddawano ekstrakcji dichlorometanem (DCM) w automatycznym ekstraktorze ASE 350 firmy Dionex, zgodnie z programem (temperatura ekstrakcji 100°C, ciśnienie 10 Mpa, całkowity czas grzania, ekstrakcji i płukania wynosił 0,5 godziny). Ekstrakty zatężano do objętości około 1 ml za pomocą azotu w urządzeniu TurboVap firmy LifeSciences, w łaźni wodnej o temperaturze 27°C. Zatężone ekstrakty oczyszczano na kolumnach wypełnionych Florisilem 60 – 100 mesh. Frakcję WWA eluowano przy użyciu DCM, stosując 10 ml DCM na 1 g Florisilu. Eluaty odpowiednio zatężano w urządzeniu TurboVap, łączono i doprowadzano do objętości od 1 do 10 ml, w zależności od spodziewanych stężeń w poszczególnych punktach pomiarowych. Przed analizą chromatograficzną obowiązkowo ekstrakty należało jeszcze przefiltrować przez filtr strzykawkowy o wielkości por 0,45 μm.

2.1.6.2.3. Parametry analizy HPLC

Analizę ekstraktów przeprowadzono przy użyciu chromatografu cieczowego Agilent 1200 firmy Agilent Technologies, wyposażonego w detektory FLD i DAD oraz autosampler i system komputerowy z oprogramowaniem Chemstation w środowisku Windows.
Rozdział WWA wykonano za pomocą kolumny typu RP C18 z wypełnieniem 5 μm, LiChrospher PAH firmy Merck o wymiarach 250 x 3 mm, która zapewnia rozdział chromatograficzny 17 WWA od naftalenu do indeno(1,2,3-cd)pirenu, przy zastosowaniu elucji gradientowej: Metanol-Woda.
Wytypowane do badań WWA: Benzo(a)antracen – B(a)A, Benzo(b)fluoranten – B(b)F, Benzo(k)fluoranten – B(k)F i Benzo(a)piren – B(a)P były oznaczane jakościowo i ilościowo przy użyciu detektora FLD, z programowanymi w czasie zmianami długości fali wzbudzenia i emisji: dla B(a)A -260/420 nm, dla B(b)F, B(k)F i B(a)P - 290/450 nm.
Benzo(j)fluoranten był oznaczany za pomocą detektora diodowego przy długości fali 223 nm.

2.1.6.2.4. Granice wykrywalności WWA

Granice wykrywalności (DL) badanych WWA, określono przez opracowanie statystyczne wartości pomiarów próbek ślepych (czystych filtrów) z określonym 95%

prawdopodobieństwem, które były oznaczane przy zastosowaniu pełnego toku analitycznego. Obliczenia wykonano w oparciu o wyniki oznaczeń serii 10 - 11 próbek ślepych dla poszczególnych WWA.
Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 15549 dotyczącej oznaczania benzo(a)pirenu w powietrzu atmosferycznym, do obliczenia granicy wykrywalności zastosowano wzór:

$$\mathbf{DL = t_{n-1;\,0,95} * s}$$

gdzie:
$t_{n-1;\,0,95}$ – wartość rozkładu t-Studenta dla (n-1) stopni swobody i 95% przedział ufności
n – liczba próbek
s – odchylenie standardowe wartości ślepych z filtrów w µg/filtr

Dla wyznaczenia granicy wykrywalności WWA dla epizodów analizowano ćwiartki filtrów o średnicy 47 mm, analogicznie jak próbki z poboru 24-godzinnego, uzyskując dane wyrażone w µg/filtr-47 mm*doba.
Granice wykrywalności WWA dla próbek średniomiesięczych wyznaczono analizując próbki złożone z 13 - 15 ćwiartek czystych filtrów o średnicy 47 mm, analogicznie jak próbki miesięczne, uzyskując dane wyrażonych w µg/filtr-47 mm*miesiąc (30 dni).
Przy wyznaczeniu wartości granic wykrywalności w ng/m^3 powietrza uwzględniono objętość próby powietrza, dla dwóch rodzajów mierników i rozmiarów filtra: średni przepływ 55 m^3/dobę przez filtr o średnicy 47 mm i średni przepływ 700 m^3/dobę przez filtr o średnicy 150 mm.
Wyniki obliczeń granic wykrywalności oznaczanych WWA zestawiono w tabeli 2.1.17.

Tabela 2.1.17. Granice wykrywalności oznaczanych WWA dla próbek średniodobowych oraz średniomiesięcznych.

WWA	**[µg /filtr*dobę] (d filtra=47 mm) epizody**	**[µg /filtr *m-c] (d filtra=47 mm) próbki miesięczne**	**[ng/m^3] (d f.=47 mm; V=55 m^3)**	**[ng/m^3] (d f.=150 mm; V=700 m^3)**
Benzo(a)antracen	0,0011	0,033	0,020	0,014
Benzo(j)fluoranten	0,0005	0,016	0,010	0,007
Benzo(b)fluoranten	0,0008	0,023	0,014	0,010
Benzo(k)fluoranten	0,0007	0,021	0,013	0,009
Benzo(a)piren	0,0011	0,034	0,020	0,014

Uwaga: W obliczeniach granicy wykrywalności dla filtrów o średnicy 150 mm uwzględniono współczynnik przeliczeniowy 8,8728, wyznaczony jako stosunek powierzchni filtrów o średnicy 150 mm do powierzchni filtrów o średnicy 47 mm.

2.1.6.2.5. Kontrola jakości badań

Kontrola jakości oznaczeń WWA była prowadzona przez badanie:

a) próbek ślepych, wykonywanych jednocześnie z daną serią próbek w celu sprawdzenia śladów obecności oznaczanych WWA dla wszystkich etapów analizy (odczynniki, aparaty),
b) kontrolę krzywych wzorcowych przed rozpoczęciem analizy chromatograficznej,
c) okresowe wyznaczanie współczynników odzysku oznaczanych WWA,
d) okresową analizę materiału odniesienia firmy NIST – SRM 1649b, próbki pyłu PM_{10} z certyfikowaną zawartością oznaczanych WWA.

a) Analiza próbek ślepych

Z każdą serią próbek wykonywano analizę próbki ślepej, składającą się z jednej ćwiartki filtra o średnicy 47 mm dla próbek średniodobowych (epizodów) lub kilkunastu (13 – 15) ćwiartek filtrów dla serii próbek miesięcznych.
Wartości ślepych próbek uwzględniano w obliczeniach stężeń WWA tylko w przypadku jeśli przekraczały 10% wartości wyniku.
Wyznaczone w trakcie badań wartości ślepych posłużyły do wyznaczenia granic wykrywalności oznaczanych WWA.

b) Krzywe wzorcowe WWA

Do przygotowania roztworów wzorcowych WWA stosowano dwa rodzaje wzorców stanowiących mieszaninę 16 WWA, w tym benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten i benzo(a)piren z certyfikowaną ich zawartością:

- PAH Mix PM-611 Ultra Scientific o stężeniu 100 μg/ml każdego WWA w dichlorometanie,
- PAH Mix 47940 Ultra Scientific o stężeniu 10 μg/ml każdego WWA w acetonitrylu,

oraz wzorzec benzo(j)fluorantenu Supelco Analytical o stężeniu 2000 μg/ml dichlorometanu.

Kalibrację układu HPLC wykonano przy pomocy kilku (do 5) roztworów wzorcowych w zakresie: 0,10 - 1,5 ng/μl (μg/ml), otrzymanych przez odpowiednie rozcieńczenie roztworu wzorcowego BjF i mieszaniny wzorcowej 16 WWA dichlorometanem lub acetonitrylem.
Krzywe kalibracyjne dla poszczególnych WWA miały charakter liniowy y=ax+b, współczynnik korelacji wynosił 0,999.
Dla każdej partii próbek przed rozpoczęciem pomiarów w danym dniu sprawdzano ważność funkcji kalibracji przez analizę przynajmniej jednego roztworu wzorcowego.

c) Odzysk i precyzja oznaczeń WWA

Odzysk WWA z matrycy wyznaczono metodą wzbogacania czystych filtrów dodatkiem określonej ilości badanych WWA. Badania wykonano dla 1 poziomu stężeń przez dodatek 1 ml roztworu wzorcowego o stężeniu 1 μg/ml, co odpowiada zawartości 1 μg poszczególnych WWA w próbce dwutygodniowej po ¼ filtra/dobę, czyli 8 μg w próbce, złożonej z 30 filtrów w miesiącu.
W oparciu o zbiór danych uzyskanych w okresie badań dla n = 10 próbek obliczono średnie współczynniki odzysku WWA dla tego poziomu, odchylenie standardowe - s oraz precyzję jako względne odchylenie standardowe w % - Rs, a także wyznaczono poprawność jako błąd względny w %. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.1.18..

Tabela 2.1.18. Współczynnik odzysku, precyzja i poprawność (błąd względny) dla oznaczanych WWA w pyle.

WWA	**Współczynnik odzysku**	**Rs [%]**	**Błąd względny[%]**
Benzo(a)antracen	0,993	2,6	-0,7
Benzo(j)fluoranten	1,012	3,6	1,2
Benzo(b)fluoranten	0,997	3,5	-0,3
Benzo(k)fluoranten	0,993	3,2	-0,7
Benzo(a)piren	0,975	3,6	-2,5

Współczynnik odzysku badanych WWA techniką ASE jest bliski wartości 1, precyzja jest bardzo dobra i nie przekracza 4%. Wyznaczony w ten sposób współczynnik odzysku uwzględniono w obliczeniach masy WWA dla próbek epizodów i próbek miesięcznych.

d) Kontrola metody za pomocą pyłu certyfikowanego

Dokładność metody (poprawność i precyzję) oznaczania WWA w pyle zawieszonym wyznaczono przez porównanie wyników analiz materiału odniesienia „Standard Reference Material 1649b Urban Particulate Matter" firmy NIST z certyfikowanymi wartościami stężeń oznaczanych WWA.
Oszacowanie wykonano w oparciu o wyniki analiz próbek pyłu certyfikowanego o masie 0,1 g, wykonywanych w okresie badań w 2010 r. (n = 8 - 9). Obliczono wartość średnią i odchylenie standardowe dla oznaczeń 5 WWA i porównano z wartościami dla pyłu certyfikowanego.
Precyzję określono jako względne odchylenie standardowe RS (%) wartości średnich WWA oznaczonych w pyle certyfikowanym. Wyniki obliczeń na podstawie pomiarów pyłu certyfikowanego SRM 1649b zestawiono w poniższej tabeli 2.1.19..

.

Tabela 2.1.19. Referencyjne stężenia metali w SRM NIST 1649b z przedziałami ufności i stężenia oznaczone w Centralnym Laboratorium IETU.

WWA	Wartość odniesienia w pyle SRM 1649b [mg/kg]	Przedział ufności dla wartości odniesienia [mg/kg]	Stężenie oznaczone średnia wartość [mg/kg]	Przedział ufności dla średniej [mg/kg]	Rs [%]
Benzo(a)antracen	2,092±0,048	2,044 – 2,140	2,124	1,818 - 2,43	6,2
Benzo(j)fluoranten	1,731±0,083	1,648 - 1,814	1,797	1,579 - 2,015	5,3
Benzo(b)fluoranten	5,99±0,20	5,79 - 6,19	5,525	4,788 - 6,262	5,8
Benzo(k)fluoranten	1,748±0,083	1,665 - 1,831	1,711	1,576 - 1,846	3,4
Benzo(a)piren	2,47±0,17	2,30 – 2,64	2,262	1,788 - 2,736	8,9

Wyniki oznaczeń dla benzo(a)antracenu, benzo(j)fluorantenu i benzo(k)fluorantenu mieszczą się w przedziale ufności dla wartości odniesienia w pyle certyfikowanym. Natomiast wartości

uzyskane dla benzo(b)fluorantenu i benzo(a)pirenu są nieco poniżej dolnej wartości przedziału ufności.
Precyzja oznaczeń jest odpowiednia, poniżej 10% i mieści się w przedziale od 3,4 do 8,9% dla poszczególnych WWA.

2.1.6.3. Opis metody stosowanej do oznaczania anionów (Cl^-, NO_3, SO_4^{2-}) i kationów (Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) w pyle zawieszonym PM_{10} i $PM_{2,5}$

2.1.6.3.1. Zasada metody

Oznaczanie jonów w próbkach pyłu polega na wyekstrahowaniu z cząstek pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ jonów w wodzie dejonizowanej przy użyciu wytrząsarki, po uprzednim poddaniu próbek działaniu ultradźwięków, a następnie oczyszczeniu ekstraktów za pomocą filtrów polieterosulfonowych (PES) i oznaczeniu stężenia wybranych jonów w oczyszczonych ekstraktach. Do oznaczeń wykorzystano chromatograf jonowy wyposażony w detektor konduktometryczny. Rozdział następował na kolumnach analitycznych aniono- i kationowymiennych (Metrosep A Supp 3 lub 5 oraz Metrosep C3 lub C4). Podczas rozdzielania anionów używano supresora. Określenie zawartości poszczególnych jonów odbywa się na podstawie zliczania pola powierzchni pików próbek w odniesieniu do wykonanych krzywych wzorcowych.

2.1.6.3.2. Przygotowanie próbek do oznaczania

Próbki pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$, osadzonego na filtrach kwarcowych, pobrane na pięciu stanowiskach pomiarowych jako próbki średniodobowe i podzielone na ćwiartki, łączono w próbki dwutygodniowe, a następnie miesięczne. Próbki epizodów oznaczano oddzielnie.

$PM_{2,5}$ oraz PM_{10} na filtrach kwarcowych ekstrahowano w dejonizowanej wodzie w oparciu o Standardowe procedury wyznaczania anionów oraz kationów w pyle $PM_{2,5}$ (DRI Dokument No. 8068.1F4, Appendix D, Section 4.2. - Standard Operating Procedure for $PM_{2,5}$ Anion Analysis. Environmental and Industrial Measurements Division, Research Triangle Park, North Carolina; Standard Operating Procedure for $PM_{2,5}$ Cation Analysis. Environmental and Industrial Measurements Division, Research Triangle Park, North Carolina).

Filtry umieszczano w pojemniku ekstrakcyjnym (marki ROTH). Do każdego pojemnika ekstrakcyjnego dodano 50 cm^3 (w przypadku epizodów) lub 100 cm^3 (w przypadku próbek łączonych) dejonizowanej wody i szczelnie zakręcono, by zapobiec wyciekaniu podczas ekstrakcji. Następnie ekstrakty poddano działaniu ultradźwięków w łaźni ultradźwiękowej (60 min), w temperaturze nie przekraczającej 15°C. Pojemniki ekstrakcyjne umieszczono w mechanicznej wytrząsarce i wytrząsano całą noc w pokoju (w temperaturze około 18°C) przy 60 cyklach na minutę. Ekstrakty przesączono przez filtr mikroporowy (marki CRONUS z membraną PES o porowatości 0.2 μm).

2.1.6.3.3. Parametry analizy chromatograficznej (IC)

Zawartość jonów w otrzymanych ekstraktach wodnych oznaczano metodą chromatografii jonowej:

- dla anionów (Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}) na podstawie akredytowanej procedury badawczej IPIŚ PAN PB12 (http://www.pca.gov.pl/zakresy/AB/AB%20950.pdf),
- dla kationów (Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) na podstawie akredytowanej procedury badawczej IPIŚ PAN PB13 (http://www.pca.gov.pl/zakresy/AB/AB%20950.pdf).

2.1.6.3.4. Kontrola jakości metody oznaczania

Kontrolę jakości wyników przy oznaczaniu jonów prowadzono w następujący sposób:
- roztwory kalibracyjne wykonywano z roztworów wzorcowych (certyfikowane roztwory wzorcowe firmy Fluka) o stężeniu 1g·dm^{-3} i o znanej niepewności,
- analizowano próbki ślepe, wykonywane jednocześnie z daną serią próbek w celu sprawdzenia śladów obecności oznaczanych jonów,
- sprawdzano poprawność uzyskiwanych wyników za pomocą roztworu kontrolnego o stężeniu odpowiadającym posiadanemu CRM i analizowaniu go na tej samej krzywej kalibracyjnej i w tych samych warunkach w jakich badano próbki,
- okresowo analizowano referencyjny materiał odniesienia firmy Fluka (produkt nr 89316 i nr 89886) z certyfikowaną zawartością oznaczanych jonów (odzyski dla oznaczanych jonów mieściły się w granicach 92-108%).

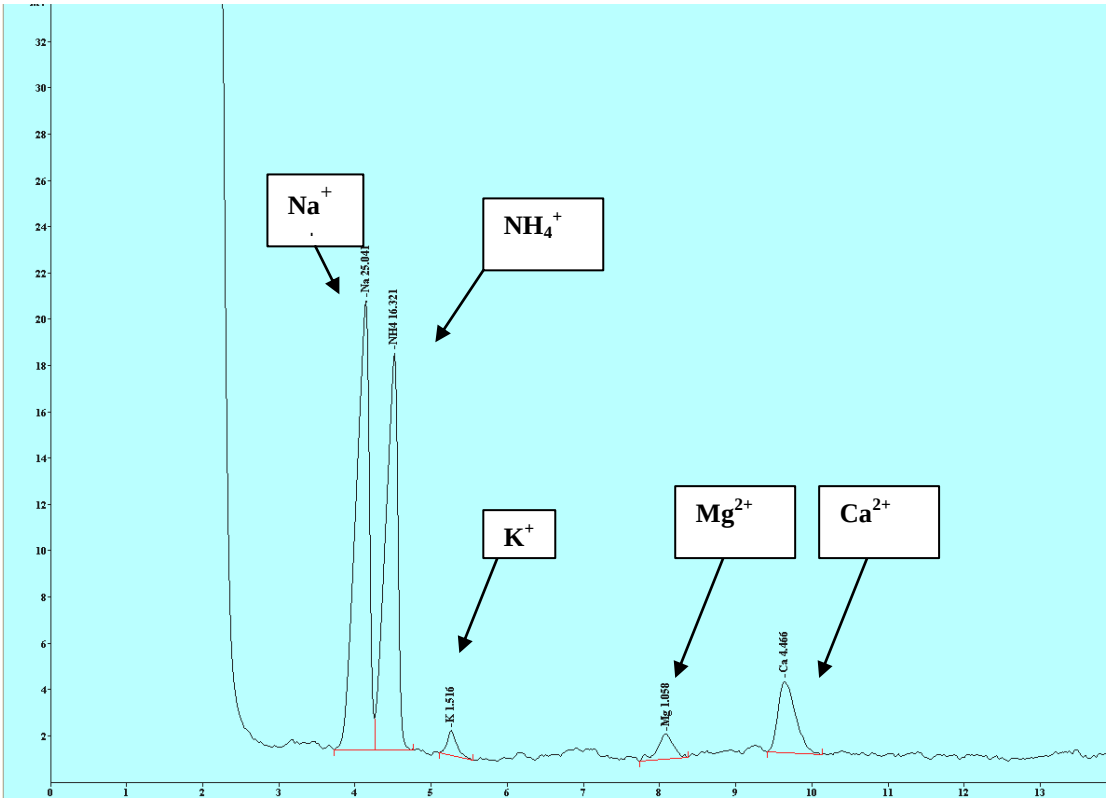
Ponadto, standardowo przeprowadzano interpretację wyników analizy w oparciu o wyznaczone wcześniej granice wykrywalności i oznaczalności.

W Tabeli 2.1.20.. podano granicę wykrywalności (w pracy zastosowano skrót: g_w) i granicę oznaczalności (w pracy: go) dla stosowanych procedur badawczych. Na Rysunkach 2.1.19. – 2.1.21., pokazano sposób interpretacji wyników (wartości stężeń jonów) przy uwzględnieniu obu progów: g_w i g_o.

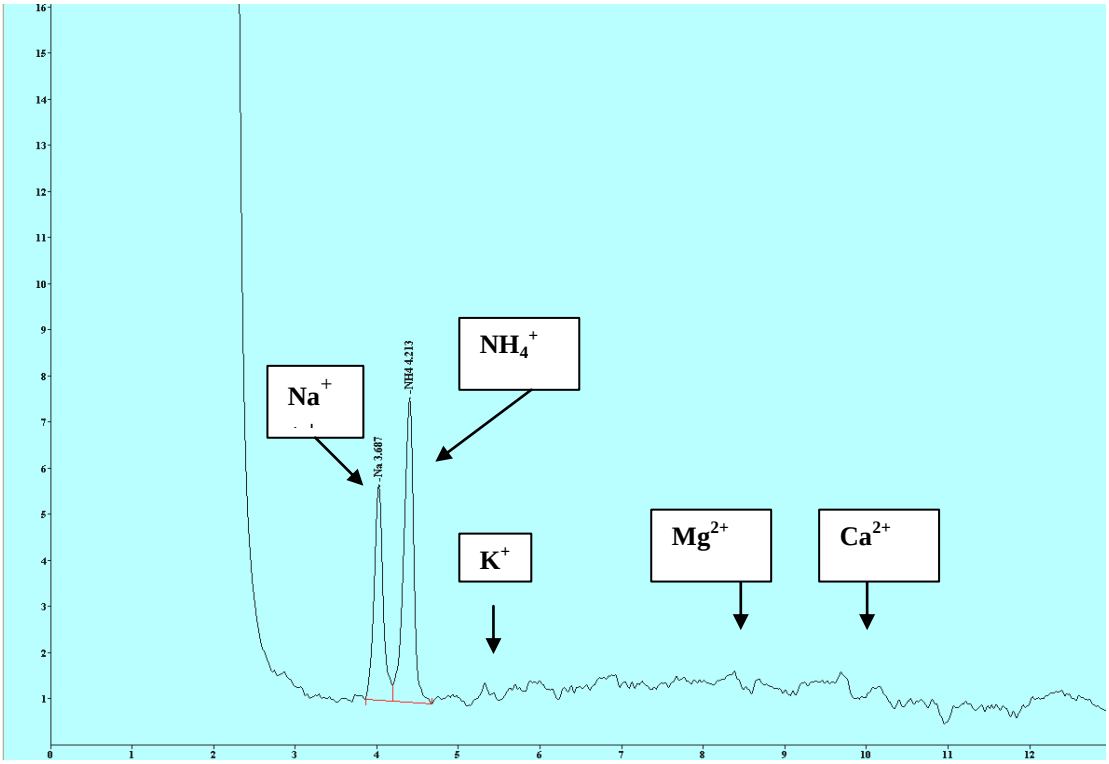
Tabela 2.1.20. Granice wykrywalności i granice oznaczalności dla oznaczanych jonów

Jon	**g_w (mg·dm^{-3})**	**g_o (mg·dm^{-3})**
Cl^-	0,324	0,971
NO_3^-	0,078	0,233
SO_4^{2-}	0,331	0,993
Na^+	0,091	0,274
NH_4^+	0,027	0,080
K^+	0,095	0,284
Mg^{2+}	0,170	0,511
Ca^{2+}	0,221	0,662

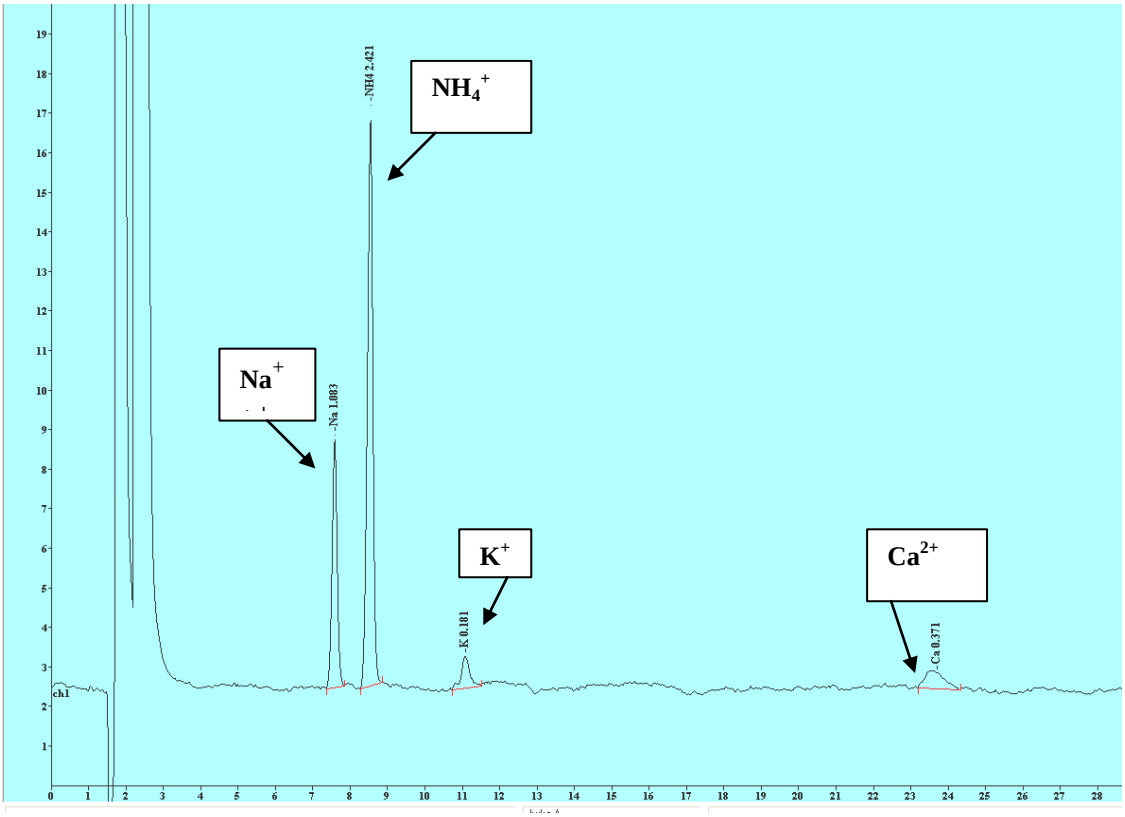
Do obliczenia średnich miesięcznych stężeń oznaczanych jonów(tak jak stężeń z pojedynczych dni - epizody), powyżej progu wykrywalności, traktowano jako „poprawne" i nie zmieniano ich wartości liczbowej. Aby zachować jednolite podejście analityczne, zgodne z metodyką zastosowaną dla oznaczania metali i WWA, wyniki poniżej progu wykrywalności zastąpiono połową tej granicy i w ten sposób wliczano do średniej miesięcznej. W tabelach zawierających zestawienia wyników , zastosowano odpowiednie oznaczenia.



Rysunek 2.1.19. Stężenie Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} powyżej granicy oznaczalności (próbka rzeczywista nr G/10/2 – próbka dwutygodniowa z marca)



Rysunek 2.1.20. Stężenie Na^+, NH_4^+ powyżej granicy oznaczalności; stężenie K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} poniżej granicy wykrywalności (próbka rzeczywista nr K/10/2 – próbka dwutygodniowa z lutego)



Rysunek 2.1.21. Stężenie K^+, Ca^{2+} poniżej granicy oznaczalności, a powyżej granicy wykrywalności, stężenie Na^+, NH_4^+ powyżej granicy oznaczalności (próbka rzeczywista nr K/10/28 – epizod z lutego)

2.1.6.4. Oznaczanie zawartości węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC) w pyle

2.1.6.4.1. Zasada metody NDIR

Metoda termicznego rozkładu związków węglowych z konwersją do dwutlenku węgla. Zawartość OC i EC w próbkach badano analizatorem węgla C50 IRF, niemieckiej firmy Behr. Analizator zbudowany jest z pieca na podczerwień IR (rura kwarcowa), pieca spalania końcowego, detektora CO_2 i układu sterującego procesem. Analizator zasilany jest azotem (firmy Messner, zawartość N_2 99,999%). Ogrzanie próbki powoduje wydzielenie się z niej substancji organicznej, która w analizatorze IRF jest utleniana tlenkiem miedzi (II) do dwutlenku węgla. Poprzez podgrzanie w atmosferze gazu obojętnego wydzielają się składniki organiczne (OC), natomiast bezpośrednie spalenie próbki w atmosferze tlenu pozawala na oznaczenie węgla elementarnego (EC).

2.1.6.4.2. Przygotowanie próbek do badań metodą NDIR

Próbki pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$, osadzonego na filtrach kwarcowych, pobrane na pięciu stanowiskach pomiarowych jako próbki średniodobowe i podzielone na ćwiartki, łączono w próbki tygodniowe, a następnie miesięczne. Próbki epizodów oznaczano oddzielnie.

2.1.6.4.3. Parametry analizy węgla organicznego i elementarnego w metodzie NDIR

Zawartość CO_2 w strumieniu gazu oznaczana jest za pomocą NDIR, przy długości fali 4,26 µm. Ilość CO_2 została wyznaczona poprzez odniesienie otrzymanego wyniku do krzywej kalibracyjnej (krzywa dziesięciopunktowa obejmująca cały zakres oznaczalności aparatu; kalibrację przeprowadzono z użyciem mieszaniny gazów z certyfikowaną zawartością CO_2). Proces oznaczania węgla organicznego jak i elementarnego przebiegał w każdym z przypadków w czterech progach temperaturowych. Organiczne związki węgla ulegały rozkładowi kolejno w temperaturach: 200^0C/2 min, 300^0C/2 min30sek, 450^0C/3 min, 650^0C/3 min. Identyfikacja węgla elementarnego przebiegała także w czterech kolejnych progach temperaturowych: 500^0C/2 min, 550^0C/1 min 20 sek. 700^0C/2 min, 850^0C/1 min 20 sek. Granica wykrywalności dla metody oznaczenia wynosiła 60,03 µg CO_2 (16,37 µg C), a granica oznaczalności była na poziomie 72,28 µg CO_2 (19,71 µg C).

2.1.6.4.4. Zasada metody termiczno-optycznej

Zawartość OC i EC w próbkach badano analizatorem węgla, którego producentem jest Sunset

Laboratory Inc. Metoda oznaczania posiada trzy charakterystyczne elementy, do których zaliczamy detekcję optyczną oraz korektę węgla pierwiastkowego. Wykorzystanie wysokiej absorpcji światła charakterystycznej dla węgla pierwiastkowego w celu korygowania błędów w procesie pirolizy.

Drugi element analizy do użycie FID jako detektora w pomiarze, Cechuje go bardzo wysoka czułość przy szerokim paśmie liniowości.

Trzecim ostatnim elementem jest włączenie pętli o stałej objętości, wykorzystywanej do wstrzykiwania zewnętrznego wzorca pod koniec każdej analizy, przez co udaje się utrzymać stabilną, powtarzalną metodę analityczną.

2.1.6.4.5. Przygotowanie próbek do badań metodą termiczno-optycznej

Próbki pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$, osadzonego na filtrach kwarcowych, pobrane na pięciu stanowiskach pomiarowych jako próbki średniodobowe stanowiły materiał do analizy. Do oznaczenia węgla organicznego i elementarnego tą metodą używane były wycinki materiału, każda oddzielnie, o polu 1,5cm^2 z kolejnych prób dobowych. Otrzymane wyniki były przeliczane na wartość średniomiesięczną,

2.1.6.4.6. Parametry analizy węgla organicznego i elementarnego w metodzie termiczno-optycznej

Metoda termiczno-optyczna z wykorzystaniem urządzenia firmy Sunset Laboratory Inc. Jest uznaną przez NIOSH metodą wyznaczania organicznego i elementarnego. Oznaczenie przebiega następująco: wycinek filtra zostaje umieszczony w piecu kwarcowym. Następuje wypłukanie pieca helem i stopniowe podniesienie temperatury do 870^0C., kierując termicznie desorbowane składniki organiczne i produkty pirolizy do pieca utleniającego, Cząstki przepływając przez piec ilościowo zostają przetwarzane na CO_2, który zostaje wypierany z pieca strumieniem helu, a następnie mieszany jest z wodorem. Powstała mieszanina ulega procesowi podgrzewania (w obecności katalizatora) gdzie stechiometrycznie konwertuje do metanu, którego ilość mierzona jest przez detektor jonizujący (FID), Po tym oznaczeniu piec ochładzany jest do 600^0C, Nośnik gazowy zostaje zamieniony na mieszaninę helu i tlenu, Drugi etap podgrzania prowadzi do utlenienia strumienia gazu, a węgiel pierwiastkowy na filtrze zostaje utleniany i przechodzi na powrót do pieca utleniającego. Oznaczenie zawartości węgla elementarnego przebiega analogicznie jak do węgla organicznego.

2.1.6.4.7. Kontrola jakości badań

W trakcie oznaczania węgla w badanych próbkach pyłu zawieszonego realizowano program kontroli jakości według schematu:

- systematycznie kalibrowano analizator węgla w zakresie dostosowanym do oznaczanych stężeń,
- analizowano próbki ślepe wykonane z czystych filtrów używanych do pobierania próbek,
- analizowano próbki materiału odniesienia firmy NIST (RM 8785 NIST oraz RM 8786 NIST) z certyfikowaną zawartością węgla. Uzyskano odzysk na poziomie od 90-102% wartości certyfikowanej dla węgla organicznego i od 98-124% wartości certyfikowanej dla węgla elementarnego.

2.2. Omówienie wyników pomiarów stężeń i składu chemicznego PM_{10} i $PM_{2,5}$ w badanych lokalizacjach

W okresie prowadzenia pomiarów 1.01.2010r. – 31.12.2010r. pobrano następująca liczbę próbek dobowych PM_{10} i $PM_{2,5}$:
– Diabla Góra – tło regionalne ($PM_{2,5}$) – 365,
– Gdańsk – tło miejskie ($PM_{2,5}$) – 358,
– Katowice – tło miejskie ($PM_{2,5}$) – 356,
– Gdańsk – tło miejskie (PM_{10}) – 363,
– Katowice – stacja komunikacyjna (PM_{10}) – 358.
Zestawienie wyników stężeń dobowych w poszczególnych miesiącach roku przedstawiono w Tabelach 1-5 w załączniku nr 1.
W tabeli 2.2.1. przedstawiono wykaz zidentyfikowanych epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego frakcji PM_{10} i $PM_{2,5}$, zarejestrowanych w okresie 01 stycznia do 30 czerwca 2010 roku dla czterech stanowisk pomiarowych, na których prowadzone były pomiary składu

chemicznego pyłu dla potrzeb realizacji niniejszej pracy. Analizy chemiczne wykonano dla epizodów wyróżnionych podkreśleniem; zaznaczono też najwyższe wartości (czcionka pogrubiona). Ponieważ I etapie liczba epizodów przekroczyła ilość określoną w umowie, dla II półrocza nie wykonywano dodatkowych analiz w sytuacjach podwyższonych stężeń.

Tabela 2.2.1. Epizody wysokich stężeń (podkreśleniem zaznaczono epizody, dla których wykonano analizy chemiczne, pogrubieniem najwyższe zmierzone wartości)

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. [$\mu g/m^3$]				
	> 150	**> 100**	**> 50**	**> 30**	**> 30**
Analiza chemiczna epizodów	***6/10 przypadków***		***11/16 przypadków***		***9/9 przypadków***
05-01-2010					39
06-01-2010			50	41	
07-01-2010	214	152	75	62	40
08-01-2010	152	147			**69**
15-01-2010			54	41	
19-01-2010	170	108	50	36	
25-01-2010	211	124	**144**	**114**	47
26-01-2010	206	199	116	93	37
27-01-2010	**319**	**229**			37
01-02-2010	140	87			
02-02-2010					49
08-02-2010			105	82	
09-02-2010	159	126	112	89	47
10-02-2010			113	92	
16-02-2010	168	129	74	55	
17-02-2010			60	46	
18-02-2010			75	57	
19-02-2010			77	54	58
25-02-2010	168	114			
26-02-2010			89	61	
11-03-2010			72	54	
31-03-2010			58	42	

2.2.1. Punkt pomiarowy Diabla Góra (stacja tła regionalnego), pył zawieszony $PM_{2,5}$

Punkt pomiarowy w Diablej Górze reprezentuje warunki stacji tła regionalnego. W okresie badań wykonano 358 pomiarów stężeń średniodobowych. Udział ważnych danych wynosił 98,08 %. W sezonie grzewczym wykonano 181 pomiarów w sezonie niegrzewczym 177. Szczegółowe wyniki analizy statystycznej dla poszczególnych miesięcznych serii pomiarowych, sezonowo dla całego okresu zestawiono w tabelach 2.2.1.1 – 2.2.1.3.

Zestawienie stężeń dobowych w poszczególnych miesiącach roku przedstawiono w tabeli 1 w załączniku 1.
Skład chemiczny $PM_{2,5}$ badano w łączonych próbkach pyłu w 12 - seriach. W próbkach tych wyznaczano zawartość 22 indywiduów chemicznych, w tym określono zawartość wybranych: metali ciężkich, anionów i kationów, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, a także węgla organicznego i węgla elementarnego.
Wyniki badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i parametry statystyczne serii pomiarowych zestawiono w tabelach 2.2.1.4-2.2.1.5 oraz zbiorczo w tabeli 1 w załączniku 2 (serie miesięczne).
Zestawienia te ilustrują charakter zmienności stężeń i składu chemicznego $PM_{2,5}$ w punkcie pomiarowym tła regionalnego i krajowego(stacja EMEP) w Diablej Górze.

Tabela 2.2.1.1. **Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w poszczególnych miesiącach 2010 roku**

Wyszczególnienie	I-2010	II-2010	III-2010	IV-2010	V-2010	VI-2010	VII-2010	VIII-2010	IX-2010	X-2010	XI-2010	XII-2010
Liczba stężeń dobowych*)	31	28	31	29	30	30	29	29	30	30	30	31
Udział ważnych danych [%]	100,00	100,00	100,00	96,67	96,77	100,00	93,55	93,55	100,00	96,77	100,00	100,00
Minimum [µg/m^3]	9,08	13,21	3,58	6,29	7,17	4,35	2,89	1,39	1,07	2,19	2,70	5,18
Data wystąpienia minimum	10-sty-10	24-lut-10	16-mar-10	25-kwi-10	26-maj-10	23-cze-10	25-lip-10	29-sie-10	04-wrz-10	17-paź-10	06-lis-10	10-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-6,4	-1,2	-2,8	5,6	8,7	10,7	16,8	11,7	9,2	0,5	5,3	-2,6
prędkość wiatru [m/s]	3,7	1,5	3,0	1,5	4,6	4,0	b.d.	2,0	1,6	1,0	2,5	3,7
kierunek wiatru	NE	NE	W	E	W	NW	SW	W	W	W	SW	W
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	17,4	0,0	1,0	0,2	0,0	6,5	0,5
Maksimum [µg/m^3]	69,08	58,26	53,76	36,81	19,64	18,63	13,98	20,38	24,42	30,56	37,50	52,74
Data wystąpienia maksimum	08-sty-10	19-lut-10	26-mar-10	15-kwi-10	01-maj-10	11-cze-10	23-lip-10	15-sie-10	25-wrz-10	31-paź-10	02-lis-10	19-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-7,8	1,6	11,8	10,5	11,2	23,3	24,5	24,9	14,5	6,5	7,8	-10,4
prędkość wiatru [m/s]	1,1	2,5	4,0	1,2	0,6	2,3	b.d.	b.d.	3,0	3,6	1,4	2,0
kierunek wiatru	SW	SE	SE	N	SE	S	E	E	SE	SE	S	SW
opad atmosferyczny [mm]	0,0	7,4	0,0	0,0	2,0	0,3	35,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Średnia [µg/m^3]	24,85	29,06	16,37	16,28	12,08	9,07	8,53	8,49	8,75	12,78	11,89	24,33
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	13,01	10,43	12,55	7,43	3,26	3,57	2,99	4,72	6,45	8,58	8,12	13,76
Percentyl 25 [µg/m^3]	14,84	21,68	6,79	11,07	9,57	6,62	6,55	4,75	4,35	7,14	6,88	14,43
Mediana [µg/m^3]	22,10	25,51	11,64	15,09	11,84	8,21	8,00	8,12	6,80	9,79	9,22	21,76
Percentyl 75 [µg/m^3]	31,71	35,80	22,93	21,38	13,98	10,92	10,96	11,82	12,14	17,87	14,20	32,35

*) czas pomiaru przynajmniej 75% doby,
b.d. brak danych.

Tabela 2.2.1.2. **Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w poszczególnych porach roku 2010**

Wyszczególnienie	Pora roku*)			
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Liczba stężeń dobowych**)	90	90	88	90
Udział ważnych danych [%]	100,00	97,83	95,65	98,90
Minimum [µg/m^3]	5,18	3,58	1,39	1,07
Data wystąpienia minimum	10-gru-10	16-mar-10	29-sie-10	04-wrz-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-2,6	-2,8	11,7	9,2
prędkość wiatru [m/s]	3,7	3,0	2,0	1,6
kierunek wiatru	W	W	W	W
opad atmosferyczny [mm]	0,5	0,0	1,0	0,2
Maksimum [µg/m^3]	69,08	53,76	20,38	37,50
Data wystąpienia maksimum	08-sty-10	26-mar-10	15-sie-10	02-lis-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-7,8	11,8	24,9	7,8
prędkość wiatru [m/s]	1,1	4,0	b.d.	1,4
kierunek wiatru	SW	SE	E	S
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia [µg/m^3]	25,98	14,91	8,70	11,14
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	12,58	8,83	3,79	7,88
Percentyl 25 [µg/m^3]	16,92	9,35	6,07	5,49
Mediana [µg/m^3]	23,77	12,70	8,06	9,10
Percentyl 75 [µg/m^3]	33,33	16,61	11,47	13,85

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

b.d. brak danych.

Tabela 2.2.1.3. **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 [µg/m^3]	1,07	2,19	1,07
Data wystąpienia minimum	04-wrz-10	17-paź-10	04-wrz-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	69,08	69,08	36,81
Data wystąpienia maksimum	08-sty-10	08-sty-10	15-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	**15,22**	19,81	10,53
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	11,03	12,91	5,70
Percentyl 25 [µg/m^3]	7,49	9,38	6,55
Mediana [µg/m^3]	11,82	17,00	9,51
Percentyl 75 [µg/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 2.2.1.4. **Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle $PM_{2,5}$ 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 2.2.1.5. **Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku**

Substancja	Pora roku*)				Sezon**)	
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Grzewczy	Niegrzewczy
PYŁ:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
$PM_{2,5}$	26,08	14,91	8,70	11,14	19,88	10,53
METALE:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Arsen (As)	0,79	0,24	0,23	0,36	0,61	0,20
Nikiel (Ni)	0,54	0,34	1,05	0,43	0,53	0,65
Kadm (Cd)	0,88	0,34	0,20	0,18	0,52	0,27
Ołów (Pb)	19,95	8,46	2,27	5,13	13,67	4,23
Tytan (Ti)	2,37	2,08	4,14	1,07	1,72	3,11
Glin (Al)	33,78	78,39	128,06	74,02	53,82	103,31
Żelazo (Fe)	24,08	23,49	28,87	20,04	20,35	27,89
WWA:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Benzo(a)antracen	2,62	0,34	0,04	0,45	1,65	0,07
Benzo(j)fluoranten	1,82	0,40	0,02	0,39	1,20	0,11
Benzo(b)fluoranten	2,76	0,48	0,06	0,74	1,88	0,14
Benzo(k)fluoranten	1,27	0,24	0,03	0,33	0,86	0,07
Benzo(a)piren	2,43	0,35	0,05	0,69	1,66	0,10
JONY:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Sód (Na^+)	1809,10	1548,96	752,26	1054,47	1397,10	1185,29
Potas (K^+)	188,70	123,31	60,56	102,04	138,47	98,83
Wapń (Ca^{2+})	104,79	167,78	172,42	131,71	130,79	157,56
Magnez (Mg^{2+})	34,08	51,48	37,68	38,15	36,97	43,72
Jon amonowy (NH_4^+)	2311,00	1126,92	360,61	670,03	1601,88	632,39
Siarczany (SO_4^{2-})	4846,99	1531,81	2122,68	2005,50	3398,56	1854,92
Azotany (NO_3^-)	4772,82	1877,56	296,43	1463,11	3557,44	647,52
Chlorki (Cl^-)	220,80	141,04	192,67	196,50	209,36	166,15
WĘGIEL:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
Węgiel elementarny (EC)	5,19	2,07	0,44	0,93	3,32	0,99
Węgiel organiczny (OC)	3,63	0,57	0,95	1,39	2,41	0,86

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku.

2.2.1.1. Stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$

Średnie stężenie w okresie badań, wynosiło 15,22 µg/m^3. Na tę wartość zdecydowanie wpływa sytuacja imisyjna w chłodnej porze roku, kiedy maksymalne stężenia dochodziły do 69,08 µg/m^3. Najwyższe stężenia odnotowano w lutym wartość średniomiesięczna przekroczyła 25 µg/m^3 , co związane jest z występowaniem niskich temperatur powietrza w tym okresie i oddziaływaniem emisji ze spalanie paliw w celach grzewczych. W sezonie letnim stężenia były zdecydowanie niższe i przyjmowały wartości z przedziału 1,07 – 36,81 µg/m^3. W tym sezonie odnotowano także mniejszą zmienność stężeń niż w sezonie grzewczym; odchylenie standardowe w sezonie letnim wynosiło 5,7 µg/m^3, natomiast w sezonie grzewczym 12,9 µg/m^3 . Najbardziej stabilna sytuacja w zakresie stężeń pyłu występuje w miesiącach maj-lipiec – odchylenie standardowe wynosi od 2,99-3,57 µg/m^3.
Wskazuje to na brak istotnych lokalnych źródeł emisji i potwierdza charakter stacji, jako stacji tła, mierzonych oddziaływań (skład chemiczny pyłów wskazuje na znaczący udział wtórnych aerozoli w składzie $PM_{2,5}$).

Analizując przebieg dobowych stężeń stwierdzono, że podobnie jak w innych miejscach w Polsce, również w Diablej Górze, występuje tendencja do stopniowego wzrostu stężeń od września do grudnia a następnie ich powolny spadek aż do połowy roku (rys. 2.3.1.). W omawianym okresie pomiarowym maksymalne stężenie wystąpiło 08.01.210 roku. Wartości minimalne dla miesięcznych serii stężeń $PM_{2,5}$ w Diablej Górze, wynoszą od 1,39--13,21 µg/m^3. Wartości te można uznać za poziom (stężenie $PM_{2,5}$) tła regionalnego kształtowanego w wyniku adwekcji w skali kontynentalnej.

2.2.1.2. Skład chemiczny pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$

W punkcie pomiarowym w Diablej Górze stwierdzono niski poziom stężeń metali ciężkich (stężenie arsenu, kadmu, niklu poniżej 10% wartości dopuszczalnej Dz.U.47/2008 poz. 281- dla PM_{10} – dla $PM_{2,5}$ nie określono normy), a ołowiu poniżej 2% wartości dopuszczalnej. W składzie oznaczanych metali dominujący udział ma glin, żelazo następnie ołów, tytan, nikiel i kadm. Stężenia arsenu posiadają najmniejsze odchylenie standardowe. Stężenia węglowodorów aromatycznych, analogicznie do stężeń PM_{10}, wykazują tendencje wzrostową w chłodnej porze roku. Maksymalne wartości stężeń występują w grudniu, styczniu i lutym. Analogicznie przedstawia się zmienność stężeń benzo(a)pirenu, które w tych miesiącach są wyższe niż 1 ng/m^3, przy czym średnioroczna wartość stężenia jest niższa od wartości normatywnej (dla PM_{10}). Wśród badanych WWA dominuje benzo(b)fluoranten. Rozrzut parametrów statystycznych zbiorów wartości stężeń poszczególnych WWA jest zbliżony.
Wśród oznaczanych anionów dominujący udział mają jony siarczanowe (średnio 2,6 µg/m^3). Wystąpiły, zwiększone, w stosunku do kationów, stężenia dotyczą sodu – 1,3 µg/m^3 i wapnia 0,14 µg/m^3. Wśród badanych anionów dominują siarczany w okresie zimowym, natomiast w sezonie letnim wzrasta udział azotanów.
W chłodnej porze roku wzrasta też zawartość chlorków w $PM_{2,5}$, co może być związane ze zwiększoną emisją związków choru ze spalania paliw.
Należy uznać, że siarczany i azotany głównie pochodzą z „dalekiego transportu", a ich stężenia są proporcjonalne do emisji energetycznej rozprzestrzeniającej się w skali kontynentalnej. W przypadku jonu amonowego jego źródłem może być rolnictwo (uprawy, nawożenie gleb uprawnych) w obszarach sąsiadujących z punktem pomiarowym.
Udział węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC) w stężeniach $PM_{2,5}$ jest wysoki – średnio 3,32 µg/m^3 (EC) i 2,4 µg/m^3 (OC). W sezonie zimowym występuje wzrost udziału frakcji EC –co wskazuje na spalanie jako źródło związków węgla. Stwierdzono, że metoda oznaczania może powodować przeszacowanie udziału EC (inny sposób zaliczania

karbonizatu do frakcji EC w analizatorze Behr i Sanset Lab.). Z tego powodu bardziej miarodajna jest ocena TOC –sumarycznego węgla organicznego – wskazuje ona, że związki węgla stanowią istotny makroskładnik $PM_{2,5}$.

2.2.2. Punkt pomiarowy Gdańsk-Wrzeszcz (stacja tła miejskiego), pył zawieszony $PM_{2,5}$

Punkt pomiarowy w Gdańsku Wrzeszczu przy ul. Leczkowa reprezentuje warunki stacji tła miejskiego. W okresie badań wykonano 350 pomiarów stężeń średniodobowych. Udział ważnych danych wynosił 95,89 %. W sezonie grzewczym wykonano 180 pomiarów w sezonie niegrzewczym 170. Szczegółowe wyniki analizy statystycznej dla poszczególnych miesięcznych serii pomiarowych, sezonowo dla całego okresu zestawiono w tabelach 2.2.2.1 – 2.2.2.3.
Wyniki badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i parametry statystyczne serii pomiarowych zestawiono w tabelach 2.2.2.4-2.2.2.5 oraz zbiorczo w załączniku 2 (serie miesięczne).
Zestawienia te ilustrują charakter zmienności stężeń $PM_{2,5}$ w punkcie pomiarowym tła, charakterystyczny dla obszarów zurbanizowanych.

Tabela 2.2.2.1. **Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych miesiącach 2010 roku**

Wyszczególnienie	I-2010	II-2010	III-2010	IV-2010	V-2010	VI-2010	VII-2010	VIII-2010	IX-2010	X-2010	XI-2010	XII-2010
Liczba stężeń dobowych*)	31	28	31	30	27	30	29	24	30	31	29	30
Udział ważnych danych [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	87,10	100,00	93,55	77,42	100,00	100,00	96,67	96,77
Minimum [µg/m^3]	7,47	13,57	10,83	11,89	4,49	6,57	5,85	4,55	3,78	8,62	9,44	13,86
Data wystąpienia minimum	02-sty-10	24-lut-10	02-mar-10	10-kwi-10	24-maj-10	13-cze-10	25-lip-10	29-sie-10	02-wrz-10	25-paź-10	16-lis-10	12-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-1,3	-0,1	1,8	4,8	13,0	14,2	16,2	13,6	14,0	6,7	7,6	0,6
prędkość wiatru [m/s]	2,2	1,6	4,4	2,5	1,9	3,1	2,3	1,6	2,5	2,4	1,9	3,3
kierunek wiatru	NE	NE	W	NW	W	W	W	W	NW	W	N	N
opad atmosferyczny [mm]	2,2	0,7	2,5	4,0	0,3	0,0	0,1	2,3	4,1	0,4	0,0	9,2
Maksimum [µg/m^3]	114,32	92,01	68,29	48,66	26,85	20,00	25,92	23,40	35,64	63,75	71,62	135,52
Data wystąpienia maksimum	25-sty-10	10-lut-10	26-mar-10	04-kwi-10	01-maj-10	06-cze-10	22-lip-10	12-sie-10	25-wrz-10	31-paź-10	01-lis-10	15-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-14,3	-5,9	14,6	6,3	12,4	17,2	28,4	25,2	16,3	6,3	6,9	-10,4
prędkość wiatru [m/s]	1,2	1,1	2,1	1,0	1,9	1,0	1,8	0,6	2,0	1,4	0,5	1,4
kierunek wiatru	SE	E	SE	N	W	NW	S	SE	SE	S	SE	SE
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,2	0,0	b.d.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Średnia [µg/m^3]	42,55	42,66	25,83	22,20	15,12	12,40	15,10	11,79	10,80	22,33	21,73	43,04
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	24,33	21,93	14,16	8,39	4,59	3,88	5,13	5,68	8,05	12,31	14,54	29,22
Percentyl 25 [µg/m^3]	27,45	27,56	14,02	16,68	12,64	8,89	10,81	7,54	4,92	14,07	12,63	21,62
Mediana [µg/m^3]	37,07	34,89	22,95	20,17	14,36	11,54	14,18	9,54	7,22	18,89	15,36	37,07
Percentyl 75 [µg/m^3]	57,17	54,33	31,93	24,70	17,55	15,71	19,43	16,17	13,12	25,96	22,28	54,90

*) czas pomiaru przynajmniej 75% doby,
b.d. brak danych.

Tabela 2.2.2.2. **Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach roku 2010**

Wyszczególnienie	Pora roku*)			
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Liczba stężeń dobowych**)	89	88	83	90
Udział ważnych danych [%]	98,89	95,65	90,22	98,90
Minimum [µg/m^3]	7,47	4,49	4,55	3,78
Data wystąpienia minimum	02-sty-10	24-maj-10	29-sie-10	02-wrz-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-1,3	13,0	13,6	14,0
prędkość wiatru [m/s]	2,2	1,9	1,6	2,5
kierunek wiatru	NE	W	W	NW
opad atmosferyczny [mm]	2,2	0,3	2,3	4,1
Maksimum [µg/m^3]	135,52	68,29	25,92	71,62
Data wystąpienia maksimum	15-gru-10	26-mar-10	22-lip-10	01-lis-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-10,4	14,6	28,4	6,9
prędkość wiatru [m/s]	1,4	2,1	1,8	0,5
kierunek wiatru	SE	SE	S	SE
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0	0,3
Średnia [µg/m^3]	42,75	21,30	13,16	18,29
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	25,12	10,88	5,05	12,93
Percentyl 25 [µg/m^3]	24,29	14,22	9,30	10,41
Mediana [µg/m^3]	36,25	17,64	12,33	15,13
Percentyl 75 [µg/m^3]	54,67	25,54	16,97	21,72

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

Tabela 2.2.2.3. **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 [µg/m^3]	3,78	7,47	3,78
Data wystąpienia minimum	02-wrz-10	02-sty-10	02-wrz-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	135,52	135,52	48,66
Data wystąpienia maksimum	15-gru-10	15-gru-10	04-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	**24,05**	32,93	14,65
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	19,10	22,33	7,26
Percentyl 25 [µg/m^3]	12,48	16,74	9,55
Mediana [µg/m^3]	17,62	26,67	13,97
Percentyl 75 [µg/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 2.2.2.4. **Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle $PM_{2,5}$ 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 2.2.2.5. **Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku**

Substancja	Pora roku*)				Sezon**)	
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Grzewczy	Niegrzewczy
PYŁ:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
$PM_{2,5}$	42,75	21,05	13,09	18,29	33,02	14,57
METALE:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Arsen (As)	1,33	0,48	0,33	0,55	0,96	0,38
Nikiel (Ni)	1,26	1,40	2,22	0,68	1,02	1,76
Kadm (Cd)	2,09	0,27	0,35	0,46	1,26	0,33
Ołów (Pb)	43,57	24,26	5,49	16,05	32,23	12,45
Tytan (Ti)	3,46	7,70	7,23	1,49	3,33	6,61
Glin (Al)	30,89	214,25	142,16	64,75	80,26	145,76
Żelazo (Fe)	120,14	128,95	138,28	78,86	106,65	126,47
WWA:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Benzo(a)antracen	11,90	1,75	0,13	1,47	7,19	0,43
Benzo(j)fluoranten	5,19	1,24	0,10	0,79	3,31	0,35
Benzo(b)fluoranten	7,67	1,61	0,20	1,54	4,96	0,55
Benzo(k)fluoranten	4,26	0,84	0,09	0,79	2,70	0,29
Benzo(a)piren	9,67	1,34	0,14	1,74	6,04	0,41
JONY:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Sód (Na^+)	845,43	1206,87	480,75	1776,89	1506,84	648,12
Potas (K^+)	338,39	91,50	44,71	135,82	233,73	71,48
Wapń (Ca^{2+})	135,89	196,07	195,41	210,03	209,70	159,01
Magnez (Mg^{2+})	86,50	60,11	35,08	64,96	75,39	47,93
Jon amonowy (NH_4^+)	3180,52	1127,22	437,90	827,57	2132,54	654,06
Siarczany (SO_4^{2-})	4301,74	1377,28	2009,64	1865,72	3079,69	1697,50
Azotany (NO_3^-)	5635,29	2100,72	511,72	1894,31	4276,69	794,33
Chlorki (Cl^-)	1220,24	558,92	209,87	474,21	1021,15	210,46
WĘGIEL:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
Węgiel elementarny (EC)	6,10	2,60	0,87	1,74	4,43	1,23
Węgiel organiczny (OC)	6,68	0,21	1,31	2,18	4,22	0,97

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku.

2.2.2.1. Stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$

Średnie stężenie w okresie badań, wynosiło 24,05 µg/m^3 i było 37% wyższe niż w punkcie tła regionalnego w Diablej Górze. Nie stwierdzono naruszenia poziomu dopuszczalnego dla stężeń rocznych $PM_{2,5}$. O wysokości średniej rocznej w omawianej lokalizacji zdecydowała sytuacja imisyjna w chłodnej porze roku (w zimie), kiedy stężenia były prawie dwukrotnie wyższe niż w okresie wiosna - jesień i 3 krotnie wyższe niż latem.
Maksymalne stężenia w grudniu dochodziły do 135 µg/m^3. W miesiącach styczeń, luty, marzec oraz w grudniu, odnotowano średniomiesięczne stężenia wyższe niż 25 µg/m^3, co związane jest z występowaniem niskich temperatur powietrza i wskazuje na potencjalne oddziaływaniem emisji ze spalania paliw w celach grzewczych podobnie jak w innych regionach kraju. W sezonie letnim stężenia w punkcie tła miejskiego, były zdecydowanie niższe i przyjmowały wartości z przedziału 4,55– 25,92 µg/m^3. W tym sezonie odnotowano także mniejszą zmienność stężeń niż w pozostałych porach roku .Odchylenie standardowe latem wynosiło 5,05 µg/m^3, natomiast w zimą 25,12 µg/m^3. Najbardziej stabilna sytuacja w zakresie stężeń pyłu $PM_{2,5}$ występuje w miesiącach maj lipiec – odchylenie standardowe wynosi od 3,88-5,13 µg/m^3.
Analizując przebieg dobowych stężeń stwierdzono, że podobnie jak w innych miejscach w Polsce, występuje tendencja do stopniowego wzrostu stężeń od września do grudnia a następnie ich powolny spadek aż do połowy roku. W omawianym okresie pomiarowym maksymalne stężenie wystąpiło 15.12.2010 roku. Wartości minimalne dla miesięcznych serii stężeń $PM_{2,5}$ w Gdańsku wynoszą od 3,78 - 13,86 µg/m^3. Wartości te można uznać za poziom (stężenie $PM_{2,5}$) tła miejskiego kształtowanego w wyniku adwekcji w skali kontynentalnej i oddziaływania stałych emitorów zlokalizowanych w obszarze strefy.

2.2.2.2. Skład chemiczny pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$

W punkcie pomiarowym w **Gdańsku** stwierdzono prawie dwukrotnie wyższe stężenia metali ciężkich niż w stacji tła regionalnego. W składzie oznaczanych metali dominujący udział ma żelazo, glin następnie ołów, tytan, nikiel i kadm i arsen. Największe różnice w stosunku do stacji tła odnotowano dla żelaza i ołowiu. Należy oceniać, że są to zanieczyszczenia związane z emisja antropogeniczną w szczególności związane z przemysłem i komunikacją. Odnotowano także ponad trzykrotny wzrost stężeń wybranych WWA.
Stężenia węglowodorów aromatycznych, analogicznie do stężeń PM_{10}, wykazują tendencje wzrostową w chłodnej porze roku. Maksymalne wartości stężeń występują grudniu, styczniu i lutym. W przypadku benzo(a) pirenu, w miesiącach styczeń, luty, marzec, kwiecień, listopad i grudzień stężenia średnie są wyższe niż 1 ng/m^3. W sezonie grzewczym stężenia benzo(a)pirenu są ok. 15 razy większe niż w sezonie niegrzewczym. Wskazuje to jednoznacznie na pochodzenie WWA ze spalania paliw w celach grzewczych.
Wśród badanych WWA dominuje benzo(a)antracen typowy produkt spalania substancji organicznych zawarty w pyle i przenoszony na duże odległości.
Wśród oznaczanych anionów dominujący udział mają jony azotanowe i siarczanowe (odpowiednio 2,5 i 2,4 µg/m^3). W porównaniu ze stacją tła w Diablej Górze zanotowano w Gdańsku zwiększenie stężenia chloru, a zmniejszenie stężenia sodu (zwiększenie stężenia sodu w Diablej Górze można tłumaczyć emisją alkaliów związanych ze spalaniem biomasy, natomiast zwiększenie chloru w Gdańsku wpływem aerozoli morskich).
Wśród badanych anionów w okresie zimowym dominują azotany i siarczany, natomiast w sezonie letnim wzrasta udział siarczanów. Tak znaczny ubytek azotu w okresie letnim może wynikać z przemian fotochemicznych tlenków azotu emitowanych w procesach

spalania w obszarze aglomeracji. Stężenie siarczanów i azotanów w Gdańsku i Diablej Górze jest podobny co może wskazywać na duży udział wtórnych produktów przemian przenoszonych z obszarów centralnej części kraju (emisja z energetyki zawodowej) w stężeniach pyłów w tej części kraju.
W chłodnej porze roku zdecydowanie wzrasta zawartość chlorków w $PM_{2,5}$, co może być związane ze zwiększoną emisją związków chloru ze spalania paliw oraz wpływem aerozolu morskiego (analizy epizodów nie potwierdzają jednak jednoznacznie obszarów źródłowych PM w strefie emisji chlorków z wody morskiej).
Udział węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC) w stężeniach $PM_{2,5}$ jest wysoki – średnio 2,83 $\mu g/m^3$ (EC) i 2,6 $\mu g/m^3$ (OC). W sezonie grzewczym występuje wzrost udziału frakcji EC –co wskazuje na spalanie jako źródło związków węgla.
Podobnie jak dla Diablej Góry stwierdzono, że metoda oznaczania może powodować niedoszacowanie udziału OC (inny sposób zaliczania karbonizatu do frakcji EC w analizatorze Behr i Sunset Lab.). Z tego powodu bardziej miarodajna jest ocena TOC – sumarycznego węgla organicznego – wskazuje ona, że związki węgla stanowią istotny makroskładnik $PM_{2,5}$. Przeprowadzone dodatkowe analizy wybranych filtrów metodą z wykorzystaniem analizatora termo-optycznego wykazały udział EC – 2,9 $\mu g/m^3$ i OC – 11,6 $\mu g/m^3$ (z uwagi na inną ilość filtrów branych do analiz i brak danych dotyczących homogeniczności próbki, ocena ta jest niejednoznaczna). Dane literaturowe wskazują na istotnie wyższe udziały OC w analizach z wykorzystaniem protokołu EUSSAR2 niż Normy DIN (analizator Behr).
Prowadzone badania porównawcze różnych metod oznaczania OC/EC wykazują znaczne różnice w wynikach uzyskiwanych przy zastosowaniu różnych protokołów analizy termicznej. Wskazuje się na znaczenie tzw. przeciętnego składu chemicznego pyłu i możliwość wpływu węglanów (nieorganicznego węgla) zwartych w składnikach mineralnych.
Analiza wyników pomiarów z Gdańska ilustruje występowanie wysokiego poziomu stężeń $PM_{2,5}$. Poziomu, który tylko nieznacznie jest niższy od wartości dopuszczalnej. Nawet odliczenie soli (NaCl jako soli morskiej lub z posypywania dróg) nie daje gwarancji, że przy niesprzyjających warunkach klimatycznych (dłuższej zimie nie zostanie przekroczona norma roczna). Podobnie jak w Diablej Górze należy zwrócić uwagę na duży udział związków węgla pochodzących ze spalania, w tym ze spalania paliw kopalnych i znaczny udział składników klasyfikowanych, jako wtórny aerozol nieorganiczny. Wskazuje to na istotną rolę energetyki węglowej w kształtowaniu poziomów stężeń $PM_{2,5}$ w północnych rejonach Polski.

2.2.3. Punkt pomiarowy Katowice „IETU" (stacja tła miejskiego), pył zawieszony $PM_{2,5}$

Punkt pomiarowy w Katowicach ul. Kossutha 6 reprezentuje warunki stacji tła miejskiego – tła dla centralnej części aglomeracji górnośląskiej..
W okresie badań wykonano 336 pomiarów stężeń średniodobowych. Udział ważnych danych wynosił 92,05 %. W sezonie grzewczym wykonano 171 pomiarów w sezonie niegrzewczym 165. Szczegółowe wyniki analizy statystycznej dla poszczególnych miesięcznych serii pomiarowych, sezonowo dla całego okresu zestawiono w tabelach 2.2.3.1 – 2.2.3.3.

Wyniki badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i parametry statystyczne serii pomiarowych zestawiono w tabelach 2.2.3.4-2.2.3.5 oraz zbiorczo w tabeli 3 w załączniku 2 (serie miesięczne).

Zestawienia te ilustrują charakter zmienności stężeń $PM_{2,5}$ w punkcie pomiarowym tła, charakterystyczny dla obszarów zurbanizowanych o dużej koncentracji przemysłu i energetyki opartej na węglu kamiennym.

Tabela 2.2.3.1. **Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w poszczególnych miesiącach 2010 roku**

Wyszczególnienie	I-2010	II-2010	III-2010	IV-2010	V-2010	VI-2010	VII-2010	VIII-2010	IX-2010	X-2010	XI-2010	XII-2010
Liczba stężeń dobowych*)	28	27	31	29	30	27	28	26	25	30	29	26
Udział ważnych danych [%]	90,32	96,43	100,00	96,67	96,77	90,00	90,32	83,87	83,33	96,77	96,67	83,87
Minimum [µg/m^3]	28,03	23,88	11,10	15,69	11,92	8,81	9,87	7,74	9,38	16,11	7,17	5,55
Data wystąpienia minimum	09-sty-10	28-lut-10	01-mar-10	29-kwi-10	31-maj-10	23-cze-10	19-lip-10	08-sie-10	02-wrz-10	21-paź-10	13-lis-10	11-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	0,0	5,6	6,4	13,8	12,5	15,7	15,9	16,9	12,5	4,4	13,1	-2,0
prędkość wiatru [m/s]	4,1	4,5	6,8	2,9	3,2	2,0	1,5	2,7	3,3	4,8	6,6	5,5
kierunek wiatru	NE	S	SW	SW	W	N	N	SW	W	SW	SW	SW
opad atmosferyczny [mm]	10,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	0,0	0,7	1,3	0,5	6,3
Maksimum [µg/m^3]	229,45	128,78	92,00	63,51	42,40	23,44	29,12	30,59	48,88	105,77	87,35	229,61
Data wystąpienia maksimum	27-sty-10	16-lut-10	08-mar-10	09-kwi-10	15-maj-10	11-cze-10	23-lip-10	02-sie-10	25-wrz-10	11-paź-10	26-lis-10	22-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-14,0	-3,6	-6,1	8,4	9,8	24,7	17,9	22,0	14,4	4,6	-1,0	0,0
prędkość wiatru [m/s]	2,7	1,0	2,6	2,0	1,9	2,7	2,6	1,1	1,3	0,9	1,1	1,4
kierunek wiatru	S	S	E	W	NW	SW	SW	S	E	E	SE	NE
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,2	0,0	0,0	7,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia [µg/m^3]	80,08	73,58	40,79	34,50	23,77	14,84	18,76	18,28	26,27	47,20	41,32	95,24
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	51,13	33,12	20,52	10,63	7,61	4,37	5,94	6,20	10,89	20,51	23,19	67,55
Percentyl 25 [µg/m^3]	41,90	44,19	24,79	26,03	19,01	11,40	14,67	14,04	15,52	33,32	21,53	42,22
Mediana [µg/m^3]	76,74	70,56	34,20	34,17	22,64	13,53	17,60	18,81	27,87	46,07	37,18	85,78
Percentyl 75 [µg/m^3]	92,95	105,39	54,01	39,83	27,87	17,96	23,76	21,57	33,48	60,11	57,28	143,91

*) czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

Tabela 2.2.3.2. **Statystyka stężeń dobowych pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w poszczególnych porach roku 2010**

Wyszczególnienie	Pora roku*)			
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Liczba stężeń dobowych**)	81	90	81	84
Udział ważnych danych [%]	90,00	97,83	88,04	92,31
Minimum [µg/m^3]	5,55	11,10	7,74	7,17
Data wystąpienia minimum	11-gru-10	01-mar-10	08-sie-10	13-lis-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-2,0	6,4	16,9	13,1
prędkość wiatru [m/s]	5,5	6,8	2,7	6,6
kierunek wiatru	SW	SW	SW	SW
opad atmosferyczny [mm]	6,3	0,0	0,0	0,5
Maksimum [µg/m^3]	229,61	92,00	30,59	105,77
Data wystąpienia maksimum	22-gru-10	08-mar-10	02-sie-10	11-paź-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	0,0	-6,1	22,0	4,6
prędkość wiatru [m/s]	1,4	2,6	1,1	0,9
kierunek wiatru	NE	E	S	E
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia [µg/m^3]	82,78	33,09	17,30	38,94
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	52,40	15,71	5,76	20,92
Percentyl 25 [µg/m^3]	42,15	22,62	12,85	22,84
Mediana [µg/m^3]	75,77	29,39	15,64	35,28
Percentyl 75 [µg/m^3]	110,43	39,60	21,66	52,00

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

Tabela 2.2.3.3. **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 [µg/m^3]	5,55	5,55	7,74
Data wystąpienia minimum	11-gru-10	11-gru-10	08-sie-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	229,61	229,61	63,51
Data wystąpienia maksimum	22-gru-10	22-gru-10	09-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	**42,72**	61,89	22,86
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	37,56	43,89	10,21
Percentyl 25 [µg/m^3]	19,65	32,47	14,86
Mediana [µg/m^3]	29,92	48,79	21,66
Percentyl 75 [µg/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 2.2.3.4. **Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle $PM_{2,5}$ 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 2.2.3.5. **Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha 6, w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku**

Substancja	Pora roku*)				Sezon**)	
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Grzewczy	Niegrzewczy
PYŁ:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
$PM_{2,5}$	82,97	33,02	17,29	38,26	63,04	22,73
METALE:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Arsen (As)	3,68	1,45	1,39	2,25	3,00	1,38
Nikiel (Ni)	3,12	2,08	3,34	2,29	2,62	2,80
Kadm (Cd)	2,92	0,49	1,54	1,65	2,09	1,21
Ołów (Pb)	83,46	46,83	22,92	44,87	65,25	33,79
Tytan (Ti)	20,84	10,05	13,06	7,25	13,56	12,04
Glin (Al)	456,93	119,98	154,01	223,77	322,02	155,32
Żelazo (Fe)	189,72	147,21	161,50	153,64	167,52	158,52
WWA:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Benzo(a)antracen	52,95	9,18	0,55	11,83	34,67	2,58
Benzo(j)fluoranten	15,48	5,31	0,48	4,22	11,08	1,67
Benzo(b)fluoranten	26,12	6,27	1,06	9,87	18,94	2,73
Benzo(k)fluoranten	16,05	3,10	0,50	4,97	10,96	1,35
Benzo(a)piren	35,93	5,53	0,79	11,42	24,62	2,21
JONY:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Sód (Na^+)	1060,23	2776,24	477,99	442,33	916,94	1461,45
Potas (K^+)	325,95	214,60	116,52	292,28	274,81	199,86
Wapń (Ca^{2+})	211,24	679,52	241,38	304,07	265,66	452,45
Magnez (Mg^{2+})	83,80	132,79	89,69	59,67	64,28	118,70
Jon amonowy (NH_4^+)	4219,47	2820,63	721,33	1959,64	3272,69	1587,85
Siarczany (SO_4^{2-})	6892,68	2811,25	4411,39	4207,38	5384,52	3776,83
Azotany (NO_3^-)	4740,68	2443,28	735,90	2463,58	4064,39	1127,33
Chlorki (Cl^-)	3317,20	1228,07	785,17	1537,42	2627,88	806,05
WĘGIEL:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
Węgiel elementarny (EC)	20,38	9,83	3,37	2,49	13,57	4,47
Węgiel organiczny (OC)	12,29	4,03	2,81	3,33	7,91	3,32

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku.

2.2.3.1. Stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$

Średnie stężenie w okresie badań, wynosiło 42,72 µg/m^3 i było 1,78 razy wyższe niż w punkcie tła miejskiego w Gdańsku i 2,8 razy wyższe niż w punkcie tła regionalnego (krajowego) w Diablej Górze. Stwierdzono 1,7 krotne przekroczenie dopuszczalnego poziomu stężeń rocznych $PM_{2,5}$. Wielkość ta nie odbiega znacząco od wyników uzyskiwanych w obszarze aglomeracji górnośląskiej w latach poprzednich.
O wysokości średniej rocznej w omawianej lokalizacji zdecydowała sytuacja imisyjna w chłodnej porze roku (w zimie), kiedy stężenia były prawie czterokrotnie wyższe niż w okresie lata. Związane jest to z sąsiedztwem terenów starej zabudowy mieszkaniowej, gdzie dominuje opalanie indywidualne – paleniska węglowe (Katowice Załęże).
Maksymalne stężenie wystąpiło w grudniu, wynosiło 229,61 µg/m^3 (należy zaznaczyć, że z uwagi na konstrukcję miernika odnotowano przypadki zatrzymania pracy urządzenia po kilku godzinach z powodu nadmiernego obciążenia filtra pyłem - co wskazuje na możliwość występowania ekstremów o wyższych stężeniach – miernik nie kontynuuje pracy w takim przypadku).
W miesiącach styczeń, luty, marzec kwiecień oraz od października do grudnia, odnotowano średniomiesięczne stężenia wyższe niż 25 µg/m^3. Podobnie jak w poprzednich lokalizacjach wzrost ten należy bezpośrednio wiązać z oddziaływaniem emisji ze spalania paliw w celach grzewczych podobnie jak w innych regionach kraju – potwierdzają to też wyniki badań składu chemicznego PM.
W porze letniej stężenia w punkcie tła miejskiego, były zdecydowanie niższe i przyjmowały wartości z przedziału 7,74 – 30,59 µg/m^3. W tym sezonie odnotowano także mniejszą zmienność stężeń niż w pozostałych porach roku. Odchylenie standardowe latem wynosiło 17,3 µg/m^3, natomiast w zimą 82,78 µg/m^3. Najbardziej stabilna sytuacja w zakresie stężeń pyłu $PM_{2,5}$ wystąpiła w miesiącach czerwiec – sierpień , dla których odchylenie standardowe wynosił od 4,37-6,20 µg/m^3.
Analizując przebieg dobowych stężeń stwierdzono, że podobnie jak w innych miejscach w Polsce, występuje tendencja do stopniowego wzrostu stężeń od września do grudnia a następnie ich powolny spadek aż do połowy roku. W omawianym okresie pomiarowym maksymalne stężenie wystąpiło 22.12.2010 roku podobne stężenie powtórzyło się 27. stycznia. Wartości minimalne dla miesięcznych serii stężeń $PM_{2,5}$ w Katowicach wynoszą od 5.55-28,03 µg/m^3 są o prawie połowę wyższe niż w Gdańsku. Wartości te można uznać za poziom (stężenie $PM_{2,5}$) tła miejskiego aglomeracji śląskiej, kształtowanego w wyniku adwekcji w skali kontynentalnej i oddziaływania zlokalizowanych wokół aglomeracji źródeł emisji przemysłowych (pracujących ze względnie stałą wydajnością).
Uzyskane wartości wskazują na istnienie poważnego problemu w zakresie poziomu narażenia mieszkańców na $PM_{2,5}$ i wymagają podjęcia natychmiastowych działań ukierunkowanych na poprawę jakości powietrza. Niepokojący jest fakt dużej stabilności wysokich poziomów stężeń i utrzymywanie się ich na dużym obszarze – badania prowadzone wcześniej w Zabrzu i Dąbrowie Górniczej pokazywały stężenia zbliżone do poziomów w Katowicach.
Występowanie wysokich stężeń $PM_{2,5}$ na terenie aglomeracji górnośląskiej, jest wypadkową niekorzystnych warunków termodynamicznych występujących w obszarze aglomeracji w chłodnej porze roku i wysokiej emisji ze źródeł rozproszonych (emisja komunalna)
Złe warunki przewietrzania, brak opadów sprzyjają kumulacji drobnych cząstek pyłu w powietrzu, co skutkuje występowaniem długich okresów o wysokich stężeniach $PM_{2,5}$– klasyfikowanych jako epizody.
Charakter zmienności stężeń i istniejąca struktura emisji jednoznacznie podkreśla antropogeniczny charakter pochodzenia pyłów. Uniemożliwia to w praktyce skorzystanie z

możliwości odejmowania udziału składników naturalnych (ich potencjalny udział jak wynika z profilu chemicznego jest śladowy).

2.2.3.2. Skład chemiczny pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$

W punkcie pomiarowym w **Katowicach** stwierdzono najwyższe stężenia metali w pyle $PM_{2,5}$ w odniesieniu do pozostałych punktów prowadzenia badań. W składzie oznaczanych metali dominujący udział ma w kolejności glin, żelazo następnie ołów, tytan, nikiel, arsen i kadm. Największe różnice w stosunku do stacji tła krajowego odnotowano dla żelaza glinu i ołowiu. Należy stwierdzić, że z jednej strony wynika to ogólnie z wyższych stężeń pyłu z drugiej strony podobnie jak w Gdańsku są to zanieczyszczenia związane z emisja antropogeniczną w szczególności związane z przemysłem, gospodarka komunalną i komunikacją. Odnotowano także ponad piętnastokrotny wzrost stężeń benzo(a)pirenu w stosunku do Diablej Góry i ponad 4 krotny w stosunku do stężeń w Gdańsku.
Stężenia węglowodorów aromatycznych, analogicznie do stężeń PM_{10}, wykazują tendencje wzrostową w chłodnej porze roku. W przypadku benzo(a)pirenu średnie stężenia w zimie były 45 razy wyższe niż latem (Tabela 2.2.3.5 – średnie stężenia w porach roku). Najwyższe stężenia odnotowano w miesiącach styczeń, listopad i grudzień 2010r. Jedynie w trzech miesiącach: czerwcu, lipcu i sierpniu stężenia ww. substancji były niższe niż 1 ng/m^3. Wskazuje to jednoznacznie na pochodzenie WWA ze spalania paliw kopalnych w celach grzewczych i emisje ze środków transportu.
Wśród badanych WWA dominuje benzo(a)antracen typowy produkt spalania substancji organicznych zawarty w pyle i przenoszony na duże odległości jego udział w stężeniu w sezonie grzewczym i letnim był zbliżony do benzo(a)pirenu.
Wśród oznaczanych anionów dominujący udział mają jony siarczanowe i azotanowe (odpowiednio 4,5 i 2,5 $\mu g/m^3$). Dla kationów, zwiększone stężenia odnotowano w przypadku sodu – 1,2 $\mu g/m^3$ i wapnia 0,36 $\mu g/m^3$. Podobnie jak w innych lokalizacjach latem odnotowano znaczący spadek udziału jonów azotowych – w okresie zimowym dominują azotany i siarczany, natomiast w sezonie letnim zdecydowanie wzrasta udział siarczanów. Tak znaczny ubytek azotu w okresie letnim może wynikać z przemian fotochemicznych tlenków azotu emitowanych w procesach spalania w obszarze aglomeracji. Rząd stężeń azotanów w Katowicach, Gdańsku i Diablej Górze jest podobny, co wskazuje na jego wysoki udział w ogólnym tle w kraju. W odniesieniu do jonu siarczanowego, stężenia w obszarze Katowic są dwukrotnie wyższe, co wskazuje na wysokie prawdopodobieństwo oddziaływania sektora energetycznego (wtórny aerozol ze spalania zasiarczonego węgla). Pochodzenie ze spalania paliw w celach energetycznych sugeruje wyraźny wzrost stężeń siarczanów w sezonie grzewczym.
W chłodnej porze roku zdecydowanie wzrasta zawartość chlorków w $PM_{2,5}$, co może być związane ze zwiększoną emisją związków choru ze spalania paliw. Znaczący wpływ aerozolu morskiego w tej lokalizacji jest mało prawdopodobny (analizy ekstremalnych sytuacji nie wykazały obszarów źródłowych PM w strefie emisji chlorków z wody morskiej).
Udział węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC) w stężeniach $PM_{2,5}$ jest bardzo wysoki – średnio 9,02 $\mu g/m^3$ (EC) i 5,62 $\mu g/m^3$ (OC). W sezonie grzewczym wstępuje wyraźny wzrost udziału frakcji EC –co wskazuje na spalanie jako źródło związków węgla.
Podobnie jak dla Diablej Góry stwierdzono, że metoda oznaczania może powodować przeszacowanie udziału EC (inny sposób zaliczania karbonizatu do frakcji EC w analizatorze Behr i Sanset Lab.). Z tego powodu bardziej miarodajna jest ocena TOC – sumarycznego węgla organicznego – wskazuje ona, że związki węgla stanowią istotny makroskładnik $PM_{2,5}$ w Katowicach.

Analiza wyników pomiarów z Katowic ilustruje występowanie bardzo wysokiego poziomu stężeń $PM_{2,5}$. Poziomu, który znacząco przekracza wartości dopuszczalne
Odliczanie składników potencjalnie uważanych za naturalne nie jest w stanie zniwelować tak wysokich stężeń w skali roku.
Jak wspomniano wcześniej, pomimo niedoszacowania, zawartość związków węgla decyduje o składzie chemicznym $PM_{2,5}$ i jednoznacznie wskazuje spalanie paliw kopalnych jako podstawowy problem w zakresie zagrożeń powodowanych przez $PM_{2,5}$ w aglomeracji górnośląskiej.

2.2.4. Punkt pomiarowy Gdańsk-Wrzeszcz (stacja tła miejskiego), pył zawieszony PM_{10}

Punkt pomiarowy w Gdańsku Wrzeszczu przy ul. Leczkowa reprezentuje warunki stacji tła miejskiego. W okresie badań wykonano 358 pomiarów stężeń średniodobowych. Udział ważnych danych wynosił 98,08 %. W sezonie grzewczym wykonano 182 pomiary w sezonie niegrzewczym 176. Szczegółowe wyniki analizy statystycznej dla poszczególnych miesięcznych serii pomiarowych, sezonowo dla całego okresu zestawiono w tabelach 2.2.4.1 – 2.2.4.3.
Wyniki badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i parametry statystyczne serii pomiarowych zestawiono w tabelach 2.2.4.4-2.2.4.5 oraz zbiorczo w tabeli 4 (załącznik 2, serie miesięczne). Zestawienia te ilustrują charakter zmienności stężeń i składu chemicznego PM_{10} w punkcie pomiarowym tła, charakterystyczny dla obszarów zurbanizowanych.

Tabela 2.2.4.1. **Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych miesiącach 2010 roku**

Wyszczególnienie	I-2010	II-2010	III-2010	IV-2010	V-2010	VI-2010	VII-2010	VIII-2010	IX-2010	X-2010	XI-2010	XII-2010
Liczba stężeń dobowych*)	31	28	31	30	31	30	29	29	27	31	30	31
Udział ważnych danych [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	93,55	93,55	90,00	100,00	100,00	100,00
Liczba stężeń > 50 µg/m^3**)	13	14	7	2	0	0	0	0	0	4	3	11
Minimum [µg/m^3]	9,41	19,68	14,11	15,71	10,95	13,56	8,12	6,20	5,80	11,12	12,52	15,42
Data wystąpienia minimum	02-sty-10	24-lut-10	01-mar-10	10-kwi-10	04-maj-10	13-cze-10	25-lip-10	29-sie-10	02-wrz-10	25-paź-10	06-lis-10	12-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-1,3	-0,1	3,6	4,8	6,4	14,2	16,2	13,6	14,0	6,7	7,2	0,6
prędkość wiatru [m/s]	2,2	1,6	4,3	2,5	1,9	3,1	2,3	1,6	2,5	2,4	1,7	3,3
kierunek wiatru	NE	NE	SW	NW	N	W	W	W	NW	W	SW	N
opad atmosferyczny [mm]	2,2	0,7	2,0	4,0	0,0	0,0	0,1	2,3	4,1	0,4	5,5	9,2
Maksimum [µg/m^3]	144,46	112,55	85,69	61,09	35,58	27,72	31,31	34,89	47,15	81,95	91,65	155,48
Data wystąpienia maksimum	25-sty-10	10-lut-10	26-mar-10	04-kwi-10	21-maj-10	29-cze-10	12-lip-10	12-sie-10	25-wrz-10	31-paź-10	01-lis-10	15-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [^{o}C]	-14,3	-5,9	14,6	6,3	13,9	21,2	27,8	25,2	16,3	6,3	6,9	-10,4
prędkość wiatru [m/s]	1,2	1,1	2,1	1,0	1,0	1,0	1,2	0,6	2,0	1,4	0,5	1,4
kierunek wiatru	SE	E	SE	N	N	SE	E	SE	SE	S	SE	SE
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,2	0,0	b.d.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Średnia [µg/m^3]	53,25	55,97	34,31	29,29	19,35	19,23	19,38	16,37	16,20	29,71	27,65	48,22
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	30,55	27,44	18,44	9,72	6,09	4,59	6,18	6,56	11,02	15,45	18,71	33,18
Percentyl 25 [µg/m^3]	33,40	33,87	17,89	23,04	13,86	15,55	15,32	11,14	8,08	19,87	14,88	24,61
Mediana [µg/m^3]	45,85	49,13	30,85	25,27	18,34	17,92	18,13	15,73	11,58	25,24	19,51	37,59
Percentyl 75 [µg/m^3]	69,09	74,36	47,32	33,30	23,58	23,67	24,28	19,32	17,78	35,42	32,94	59,21

*) czas pomiaru przynajmniej 75% doby, b.d. brak danych.

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

Tabela 2.2.4.2. **Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach roku 2010**

Wyszczególnienie	Pora roku*)			
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Liczba stężeń dobowych**)	90	92	88	88
Udział ważnych danych [%]	100,00	100,00	95,65	96,70
Liczba stężeń > 50 µg/m^3***)	38	9	0	7
Minimum [µg/m^3]	9,41	10,95	6,20	5,80
Data wystąpienia minimum	02-sty-10	04-maj-10	29-sie-10	02-wrz-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-1,3	6,4	13,6	14,0
prędkość wiatru [m/s]	2,2	1,9	1,6	2,5
kierunek wiatru	NE	N	W	NW
opad atmosferyczny [mm]	2,2	0,0	2,3	4,1
Maksimum [µg/m^3]	155,48	85,69	34,89	91,65
Data wystąpienia maksimum	15-gru-10	26-mar-10	12-sie-10	01-lis-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-10,4	14,6	25,2	6,9
prędkość wiatru [m/s]	1,4	2,1	0,6	0,5
kierunek wiatru	SE	SE	SE	SE
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0	0,3
Średnia [µg/m^3]	52,36	27,63	18,34	24,86
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	30,40	13,92	5,92	16,42
Percentyl 25 [µg/m^3]	29,77	17,91	13,96	14,41
Mediana [µg/m^3]	45,40	23,69	17,16	19,51
Percentyl 75 [µg/m^3]	63,79	33,14	22,40	30,66

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

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

Tabela 2.2.4.3. **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 µg/m^3***)	54	52	2
Minimum [µg/m^3]	5,80	9,41	5,80
Data wystąpienia minimum	02-wrz-10	02-sty-10	02-wrz-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	155,48	155,48	61,09
Data wystąpienia maksimum	15-gru-10	15-gru-10	04-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	**30,88**	41,36	20,05
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	22,82	27,01	8,72
Percentyl 25 [µg/m^3]	16,67	20,75	13,90
Mediana [µg/m^3]	23,49	33,43	18,26
Percentyl 75 [µg/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 µg/m^3 – dopuszczalne stężenie dobowe pyłu PM_{10}, które może być przekraczane co najwyżej 35 razy w roku,

b.d. brak danych.

Tabela 2.2.4.4. **Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM_{10} 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 2.2.4.5. **Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku**

Substancja	Pora roku*)				Sezon**)	
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Grzewczy	Niegrzewczy
PYŁ:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
PM_{10}	52,48	27,65	18,33	24,52	41,52	19,97
METALE:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Arsen (As)	1,64	0,79	0,39	0,72	1,20	0,57
Nikiel (Ni)	1,06	2,69	1,95	0,97	1,30	2,04
Kadm (Cd)	1,75	0,19	0,35	0,53	1,12	0,30
Ołów (Pb)	48,40	22,47	8,08	18,29	36,50	12,12
Tytan (Ti)	13,84	14,99	9,83	6,16	11,40	11,01
Glin (Al)	96,50	295,55	171,54	120,23	153,41	188,50
Żelazo (Fe)	354,37	346,60	287,70	308,50	352,73	295,85
WWA:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Benzo(a)antracen	15,13	1,92	0,15	1,92	9,13	0,42
Benzo(j)fluoranten	5,62	1,33	0,11	0,91	3,66	0,32
Benzo(b)fluoranten	9,24	1,69	0,25	1,82	5,94	0,55
Benzo(k)fluoranten	5,52	0,86	0,11	1,01	3,47	0,29
Benzo(a)piren	11,33	1,46	0,19	2,22	7,17	0,42
JONY:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Sód (Na^+)	1121,10	1547,78	946,28	1924,87	1790,75	979,27
Potas (K^+)	379,62	122,46	48,40	162,76	266,76	89,86
Wapń (Ca^{2+})	174,33	395,80	304,40	384,22	298,88	330,50
Magnez (Mg^{2+})	63,13	90,51	38,79	81,19	77,33	59,48
Jon amonowy (NH_4^+)	3846,29	1528,10	404,90	953,16	2583,14	783,08
Siarczany (SO_4^{2-})	5630,60	1659,21	2192,56	2253,66	3956,15	1911,86
Azotany (NO_3^-)	7124,26	3030,58	946,84	2700,43	5601,77	1299,28
Chlorki (Cl^-)	1582,42	626,72	289,03	671,31	1297,69	287,05
WĘGIEL:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
Węgiel elementarny (EC)	7,27	2,94	0,75	0,89	4,76	1,17
Węgiel organiczny (OC)	7,18	0,54	1,49	1,70	4,35	1,11

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku.

Tabela 2.2.4.6. **Statystyka stosunku $PM_{2,5}/PM_{10}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych miesiącach 2010 roku**

Wyszczególnienie	I-2010	II-2010	III-2010	IV-2010	V-2010	VI-2010	VII-2010	VIII-2010	IX-2010	X-2010	XI-2010	XII-2010
Liczba par stężeń dobowych*)	31	28	31	30	27	30	28	22	27	31	29	30
Udział ważnych danych [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	87,10	100,00	90,32	70,97	90,00	100,00	96,67	96,77
Minimum [µg/m^3]	0,70	0,56	0,57	0,54	0,37	0,48	0,55	0,48	0,46	0,65	0,67	0,71
Maksimum [µg/m^3]	0,95	0,91	0,97	1,07	0,98	0,73	1,03	0,90	0,80	0,84	1,02	0,98
Średnia [µg/m^3]	0,80	0,76	0,75	0,76	0,77	0,64	0,79	0,73	0,67	0,74	0,81	0,89
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	0,06	0,07	0,08	0,12	0,13	0,08	0,13	0,11	0,08	0,04	0,07	0,06
Percentyl 25 [µg/m^3]	0,76	0,71	0,71	0,71	0,71	0,60	0,71	0,67	0,65	0,72	0,77	0,86
Mediana [µg/m^3]	0,79	0,78	0,74	0,76	0,78	0,63	0,81	0,72	0,70	0,75	0,80	0,89
Percentyl 75 [µg/m^3]	0,83	0,80	0,79	0,80	0,85	0,72	0,88	0,79	0,72	0,77	0,84	0,92

*) czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

Tabela 2.2.4.7. **Statystyka stosunku $PM_{2,5}/PM_{10}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w poszczególnych porach roku 2010**

Wyszczególnienie	Pora roku*)			
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Liczba par stężeń dobowych**)	89	88	80	87
Udział ważnych danych [%]	98,89	95,65	86,96	95,60
Minimum [µg/m^3]	0,56	0,37	0,48	0,46
Maksimum [µg/m^3] ***)	0,98	1,07	1,03	1,02
Średnia [µg/m^3]	0,82	0,76	0,72	0,74
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	0,08	0,11	0,12	0,08
Percentyl 25 [µg/m^3]	0,76	0,71	0,61	0,70
Mediana [µg/m^3]	0,81	0,76	0,72	0,75
Percentyl 75 [µg/m^3]	0,88	0,81	0,81	0,79

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

***) w trakcie pomiarów na odnotowano przypadki wyższych stężeń $PM_{2,5}$ niż $PM_{10,}$ a nie stwierdzono technicznych powodów do odrzucenia tych wyników, (błąd ważenia odpowiada stężeniu 1 µg/m^3 – przyjęto, że różnica nieprzekraczająca 2 µg/m^3 nie dyskwalifikuje pomiaru w serii).

Tabela 2.2.4.8. **Statystyka stosunku $PM_{2,5}/PM_{10}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa, w 2010 roku oraz sezonach grzewczym i niegrzewczym**

Wyszczególnienie	Rok	Sezon grzewczy*)	Sezon niegrzewczy*)
Liczba par stężeń dobowych**)	344	180	164
Udział ważnych danych [%]	94,25	98,90	89,62
Minimum [µg/m^3]	0,37	0,56	0,37
Maksimum [µg/m^3]	1,07	1,02	1,07
Średnia [µg/m^3]	0,76	0,79	0,72
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	0,11	0,08	0,12
Percentyl 25 [µg/m^3]	0,70	0,74	0,63
Mediana [µg/m^3]	0,76	0,79	0,72
Percentyl 75 [µg/m^3]	0,83	0,84	0,80

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

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby.

2.2.4.1. Stężenia pyłu zawieszonego PM_{10}

Średnie stężenie w okresie badań, wynosiło 30,88 µg/m^3 , w tym samym okresie stężenie $PM_{2,5}$ w tym punkcie wynosiło 24,05µg/m^3. Nie stwierdzono naruszenia poziomu dopuszczalnego dla stężeń rocznych PM_{10}. Natomiast odnotowano przekroczenie dopuszczalnej liczby dni, w których stężenia PM_{10} były wyższe niż dobowa wartość dopuszczalna (54 razy).
O wysokości średniej rocznej w omawianej lokalizacji zdecydowała sytuacja imisyjna w chłodnej porze roku (w okresie grzewczym), kiedy stężenia były prawie dwukrotnie wyższe niż średnia z pozostałej części roku (41,26 µg/m^3 i 20,05 µg/m^3).
Maksymalne stężenia odnotowano w grudniu – 155,48 µg/m^3. W miesiącach styczeń, luty, marzec oraz w grudniu, odnotowano średniomiesięczne stężenia wyższe niż 40 µg/m^3, co związane jest z występowaniem niskich temperatur powietrza i wskazuje na potencjalne oddziaływanie emisji ze spalanie paliw w celach grzewczych podobnie jak w innych regionach kraju.
W sezonie letnim stężenia PM_{10} w punkcie tła miejskiego, były zdecydowanie niższe i przyjmowały wartości z przedziału 6,20– 34,89 µg/m^3. W tym sezonie odnotowano także mniejszą zmienność stężeń niż w pozostałych porach roku .Odchylenie standardowe latem wynosiło 5,92 µg/m^3, natomiast zimą 30,40 µg/m^3. Najbardziej stabilna sytuacja w zakresie stężeń pyłu PM_{10} występuje w miesiącach maj - lipiec – odchylenie standardowe wynosi od 4,59 – 6,18µg/m^3.
Analizując przebieg dobowych stężeń stwierdzono, że podobnie jak w innych miejscach w Polsce, występuje tendencja do stopniowego wzrostu stężeń od września do grudnia a następnie ich powolny spadek aż do połowy roku. W omawianym okresie pomiarowym maksymalne stężenie wystąpiło 15.12.2010 roku. Wartości minimalne dla miesięcznych serii stężeń $PM_{2,5}$ w Gdańsku wynoszą od 6,2 - 19,68 µg/m^3.
Kluczowym problemem w zakresie stężeń PM_{10} na stacji tła miejskiego jest nadmierna liczba dni ze stężeniami powyżej dopuszczalnej wartości 24h. Dni, w których występują przekroczenia to pora zimowa – analiza epizodów wykazała, że źródłem przekroczeń są czynniki lokalne – potwierdza to też skład chemiczny pyłu, zatem nie należy oczekiwać efektów w zakresie możliwości skorzystania z warunków odliczeń udziału czynników naturalnych w celu sprostania wymogom dyrektywy 2008/50/WE.

2.2.4.2. Skład chemiczny pyłu zawieszonego PM_{10}

W punkcie pomiarowym w **Gdańsku** udział arsenu, niklu, kadmu i ołowiu w pyle PM_{10} jest zbliżony do stężeń $PM_{2,5}$ i nie przekracza poziomów dopuszczalnych dla stężeń ww. metali w PM_{10}. Wyższe stężenia odnotowano dla tytanu, glinu i żelaza – co wskazuje na udział frakcji mineralnej (w tym prawdopodobnie pyłu z resuspensji z dróg i terenów zurbanizowanych). W składzie oznaczanych metali dominujący udział ma w kolejności: żelazo, glin następnie ołów, tytan, nikiel, arsen i kadm.
Stężenia węglowodorów aromatycznych w PM_{10}, przyjmują wartości zbliżone do stężeń $PM_{2,5}$, co wynika z ich własności i pochodzenia (adsorpcja na najdrobniejszych pyłach i cząstkach sadzy czyli we frakcji $PM_{2,5}$). Stężenia WWA podobnie jak dla $PM_{2,5}$ wykazują tendencje wzrostową w chłodnej porze roku (w szczególności w zimie). Maksymalne wartości stężeń występują grudniu, styczniu i lutym. W przypadku benzo(a)pirenu, w miesiącach styczeń, luty, marzec, kwiecień, październik, listopad i grudzień stężenia średnie są wyższe niż 1 ng/m^3. W sezonie grzewczym stężenia benzo(a)pirenu są ok. 17 razy większe niż w sezonie niegrzewczym. Wskazuje to jednoznacznie na pochodzenie WWA ze spalania paliw w celach grzewczych.

Wśród badanych WWA dominuje benzo(a)antracen typowy produkt spalania substancji organicznych zawarty w pyle z tego procesu.
Wśród oznaczanych anionów dominujący udział mają jony azotanowe i siarczanowe (odpowiednio 3,4 i 2,9 $\mu g/m^3$) ich stężenie jest wyższe niż w $PM_{2,5}$. Dla kationów, najwyższe stężenia odnotowano w przypadku sodu – 1,4 $\mu g/m^3$ i wapnia 0,31 $\mu g/m^3$, stężenia te są również wyższe niż dla frakcji $PM_{2,5}$.
Wśród badanych anionów w okresie zimowym dominują azotany i siarczany, natomiast w sezonie letnim wzrasta udział siarczanów. Tak znaczny ubytek azotu w okresie letnim może wynikać z przemian fotochemicznych tlenków azotu emitowanych w procesach spalania w obszarze aglomeracji.
W chłodnej porze roku (sezonie grzewczym) 4,5 krotnie wzrasta zawartość chlorków w PM_{10}, co może być związane ze zwiększoną emisją związków chloru ze spalania paliw pod wpływem aerozolu morskiego (analizy ekstremalnych sytuacji nie potwierdzają jednoznacznie obszarów źródłowych PM w strefie emisji chlorków z wody morskiej).
Udział węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC) w stężeniach PM_{10} jest wysoki – średnio 2,97 $\mu g/m^3$ (EC) i 2,73 $\mu g/m^3$ (OC). Udział ten jest zbliżony do udziału w $PM_{2,5}$ co wskazuje na wysoką zawartość węgla organicznego w drobnych frakcjach pyłu. W sezonie grzewczym występuje prawie czterokrotny wzrost udziału frakcji EC – co wskazuje na spalanie jako źródło związków węgla (podobnie jak chlorków).
Podobnie jak dla $PM_{2,5}$ stwierdzono, że metoda oznaczania może powodować przeszacowanie udziału EC (inny sposób zaliczania karbonizatu do frakcji EC w analizatorze Behr i Sanset Lab.). Z tego powodu bardziej miarodajna jest ocena TOC – sumarycznego węgla organicznego – wskazuje ona, że związki węgla stanowią istotny makroskładnik $PM_{2,5}$.
Przeprowadzone dodatkowe analizy wybranych filtrów metodą z wykorzystaniem analizatora termo-optycznego wykazały udział EC – 1,78 $\mu g/m^3$ i OC – 7,48 $\mu g/m^3$ (z uwagi na inną ilość filtrów branych do analiz i brak danych dotyczących homogeniczności próbki ocena ta jest niejednoznaczna). Dane literaturowe wskazują na istotnie wyższe udziały OC w analizach z wykorzystaniem protokołu EUSSAR2 niż Normy DIN (analizator Behr).
Podobnie jak w innych lokalizacjach należy zwrócić uwagę na duży udział związków węgla pochodzących ze spalania, w tym ze spalania paliw kopalnych i znaczny udział składników klasyfikowanych, jako wtórny aerozol nieorganiczny. Wskazuje to na istotną rolę energetyki węglowej w kształtowaniu poziomów stężeń PM_{10} w północnych rejonach Polski.

2.2.4.3. Udział $PM_{2,5}$ w stężeniach PM_{10}

Z uwagi na lokalizację stanowisk w bezpośrednim sąsiedztwie możliwa była ocena udziału pyłów $PM_{2,5}$ w PM_{10}, będąca jednocześnie oceną udziału frakcji mineralnych w PM. W tabelach 2.2.4.6-2.2.4.8 przedstawiono parametry statystyczne serii pomiarowych i wyliczonych stosunków $PM_{2,5}$ do PM_{10}.
Liczba par stężeń wziętych do analizy wynosiła 344, co odpowiada 94,25 % ważnych danych.
Średnio stosunek ten wynosi dla roku 0,76; w sezonie grzewczym był wyższy i wynosił 0,79, natomiast w pozostałym okresie – 0,72.
W porze zimowej z uwagi na wzrost tendencji do reemisji pyłów mineralnych i duży udział pyłów ze spalania wartość ta wzrasta do 0,82.
W przebiegu miesięcznym charakterystyczne jest osiąganie minimum w miesiącu czerwcu 0,62 – potencjalny udział dużej ilości pyłów mineralnych z resuspensji z podłoża – przy relatywnie wysokich temperaturach i braku opadów. Maksimum miesięczne wystąpiło w miesiącu grudniu – 0.89. Potwierdza to wcześniejsze hipotezy wskazujące na istotna rolę emisji energetycznej w kształtowaniu poziomów stężeń i niski udział frakcji mineralnej w PM_{10}.

2.2.5. Punkt pomiarowy Katowice stacja komunikacyjna, ul. Wita Stwosza, pył zawieszony PM_{10}

Punkt pomiarowy w Katowicach reprezentuje warunki stacji komunikacyjnej w obszarach miejskich – przy al. Górnośląskiej – odcinku miejskim A4 z pasami komunikacji lokalnej ze zjazdami do centrum Katowic i dzielnic gdzie zlokalizowane są główne instytucje publiczne regionu. W okresie badań wykonano 346 pomiarów stężeń średniodobowych. Udział ważnych danych wynosił 95 %. W sezonie grzewczym wykonano 172 pomiary w sezonie niegrzewczym 174. Szczegółowe wyniki analizy statystycznej dla poszczególnych miesięcznych serii pomiarowych, sezonowo dla całego okresu zestawiono w tabelach 2.2.5.1 – 2.2.5.3.

Wyniki badań składu chemicznego $PM_{2,5}$ i parametry statystyczne serii pomiarowych zestawiono w tabelach 2.2.5.4-2.2.5.5 oraz zbiorczo w tabeli 5 w załączniku 2 (serie miesięczne).

Zestawienia te ilustrują charakter zmienności stężeń i składu chemicznego PM_{10} w punkcie komunikacyjnym w obszarach zurbanizowanych o dużym natężeniu ruchu.

Tabela 2.2.5.1. **Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w poszczególnych miesiącach 2010 roku**

Wyszczególnienie	I-2010	II-2010	III-2010	IV-2010	V-2010	VI-2010	VII-2010	VIII-2010	IX-2010	X-2010	XI-2010	XII-2010
Liczba stężeń dobowych*)	31	28	28	30	31	30	27	29	27	27	29	29
Udział ważnych danych [%]	100,00	100,00	90,32	100,00	100,00	100,00	87,10	93,55	90,00	87,10	96,67	93,55
Liczba stężeń > 50 µg/m^3**)	25	27	20	14	3	1	3	2	5	20	14	22
Minimum [µg/m^3]	23,46	43,60	26,24	18,25	14,87	16,19	18,67	14,87	16,96	31,28	17,01	21,82
Data wystąpienia minimum	09-sty-10	28-lut-10	01-mar-10	05-kwi-10	17-maj-10	27-cze-10	24-lip-10	28-sie-10	29-wrz-10	05-paź-10	13-lis-10	10-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [°C]	0,0	5,6	6,4	6,6	7,1	16,8	18,0	14,6	8,0	10,3	13,1	-3,8
prędkość wiatru [m/s]	4,1	4,5	6,8	1,5	3,8	1,5	4,0	2,9	3,0	3,8	6,6	4,5
kierunek wiatru	NE	S	SW	NW	W	NE	W	W	W	E	SW	W
opad atmosferyczny [mm]	10,3	2,5	0,0	9,9	68,5	0,0	4,8	9,6	7,4	2,2	0,5	0,8
Maksimum [µg/m^3]	318,72	168,33	148,73	86,42	55,82	50,15	52,14	58,82	63,21	141,36	114,22	219,03
Data wystąpienia maksimum	27-sty-10	16-lut-10	08-mar-10	09-kwi-10	26-maj-10	11-cze-10	15-lip-10	02-sie-10	25-wrz-10	11-paź-10	26-lis-10	04-gru-10
Warunki meteorologiczne:												
temperatura powietrza [°C]	-14,0	-3,6	-6,1	8,4	10,9	24,7	24,8	22,0	14,4	4,6	-1,0	-10,7
prędkość wiatru [m/s]	2,7	1,0	2,6	2,0	1,3	2,7	1,7	1,1	1,3	0,9	1,1	1,3
kierunek wiatru	S	S	E	W	SW	SW	S	S	E	E	SE	SW
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia [µg/m^3]	110,43	106,49	73,25	51,54	35,26	28,23	34,98	31,81	36,58	65,34	48,84	105,18
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	69,91	39,29	29,34	14,33	10,32	9,02	10,65	11,17	13,47	26,32	23,09	58,87
Percentyl 25 [µg/m^3]	59,01	75,98	49,81	42,43	30,45	21,36	25,24	24,85	27,51	48,40	30,25	53,42
Mediana [µg/m^3]	97,63	103,52	66,67	48,29	34,59	25,13	34,07	32,28	33,88	63,10	43,60	108,26
Percentyl 75 [µg/m^3]	131,35	137,69	90,52	58,91	42,66	33,44	43,61	37,10	46,61	71,93	66,72	135,32

*) czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

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

Tabela 2.2.5.2. **Statystyka stężeń dobowych pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w poszczególnych porach roku 2010**

Wyszczególnienie	Pora roku*)			
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień
Liczba stężeń dobowych**)	88	89	86	83
Udział ważnych danych [%]	97,78	96,74	93,48	91,21
Liczba stężeń > 50 µg/m^3***)	74	37	6	39
Minimum [µg/m^3]	21,82	14,87	14,87	16,96
Data wystąpienia minimum	10-gru-10	17-maj-10	28-sie-10	29-wrz-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-3,8	7,1	14,6	8,0
prędkość wiatru [m/s]	4,5	3,8	2,9	3,0
kierunek wiatru	W	W	W	W
opad atmosferyczny [mm]	0,8	68,5	9,6	7,4
Maksimum [µg/m^3]	318,72	148,73	58,82	141,36
Data wystąpienia maksimum	27-sty-10	08-mar-10	02-sie-10	11-paź-10
Warunki meteorologiczne:				
temperatura powietrza [^{o}C]	-14,0	-6,1	22,0	4,6
prędkość wiatru [m/s]	2,7	2,6	1,1	0,9
kierunek wiatru	S	E	S	E
opad atmosferyczny [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia [µg/m^3]	107,45	52,70	31,56	50,22
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	57,31	24,70	10,55	24,42
Percentyl 25 [µg/m^3]	62,20	35,44	23,59	32,62
Mediana [µg/m^3]	105,30	47,43	30,81	46,42
Percentyl 75 [µg/m^3]	135,74	61,64	37,94	63,41

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) czas pomiaru przynajmniej 75% doby,

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

Tabela 2.2.5.3. **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 µg/m^3***)	156	128	28
Minimum [µg/m^3]	14,87	17,01	14,87
Data wystąpienia minimum	17-maj-10	13-lis-10	17-maj-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	318,72	318,72	86,42
Data wystąpienia maksimum	27-sty-10	27-sty-10	09-kwi-10
Warunki meteorologiczne:			
temperatura powietrza [^{o}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 [µg/m^3]	60,77	85,39	36,44
Odchylenie standardowe [µg/m^3]	44,33	50,64	13,65
Percentyl 25 [µg/m^3]	32,15	49,93	25,87
Mediana [µg/m^3]	46,75	67,80	34,13
Percentyl 75 [µg/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 µg/m^3 – dopuszczalne stężenie dobowe pyłu PM_{10}, które może być przekraczane co najwyżej 35 razy w roku.

Tabela 2.2.5.4. **Statystyka stężeń miesięcznych wybranych substancji zawartych w pyle PM_{10} 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

Tabela 2.2.5.5. **Średnie stężenia w powietrzu wybranych substancji zawartych w pyle PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4), w poszczególnych porach i sezonach 2010 roku**

Substancja	Pora roku*)				Sezon**)	
	Zima	Wiosna	Lato	Jesień	Grzewczy	Niegrzewczy
PYŁ:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
PM_{10}	107,37	53,35	31,67	50,25	84,92	36,40
METALE:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Arsen (As)	5,58	1,75	1,82	2,90	4,37	1,66
Nikiel (Ni)	4,47	3,22	3,03	2,70	3,71	3,00
Kadm (Cd)	3,96	0,70	2,11	1,91	2,73	1,61
Ołów (Pb)	100,33	54,85	35,96	47,11	78,87	40,26
Tytan (Ti)	41,13	31,99	24,59	23,67	36,37	24,32
Glin (Al)	1101,99	420,88	392,88	455,37	811,20	374,37
Żelazo (Fe)	694,67	828,53	743,11	823,90	795,04	750,07
WWA:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Benzo(a)antracen	50,42	10,33	0,87	11,65	33,93	2,71
Benzo(j)fluoranten	14,57	5,31	0,62	4,35	10,76	1,66
Benzo(b)fluoranten	24,68	6,45	1,29	9,53	18,27	2,71
Benzo(k)fluoranten	14,18	3,23	0,61	4,74	10,04	1,35
Benzo(a)piren	31,50	5,85	1,00	10,99	22,46	2,21
JONY:	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]	[ng/m^3]
Sód (Na^+)	3116,03	2029,46	521,48	548,57	2208,01	899,76
Potas (K^+)	453,83	185,29	128,87	316,52	350,55	191,70
Wapń (Ca^{2+})	302,64	461,30	343,52	443,38	378,02	397,40
Magnez (Mg^{2+})	121,80	357,19	82,48	122,60	192,80	149,23
Jon amonowy (NH_4^+)	5466,12	2717,60	759,29	2193,47	4155,57	1412,67
Siarczany (SO_4^{2-})	8882,82	3257,20	4788,59	4414,30	6601,49	4069,97
Azotany (NO_3^-)	6453,71	3512,10	1109,48	3078,21	5458,59	1618,16
Chlorki (Cl^-)	7259,52	3255,35	792,49	1836,58	5695,97	875,99
WĘGIEL:	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
Węgiel elementarny (EC)	23,78	9,99	3,70	1,54	14,62	4,89
Węgiel organiczny (OC)	16,11	5,10	3,63	4,88	11,18	3,68

*) zima – styczeń, luty, grudzień, wiosna – marzec, kwiecień, maj, lato – czerwiec, lipiec, sierpień, jesień – wrzesień, październik, listopad,

**) sezon grzewczy – I i IV kwartał, sezon niegrzewczy – II i III kwartał roku.

2.2.5.1. Stężenia pyłu zawieszonego PM_{10}

Średnie stężenie w okresie badań, wynosiło 60,77 µg/m^3 i było 1,96 razy wyższe niż w punkcie tła miejskiego w Gdańsku. Stwierdzono 1,5 krotne przekroczenie dopuszczalnego poziomu stężeń rocznych PM_{10}. Wielkość ta nie odbiega znacząco od wyników uzyskiwanych w obszarze aglomeracji górnośląskiej dla PM_{10}. Dla analogicznego okresu na stacji tła miejskiego w Katowicach odnotowano stężenie roczne 56,4 µg/m^3 , mimo że jest to pomiar automatyczny wartości te mogą wskazywać na istnienie dodatkowego efektu drogi w stosunku do tła na poziomie do 10% stężenia rocznego.
O wysokości średniej rocznej w omawianej lokalizacji zdecydowała sytuacja imisyjna w chłodnej porze roku (w zimie), kiedy stężenia były prawie 2,3 razy wyższe
W porównaniu ze stacją tła w Katowicach i frakcją $PM_{2,5}$ spadek stężeń poza sezonem grzewczym był mniejszy co wskazuje na jeszcze wyższy wkład emisji komunikacyjnej.
Z uwagi na specyficzną lokalizacje i sąsiedztwo pasa drogowego udział emisji komunikacyjnej jest decydujący (w punktach tła w Katowicach w sezonie letnim udział komunikacji jest także znaczący).
Maksymalne stężenia występowało w styczniu -318,72 µg/m^3 (należy zaznaczyć, że z uwagi na konstrukcję miernika odnotowano przypadki zatrzymania pracy urządzenia po kilku godzinach z powodu nadmiernego obciążenia filtra pyłem- co wskazuje na możliwość występowania ekstremów o wyższych stężeniach – miernik nie kontynuuje pracy w takim przypadku).
W całym okresie pomiarowym występowały dni z przekroczeniem stężenia dobowego 50 µg/m^3. W odróżnieniu do poprzednich lokalizacjach wzrost ten należy bezpośrednio wiązać z oddziaływaniem emisji komunikacyjnej z nałożeniem się tła emisji ze spalania paliw w celach grzewczych.
W porze letniej stężenia w punkcie komunikacyjnym, były zdecydowanie niższe i przyjmowały wartości z przedziału 14,8 – 58,82 µg/m^3. W tym sezonie odnotowano także mniejszą zmienność stężeń niż w pozostałych porach roku. Odchylenie standardowe latem wynosiło 10,55 µg/m^3, natomiast zimą 57,31 µg/m^3 (zmienność mniejsza niż na stacjach tła dla $PM_{2,5}$ – co wskazuje na wysoki poziom stałej emisji z drogi). Najbardziej stabilna sytuacja w zakresie stężeń pyłu PM_{10} występuje w miesiącach maj – październik odchylenie standardowe występuje w zakresie 10,32- 13,4 µg/m^3. Stężenie średniomiesięczne 28,23-36,58 µg/m^3. Można szacować ze nawet 20 µg/m^3 to przeciętny udział emisji komunikacyjnej w tym stężeniach w tym punkcie.
Wartości minimalne dla miesięcznych serii stężeń PM_{10} w stacji komunikacyjnej są relatywnie wysokie i wynoszą od 14,87- 43,6 µg/m^3, dla stacji tła i $PM_{2,5}$ wynosiły w tym okresie od 5,55-28,03 µg/m^3. Wartości te można uznać za poziom (stężenie PM_{10}) tła komunikacyjnego wartość ta jest zbliżona do oszacowania w oparciu o zmienność stężeń i średnie z okresu niegrzewczego.
Uzyskane wartości wskazują na istnienie poważnego problemu w zakresie poziomu narażenia mieszkańców aglomeracji na PM_{10} pochodzący z komunikacji. Dotyczy to zarówno mieszkańców aglomeracji w obszarach sąsiadujących z obiektami drogowymi jak też uczestników ruchu i wymagają podjęcia natychmiastowych działań ukierunkowanych na poprawę jakości powietrza. Niepokojący jest fakt dużej stabilności wysokich poziomów stężeń. Analizy wymaga poprawne oszacowanie stężeń powodowanych komunikacją w programach ochrony powietrza i w ocenach rocznych – zasadne jest przy tym zwiększenie stacji komunikacyjnych).

Charakter zmienności i struktura emisji jednoznacznie podkreśla antropogeniczny charakter pochodzenia pyłów na stacji komunikacyjnej w Katowicach potwierdza też wcześniejsze badania prowadzone w obszarach narażonych na oddziaływanie emisji drogowej.
Nawet droga o wysokich parametrach ruchu i nowoczesnej konstrukcji nie gwarantuje dotrzymania standardów bez podejmowania działań technicznych i organizacyjnych i wyznaczenia obszarów, gdzie nie powinno lokalizować się zabudowy przeznaczonej na stały pobyt ludzi.

2.2.5.2. Skład chemiczny pyłu zawieszonego PM_{10}

W punkcie pomiarowym (stacji komunikacyjnej) w **Katowicach** stwierdzono najwyższe stężenia metali w pyle $PM_{2,5}$ w odniesieniu do pozostałych punktów prowadzenia badań (z wyjątkiem kadmu).W składzie oznaczanych metali dominujący udział ma w kolejności żelazo , glin, następnie ołów, tytan, nikiel, arsen i kadm. Należy stwierdzić, że z jednej strony wynika to z ogólnie wyższych stężeń pyłu z drugiej strony podobnie jak w Gdańsku są to zanieczyszczenia związane z emisja antropogeniczną w szczególności związane z komunikacją i resuspensją pyłu drogowego – o czym świadczy duża zawartość żelaza.
Poziom stężeń węglowodorów aromatycznych jest zbliżony do stężeń na stacji tła ($PM_{2,5}$), ponieważ WWA związane są głównie z tą frakcją. Można przyjąć, że w odniesieniu do WWA stężenia przy ciągach komunikacyjnych są sumą oddziaływań lokalnych drogi i tła regionalnego. Z uwagi na brak danych $PM_{2,5}$ w tej samej lokalizacji trudno jest wnioskować o wkładzie źródeł komunikacyjnych (z analiz trajektorii wynika , że tło regionalne odgrywa istotną rolę w kształtowaniu się stężeń PM_{10} przy drogach).
Stężenia węglowodorów aromatycznych, analogicznie do stężeń PM_{10}, wykazują tendencje wzrostową w chłodnej porze roku. W przypadku benzo(a)pirenu średnie stężenie w zimie było 57 razy wyższe niż latem. Zdecydowały o ty bardzo wysokie stężenia w miesiącach styczeń, listopad i grudzień 2010r. Jedynie w lipcu i sierpniu stężenia ww. substancji były niższe niż 1 ng/m^3. Wskazuje to jednoznacznie na pochodzenie WWA ze spalania paliw kopalnych w celach grzewczych i emisji ze środków transportu.
Wśród badanych WWA dominuje benzo(a)antracen jego stężenia było prawie dwukrotnie wyższe niż benzo(a) pirenu.
Wśród oznaczanych anionów dominujący udział mają jony siarczanowe i azotanowe(odpowiednio 6,6 i 5,4 µg/m^3). Ich stężenia były wyższe niż w stacji tła $PM_{2,5}$ w Katowicach co wskazuje na ich większy udział we frakcji pyłów grubych.
Dla kationów, zwiększone stężenia odnotowano w przypadku sodu – 1,5 µg/m^3 i wapnia 0,39 µg/m^3. Podobnie jak w innych lokalizacjach latem odnotowano znaczący spadek udziału jonów azotowych – w okresie zimowym dominują siarczany wysoki jest udział związków azotu, natomiast w sezonie letnim zdecydowanie wzrasta udział siarczanów kilkakrotnie w stosunku do jonów amonowych i azotanowych. Tak znaczny ubytek azotu w okresie letnim może wynikać z przemian fotochemicznych tlenków azotu emitowanych w procesach spalania w obszarze aglomeracji.
W chłodnej porze roku zdecydowanie wzrasta zawartość chlorków w PM_{10}, co może być związane ze zwiększoną emisją związków chloru ze spalania paliw, ale także z posypywania dróg solą (w sezonie zimowym w stosunku do lata udział chlorków wzrasta o rząd podobnie dzieje się z jonem sodowym). Może to wskazywać na efekt stosowania soli na drogach i jej resuspensji w wyniku ruchu pojazdów.

Udział węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC) w stężeniach PM_{10} jest bardzo wysoki – średnio 9,75 µg/m^3 (EC) i 7,43 µg/m^3 (OC). W sezonie grzewczym wstępuje wyraźny wzrost udziału frakcji EC – co wskazuje na spalanie jako źródło związków węgla.

Podobnie jak dla Diablej Góry stwierdzono, że metoda oznaczania może powodować przeszacowanie udziału EC (inny sposób zaliczania karbonizatu do frakcji EC w analizatorze Behr i Sanset Lab.). Z tego powodu bardziej miarodajna jest ocena TOC – sumarycznego węgla organicznego – wskazuje ona, że związki węgla stanowią istotny makroskładnik $PM_{2,5}$ w Katowicach.
Jak wspomniano wcześniej, pomimo niedoszacowania, zawartość związków węgla decyduje o składzie chemicznym PM_{10} i jednoznacznie wskazuje na spalanie paliw jako podstawowy problem w zakresie zagrożeń powodowanych przez PM_{10} w obszarach komunikacji.

2.3. Podsumowanie wyników pomiarów stężeń i badania składu chemicznego pyłu

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

- na stacji tła miejskiego w aglomeracji śląskiej (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).
- stacji tła miejskiego w Gdańsku (duża aglomeracja miejska, w obszarze oddziaływania przemysłu, transportu drogowego, Morza Bałtyckiego), w obszarze oddziaływania klimatu morskiego i narażonej na adwekcję zanieczyszczeń z centralnej i południowej części kraju, gdzie koncentruje się przemysł energetyczny bazujący na węglu kamiennym i brunatnym.
- stacji tła regionalnego (krajowego) w Diablej Górze (obszar rolniczo leśny, o niskiej antropopresji, spełniający kryteria stacji tła EMEP).

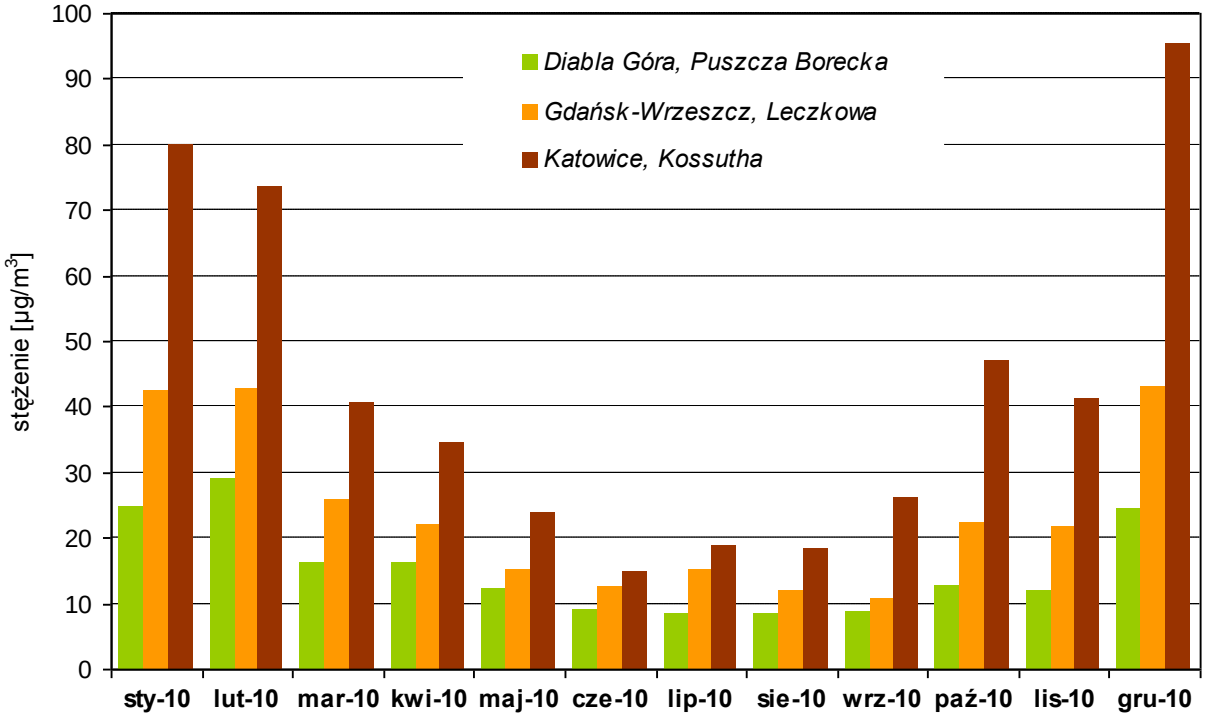
Ponadto prowadzono pomiar stężeń PM_{10} w dwóch lokalizacjach:

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

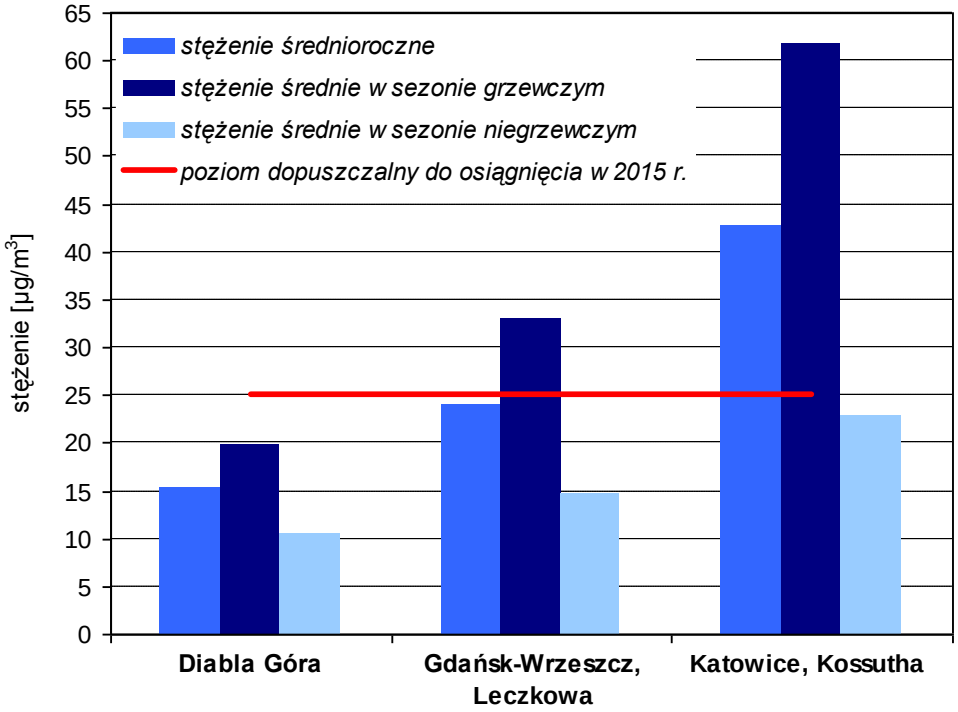
Wyniki pomiarów stężeń oraz analizy składu chemicznego ilustrują podstawowe (typowe) problemy wynikające z obecnej struktury emisyjnej w kraju. Wyniki te obrazują jednocześnie stan świadomości ekologicznej, poziom i efektywność zarządzania jakością powietrza w skali lokalnej i globalne podejście do problematyki 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 mim emisję z energetycznego spalania rzutującą w decydujący sposób na poziom stężeń. Różnice stężeń wynikają z odległości o pierwotnych, źródeł emisji i uzależnione są od koncentracji niskich emitorów.
Maksymalne stężenia występują w obszarze aglomeracji śląskiej o największej emisji, stężenia w aglomeracji gdańskiej są o połowę niższe w stacji tła stanowią ok. ¼ stężeń notowanych na Śląsku (Rysunek 2.3.1.) W obszarze śląska odnotowano znaczące przekroczenie poziomu dopuszczalnego 25 $\mu g/m^3$. O wysokości stężeń we wszystkich lokalizacjach decyduje sezon zimowy (Rysunek 2.3.2.) 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 2.3.3. przebiegi średnich miesięcznych stężeń pyłu 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 występowaniem sytuacji stagnacyjnych na dużych obszarach (rejony 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 liczby dni z przekroczeniem normy PM_{10}. Wynika to bezpośrednio z warunków klimatycznych w okresie chłodnej pory roku (liczba dni z niską temperaturą). Stosowanie paliw kopalnych tj. węgiel brunatny (centralna Polska), drewna i węgla kamiennego do opalania zasobów komunalnych, skutkuje przekroczeniami stężeń dobowych. Na emisje ze spalania w sektorze energetycznym nakłada się wysokie tło regionalne i emisja komunikacyjna. Efektem są odnotowywane przekroczenia poziomów dobowych, co z powodu wysterowania długich okresów zimnych skutkuje naruszeniem standardów.
Na rysunkach 2.3.5.- 2.3.14. przedstawiono zmienność stężeń dobowych w roku w odniesieniu do norm i 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 deszczu. Jak wspomniano wcześniej wysokość stężeń związana jest z lokalizacją, z której wynika narażenie na emisję niską wynikającą ze struktury użytkowania energii i oddziaływanie wtórnych zanieczyszczeń – tło powodowane przez wtórny aerozol nieorganiczny.
Przeprowadzone badania składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}, wykazały małe zróżnicowanie jego składu. Ilustrują to udziały badanych substancji w masie pyłu w układzie średnim rocznym i sezonowo rysunki 2.3.15.- 2.3.19.
Wyniki świadczą o zdecydowanie antropogenicznym ich pochodzeniu. W składzie pyłu $PM_{2,5}$ dominują składniki emisji pierwotnej: związki węgla, w tym pierwiastki typowe dała produktów spalania (np. popioły lotne zwierające żelazo i alkalia), metale ciężkie, WWA. Stwierdzono znaczący udział wtórnego aerozolu organicznego siarczanów i azotanów, 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. metoda XRF (ponad 40 pierwiastków), które pozwalają na konstrukcję pełnego profilu chemicznego – odpowiadającego profilom stosowanych w uznanych w świecie modelach receptorowych (do identyfikacji źródeł pochodzenia pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10}).
Stwierdzone różnice stężeń wynikają raczej ze stężeń pyłu 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.
Jedynie w obszarach nadmorskich można oczekiwać 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 $\mu g/m^3$), zatem odjęcie

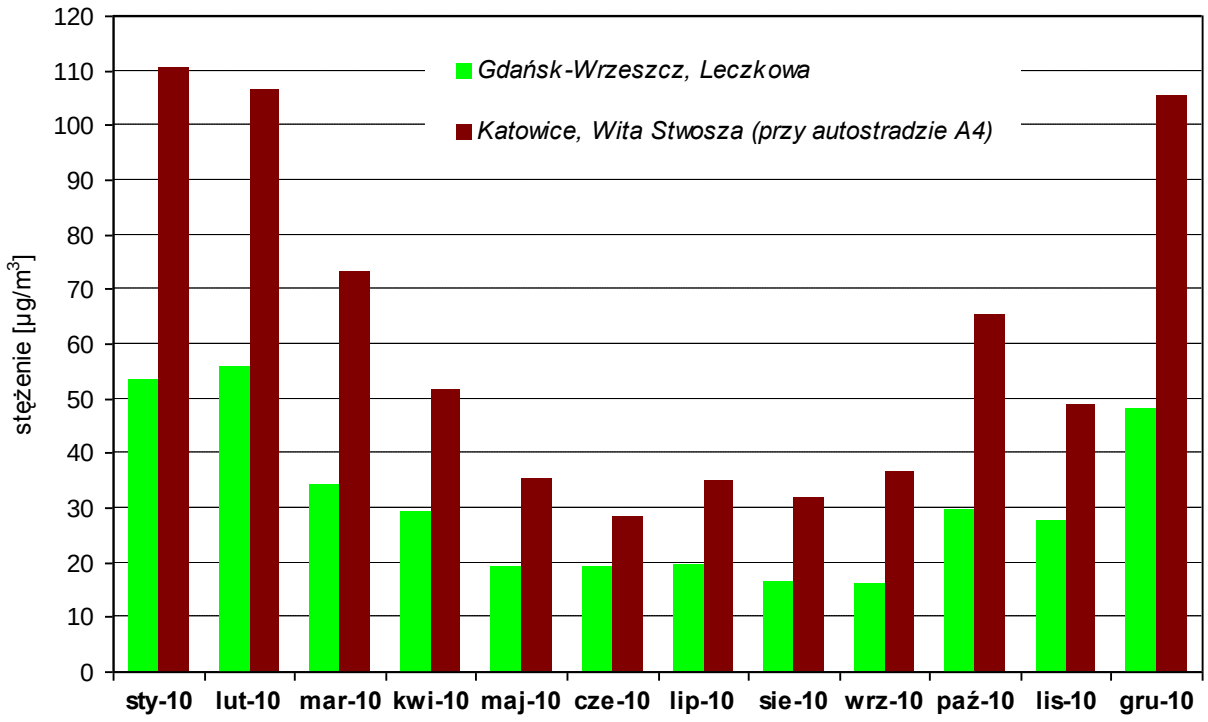
udziału aerozolu morskiego nie da spodziewanych efektów w zakresie ograniczenia stężenia średniorocznego czy też liczby epizodów.



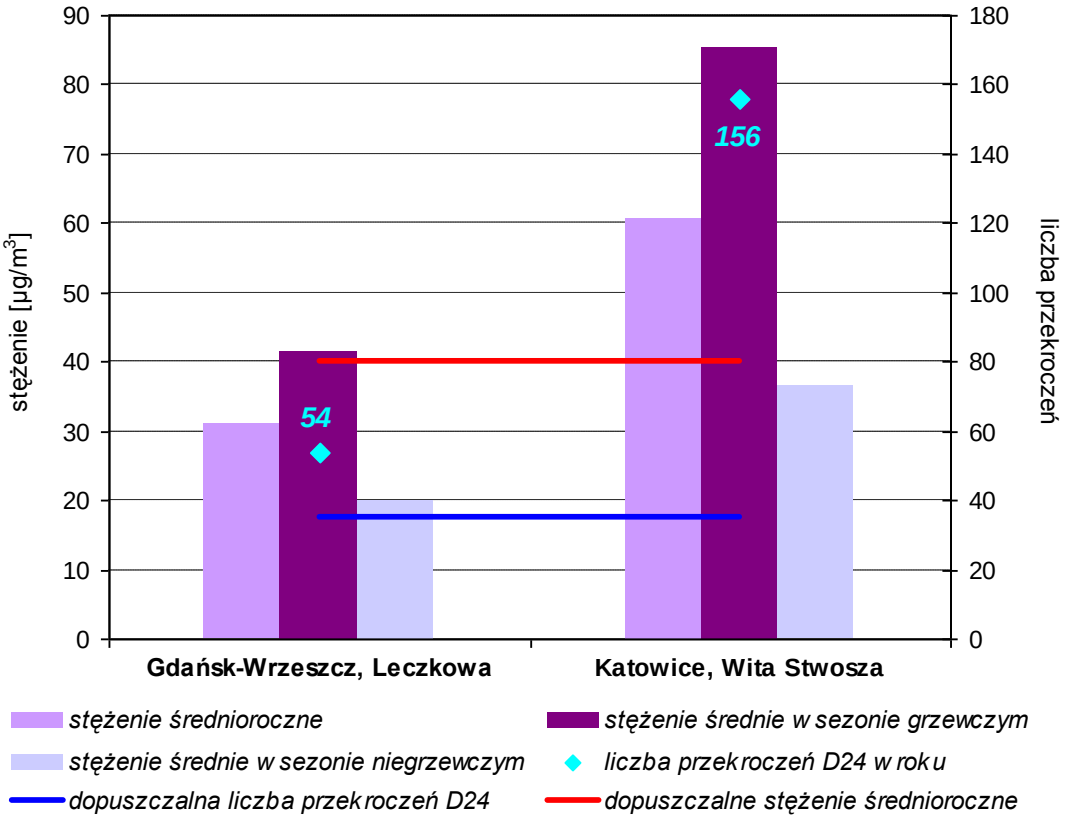
Rysunek 2.3.1. Średnie miesięczne stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych



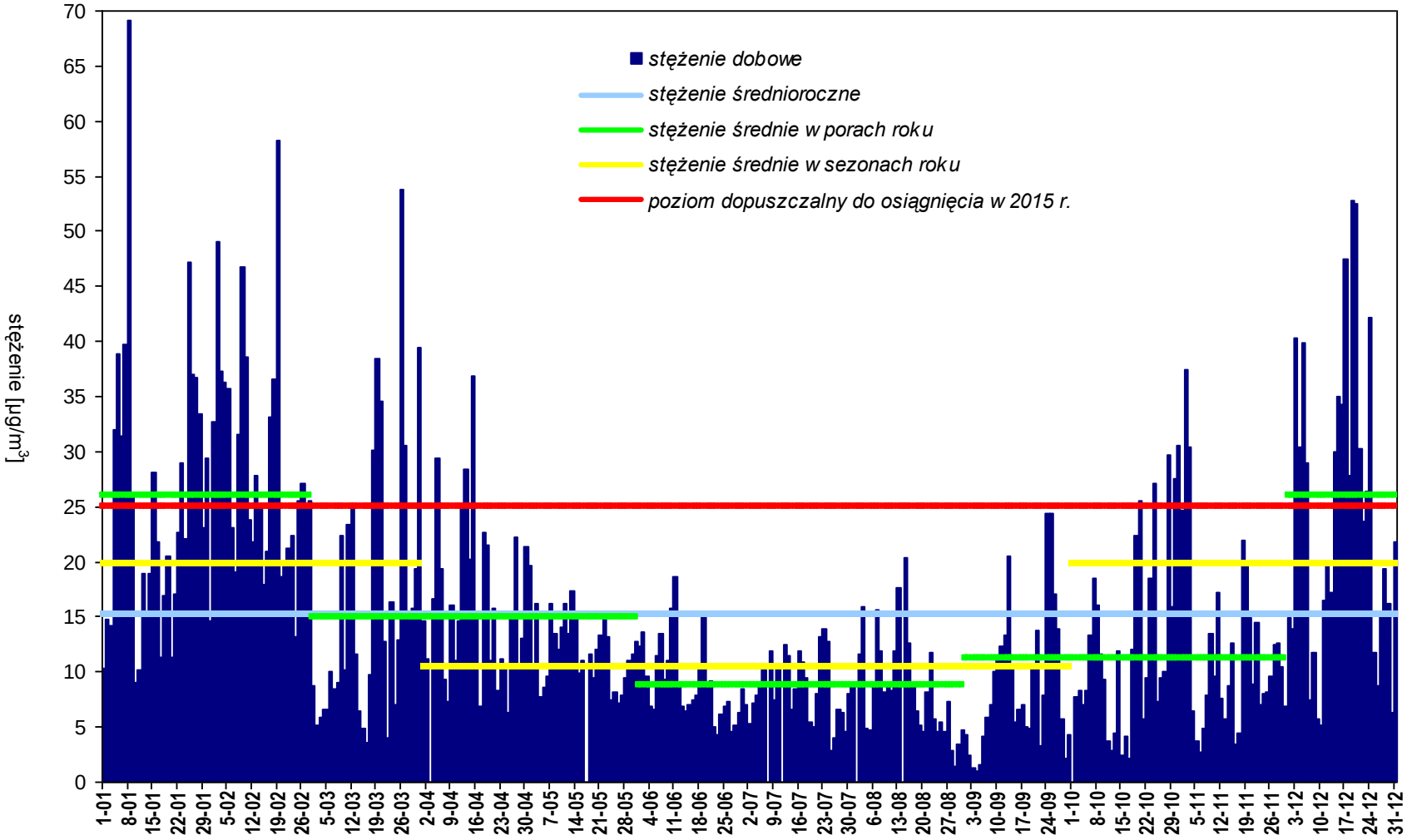
Rysunek 2.3.2. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu $PM_{2,5}$ z poziomem dopuszczalnym w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych



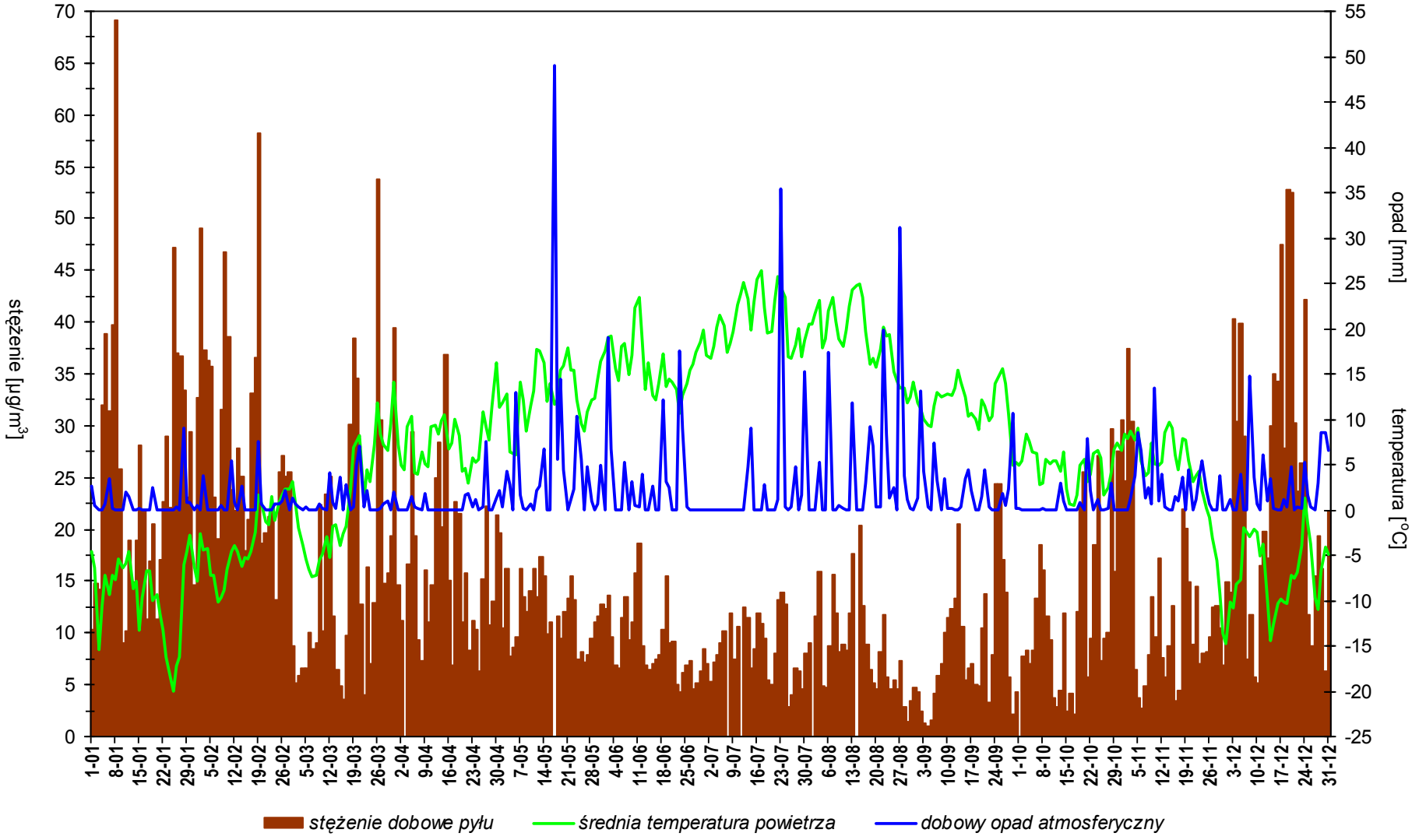
Rysunek 2.3.3. Średnie miesięczne stężenia pyłu PM_{10} w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych



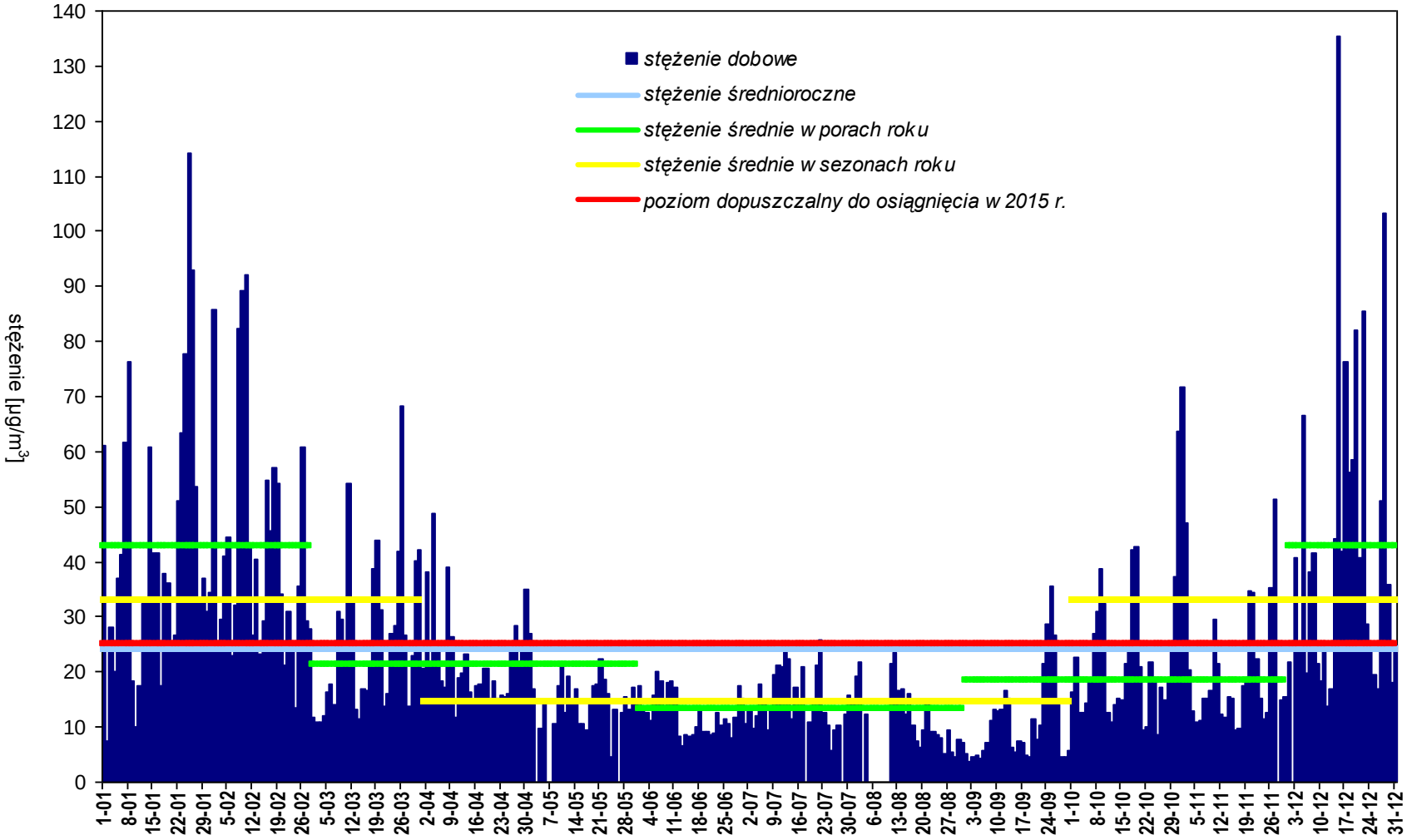
Rysunek 2.3.4. Porównanie średnich rocznych i sezonowych stężeń pyłu PM_{10} z poziomem dopuszczalnym w 2010 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych



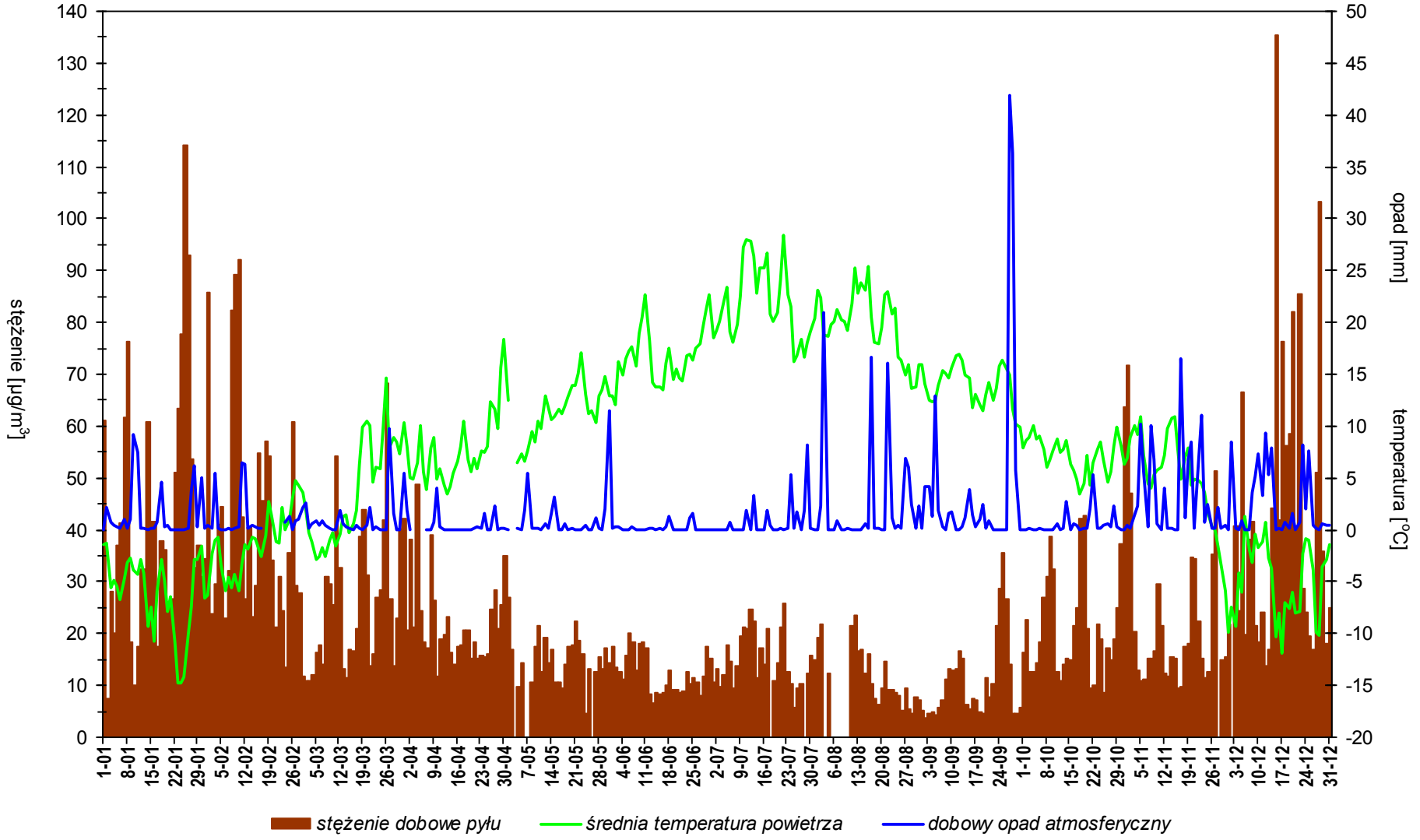
Rysunek 2.3.5. Stężenia dobowe pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku



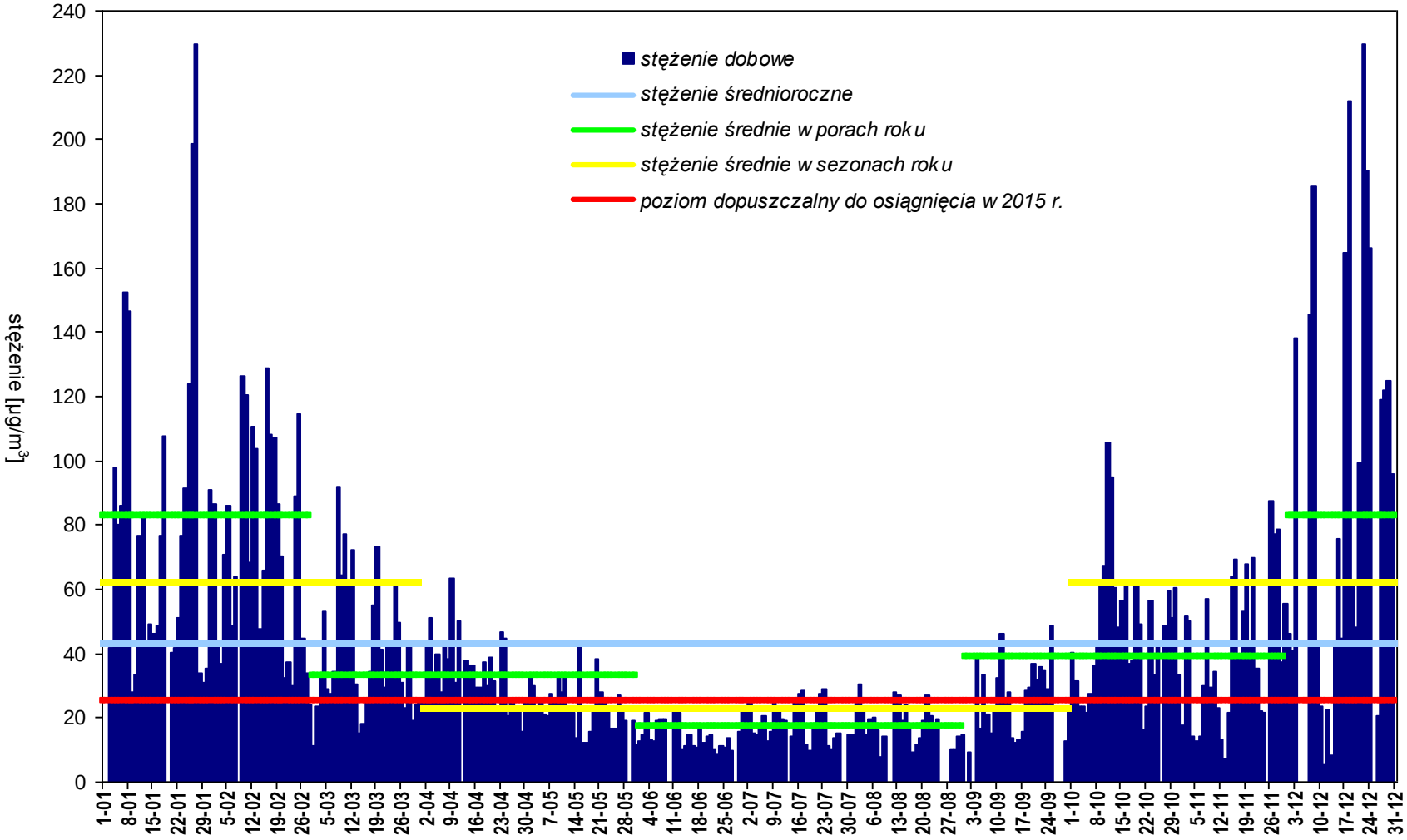
Rysunek 2.3.6. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej w 2010 roku



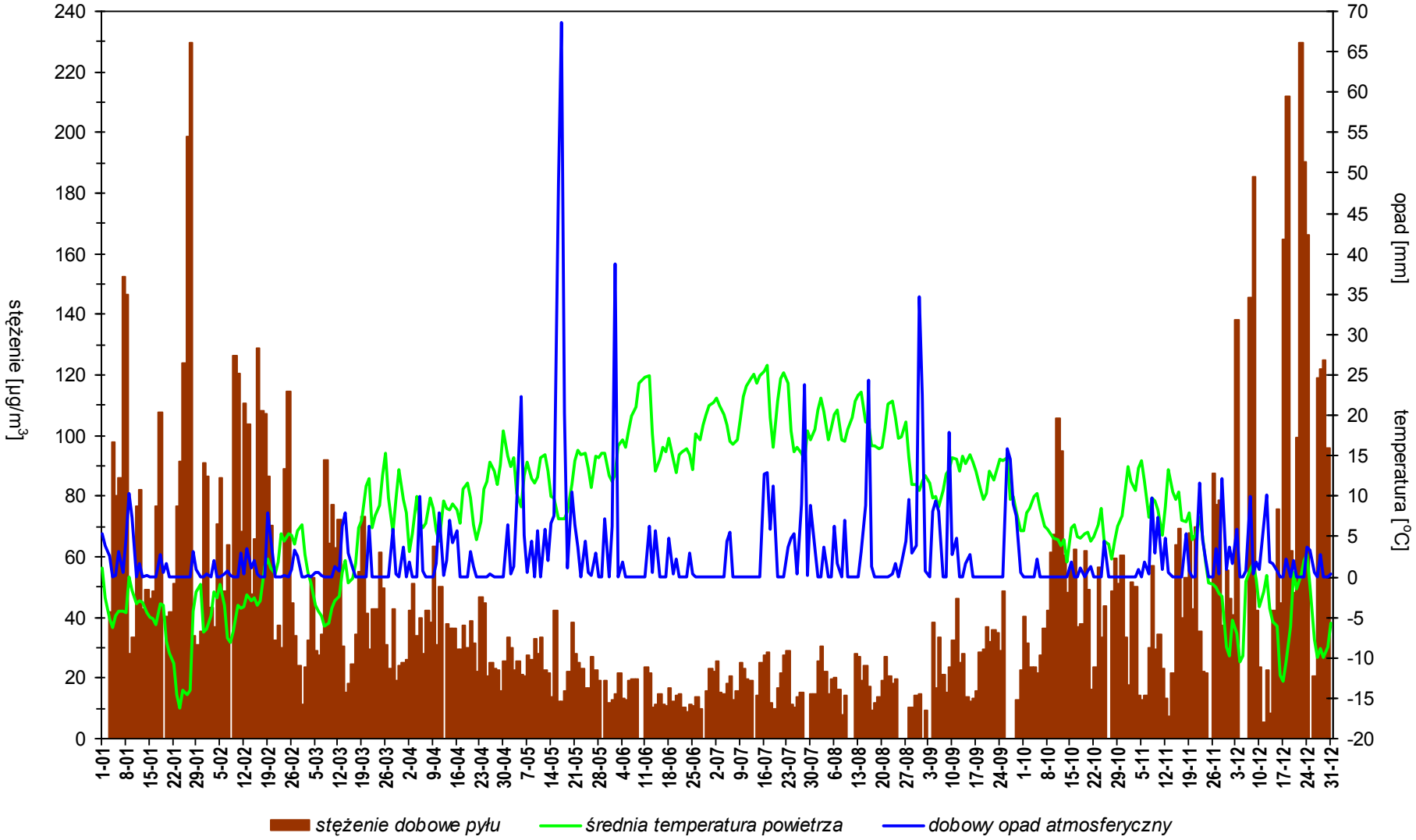
Rysunek 2.3.7. Stężenia dobowe pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku



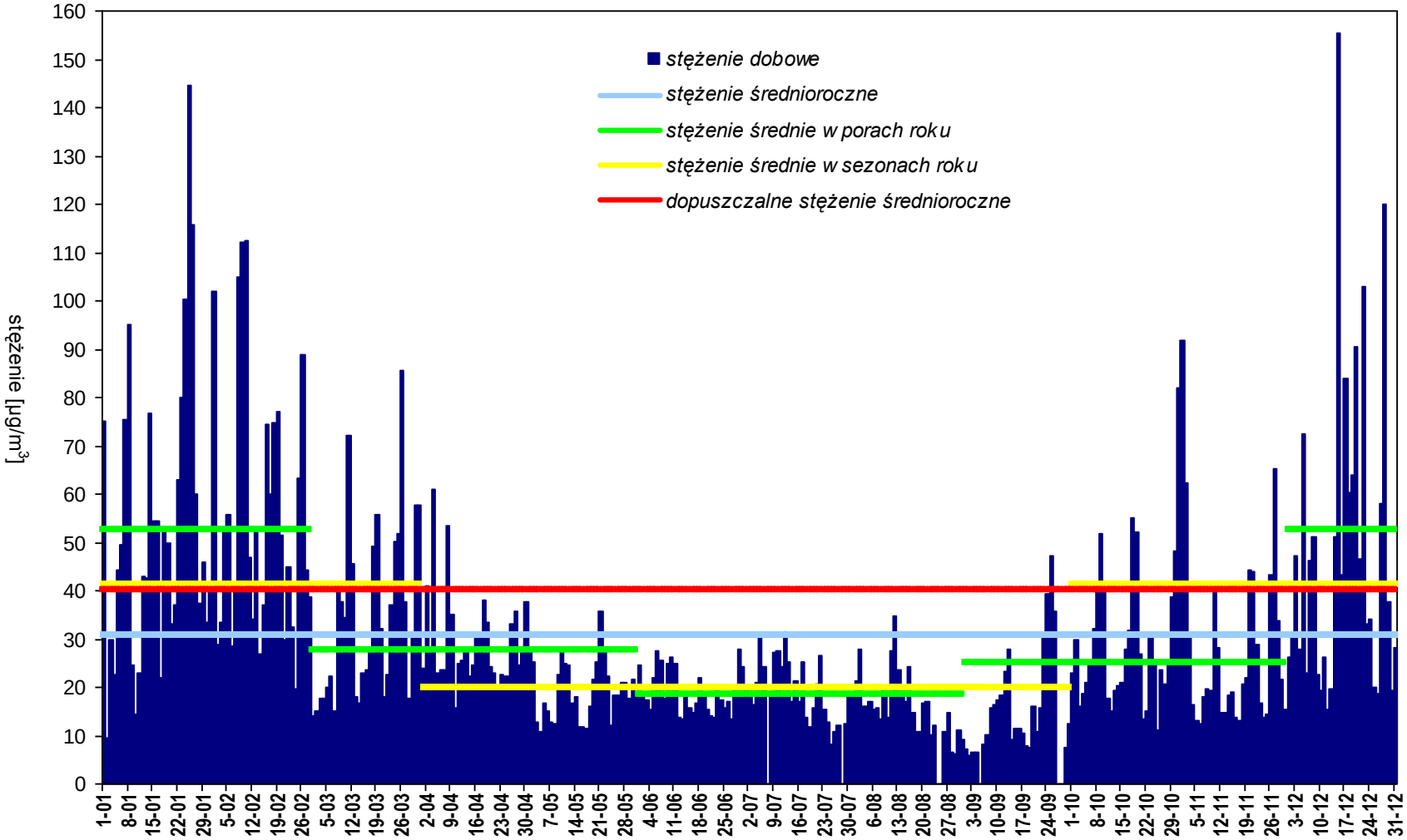
Rysunek 2.3.8. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku



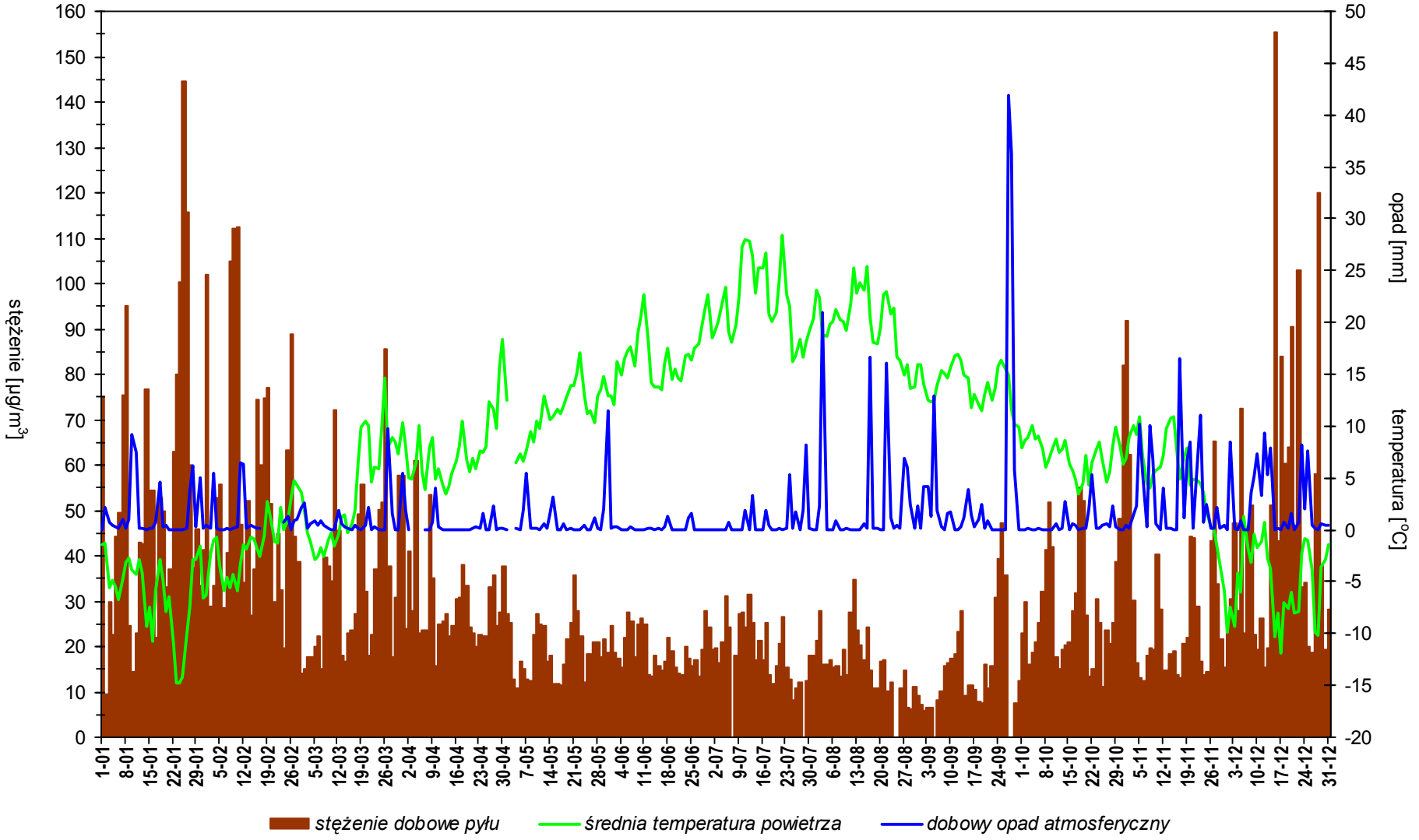
Rysunek 2.3.9. Stężenia dobowe pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha w 2010 roku



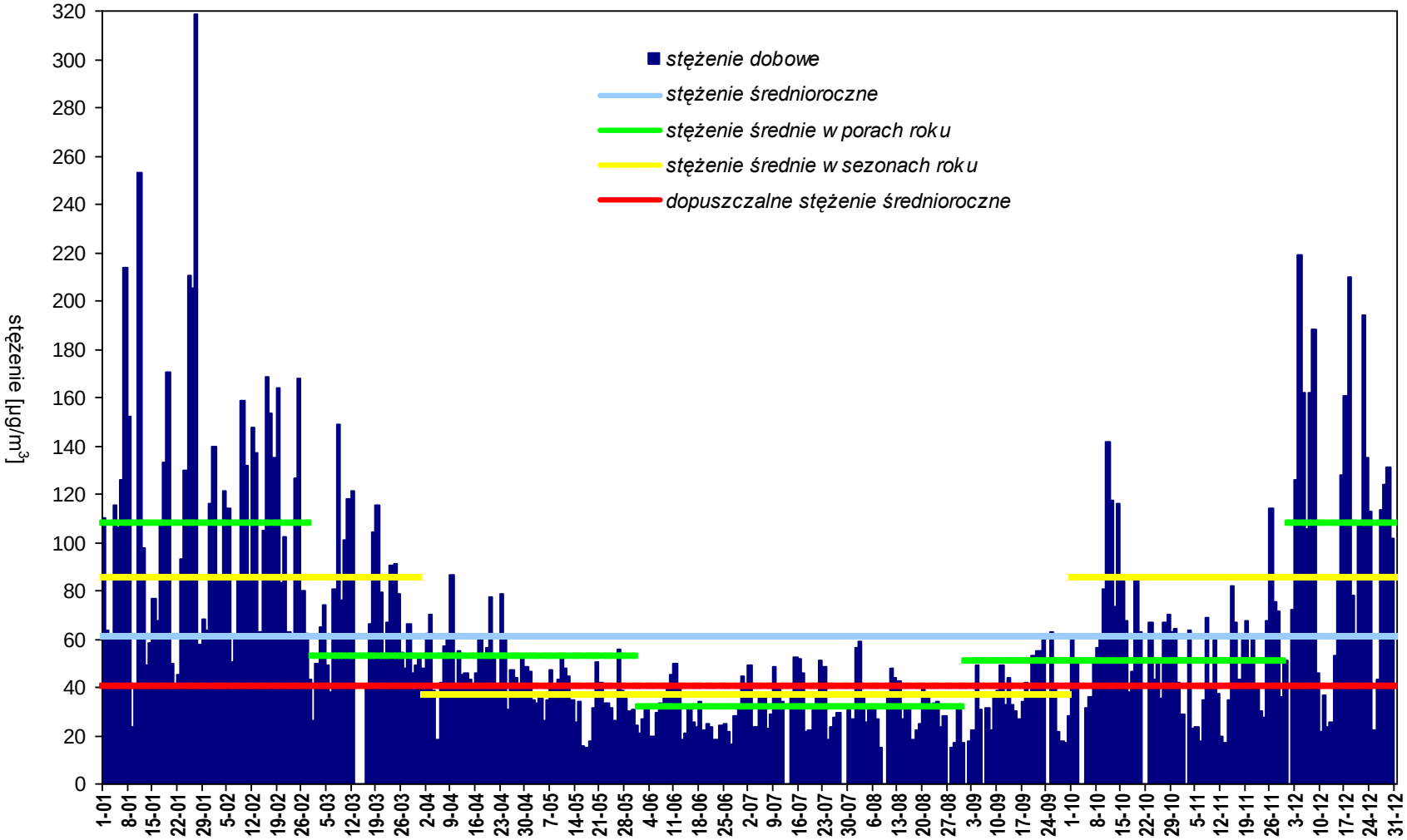
Rysunek 2.3.10. Zależność stężeń pyłu $PM_{2,5}$ od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha w 2010 roku



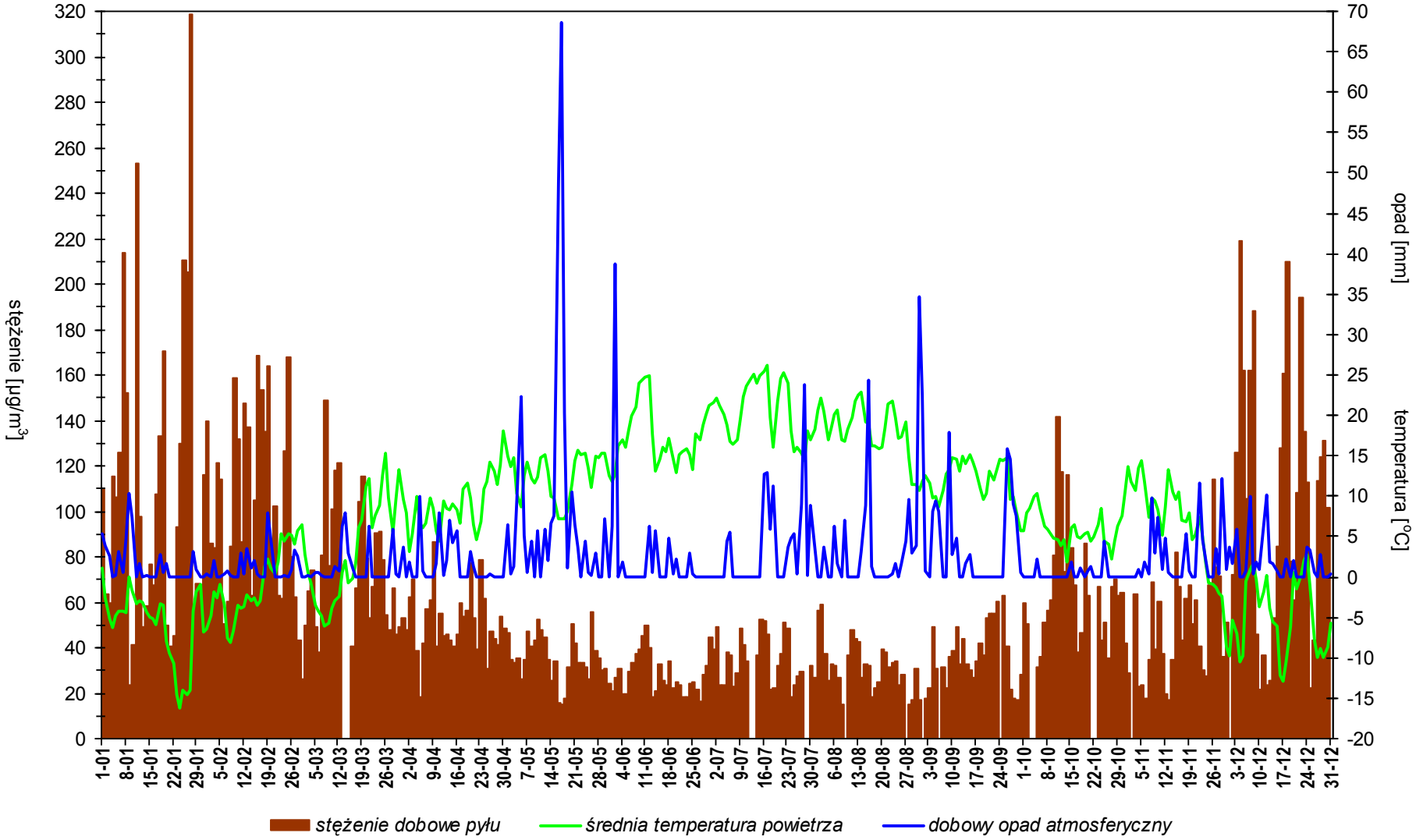
Rysunek 2.3.11. Stężenia dobowe pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku



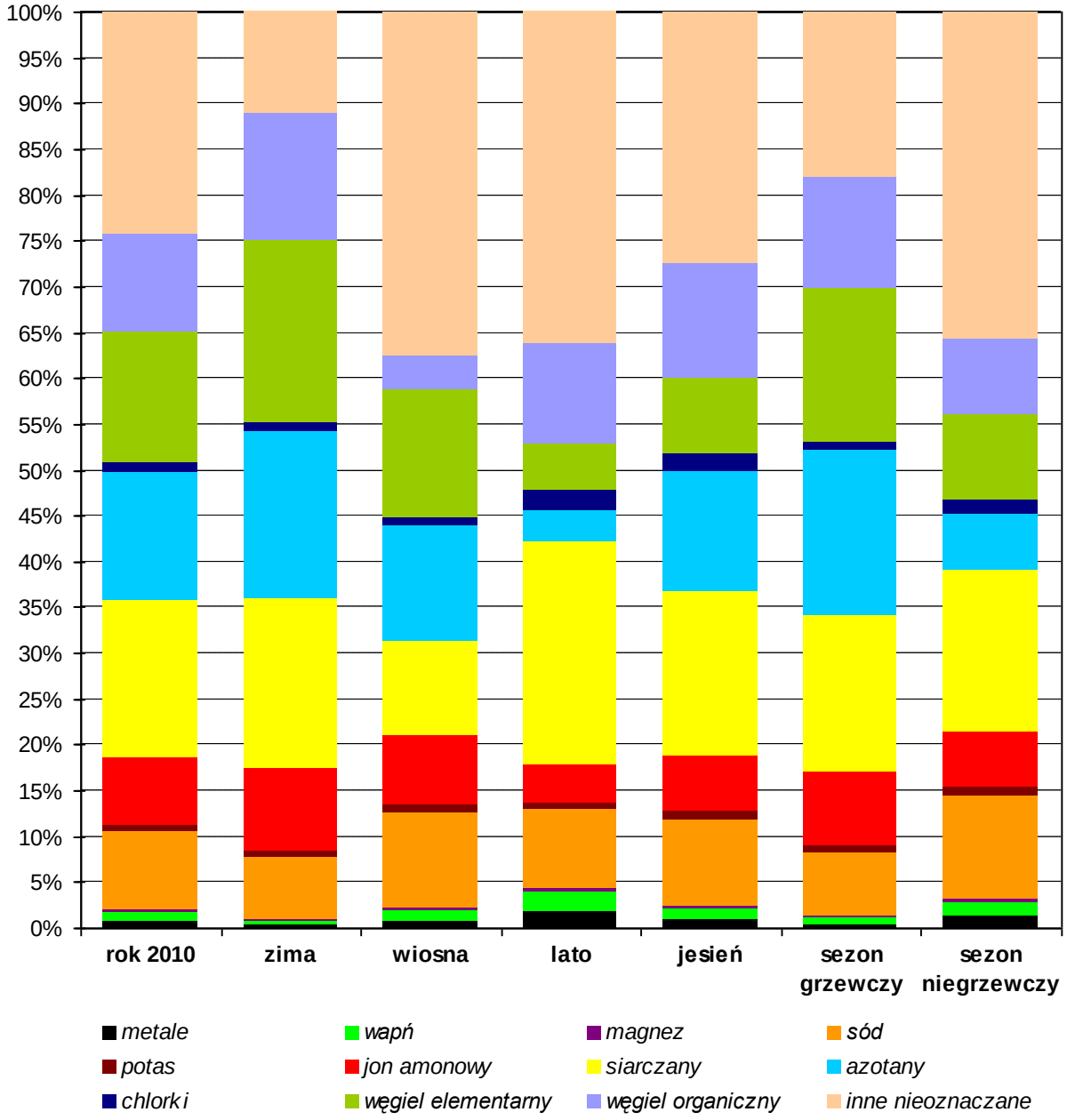
Rysunek 2.3.12. Zależność stężeń pyłu PM_{10} od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa w 2010 roku



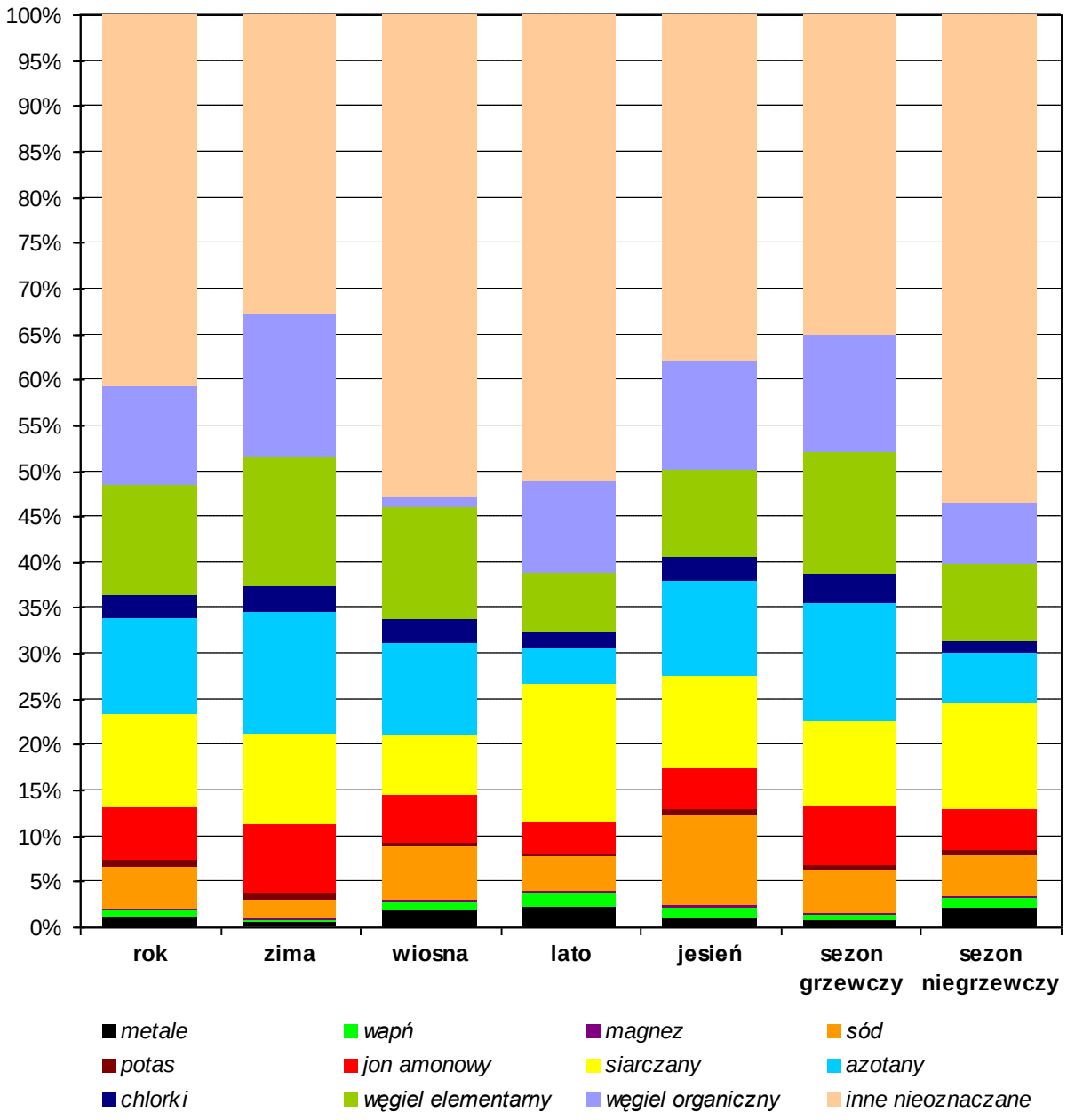
Rysunek 2.3.13. Stężenia dobowe pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4) w 2010 roku



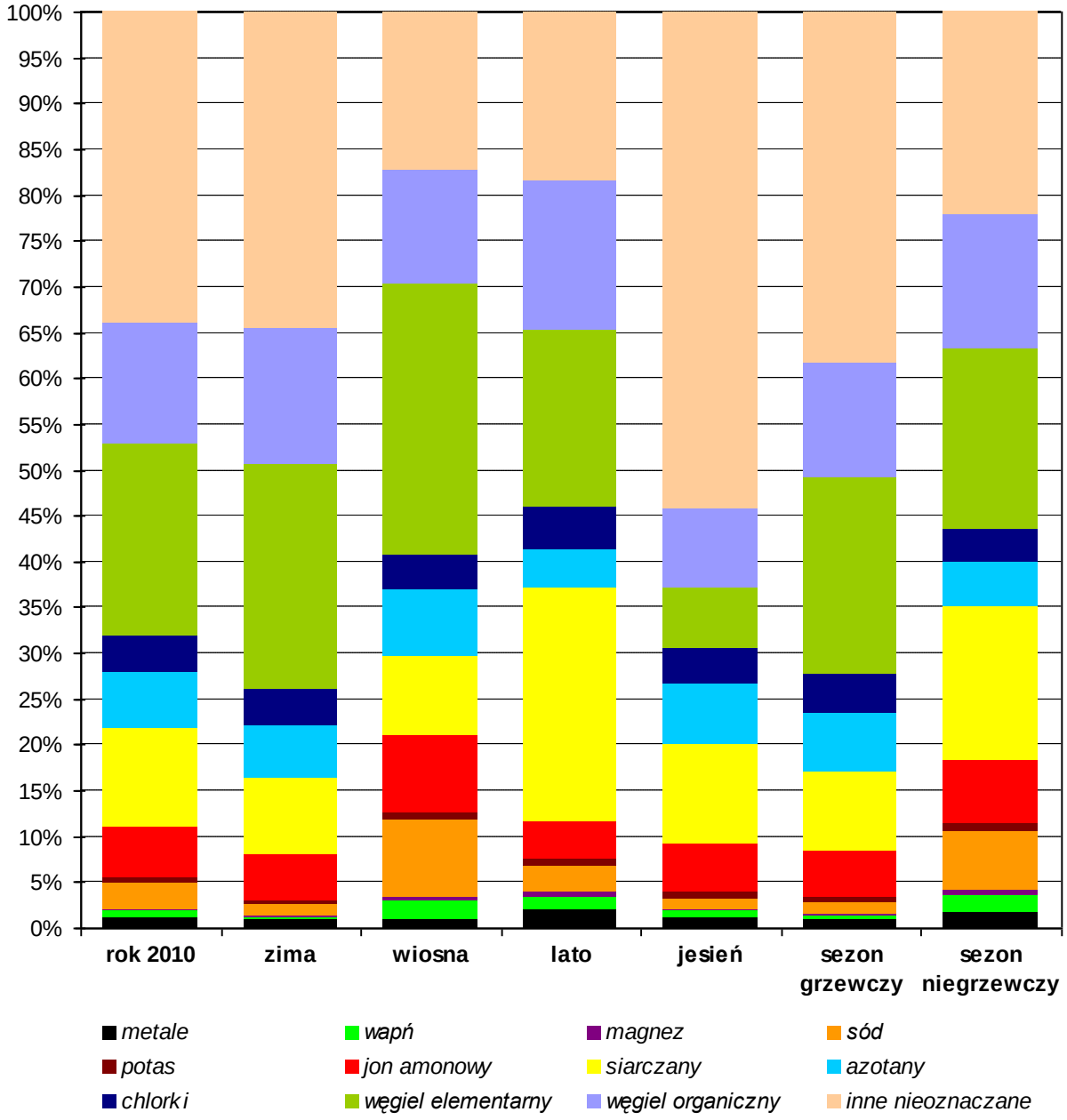
Rysunek 2.3.14. Zależność stężeń pyłu PM_{10} od temperatury powietrza i opadu atmosferycznego na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4) w 2010 roku



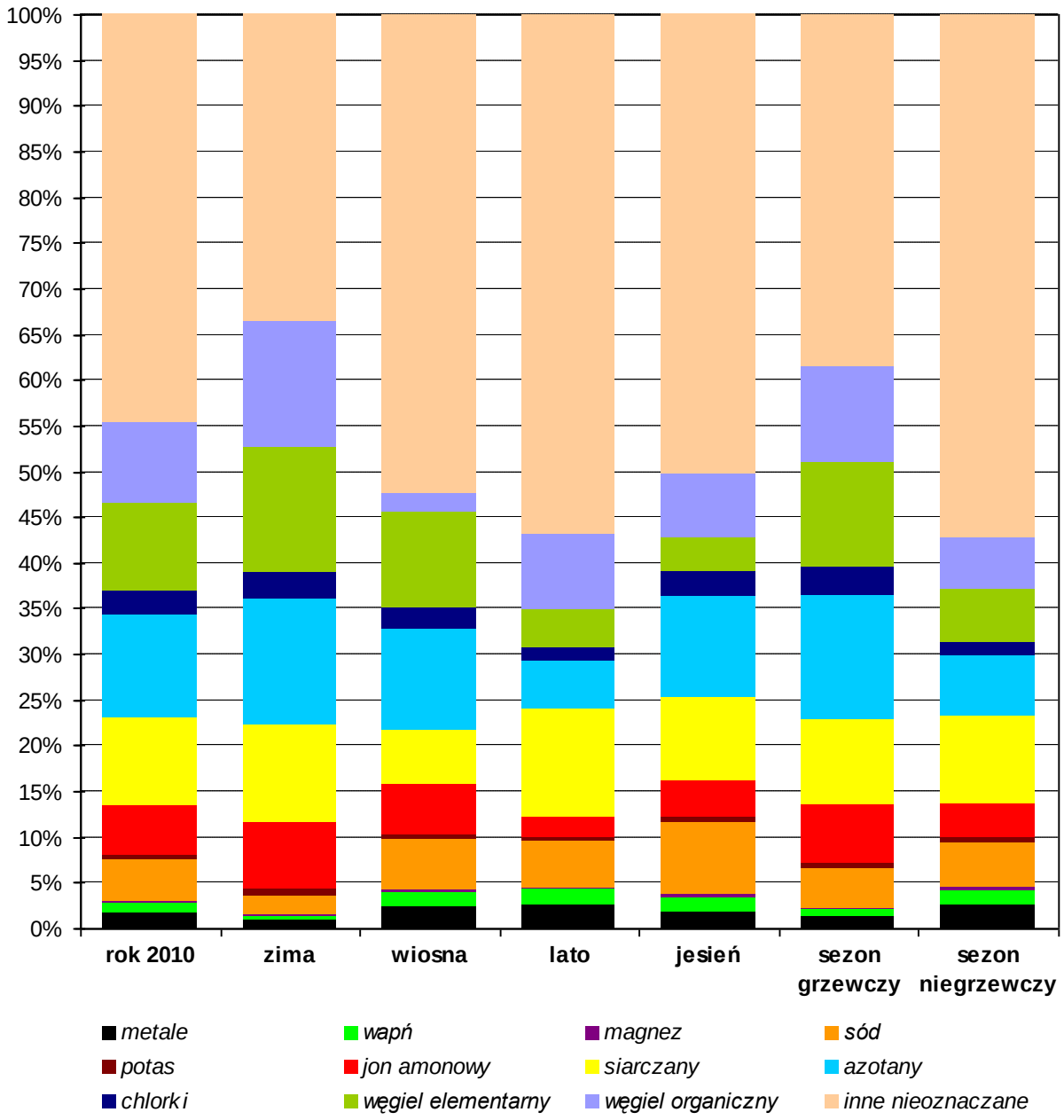
Rysunek 2.3.15. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła regionalnego Diabla Góra w Puszczy Boreckiej



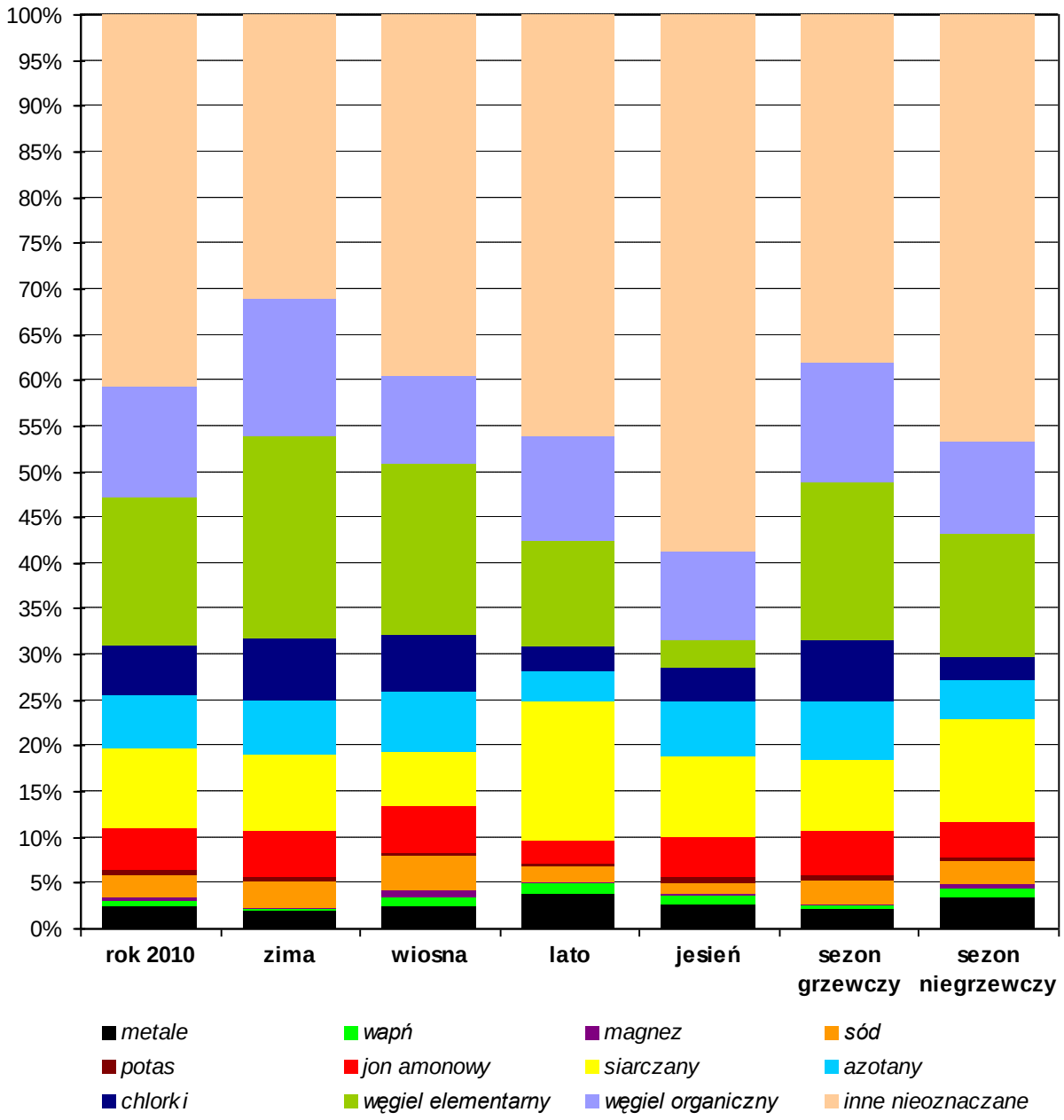
Rysunek 2.3.16. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa



Rysunek 2.3.17. Skład chemiczny pyłu $PM_{2,5}$ na stacji tła miejskiego w Katowicach, ul. Kossutha.



Rysunek 2.3.18. Skład chemiczny pyłu PM_{10} na stacji tła miejskiego w Gdańsku-Wrzeszczu, ul. Leczkowa



Rysunek 2.3.19. Skład chemiczny pyłu PM_{10} na stacji komunikacyjnej w Katowicach, ul. Wita Stwosza (przy autostradzie A4)

3. Analiza wpływu źródeł naturalnych oraz posypywania dróg solą i/lub piaskiem na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem

Badania składu chemicznego różnych frakcji pyłu zawieszonego oraz identyfikacja źródeł ich pochodzenia były przedmiotem wielu prac (Hueglin i inni, 2005; Sillanpää i inni, 2006;Rajšić i inni, 2008; Morata i inni,. 2008, Viana i inni, 2008; Perez i inni, 2008; Vecchi i inni, 2008; Jasan i inni, 2009, Terzi i inni, 2010). Pokazano w nich, między innymi, że wstępne rozpoznanie prawdopodobnego wpływu różnych źródeł emisji pyłu na jego stężenia w każdej niemal lokalizacji można przeprowadzić stosując tzw. chemiczny bilans masy pyłu.

Na podstawie danych o składzie chemicznym próbek pyłu (Rozdział 2) sporządzono chemiczny bilans (dopełnienie) masy pyłu w każdej z pięciu lokalizacji. Składniki pyłu podzielono na siedem klas, które wymieniono i scharakteryzowano w Tabeli 3.1. Klasy te wybrano tak aby uzyskane wyniki pozwoliły w przyszłości porównać dane z pięciu lokalizacji wybranych w Polsce z danymi z innych krajów.

Wyniki przedstawiono na rysunkach 3.1. – 3.28. i w tabelach 3.2. – 3.17.

Tabela 3.1. Klasy składników pyłu wykorzystane w bilansie chemicznym masy pyłu.

Składnik	Skrót polski	Skrót angielski*	Metoda oszacowania
Nieorganiczny aerozol wtórny	NAW	SIA, secondary inorganic aerosol	Suma stężenia siarczanów pochodzenia innego niż morskie**, azotanów i jonu amonowego
Sól morska	SM	SS, Sea salt	Suma stężenia chloru i sodu***
Materia organiczna	MO	POM, particulate organic matter	Stężenie węgla organicznego pomnożone przez stały współczynnik 1,4****
Węgiel elementarny	WE	EC, elemental carbon	Stężenie węgla elementarnego
Materia mineralna	MM	CM lub MC, crustal matter/mineral components	Suma stężeń form tlenkowych Al, Ti, Mg, Ca, K, Fe, CO_3^{2-} i krzemionki SiO_2
Metale ciężkie	MC	HM, heavy metals	Suma stężeń tlenków As, Ni, Cd i Pb
Materia nieoznaczona	MN	Unidentified matter	Stężenie pyłu pomniejszone o sumę NAW, SM, MO, WE, MM, MC

*przyjęto skróty i oznaczenia występujące najczęściej w literaturze,

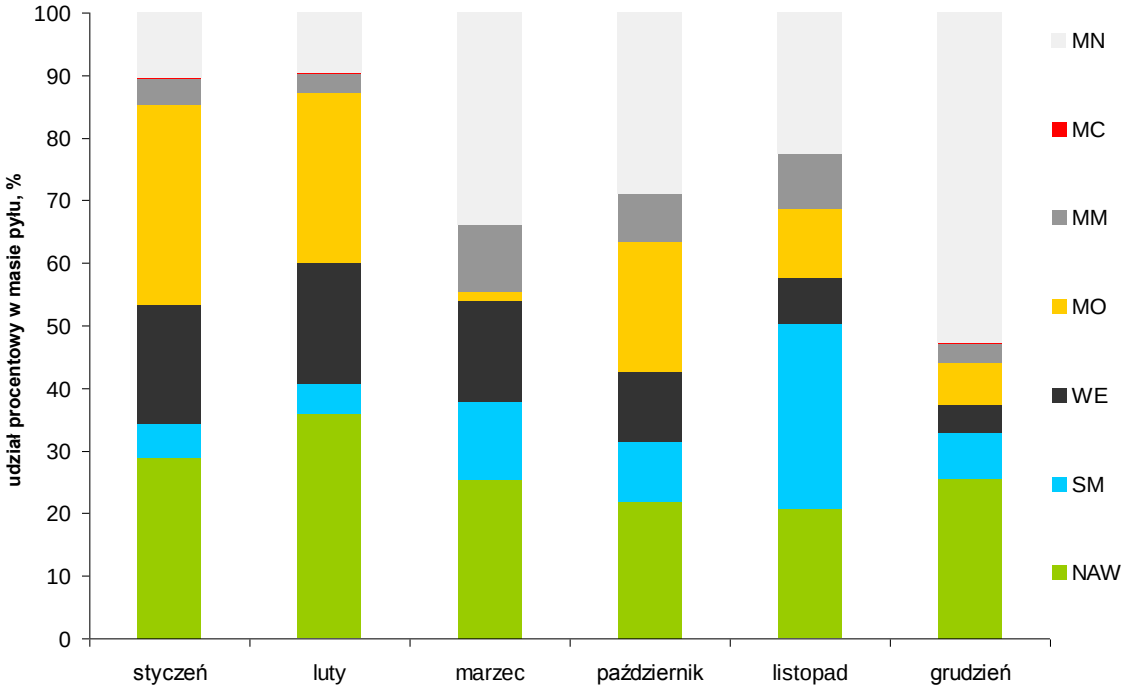
** oszacowano na podstawie odjęcia od stężenia siarczanów, stężenia siarczanów związanych ze składnikami pochodzenia morskiego (szacowane na podstawie stosunku molowego sodu i siarczanów w wodzie morskiej, np. Sillanpää et al., 2006)

*** stężenie sodu przemnożono przez współczynnik wynikający z udziału obu składników w wodzie morskiej i ich stosunku molowego (np. Maenhaut i inni, 2002; Sillanpää et al., 2006). Porównano wyniki uzyskane dzięki szacowaniu różnymi metodami (głównie bazujących na stężeniu sodu i wzajemnych stosunków stężeń pozostałych składników wody morskiej) i uznano, że ze względu na fakt iż metoda ma być wspólna dla wszystkich lokalizacji (nie tylko nadmorskich) powinna uwzględniać rzeczywiste stężenia chloru.

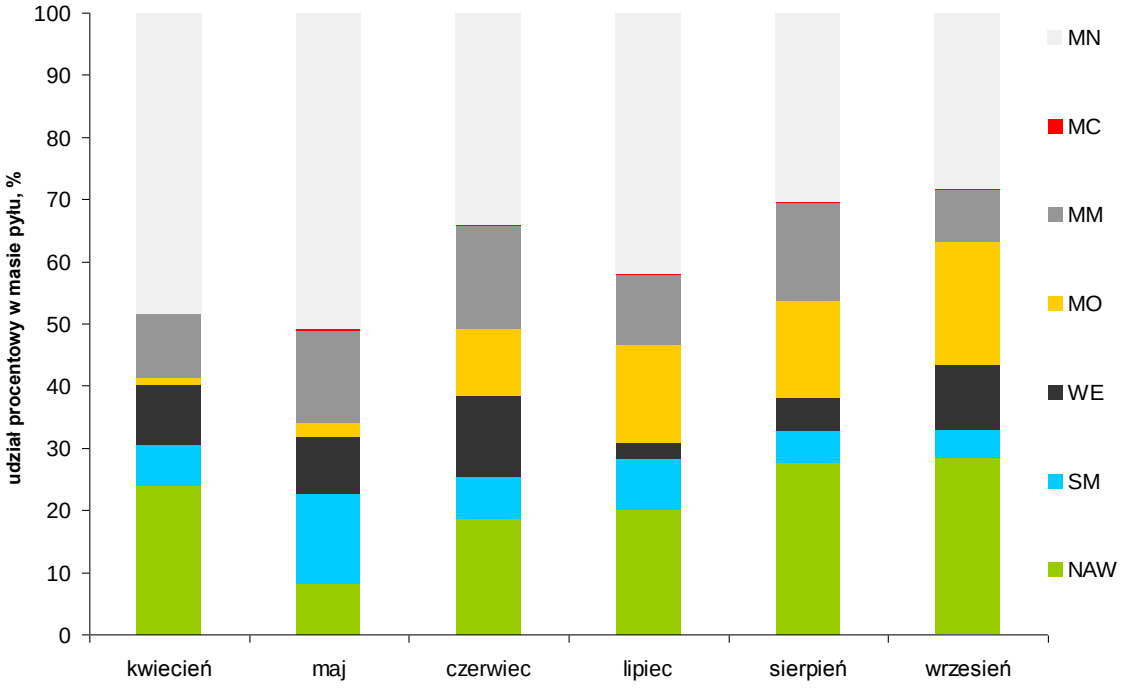
****jest to najczęściej używany współczynnik przeliczeniowy dla POM (Grosjean and Friedlander, 1975; Turpin i inni, 2000)

*****do obliczeń wykorzystano istniejące dane, a więc stężenia całkowite Al, Ti i Fe oraz stężenia rozpuszczonych w wodzie jonów Mg, Ca, K. Należy więc uściślić, że w przypadku Al, Ti i Fe do materii mineralnej teoretycznie wliczono wszystkie związki tych pierwiastków występujące w glebie, a w przypadku Mg, Ca i K do materii mineralnej zaliczono tylko ich rozpuszczalną w wodzie frakcję.

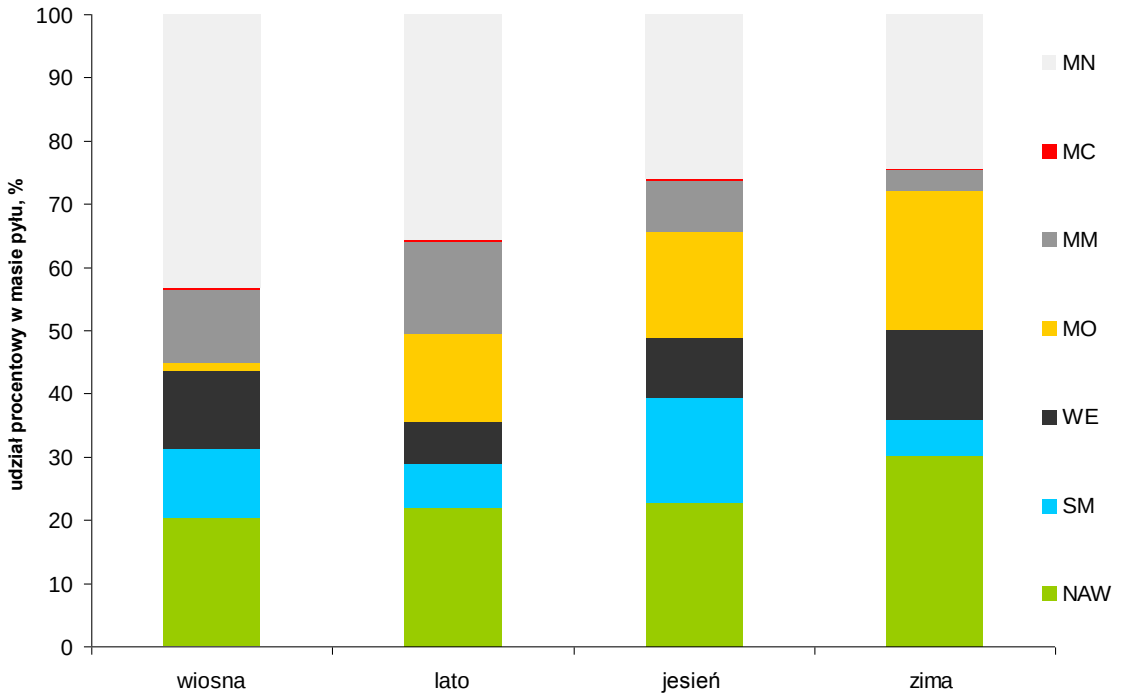
Stężenia CO_3^{2-} i krzemionki SiO_2 obliczono wykorzystując eksperymentalnie uzyskane formuły bazujące na stężeniach Al_2O_3, Ca, Mg oraz wzajemnych stosunkach ich stężeń w skorupie ziemskiej (Mason, 1966; Chow i inni 1994; Sillanpää et al., 2006). Porównano wyniki uzyskane na podstawie kilkunastu formuł i archiwalnych danych o składzie pierwiastkowym pyłu z Zabrza i za najlepszy, a zarazem najprostszy pośredni sposób oszacowania zawartości SiO_2 w pyle uznano formułę: $SiO_2 = 3Al_2O_3$



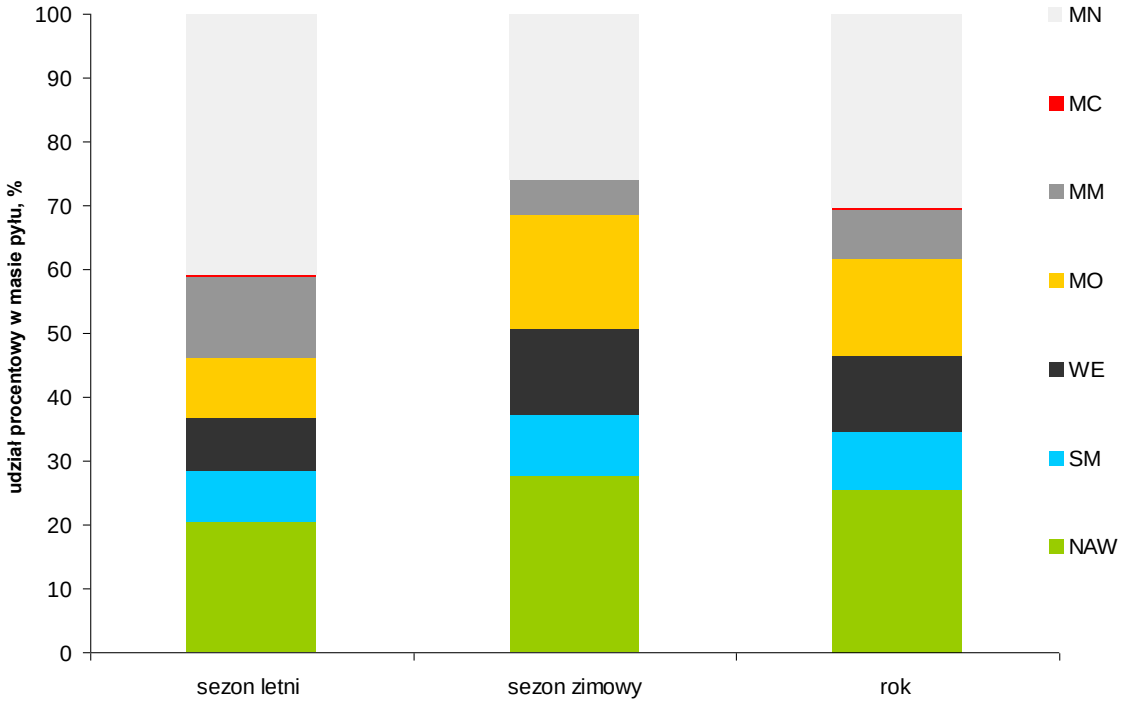
Rysunek 3.1. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Gdańsku w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku



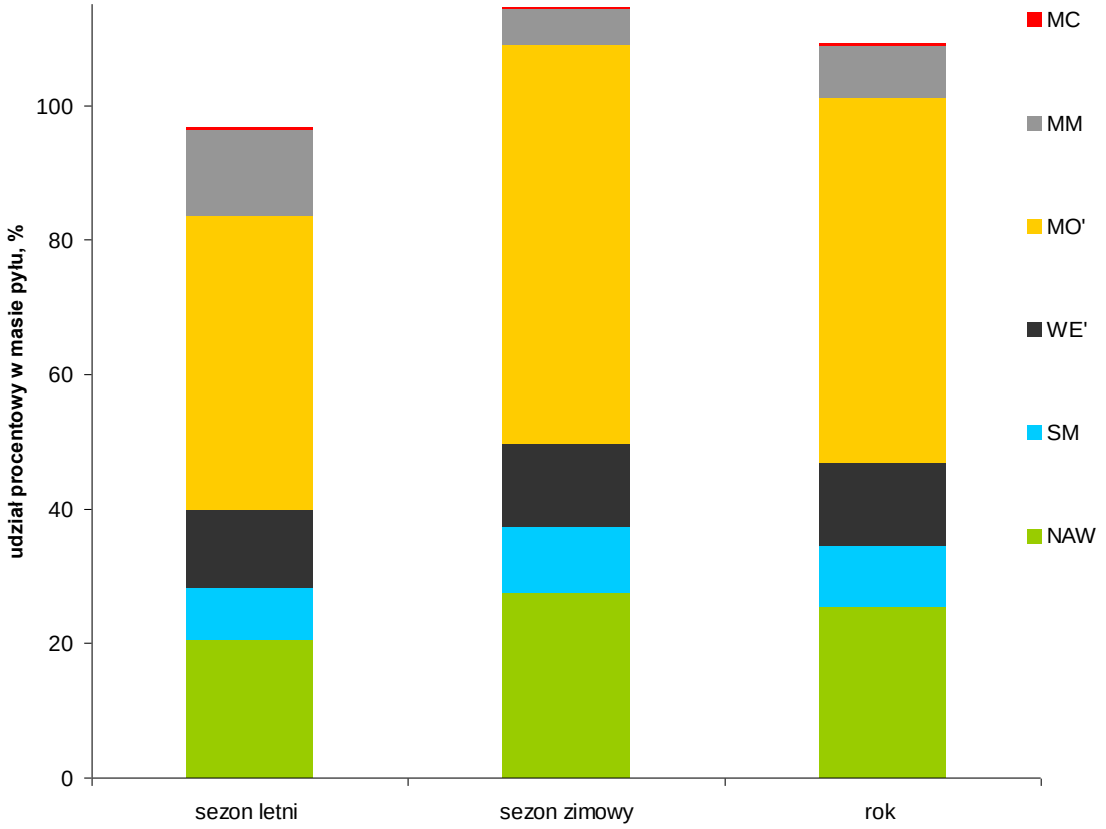
Rysunek 3.2. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Gdańsku w miesiącach sezonu letniego 2010 roku



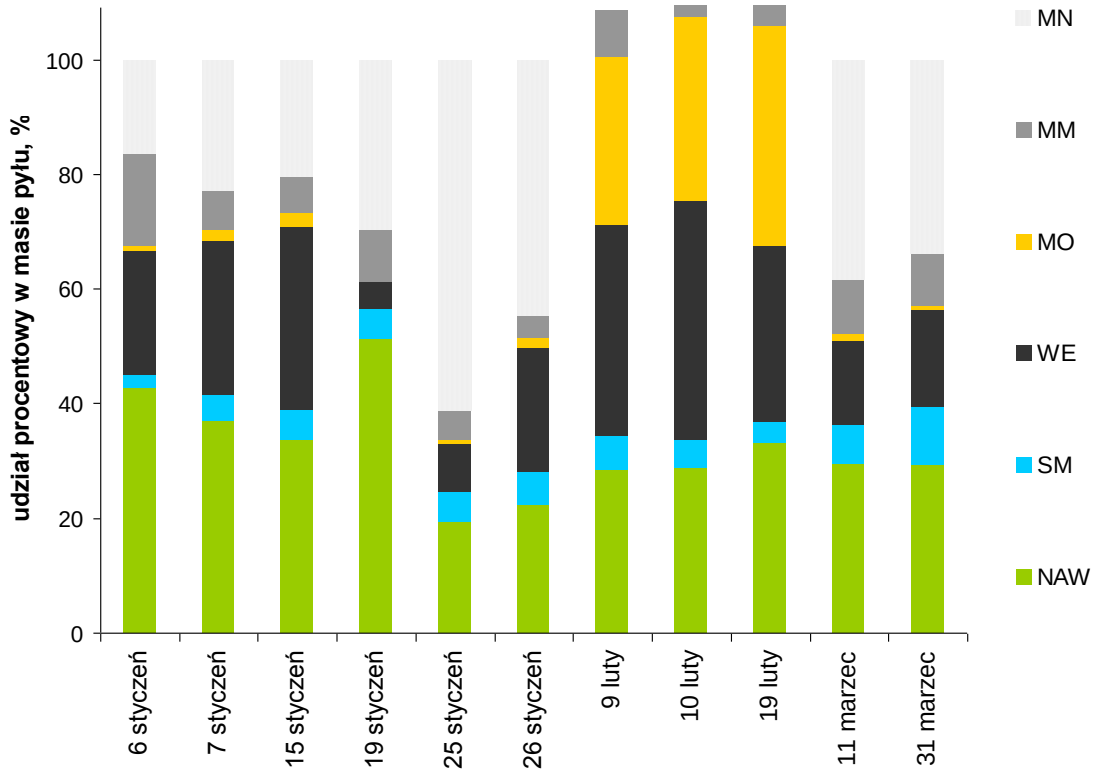
Rysunek 3.3. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Gdańsku w poszczególnych porach roku 2010



Rysunek 3.4. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku



Rysunek 3.5. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku obliczony z wykorzystaniem stężeń OC i EC wyznaczonych analizatorem węgla Sunset Laboratory



Rysunek 3.6. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Gdańsku w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Tabela 3.2. Stężenia miesięczne klas składników $PM_{2,5}$ w Gdańsku w 2010 roku, µg/m^3

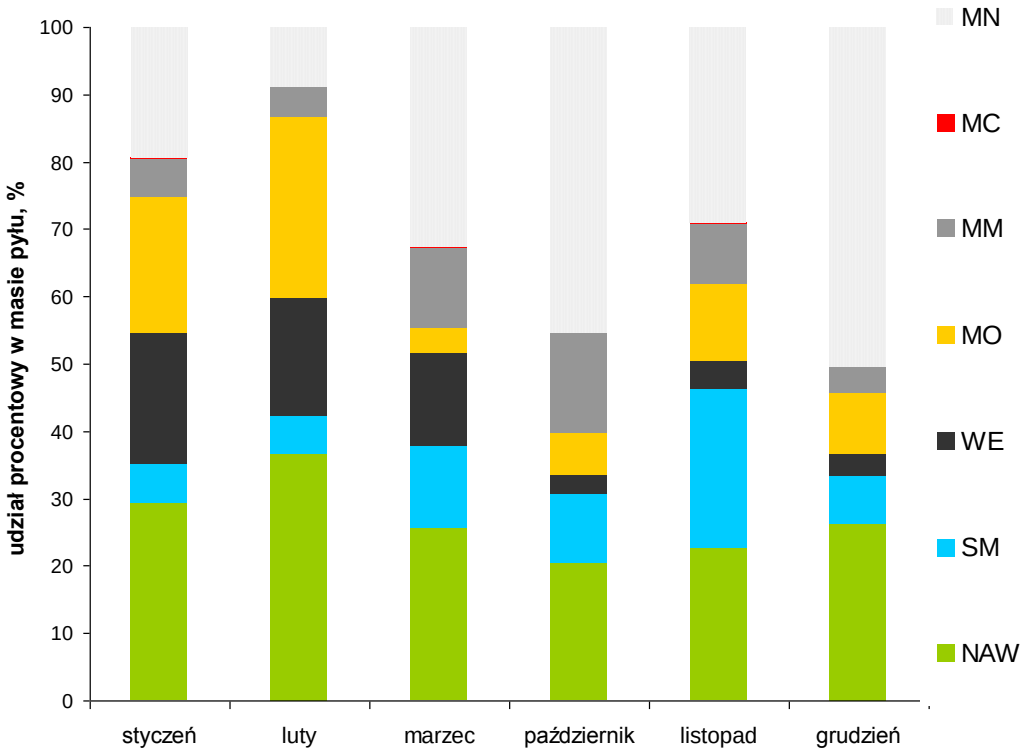
	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
$PM_{2,5}$	42,55	42,66	25,83	22,20	15,12	12,40	15,10	11,79	10,80	22,33	21,73	43,04
NAW	12,32	15,36	6,58	5,28	1,27	2,29	2,99	3,25	3,05	4,84	4,57	11,05
SM	2,29	1,95	3,20	1,46	2,26	0,87	1,22	0,62	0,46	2,19	6,50	3,10
WE	8,12	8,28	4,16	2,18	1,45	1,60	0,38	0,62	1,13	2,50	1,61	1,90
MO	13,56	11,60	0,35	0,21	0,34	1,34	2,33	1,84	2,11	4,63	2,42	2,88
MM	1,78	1,38	2,77	2,31	2,33	2,07	1,69	1,87	0,91	1,70	1,90	1,37
MC	0,06	0,06	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
MN	4,42	4,04	8,74	10,75	7,43	4,22	6,46	3,57	3,14	6,45	4,71	22,70

Tabela 3.3. Stężenia średnie klas składników $PM_{2,5}$ w porach roku i w sezonach 2010 roku w Gdańsku, µg/m^3

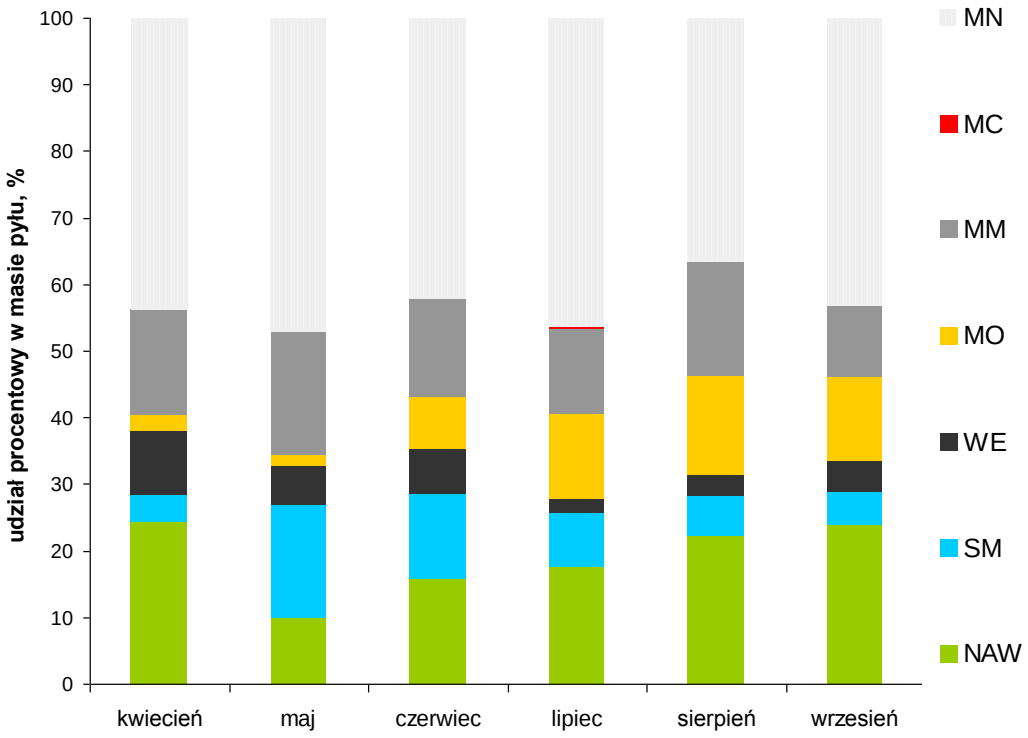
	wiosna	lato	jesień	zima	sezon letni	sezon zimowy	rok
$PM_{2,5}$	21,05	13,09	18,29	42,75	14,57	33,02	23,79
NAW	4,31	2,84	4,15	12,91	2,99	9,12	6,05
SM	2,31	0,91	3,05	2,44	1,15	3,20	2,18
WE	2,60	0,87	1,74	6,10	1,23	4,43	2,83
MO	0,30	1,84	3,06	9,35	1,36	5,91	3,63
MM	2,47	1,88	1,50	1,51	1,86	1,82	1,84
MC	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
MN	9,03	4,72	4,74	10,40	5,93	8,50	7,22
WE'	1,62	1,97	2,86	5,15	1,67	4,13	2,90
MO'	8,61	6,61	11,74	24,86	6,37	19,54	12,96

Tabela 3.4. Stężenia średnie klas składników $PM_{2,5}$ w okresie epizodów wysokich stężeń w 2010 r. w Gdańsku, µg/m^3

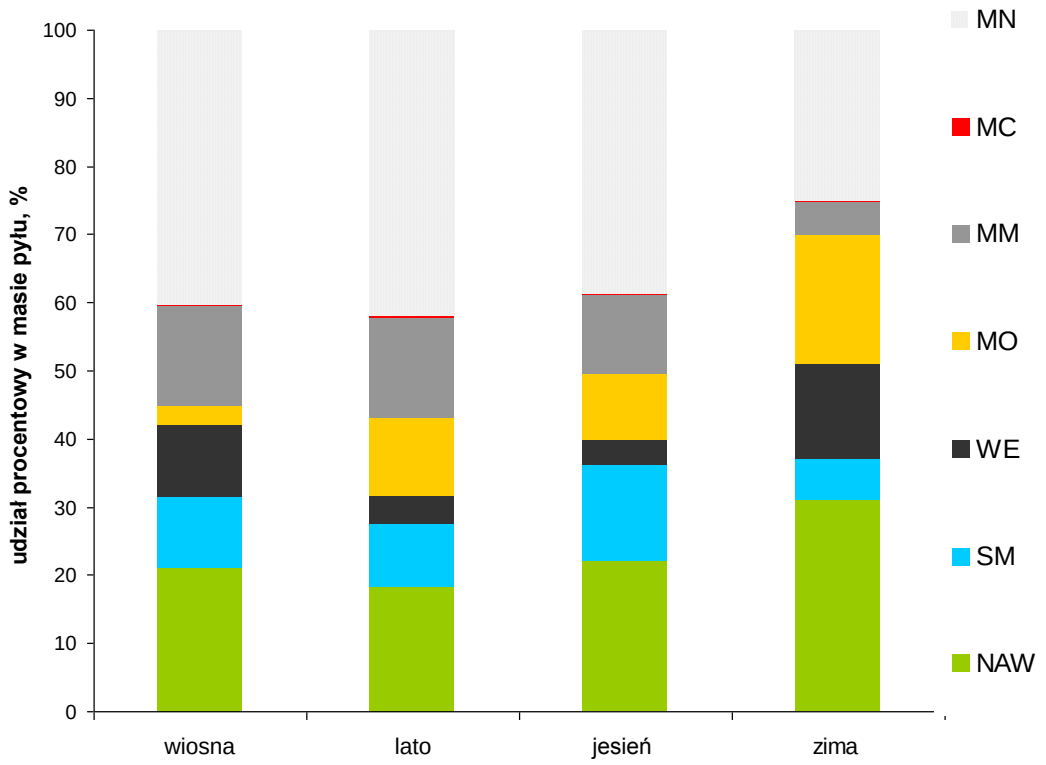
	2010-01-06	2010-01-07	2010-01-15	2010-01-19	2010-01-25	2010-01-26	2010-02-08	2010-02-09	2010-02-10	2010-03-11	2010-03-31
$PM_{2,5}$	41,35	61,72	41,48	36,25	114,32	92,97	82,29	89,10	92,01	54,09	42,07
NAW	17,62	22,84	13,92	18,58	22,10	20,76	23,37	25,65	30,51	15,93	12,28
SM	0,96	2,71	2,25	1,92	5,94	5,37	4,93	4,19	3,26	3,57	4,33
WE	8,92	16,62	13,14	1,67	9,58	20,22	30,24	37,18	28,38	8,06	7,05
MO	0,40	1,24	1,07	0,02	0,76	1,34	24,23	28,65	35,15	0,62	0,39
MM	6,68	4,29	2,66	3,27	5,97	3,77	6,52	3,58	4,35	5,16	3,78
MN	6,77	14,01	8,45	10,80	69,97	41,50	**0,00**	**0,00**	**0,00**	20,75	14,24



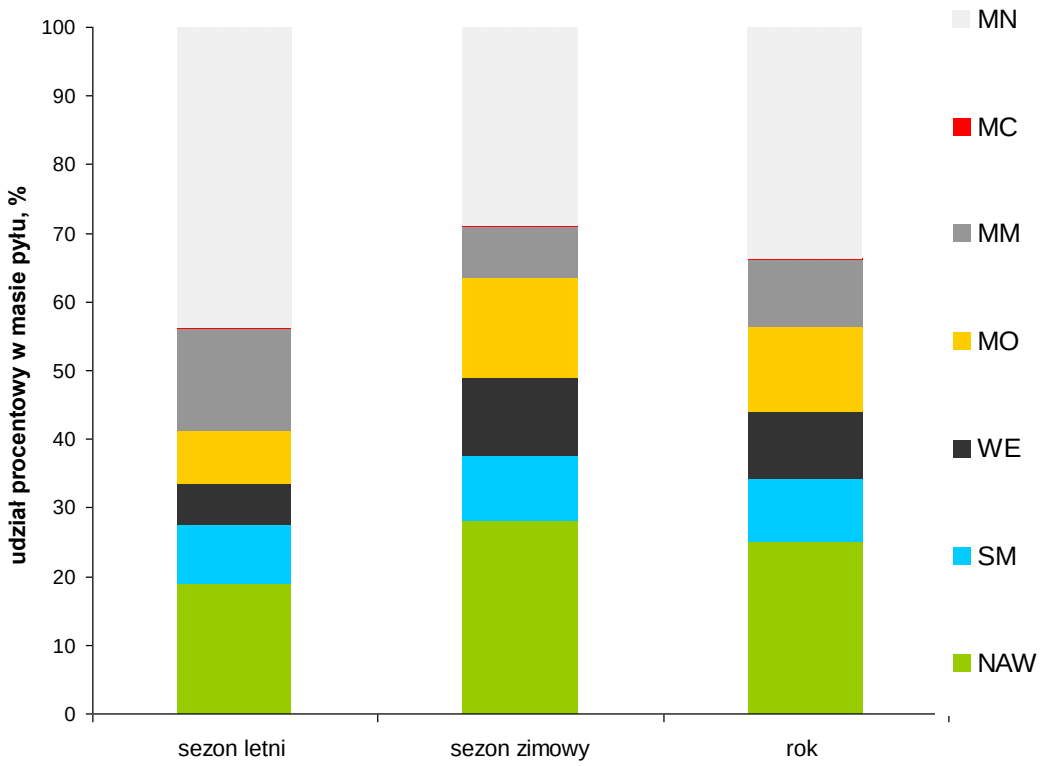
Rysunek 3.7. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} Gdańsku w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku



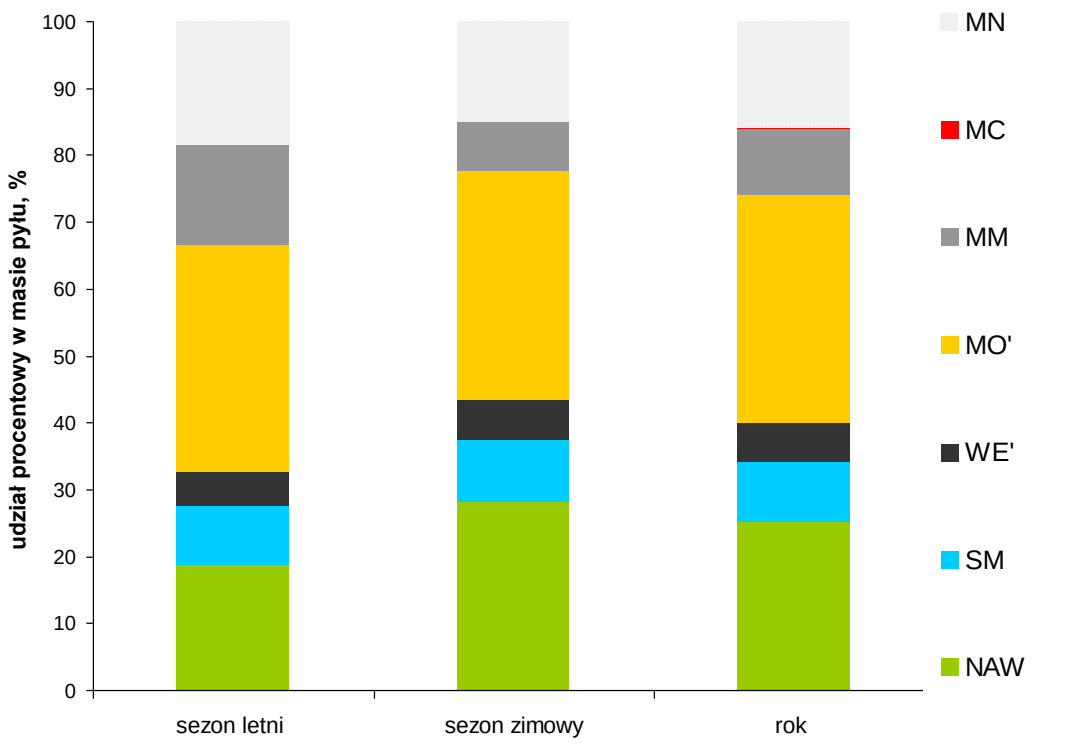
Rysunek 3.8. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} Gdańsku w miesiącach sezonu letniego 2010 roku



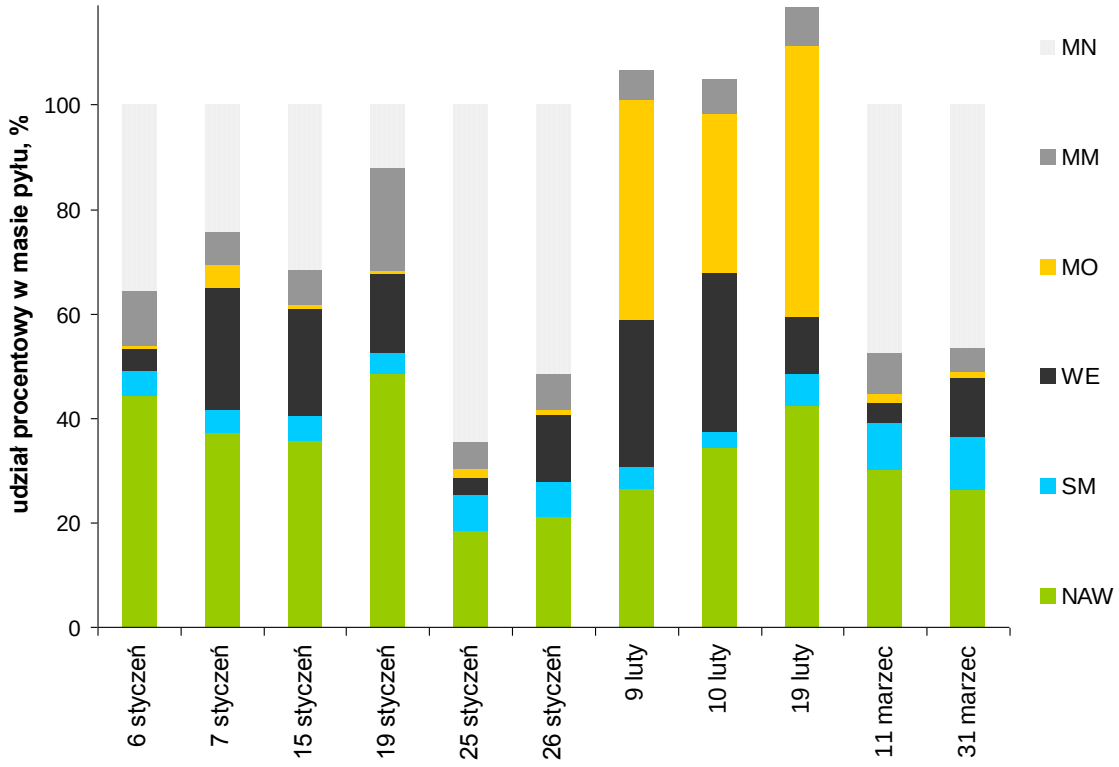
Rysunek 3.9. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Gdańsku w poszczególnych porach roku 2010



Rysunek 3.10. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku



Rysunek 3.11. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Gdańsku w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku obliczony z wykorzystaniem stężeń OC i EC wyznaczonych analizatorem węgla Sunset Laboratory



Rysunek 3.12. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Gdańsku w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Tabela 3.5. Stężenia miesięczne klas składników PM_{10} w Gdańsku w 2010 roku, µg/m^3

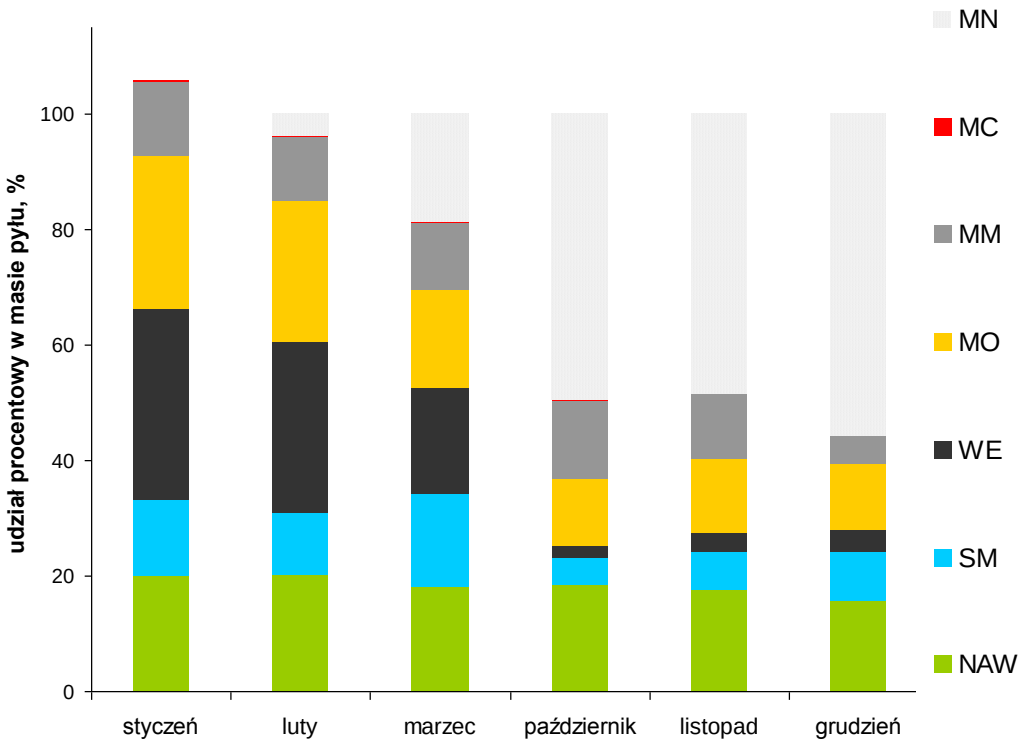
	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
PM_{10}	53,25	55,97	34,31	29,29	19,35	19,23	19,38	16,37	16,20	29,71	27,65	48,22
NAW	15,65	20,54	8,80	7,16	1,91	3,04	3,39	3,50	3,87	6,09	6,35	12,78
SM	3,06	3,12	4,13	1,20	3,28	2,47	1,55	0,95	0,78	3,03	6,58	3,44
WE	10,35	9,84	4,82	2,87	1,13	1,30	0,44	0,52	0,77	0,81	1,10	1,64
MO	10,74	15,00	1,25	0,68	0,34	1,47	2,46	2,34	2,05	1,88	3,21	4,44
MM	3,06	2,56	4,11	4,66	3,54	2,86	2,48	2,71	1,73	4,40	2,50	1,91
MC	0,07	0,07	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,05
MN	10,32	4,84	11,16	12,69	9,11	8,09	9,05	6,33	6,99	13,47	7,89	23,97

Tabela 3.6. Stężenia średnie klas składników PM_{10} w porach roku i w sezonach 2010 roku w Gdańsku, µg/m^3

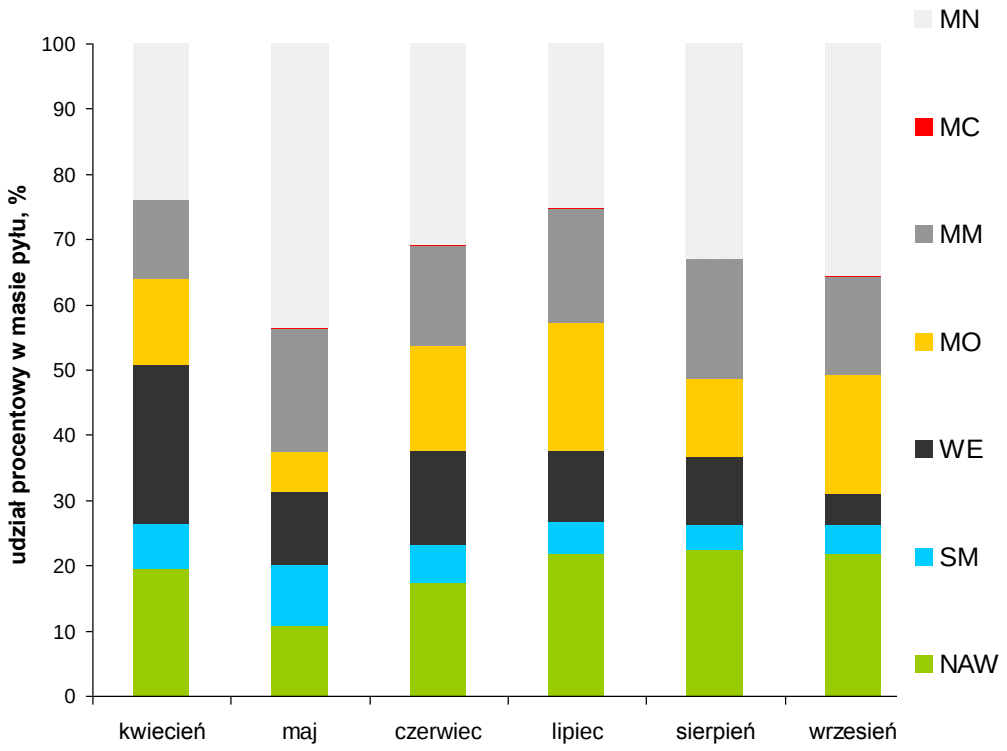
	wiosna	lato	jesień	zima	sezon letni	sezon zimowy	rok
PM_{10}	27,65	18,33	24,52	52,48	19,97	41,52	30,74
NAW	5,84	3,31	5,43	16,33	3,75	11,70	7,73
SM	2,87	1,66	3,46	3,21	1,71	3,89	2,80
WE	2,94	0,75	0,89	7,27	1,17	4,76	2,97
MO	0,76	2,09	2,38	10,06	1,56	6,09	3,82
MM	4,11	2,68	2,88	2,51	3,00	3,09	3,04
MC	0,03	0,01	0,02	0,06	0,02	0,05	0,03
MN	11,11	7,82	9,45	13,04	8,77	11,94	10,36
WE'	1,29	0,99	1,67	3,18	1,05	2,51	1,78
MO'	8,63	6,41	8,70	18,14	6,73	14,21	10,47

Tabela 3.7. Stężenia średnie klas składników PM_{10} w okresie epizodów wysokich stężeń w 2010 r. w Gdańsku, µg/m^3

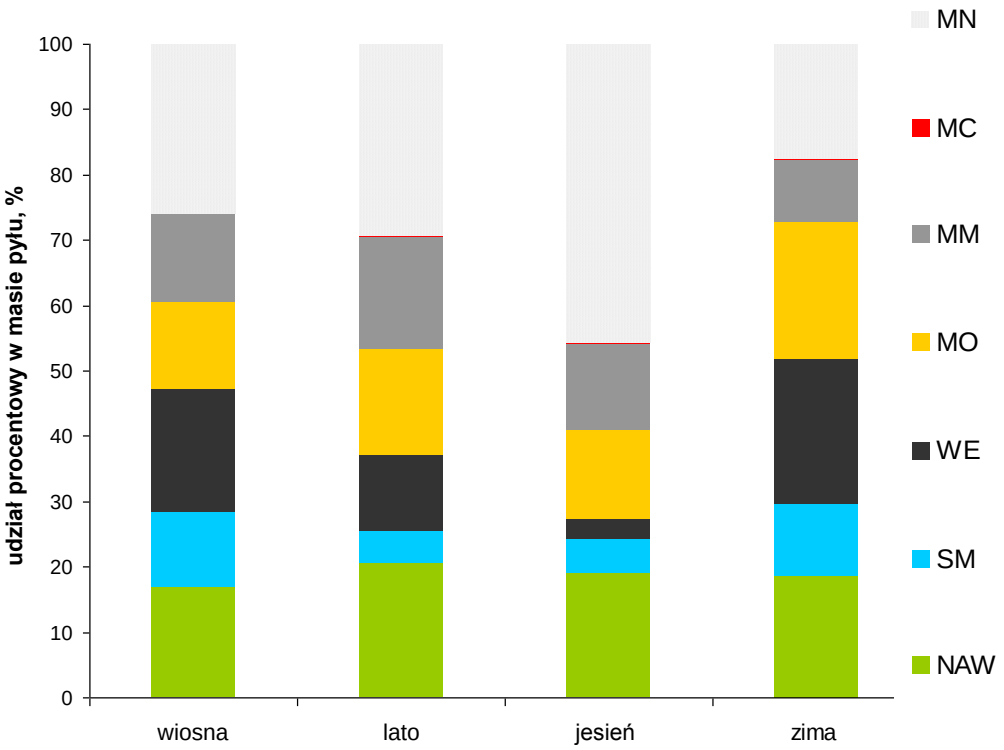
	2010-01-06	2010-01-07	2010-01-15	2010-01-19	2010-01-25	2010-01-26	2010-02-09	2010-02-10	2010-02-19	2010-03-11	2010-03-31
PM_{10}	49,56	75,43	54,42	49,76	144,46	115,74	112,02	112,55	77,03	72,22	57,58
NAW	21,95	28,11	19,46	24,14	26,83	24,34	29,70	38,59	32,58	21,64	15,20
SM	2,33	3,35	2,54	1,98	9,67	7,96	4,65	3,52	4,78	6,58	5,78
WE	2,14	17,51	11,19	7,55	4,78	14,68	31,59	34,09	8,37	2,84	6,42
MO	0,26	3,25	0,35	0,27	2,16	1,13	47,13	34,23	39,92	1,10	0,69
MM	5,26	4,83	3,74	9,81	7,85	7,96	6,42	7,40	5,63	5,73	2,71
MN	17,61	18,38	17,15	6,01	93,17	59,67	**0,00**	**0,00**	**0,00**	34,34	26,78



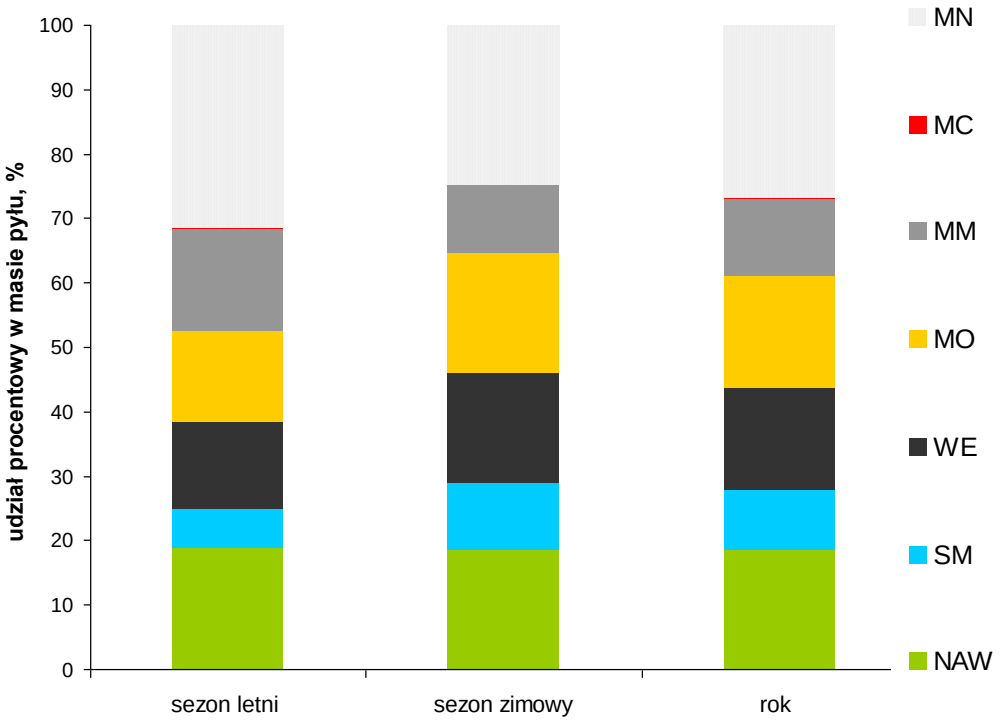
Rysunek 3.13. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Katowicach w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku



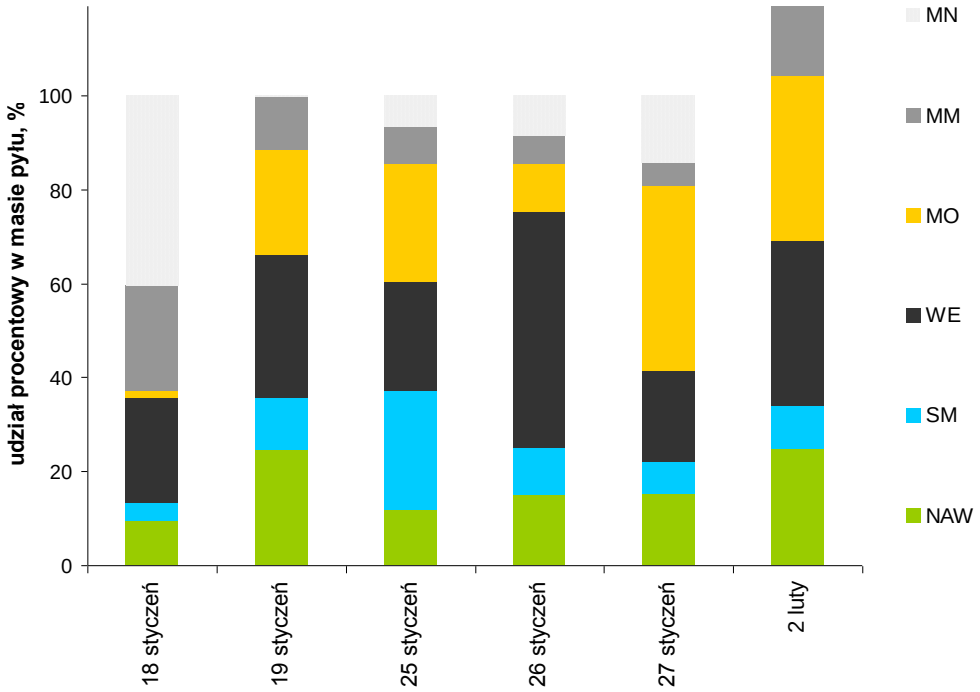
Rysunek 3.14. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Katowicach w miesiącach sezonu letniego 2010 roku



Rysunek 3.15. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Katowicach w poszczególnych porach roku 2010



Rysunek 3.16. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Katowicach w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku



Rysunek 3.17. Udział procentowy klas składników pyłu w masie PM_{10} w Katowicach w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Tabela 3.8. Stężenia miesięczne klas składników PM_{10} w Katowicach w 2010 roku, µg/m^3

	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
PM_{10}	110,43	106,49	73,25	51,54	35,26	28,23	34,98	31,81	36,58	65,34	48,84	105,18
NAW	22,03	21,59	13,26	10,00	3,80	4,87	7,60	7,11	7,99	12,03	8,63	16,49
SM	14,75	11,54	11,76	3,57	3,25	1,68	1,70	1,26	1,61	3,06	3,23	9,03
WE	36,21	31,26	13,42	12,60	3,96	4,03	3,81	3,26	1,69	1,42	1,52	3,88
MO	29,56	26,00	12,53	6,70	2,18	4,59	6,86	3,81	6,74	7,47	6,27	12,09
MM	14,00	11,93	8,51	6,29	6,61	4,30	6,18	5,85	5,46	8,99	5,43	5,01
MC	0,16	0,13	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,03	0,04	0,08	0,07	0,09
MN	**0,00**	4,04	13,69	12,30	15,40	8,70	8,78	10,48	13,05	32,30	23,69	58,58

Tabela 3.9. Stężenia średnie klas składników PM_{10} w porach roku i w sezonach 2010 roku w Katowicach, µg/m^3

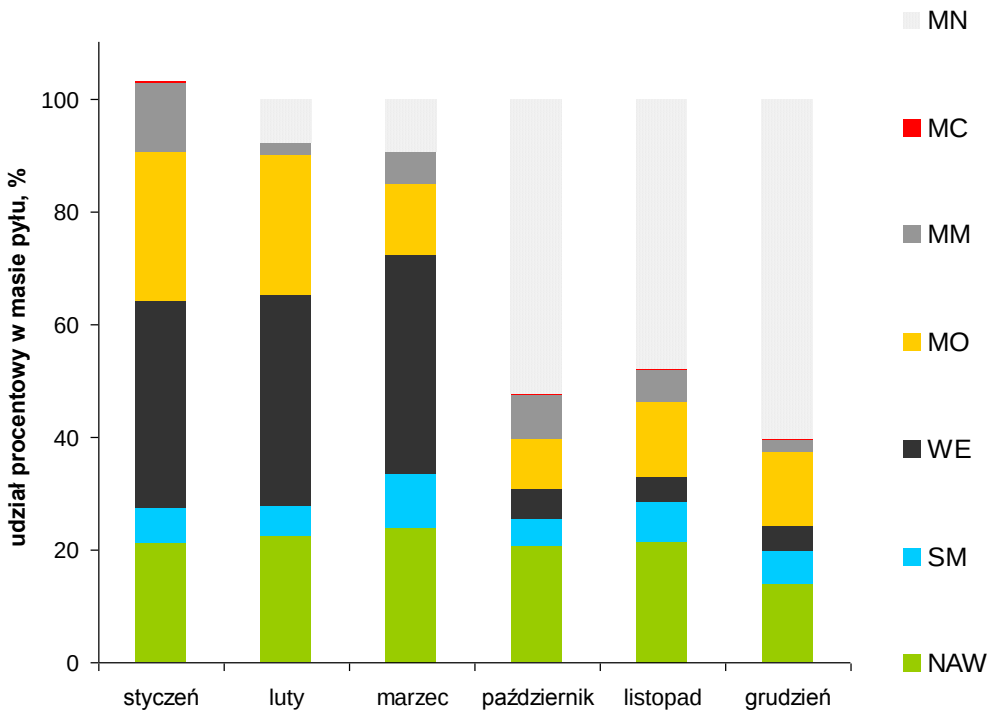
	wiosna	lato	jesień	zima	sezon letni	sezon zimowy	rok
PM_{10}	53,35	31,67	50,25	107,37	36,40	84,92	60,66
NAW	8,99	6,53	9,55	20,04	6,88	15,67	11,28
SM	6,20	1,55	2,63	11,77	2,18	8,89	5,54
WE	9,99	3,70	1,54	23,78	4,89	14,62	9,75
MO	7,14	5,09	6,83	22,55	5,15	15,65	10,40
MM	7,14	5,44	6,63	10,31	5,78	8,98	7,38
MC	0,07	0,05	0,06	0,13	0,05	0,10	0,08
MN	13,83	9,32	23,01	18,78	11,47	21,00	16,23

Tabela 3.10. Stężenia średnie klas składników PM_{10} w okresie epizodów wysokich stężeń w 2010 r. w Katowicach, µg/m^3

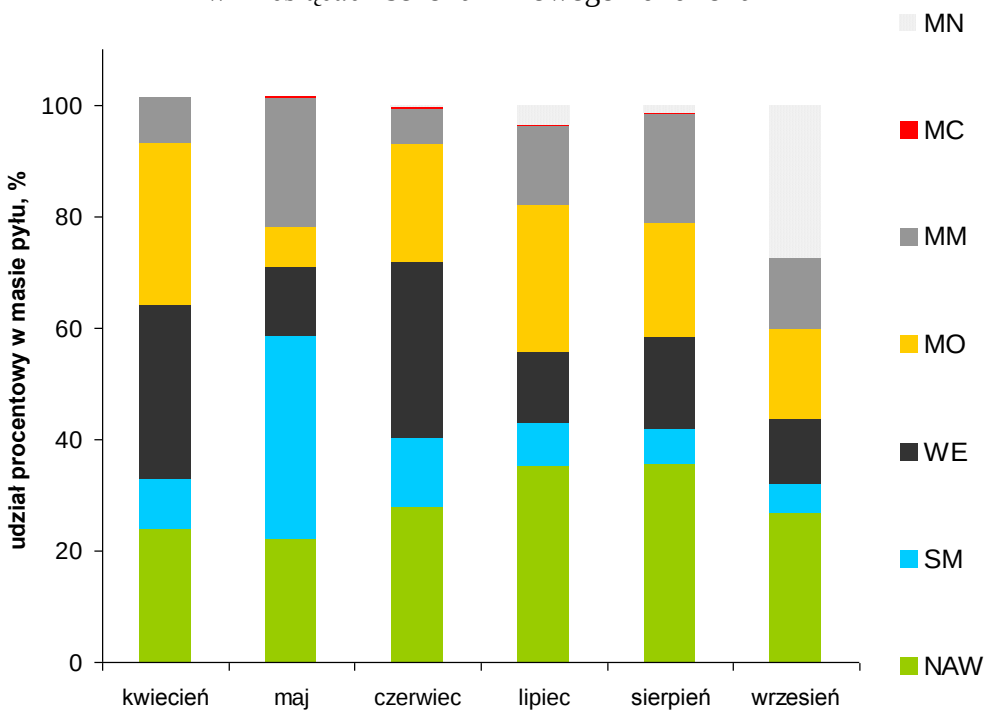
	2010-01-08	2010-01-19	2010-01-25	2010-01-26	2010-01-27	2010-02-09
PM_{10}	152,44	170,28	210,72	205,52	318,72	158,89
NAW	14,43	41,72	25,07	31,20	48,70	39,50
SM	6,10	19,02	53,03	20,04	21,22	14,63
WE	34,10	51,89	48,93	103,58	61,81	55,69
MO	1,92	37,88	53,05	20,89	125,76	55,77
MM	34,13	19,28	17,04	12,65	16,25	23,51
MN	61,75	0,50	13,60	17,16	44,98	**0,00**

Tabela 3.11. Stężenia dobowe pierwiastków związanych z PM_{10} w Katowicach wyznaczone techniką EDXRF, ng*m^{-3} (dla Na-Fe, µg/m^3)

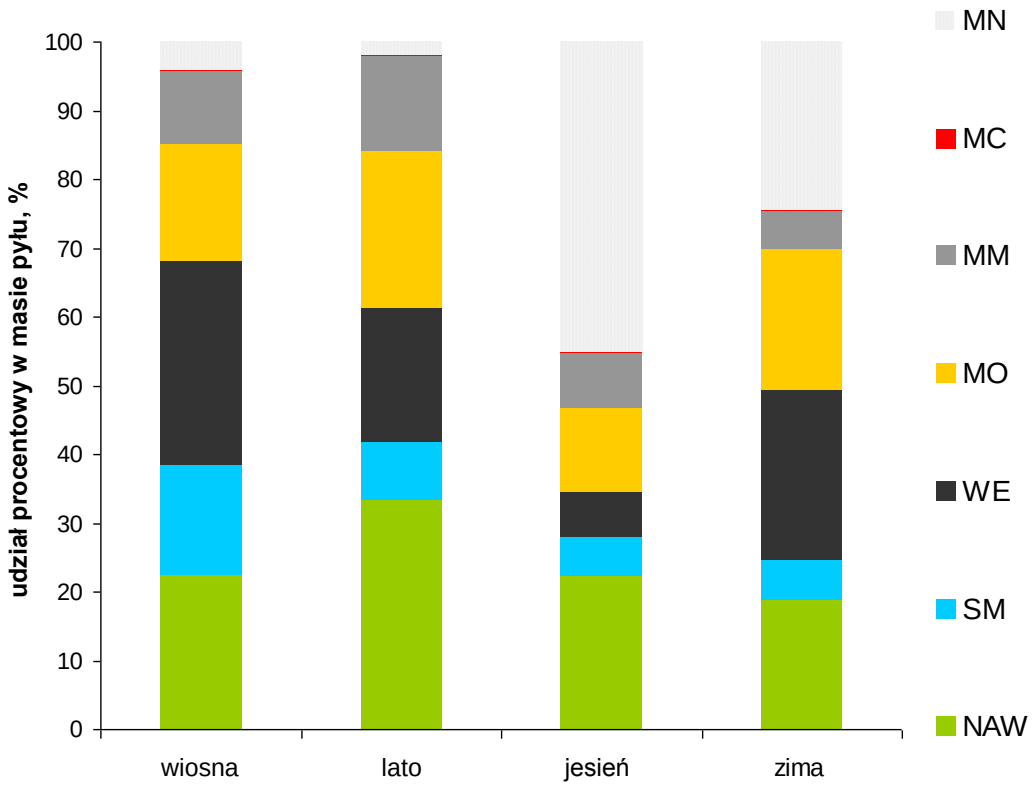
Data	2010-03-26	2010-03-28	2010-03-30	2010-04-03	2010-04-07	2010-04-09	2010-04-13	2010-06-06	2010-06-10	2010-06-14	2010-06-28
Na	5,21	7,38	6,95	2,32	2,92	3,80	3,08	3,76	6,31	3,20	4,81
Mg	3,60	1,16	2,27	0,71	1,49	2,58	2,20	1,25	2,95	0,80	3,11
Al	2,90	1,04	1,61	0,85	1,13	2,46	1,66	0,79	1,97	0,34	1,78
Si	4,32	1,73	2,33	1,33	1,52	3,81	1,93	1,01	2,86	0,17	1,94
S	5,36	5,91	3,01	5,74	6,10	7,42	4,67	3,10	6,46	3,17	3,26
Cl	1,06	8,86	2,64	5,66	4,34	6,44	2,84	0,30	0,53	0,52	0,67
K	0,45	0,39	0,36	0,60	0,44	0,61	0,47	0,27	0,33	0,12	0,41
Ca	0,65	0,25	0,55	0,24	0,46	0,64	0,42	0,22	0,46	0,14	0,61
Fe	1,66	0,94	1,62	1,22	1,28	2,10	1,27	0,89	1,69	0,55	1,26
Sc	93,08	31,48	81,53	27,88	60,70	89,48	58,00	29,23	65,20	17,99	90,21
Ti	64,30	21,58	48,64	23,83	29,68	63,85	33,27	17,09	46,76	7,19	30,59
V	7,64	2,25	6,49	2,25	3,15	8,09	3,15	1,80	6,30	0,90	3,14
Cr	6,30	4,95	6,95	4,50	3,60	8,54	4,50	5,40	6,74	2,70	5,49
Mn	28,33	22,48	29,65	20,23	28,78	56,66	26,98	17,54	32,82	15,74	38,44
Co	6,30	5,85	6,95	4,05	4,50	8,54	4,95	2,70	7,19	2,25	3,92
Ni	3,60	2,25	3,24	1,80	2,25	4,95	2,70	1,80	4,05	1,35	3,14
Cu	39,57	24,73	53,73	26,08	27,88	47,66	30,58	23,38	51,71	10,34	25,89
Zn	88,58	129,95	103,76	172,67	205,94	227,97	313,86	72,84	81,84	120,06	161,59
As	4,50	7,19	6,95	11,24	19,33	18,89	23,83	4,95	4,05	12,14	10,98
Br	6,74	15,29	5,56	15,74	11,24	11,69	7,19	4,50	4,05	2,25	3,14
Rb	2,25	2,70	1,39	4,50	1,80	2,25	2,25	0,90	1,35	0,45	2,35
Sr	11,69	4,95	12,97	8,54	7,64	7,64	8,99	5,40	8,09	5,40	8,63
Y	6,30	3,60	6,95	7,64	3,15	3,60	5,85	1,80	4,05	4,05	8,63
Mo	2,70	3,15	4,63	0,00	4,95	6,30	6,30	2,70	5,40	6,74	3,14
Ag	3,60	5,85	6,02	2,70	3,60	4,95	2,70	6,74	5,40	4,95	10,20
Cd	3,15	11,24	7,41	5,85	8,99	3,60	8,09	6,74	3,60	8,54	14,12
Sn	8,09	6,74	13,90	8,09	10,79	9,44	4,50	2,25	5,85	8,09	5,49
Sb	8,99	4,05	16,21	6,74	6,30	13,94	4,50	3,60	7,19	2,70	4,71
Cs	2,25	0,90	8,34	2,25	0,45	1,35	4,50	4,05	4,95	5,40	3,92
Ba	32,82	22,03	37,98	15,29	18,44	24,73	16,64	18,89	34,17	10,34	21,18
La	70,60	79,59	83,84	77,79	78,69	73,74	75,09	71,94	73,74	80,49	130,21
Pb	18,44	31,03	25,01	42,27	71,04	62,50	87,23	18,44	15,29	40,47	40,01



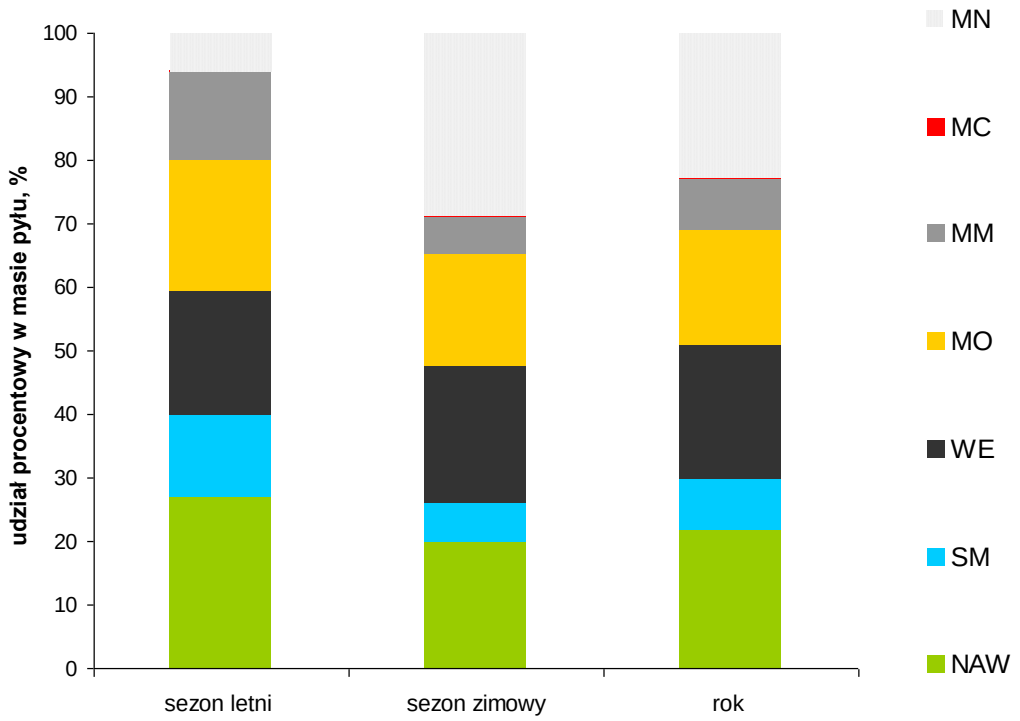
Rysunek 3.18. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Katowicach w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku



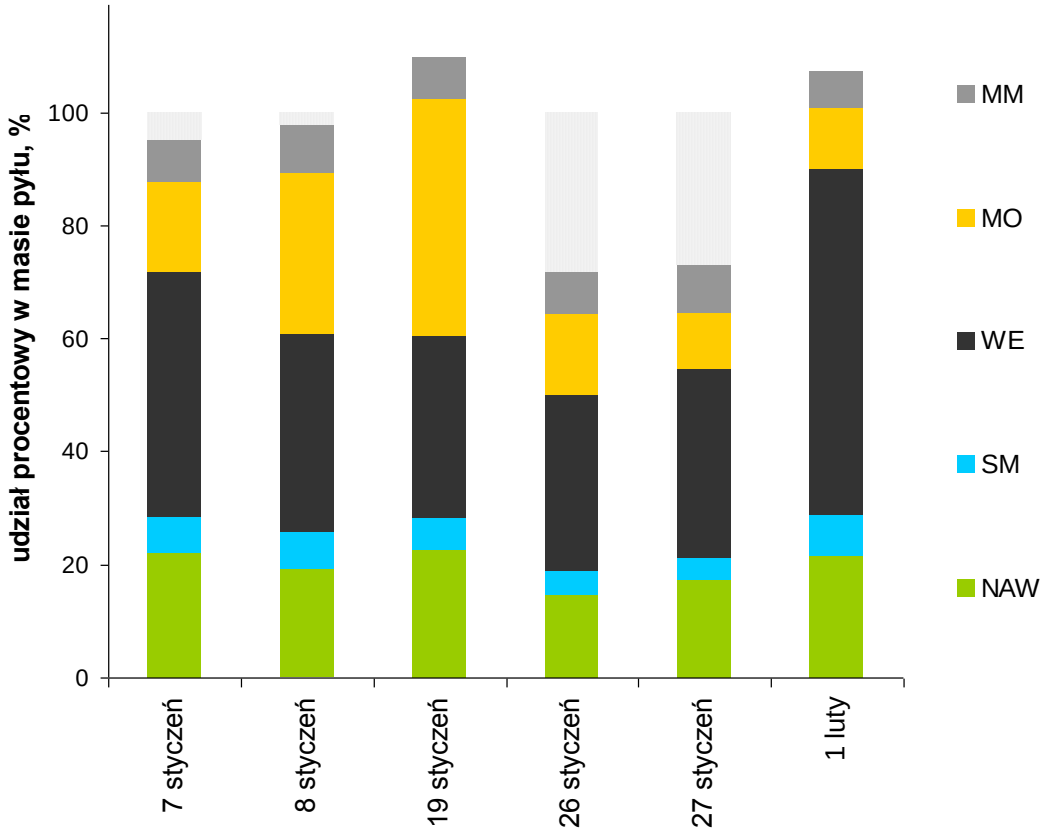
Rysunek 3.19. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Katowicach w miesiącach sezonu letniego 2010 roku



Rysunek 3.20. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Katowicach w poszczególnych porach roku 2010



Rysunek 3.21. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Katowicach w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku



Rysunek 3.22. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Katowicach w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Tabela 3.12. Stężenia miesięczne klas składników $PM_{2,5}$ w Katowicach w 2010 roku, µg/m^3

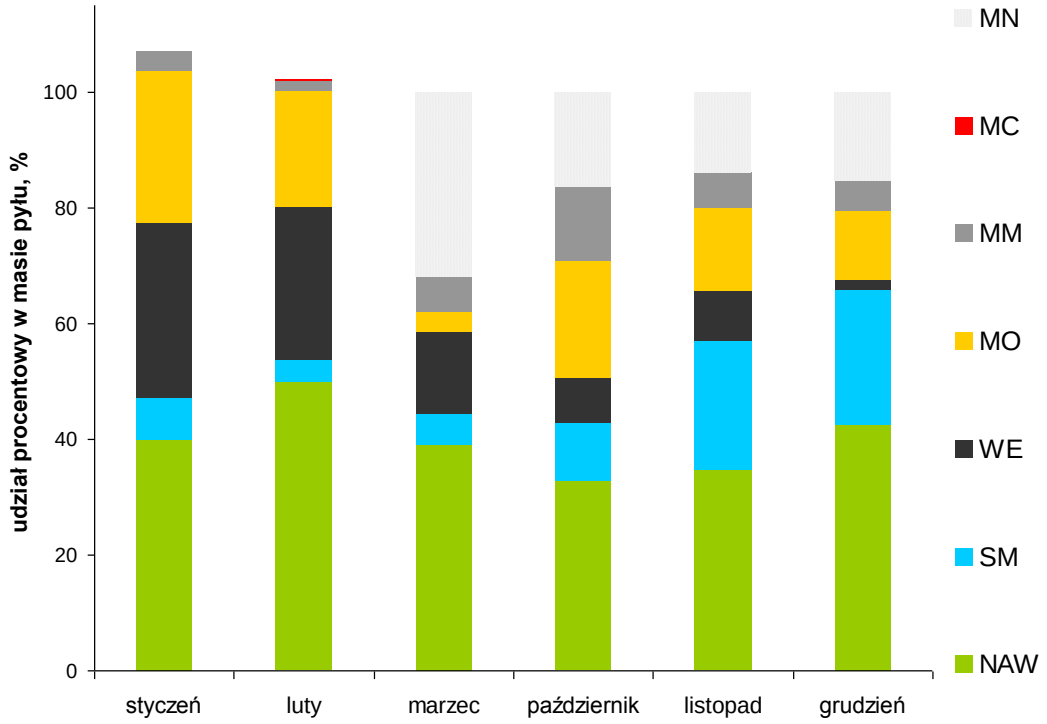
	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
$PM_{2,5}$	80,08	73,58	40,79	34,50	23,77	14,84	18,76	18,28	26,27	47,20	41,32	95,24
NAW	16,89	16,53	9,69	8,27	5,27	4,15	6,59	6,51	7,06	9,71	8,80	13,35
SM	5,03	3,99	3,99	3,11	8,65	1,83	1,46	1,15	1,34	2,23	2,96	5,54
WE	29,45	27,41	15,81	10,73	2,95	4,66	2,42	3,02	3,04	2,61	1,83	4,29
MO	21,14	18,26	5,15	10,05	1,73	3,15	4,93	3,75	4,27	4,18	5,54	12,20
MM	9,88	1,51	2,28	2,78	5,50	0,95	2,70	3,57	3,32	3,63	2,31	2,32
MC	0,13	0,10	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,06	0,09
MN	**0,00**	5,77	3,83	**0,00**	**0,00**	0,05	0,63	0,26	7,19	24,76	19,83	57,45

Tabela 3.13. Stężenia średnie klas składników $PM_{2,5}$ w porach roku i w sezonach 2010 roku w Katowicach, µg/m^3

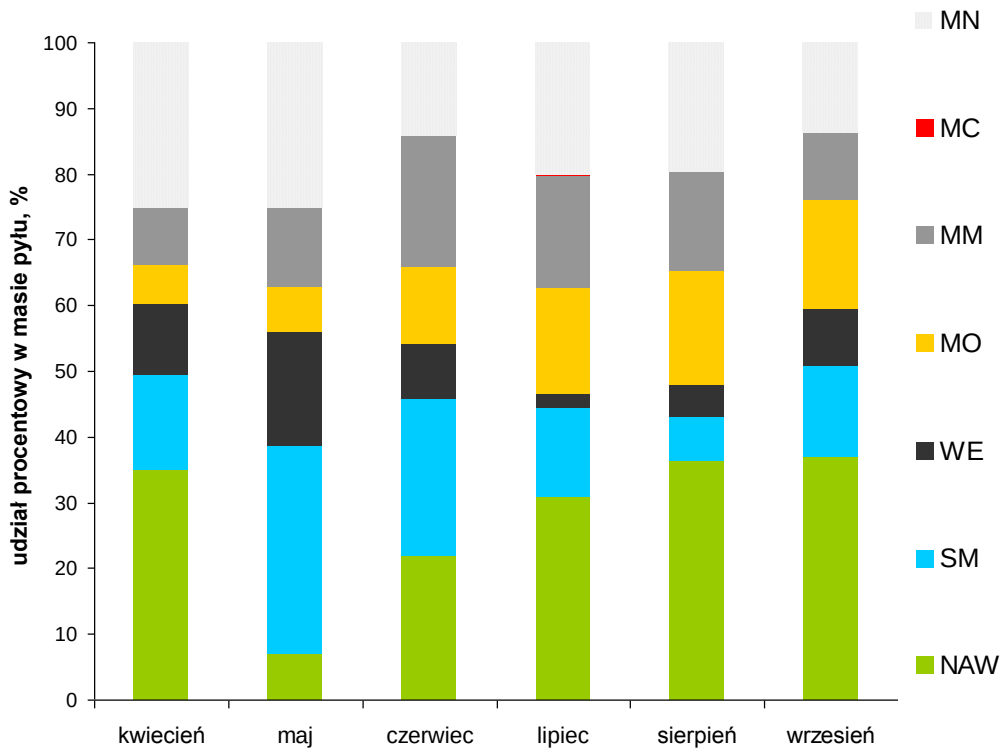
	wiosna	lato	jesień	zima	sezon letni	sezon zimowy	rok
$PM_{2,5}$	33,02	17,29	38,26	82,97	22,73	63,04	42,89
NAW	7,39	5,75	8,52	15,59	6,13	12,50	9,31
SM	5,25	1,48	2,18	4,85	2,92	3,96	3,44
WE	9,83	3,37	2,49	20,38	4,47	13,57	9,02
MO	5,64	3,94	4,66	17,20	4,64	11,08	7,86
MM	3,52	2,41	3,09	4,57	3,14	3,65	3,40
MC	0,06	0,03	0,06	0,11	0,04	0,08	0,06
MN	1,33	0,31	17,26	20,26	1,38	18,20	9,79

Tabela 3.14. Stężenia średnie klas składników $PM_{2,5}$ w okresie epizodów wysokich stężeń w 2010 r. w Katowicach, µg/m^3

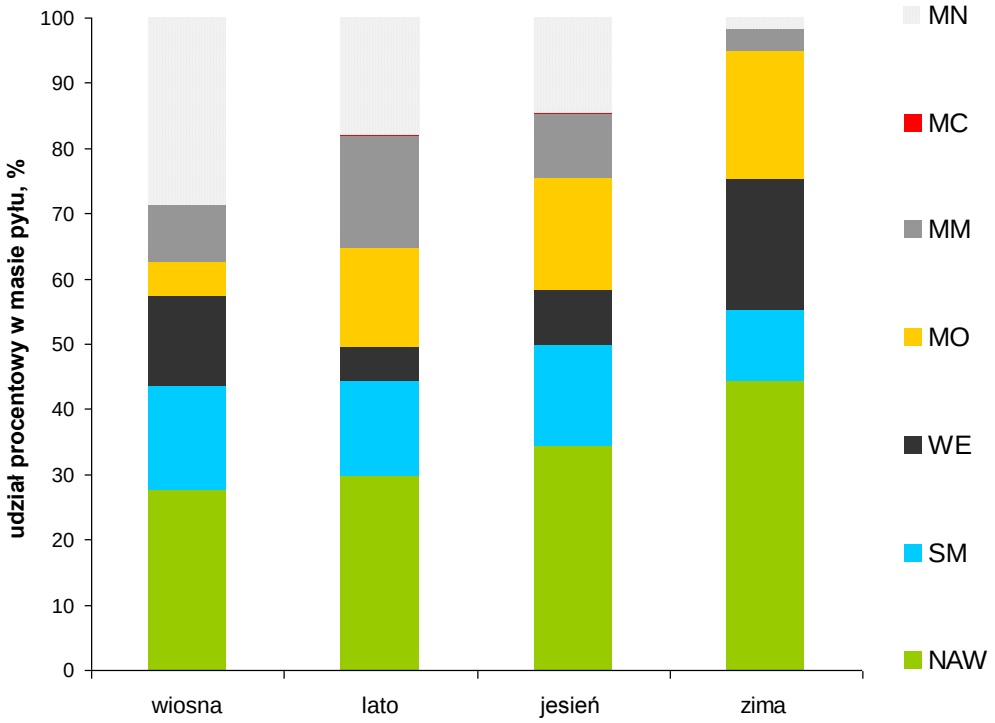
	2010-01-07	2010-01-08	2010-01-19	2010-01-26	2010-01-27	2010-02-01
$PM_{2,5}$	152,25	146,74	108,00	198,55	229,45	86,63
NAW	33,80	28,38	24,33	28,85	39,67	18,69
SM	9,51	9,22	6,17	8,67	8,90	6,28
WE	66,12	51,58	34,75	61,85	76,81	52,96
MO	24,03	41,82	45,39	28,24	22,35	9,52
MM	11,71	12,64	7,90	15,05	20,07	5,49
MN	7,06	3,10	**0,00**	55,89	61,66	**0,00**



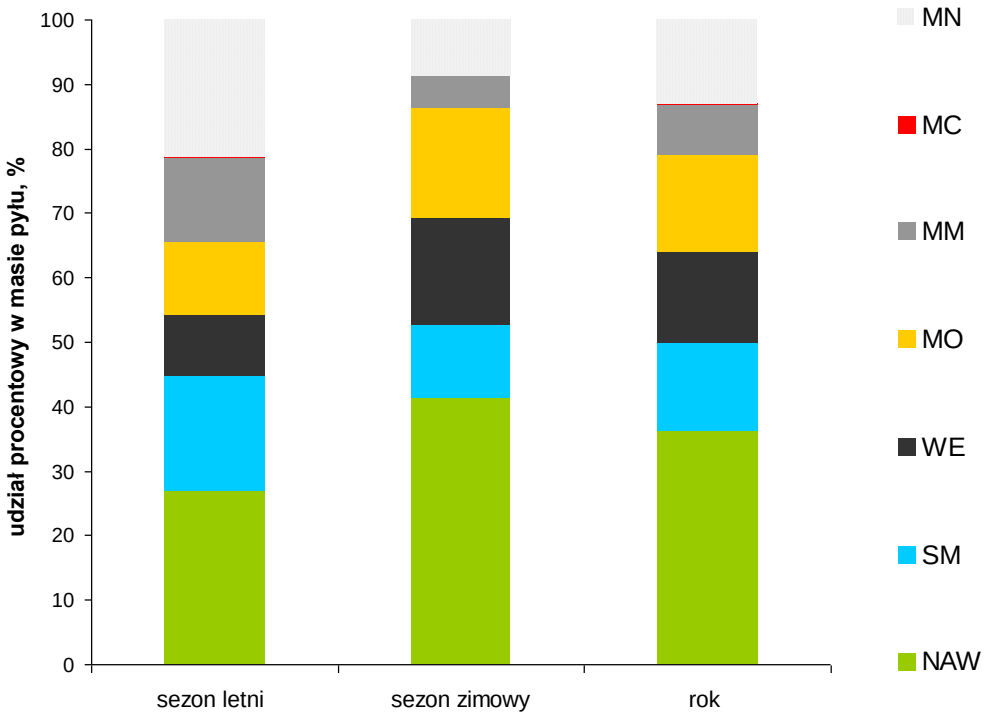
Rysunek 3.23. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w miesiącach sezonu zimowego 2010 roku



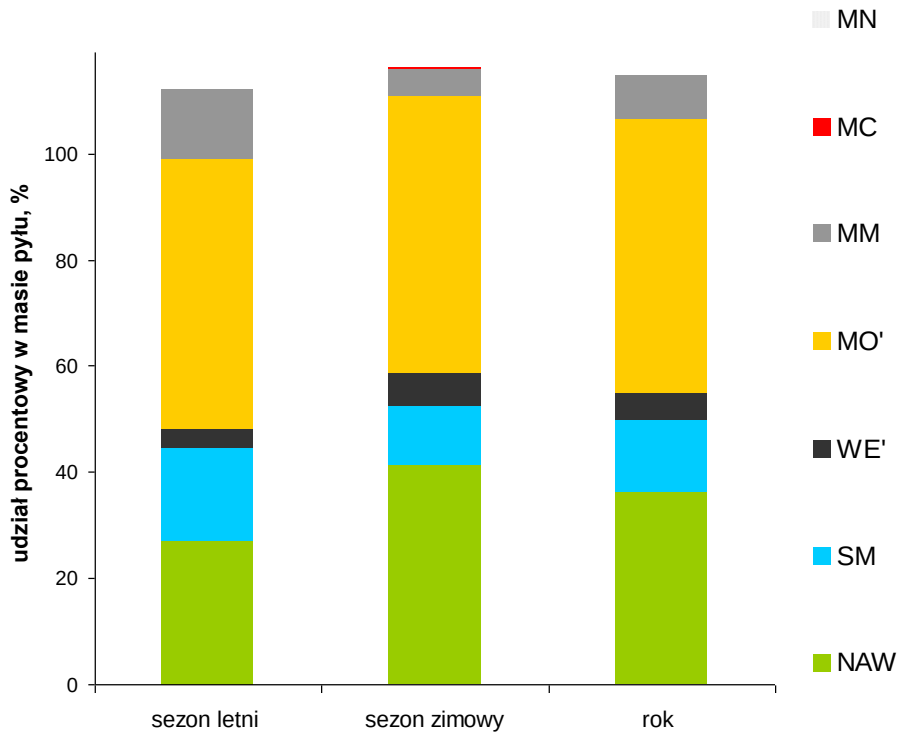
Rysunek 3.24. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w miesiącach sezonu letniego 2010 roku



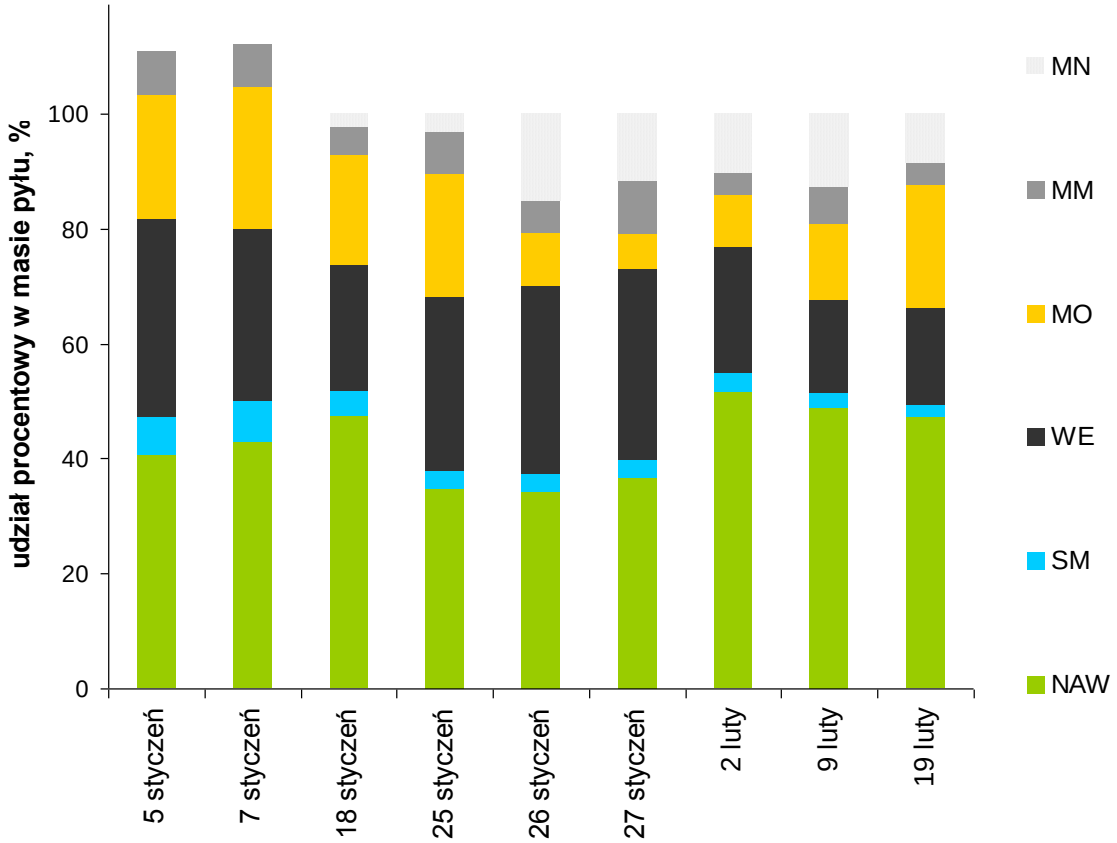
Rysunek 3.25. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w poszczególnych porach roku 2010



Rysunek 3.26. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku



Rysunek 3.27. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w sezonach roku 2010 i średnio w ciągu całego roku obliczony z wykorzystaniem stężeń OC i EC wyznaczonych analizatorem węgla Sunset Laboratory



Rysunek 3.28. Udział procentowy klas składników pyłu w masie $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w okresie epizodów wysokich stężeń (dobowa średnia) w 2010 r.

Tabela 3.15. Stężenia miesięczne klas składników $PM_{2,5}$ w Puszczy Boreckiej w 2010 roku, µg/m^3

	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
$PM_{2,5}$	24,85	28,81	16,52	16,28	12,24	8,61	8,77	8,83	8,75	13,14	11,84	24,12
NAW	9,87	14,35	6,42	5,68	0,85	1,87	2,71	3,21	3,23	4,30	4,10	10,24
SM	1,81	1,10	0,91	2,36	3,89	2,06	1,19	0,60	1,20	1,33	2,64	5,62
WE	7,57	7,58	2,34	1,76	2,12	0,71	0,18	0,42	0,76	1,02	1,02	0,42
MO	6,56	5,83	0,58	0,98	0,84	1,02	1,41	1,54	1,47	2,66	1,71	2,86
MM	0,81	0,55	1,02	1,41	1,48	1,73	1,51	1,32	0,89	1,69	0,73	1,28
MC	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
MN	**0,00**	**0,00**	5,25	4,08	3,07	1,21	1,77	1,73	1,20	2,13	1,62	3,69

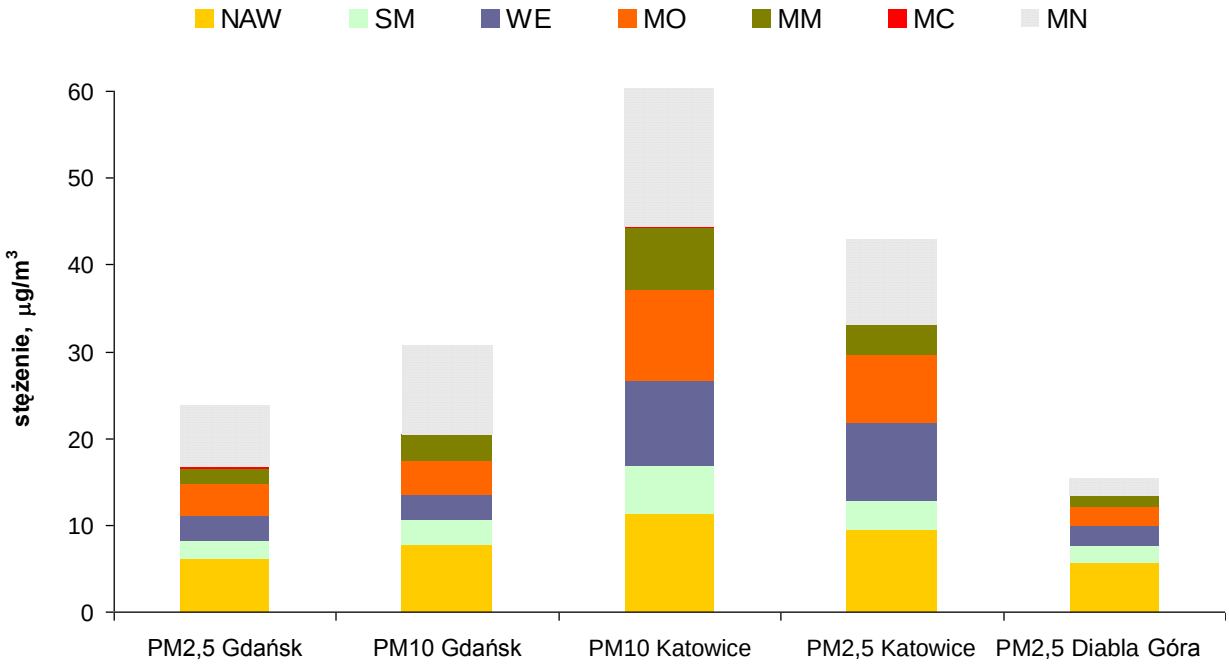
Tabela 3.16. Stężenia średnie klas składników $PM_{2,5}$ w porach roku i w sezonach 2010 roku w Puszczy Boreckiej, µg/m^3

	wiosna	lato	jesień	zima	sezon letni	sezon zimowy	rok
$PM_{2,5}$	15,02	8,74	11,24	25,93	10,58	19,88	15,23
NAW	4,16	2,59	3,88	11,49	2,84	8,21	5,53
SM	2,38	1,28	1,72	2,84	1,88	2,23	2,06
WE	2,07	0,44	0,93	5,19	0,99	3,32	2,16
MO	0,80	1,32	1,95	5,08	1,21	3,37	2,29
MM	1,30	1,52	1,10	0,88	1,39	1,01	1,20
MC	0,01	0,004	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
MN	4,29	1,57	1,65	0,43	2,26	1,71	1,99
WE'	0,49	0,23	0,65	1,75	0,36	1,20	0,78
MO'	6,34	4,59	6,80	13,81	5,38	10,40	7,89

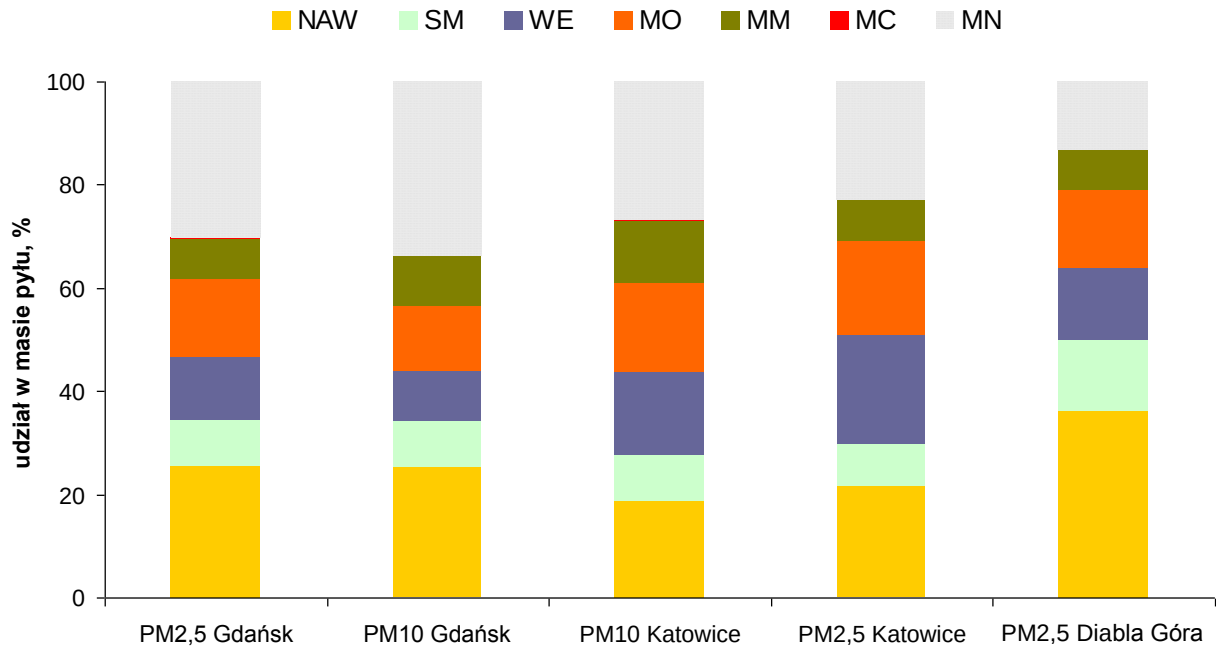
Tabela 3.17. Stężenia średnie klas składników $PM_{2,5}$ w okresie epizodów wysokich stężeń w 2010 r. w Puszczy Boreckiej, µg/m^3

	2010-01-05	2010-01-07	2010-01-08	2010-01-25	2010-01-26	2010-01-27	2010-02-02	2010-02-09	2010-02-19
$PM_{2,5}$	38,86	39,71	69,08	47,26	37,01	36,75	49,10	46,82	58,26
NAW	15,75	17,03	32,80	16,42	12,67	13,43	25,34	22,81	27,61
SM	2,62	2,85	3,03	1,48	1,16	1,22	1,60	1,24	1,10
WE	13,36	11,85	15,04	14,30	12,04	12,15	10,80	7,54	9,89
MO	8,43	9,84	13,21	10,10	3,53	2,22	4,38	6,27	12,43
MM	2,99	2,87	3,54	3,56	2,10	3,52	2,02	3,08	2,34
MN	**0,00**	**0,00**	**0,00**	1,39	5,51	4,19	4,96	5,88	4,89

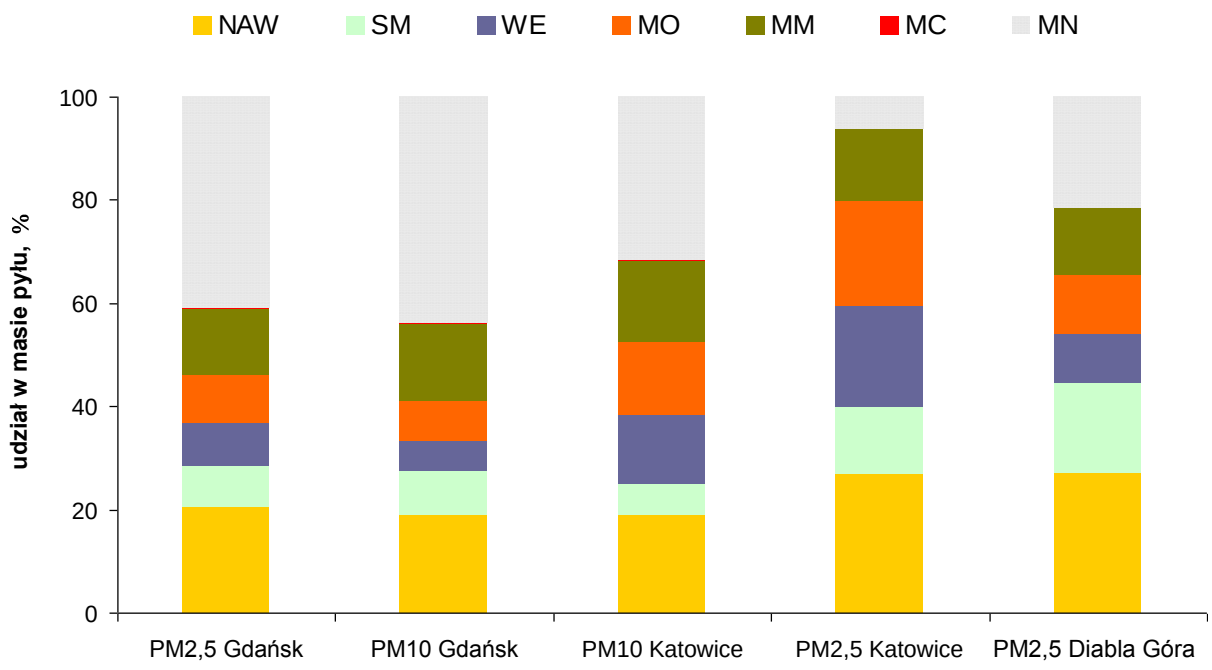
Na Rysunku 3.29 zestawiono stężenia poszczególnych klas związków chemicznych (wyrażone w µg/m^3) w PM z wszystkich rozpatrywanych stanowisk pomiarowych. Udziały procentowe tych składników w masie PM, w roku 2010 oraz w rozdzieleniu na sezon letni i zimowy, przedstawiają Rysunki 3.30 – 3.32.



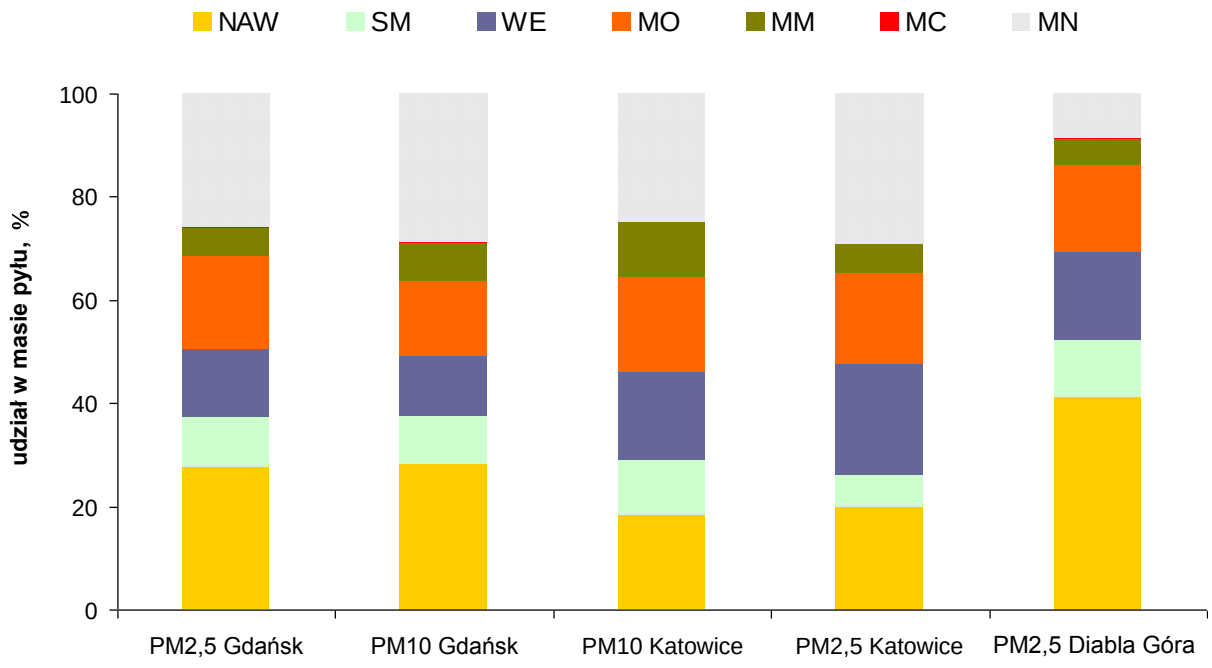
Rysunek 3.29. Stężenia klas składników w 2010 roku w pięciu lokalizacjach w Polsce, µg/m^3



Rysunek 3.30. Udział klas składników (%) w masie pyłu w pięciu lokalizacjach w roku 2010



Rysunek 3.31. Udział klas składników (%) w masie pyłu w pięciu lokalizacjach w sezonie letnim 2010 r.



Rysunek 3.32. Udział klas składników (%) w masie pyłu w pięciu lokalizacjach w sezonie zimowym 2010 r.

Chemiczny bilans masy pozwolił na zidentyfikowanie siedmiu klas składników w masie pyłu zawieszonego. Średnio w całym roku pomiarowym, ich suma stanowiła odpowiednio 66 i 77% masy PM_{10} i $PM_{2,5}$ w Gdańsku. W Katowicach łączna zawartość tych składników wynosiła odpowiednio 73 i 77% masy PM_{10} i $PM_{2,5}$, a w Diablej Górze aż 87% masy $PM_{2,5}$. Największy udział procentowy „części niezidentyfikowanej" w masie PM odnotowano w miesiącach październik-grudzień dla próbek PM z Katowic, oraz w kwietniu, maju i grudniu dla próbek PM pobieranych w Gdańsku. W Diablej Górze „najgorszym" miesiącem

pod tym względem był marzec. Należy zwrócić uwagę, że w próbkach $PM_{2,5}$ z Diablej Góry, poprzez analizy składu chemicznego, zidentyfikowano największą część masy $PM_{2,5}$ spośród wszystkich rozważanych stanowisk.

Za wyjątkiem $PM_{2,5}$ w Katowicach, większą część masy w pozostałych lokalizacjach określono w sezonie zimowym (I i IV kwartał 2010r.) niż w sezonie letnim (II i III kwartał). Generalnie w poszczególnych porach roku (zima: styczeń, luty, grudzień; jesień: wrzesień październik, listopad; lato: czerwiec, lipiec, sierpień; wiosna: marzec, kwiecień, maj) nie stwierdzono wyraźnych różnic w udziałach oznaczanych grup związków.

Prawdopodobnie we wszystkich lokalizacjach „niezidentyfikowaną część" masy PM stanowił szereg pierwiastków, nie analizowanych w ramach tej pracy oraz związana z cząstkami PM woda. W licznych publikacjach wykazywano, że woda może mieć znaczny udział w całkowitej masie PM (Yin i inni, 2008; Hains i inni, 2007; COST633, 2009).

Przykładowy skład pierwiastkowy kilku dobowych próbek pyłu PM_{10} w Katowicach przedstawiono w tabeli 3.11. Wynika z niej, że pierwiastki, uznawane za składniki śladowe (stężenia na poziomie ng/m^3) w sumie mogą osiągać stężenie do 1 µg/m^3 w PM. Pierwiastki główne (takie jak Na, Mg, S, Cl, K, Ca), oznaczano w tej pracy jako kationy i aniony, natomiast porównanie wyników przedstawionych w rozdziale 2 i w tabeli 3.11 wskazuje, że nierozpuszczalna frakcja tych pierwiastków (za wyjątkiem Na) może stanowić istotną część masy PM.

Oznaczanie zawartości EC i OC w średniomiesięcznych próbkach pyłu przeprowadzono analizatorem termicznym techniką NDIR. Nie jest to metodyka zalecana (referencyjna) dla pyłu, zwłaszcza w przypadku analizy OC. Dodatkowe badania zawartości EC i OC w próbkach PM z Gdańska ($PM_{2,5}$, PM_{10}) i Puszczy Boreckiej ($PM_{2,5}$), przeprowadzone za pomocą powszechnie stosowanego na świecie analizatora termo-optycznego (Sunset Laboratory; Rysunki 3.5., 3.11. 3.27. i Tabele 3.2., 3.5., 3.15.), pozwoliły uzyskać wyraźnie odmienny profil chemiczny pyłu. Przede wszystkim odnotowano znaczną różnice w wartości stosunku *MO*'/*WE*' (przeliczone ze stężeń OC i EC uzyskanych w pomiarach analizatorem Sunset Laboratory). W przeciwieństwie do stosunku *MO*/*WE* wyznaczonego na podstawie danych z analizatora termicznego jest on kilka, a nawet kilkanaście razy wyższy. Fakt ten może być związany z różną liczbą próbek poddanych analizie – dane o średnim stężeniu *WE*' i *MO*' uzyskano na podstawie analizy około 80 próbek pyłu (6-7 z miesiąca) z każdej z trzech lokalizacji, w których pomiary takie wykonano (Diabla Góra $PM_{2,5}$, Gdańsk $PM_{2,5}$ i PM_{10}).

Generalnie można stwierdzić, że średniomiesięczne stężenia *MO* uzyskane w tej pracy mogą być za niskie. Średnio w roku 2010 udział *MO* w pyle w $PM_{2,5}$ wynosił 15-18%, a w pyle PM_{10} 10-17%. Analizując rysunki 3.5., 3.11. 3.27. widać natomiast, że wartość *MO*' wskazuje, że udział materii organicznej w pyle może wynosić nawet około 40% ($PM_{2,5}$ Diabla Góra). Udział *MO* w masie PM jest ogólnie wyższy latem i zimą niż w dwóch pozostałych porach roku, co dotyczy próbek z wszystkich stanowisk pomiarowych. Biorąc pod uwagę 2 sezony 2010r, udział *MO* w całkowitej masie PM jest wyższy w sezonie zimowym niż letnim (za wyjątkiem $PM_{2,5}$ – Katowice). Wyższe stężenia *MO* w zimie (Tabele 3.3., 3.6., 3.9., 3.13., 3.16.) wynikają z wysokiej emisji organicznych związków węgla, w tym emisji węglowodorów ze spalania paliw kopalnych. Stosunkowo wysoki udział tej grupy składników w masie PM notowany w sezonie letnim, wskazuje, że ważnymi źródłami OC może być materia biologiczna i tzw. wtórny aerozol organiczny; ma to związek z wpływem promieniowania słonecznego na zwiększenie intensywności przemian lotnych związków organicznych. Warto dodać, że w już latach 50. i 60. XX wieku pojawiły się pierwsze prace wskazujące, że aerozol węglowy może tworzyć się również w procesach wtórnych. Udowodniono, że utlenianie par organicznych może być źródłem mało lotnych związków

organicznych, które w powietrzu kondensują do postaci cząstek, a zatem jest źródłem formowania się wtórnego aerozolu organicznego w atmosferze, tzw. SOA – *Secondary Organic Aerosol*.

Rozdzielenie i ocena ilościowa wtórnego i pierwotnego OC w pyle zawieszonym jest stosunkowo trudna. Ponieważ nie ma bezpośredniej prostej techniki rozdziału tych składników, stosowana jest pewna liczba pośrednich metod do oznaczenia wtórnego OC w aerozolu atmosferycznym. W obecnej pracy zawartość wtórnego aerozolu organicznego w próbkach PM, określono ze stosunku zawartości OC_{total} całkowitego węgla organicznego do całkowitego EC. Metoda polega na przyjęciu wartości minimalnej $(\frac{OC}{EC})_{min}$ stosunku OC/EC, która reprezentuje emisję pierwotną, i założeniu, że wartość tego stosunku jest stała. A zatem stężenie OC_{sec} wtórnego OC oblicza się ze wzoru:

$$\mathbf{OC_{sec} = OC_{total} - (\frac{OC}{EC})_{min} \times EC}$$

Na podstawie wyników uzyskanych w tej pracy trudno jest ocenić udział OC_{sec} w całkowitym stężeniu OC w lokalizacjach. Do tego celu konieczne jest prowadzenie analiz pojedynczych próbek dobowych, zwłaszcza metodą termo-optyczną, w każdej lokalizacji oddzielnie. Pozwoli to na zebranie dużego zbioru danych, który będzie zawierał średniodobowe stężenia EC i OC oraz stosunek tych stężeń.

Dane literaturowe wskazują, że na terenach zurbanizowanych, 25-35% oraz 40-50% masy odpowiednio PM_{10} i $PM_{2,5}$ stanowią związki węgla. Oprócz analizy zawartości węgla organicznego, przeliczonego tutaj na udział MO, rozpatrywano także udział węgla elementarnego w masie PM. Suma tych dwóch komponentów (*MO+WE*), niezależnie od pory roku, stanowiła prawie 40% masy $PM_{2,5}$ ze stacji tła miejskiego w Katowicach (Rysunek 3.21.). Dla próbek PM_{10} ze stacji komunikacyjnej w Katowicach, udział ten był o około 10% niższy (Rysunki 3.15., 3.16.).

Ogólnie można stwierdzić, że stężenia *WE* i jego udział w masie pyłu były najwyższe w styczniu i lutym dla każdej z lokalizacji objętych badaniami. Przykładowo dla próbek PM_{10} z Katowic udział *WE* w masie pyłu wynosił ok. 40% w styczniu, w porównaniu do niewiele ponad 10% w lipcu (Rysunek 3.14.). Warto jednak wspomnieć, że w niektórych przypadkach odnotowano bardzo wysokie udziały węgla w masie PM w miesiącach wiosennych i letnich (np. kwiecień i czerwiec – Katowice $PM_{2,5}$).

Generalnie w każdej lokalizacji stężenia *WE* były więc wyższe w sezonie zimowym niż letnim. Ma to związek z występowaniem w zimie dodatkowego źródła *WE* – spalania paliw dla celów grzewczych. W szczególności potwierdzają to wyniki bilansu chemicznego masy pyłu wykonane dla próbek dobowych w dniach uznanych za epizody podwyższonego stężenia PM. Zazwyczaj w dniach tych udział *WE* w masie pyłu był bardzo wysoki; również stężenia *WE* w powietrzu osiągały bardzo wysokie wartości. Najwyraźniej zależność tą widać w dwóch lokalizacjach w Katowicach (Rysunki 3.17. i 3.22.) i na stanowisku tłowym w Diablej Górze (Rysunek 3.28.).

Zarówno w Katowicach jak i w Gdańsku udział *WE* w masie pyłu był większy w przypadku pyłu $PM_{2,5}$ niż PM_{10}. Na uwagę zasługuje fakt, że węgiel pierwiastkowy powstający w procesach spalania paliw, występuje powszechnie nie tylko na terenach zurbanizowanych, ale także w tak czystych rejonach jak obszary arktyczne. Powszechne występowanie węgla pierwiastkowego w powietrzu jest wynikiem tego, że jest on emitowany z większości źródeł w postaci bardzo drobnych cząstek, o aerodynamicznej średnicy medialnej (tzw. MMD – *mass median diameter*) wynoszącej około 0,2 μm. Stąd też czas jego przebywania w atmosferze jest bardzo długi. Nie jest więc zaskakującym fakt, że nawet na stanowisku

tłowym w Diablej Górze stężenia *WE* w okresie zimowym (zwłaszcza w epizodach) są bardzo wysokie. W celu wyciągnięcia dalszych wniosków konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań, m.in. powtórna analiza zawartości EC i OC w próbkach PM metodą termo-optyczną (analizator Sunset Laboratory). Pozwoliłoby to prawdopodobnie na wyeliminowanie błędu polegającego na zaliczaniu pirolitycznego węgla do sadzy, który w rzeczywistości wynika z przemiany związków organicznych (uzyskane stężenia EC byłyby niższe).

Nieorganiczny aerozol wtórny (*NAW*) jest to część (masa) pyłu, powstała w wyniku przemian gazowych prekursorów pyłu, między innymi, SO_x i NO_x. Utlenianie SO_2 w powietrzu może być katalizowane pod wpływem związków metali ciężkich (Fe, Mn, Cu, Ni). Proces utleniania może zachodzić w roztworze, a więc zarówno w kroplach wody znajdującej się w powietrzu (chmury, mgła), jak też na cząstkach aerozoli stałych, przy wilgotności od 50%. Tworzący się w wyniku reakcji H_2SO_4 może w pewnych warunkach przechodzić w siarczany:

$$SO_2 + 1^1/_2\, O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$
$$H_2SO_4 + MeO \rightarrow MeSO_4 + H_2O$$

Powstały kwas siarkowy (H_2SO_4) może z kolei reagować zarówno z tlenkami metali (MeO), jak i z jonami, np. amonowymi NH_4^+. Całkowite przejście SO_2 w aerozol kwasu siarkowego jest warunkowane obecnością substancji zasadowych w powietrzu. Większość wtórnych siarczanów występuje jako kombinacja następujących związków: kwas siarkowy (H_2SO_4), dwusiarczan amonu (NH_4HSO_4) oraz siarczan amonu ($(NH_4)_2SO_4$). W wyniku oksydacji tlenków azotu NO_x, z wytworzeniem kwasu azotowego HNO_3 tworzą się jony azotanowe NO_3^-. Reakcja HNO_3 z alkalicznymi składnikami PM lub gazowym amoniakiem może prowadzić do powstania, odpowiednio, aerozolu azotanowego lub występującego w postaci cząstek – azotanu amonu.

Z przedstawionych na rysunkach i w tabelach danych wynika, że najwyższy udział aerozolu wtórnego w PM odnotowano dla próbek $PM_{2,5}$ z Diablej Góry – wartość średnioroczna tego udziału wynosiła około 36%, natomiast w lecie była nieco wyższa (ponad 40%) (Rysunek 3.26.). W Gdańsku średnioroczny udział *NAW* w masie zarówno $PM_{2,5}$ jak i PM_{10} osiągał 25% (Rysunki 3.4., 3.10.). Generalnie wyniki uzyskane w tej pracy są zgodne z doniesieniami literaturowymi, które wskazują, że główna część *NAW* związana jest z drobnymi cząstkami oraz, że największy udział *NAW* w masie pyłu identyfikowany jest zazwyczaj w lokalizacjach tłowych (takich jak stanowisko w Diablej Górze). W Gdańsku, gdzie na jednej stacji pobierano pył PM_{10} i $PM_{2,5}$ widać wyraźnie, 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 (Rysunki 3.13.-3.16.), gdzie udział *NAW* w masie PM wynosił średnio około 18% w całym roku 2010. Ponieważ emisja SO_x i NO_x w punktach komunikacyjnych jest zazwyczaj stosunkowo wyższa w porównaniu do stanowisk tła miejskiego, powodem wystąpienia tej sytuacji jest prawdopodobnie niskie stężenie substancji neutralizujących oraz występowanie niekorzystnych warunków termodynamicznych i meteorologicznych, niesprzyjające przemianom gazowo-cząsteczkowym. Przyczyną może być również bardzo wysoka zawartość węgla elementarnego i organicznego w próbkach PM_{10} z Katowic.
Warto tutaj zaznaczyć, że za wyjątkiem dwóch lokalizacji w Katowicach, udział *NAW* w masie pyłu, w epizodach podwyższonego stężenia PM, był stosunkowo wysoki (Tabele 3.4., 3.7., 3.17.), wyższy od średnich miesięcznych i sezonowych udziałów tego składnika. Ponieważ nie analizowano składu elementarnego próbek dobowych (za wyjątkiem epizodów), trudno powiedzieć czy sytuacja ta wynika z wysokiej emisji tlenków siarki i azotu ze spalania paliw (o czym może dodatkowo świadczyć podwyższony udział *WE* w masie PM), czy też

z napływu wtórnego aerozolu w tych dniach z dalszych rejonów. W przypadku próbek $PM_{2,5}$ pobieranych na stacja tła regionalnego w Diablej Górze, drugie wyjaśnienie wydaje się być bardziej prawdopodobne.

Aerozol morski stanowi zespół rozpylonych w powietrzu kropel wody morskiej i/lub cząstek powstałych w procesach parowania wody morskiej pod wpływem działania wiatru. Można wyróżnić dwa odmienne typy tego aerozolu:

a) aerozol pierwotny, głównie sól morska (frakcja pierwotnych organicznych cząstek siarkowych), oraz
b) aerozol wtórny, składający się głównie z siarczanów i materii organicznej, których źródłem nie jest sól morska, a przemiany gazowo-cząsteczkowe.

Ilościowo, sól morska posiada największy udział w masie aerozolu morskiego. Dyrektywa CAFE zezwala na odejmowanie udziału soli morskiej od całkowitego stężenia PM_{10}, w pewnych ustalonych warunkach (Guidance, 2010a), przy czym należy brać pod uwagę negatywną korelację występującą między stężeniem soli morskiej a stężeniem PM, powodowaną przez źródła antropogeniczne.

We wszystkich lokalizacjach i obu frakcjach pyłu średni udział soli morskiej (*SM*) w masie pyłu wynosił w granicach 8-9% (Rysunki 3.4., 3.10., 3.16., 3.21.). Wyjątkiem są próbki $PM_{2,5}$ z Diablej Góry, dla których udział *SM* przekraczał 13% (Rysunek 3.26.). W Gdańsku stwierdzono bardzo podobny udział *SM* w masie $PM_{2,5}$ i PM_{10}, który nie wykazywał wyraźnej zmienności sezonowej (Rysunki 3.4. i 3.10.). Odnotowano jednak stosunkowo wyższy udział SM w $PM_{2,5}$ i PM_{10} z Gdańska w sezonie wiosennym i jesiennym, w porównaniu z sezonem letnim i zimowym. Prawdopodobną przyczyną jest występowanie silniejszych wiatrów w tych porach roku, a co za tym idzie przenoszenie rozpylonych w powietrzu kropel wody morskiej i/lub cząstek powstałych w procesach parowania wody morskiej.

W Diablej Górze zaskakująco wysoki udział *SM* zanotowano w maju i w czerwcu. W miesiącach tych odnotowano stosunkowo niskie stężenia jonów Cl^-, jednak wysokie stężenia jonów Na^+ oraz związków węgla. Może to świadczyć o pojawieniu się dodatkowego, być może naturalnego, źródła sodu i innych substancji alkalicznych w powietrzu, np. pożaru czy spalania biomasy. Z kolei analiza składu dobowych próbek $PM_{2,5}$ (epizody) i próbek średniomiesięcznych z okresu zimowego pokazała, że w całym okresie zimowym/grzewczym prawdopodobnym źródłem SM w Diablej Górze są natomiast procesy antropogeniczne, w tym spalanie paliw.

Na stanowisku tła miejskiego w Katowicach udział *SM* w próbkach $PM_{2,5}$ był dwukrotnie wyższy w sezonie letnim niż w sezonie zimowym. Podobnie jak w przypadku $PM_{2,5}$ z Diablej Góry odnotowano stosunkowo niskie stężenia jonów Cl- w tym okresie. Wysokie były natomiast stężenia jonów Na^+ i dodatkowo K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+. A zatem podobnie jak dla $PM_{2,5}$ ze stacji tła regionalnego, również w lokalizacji miejskiej w Katowicach wpływ na obserwowane udziały PM mogło mieć dodatkowe źródło pyłu alkalicznego – np. napływ pyłu z okolicznych terenów zielonych lub ogródków działkowych (wypalanie traw, spalanie biomasy).

Najwyższy udział *SM* w PM_{10} ze stacji komunikacyjnej w Katowicach odnotowano w styczniu, lutym, marcu i grudniu. Analiza składu chemicznego próbek średniomiesięcznych z tego okresu wskazuje, że źródłem *SM* w PM_{10} może być posypywanie dróg solą. Do podobnych wniosków można również dojść, analizując skład chemiczny próbek dobowych (epizody) (Rysunek 3.17.); przykładowo 25 stycznia 2010 roku udział *SM* w masie PM_{10} przekroczył 20%. Należy zwrócić uwagę, że aby prawidłowo ocenić udział soli drogowej

w próbkach PM_{10}, należałoby w tym samym punkcie komunikacyjnym przeprowadzić analizę składu pyłu $PM_{2,5}$.

Oszacowany w tej pracy udział *SM* na podstawie znajomości stężeń chloru i sodu jest dużym uproszczeniem (stosowanym jednak na całym świecie). Bez pełnej analizy elementarnej próbek PM, nie można oddzielić soli morskiej od innych źródeł soli, takich jak spalanie paliw (źródło KCl i NaCl) czy też posypywanie ulic solą w okresie zimowym. Przykładowo wysoki udział *SM* w listopadzie w Gdańsku (prawie 30%) może świadczyć o wpływie spalania paliw na stężenia *SM* w powietrzu. 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).

Udział materii mineralnej *MM* w masie PM z wszystkich stanowisk oszacowano przeliczając stężenia pierwiastków, uznawanych w literaturze za krustalne – Al, Ti, Mg, Ca, K, Fe – oraz CO_3^{2-} i krzemionki SiO_2. Udział krzemionki oceniono w sposób podany pod tabelą 3.1., a obliczone w ten sposób stężenia SiO_2 w każdej z lokalizacji zestawiono w tabelach 3.18. i 3.19. na końcu rozdziału.

Należy z góry zaznaczyć, że Al, Mg, Ca czy Fe mogę pochodzić nie tylko ze źródeł naturalnych, ale także z procesów antropogenicznych. Ponieważ w pracy Mg, Ca i K oznaczano jako jony wyekstrahowane w wodzie, a zatem nie jest znana masa i stężenie tych pierwiastków związanych w formach nierozpuszczalnych w wodzie. Masa ta natomiast, jak wynika z badań prowadzonych spektrometrem fluorescencji rentgenowskiej (przykładowe wyniki dla punktu komunikacyjnego w Katowicach – Tabela 3.11.) może być wysoka.

Wyższy udział *MM* w masie PM odnotowano w sezonie letnim niż zimowym, co dotyczy wszystkich punktów pomiarowych. Co ciekawe niezależnie od lokalizacji punktu pomiarowego – tło regionalne, tło miejskie – udział *MM* 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 *MM* w pyle jest poprawny i średnio w roku 8% masy $PM_{2,5}$ związanych jest ze źródłami naturalnymi – glebą, piaskiem. Związek ze źródłami naturalnymi potwierdza również przebieg miesięcznych udziałów *MM* w masie $PM_{2,5}$.

Analizując udział *MM* w masie PM_{10} należy pamiętać o roli resuspensji (wtórnego pylenia) jako źródła *MM* w powietrzu atmosferycznym. Dotyczy to w szczególności frakcji pyłu grubego $PM_{2,5\text{-}10}$. Stężenia *MM* i udziały w masie PM_{10} w Gdańsku i w Katowicach były wyższe niż w przypadku $PM_{2,5}$. W Gdańsku udział *MM* w masie PM_{10} wynosił 15, 7 i 10% odpowiednio w sezonie letnim, zimowym i średnio w 2010 roku. Analiza przebiegu udziałów miesięcznych *MM* w masie PM_{10} w Gdańsku pokazuje, że są one wyższe w miesiącach letnich, wiosennych i jesiennych niż zimowych. Ponadto nie zaobserwowano widocznej zmiany udziału *MM* w próbkach dobowych PM_{10} z epizodów w Gdańsku. Można zatem przypuszczać, że nie mniej niż 10% PM_{10} w Gdańsku pochodzi ze źródeł naturalnych – gleby, piasku, itd. Wydaje się jednak, że udział ten jest nieco nieoszacowany, a wpływ na to może mieć wspomniany już brak informacji o całkowitych stężeniach Ca, K i Mg w próbkach PM. Jedynie w jednym przypadku składu dobowego z epizodu w Gdańsku (19 stycznia) wydaje się, że wpływ na wysoki udział *MM* w masie PM_{10} mogła mieć resuspensja.

Zjawisko resuspensji może występować szczególnie w punkcie komunikacyjnym w Katowicach. Jego intensyfikacji sprzyja duże natężenie ruchu pojazdów i związane z nim turbulencje mas powietrza. Znajduje to potwierdzenie w udziale *MM* i całkowitym składzie chemicznym próbki PM_{10} z 18 stycznia. Jednak w przypadku punktu komunikacyjnego

oprócz wysokiego udziału *MM* w PM_{10} w lecie, jesieni i na wiosnę także w zimie udział ten jest stosunkowo wysoki. Średnio w sezonie letnim udział *MM* w masie PM_{10} w Katowicach wynosił 15%, w sezonie zimowym – 10% i średnio 12 % w roku 2010. Z porównania wyników z tabeli 3.18. i rozdziału 2 wyraźnie widać, że główny udział w *MM* w miesiącach zimowych (zwłaszcza styczeń, luty) ma krzemionka. Wynika z tego, że posypywanie drogi w Katowicach piaskiem w zimie można uznać za znaczące (kilka $\mu g/m^3$) źródło pyłu PM_{10}.

W przypadku stanowisk komunikacyjnych takich jak punkt pomiarowy PM_{10} w Katowicach, *MM* nie musi związany być ze źródłami naturalnymi. W literaturze pokazano, że najczęściej jest to mieszanina pyłu drogowego (ze ścierania opon, okładzin i klocków hamulcowych oraz nawierzchni, itd.) i glebowego, porywana poprzez mieszające się masy powietrza i zmieniająca pod wpływem różnego rodzaju przemian i procesów swój skład i wielkość wchodzących w jej skład cząstek.

Tabela 3.18. Średniomiesięczne stężenia SiO_2 ($\mu g/m^3$) oszacowane na podstawie stężeń Al_2O_3 w powietrzu w pięciu lokalizacjach

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Gdańsk PM_{10}	0,57	0,85	1,69	2,15	1,18	1,02	0,90	1,00	0,16	1,50	0,38	0,23
Gdańsk $PM_{2,5}$	0,14	0,16	1,24	1,14	1,26	0,96	0,63	0,82	0,14	0,60	0,36	0,22
Katowice PM_{10}	9,13	7,82	2,92	2,87	1,37	2,14	2,26	2,27	1,81	3,92	2,01	1,78
Katowice $PM_{2,5}$	6,78	0,26	0,73	0,72	0,59	0,26	0,75	1,61	1,36	1,65	0,80	0,73
Diabla Góra $PM_{2,5}$	0,16	0,17	0,15	0,52	0,66	0,84	0,74	0,59	0,16	0,94	0,16	0,24

Tabela 3.19. Stężenia SiO_2 (µg/m^3) oszacowane na podstawie stężeń Al_2O_3 w powietrzu w trakcie epizodów wysokich stężeń

Gdańsk	2010-01-06	2010-01-07	2010-01-15	2010-01-19	2010-01-25	2010-01-26	2010-02-09	2010-02-10	2010-02-19	2010-03-11	2010-03-31
PM_{10}	2,51	2,44	1,57	6,80	2,93	3,39	1,94	2,79	2,78	2,11	0,64
$PM_{2,5}$	2,85	2,42	1,37	1,80	2,64	1,64	0,66	0,65	1,54	1,67	2,04
Katowice	2010-01-08	2010-01-19	2010-01-25	2010-01-26	2010-01-27	2010-02-09					
PM_{10}	25,16	12,28	8,83	5,56	9,66	13,36					
Katowice	2010-01-07	2010-01-08	2010-01-19	2010-01-26	2010-01-27	2010-02-01					
$PM_{2,5}$	7,58	8,34	2,68	10,33	11,49	2,11					
Diabla Góra	2010-01-05	2010-01-07	2010-01-08	2010-01-25	2010-01-26	2010-01-27	2010-02-02	2010-02-09	2010-02-19		
$PM_{2,5}$	1,76	1,69	2,10	2,10	0,74	2,18	0,71	1,44	0,70		

Literatura do rozdziału 3

Chow J.C., Watson J.G., Fujita E.M., Lu Z., Lawson D.R. and Ashbaugh L.L. (1994) Temporal and spatial variations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the southern California air quality study. *Atmospheric Environment* 28, 2061–2080.

Chow J.C., Watson J.G., Lowenthal D.H., Chen L.W.A, Zielinska B., Mazzoleni L.R. and Magliano K.L. (2007) Evaluation of organic markers for chemical mass balance source apportionment at the Fresno supersite. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 1741–1754.

Grosjean, D., Friedlander, S.K. (1975). Gas-particle distribution factors for organic and other pollutants in the Los Angeles atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association* 25: 1038.

Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., Vonmont, H. (2005): Chemical characterization of $PM_{2.5}$, PM_{10} and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment* 39: 637–651

Jasan R.C., R.R. Plá, R. Invernizzi, M. Dos Santos: Characterization of atmospheric aerosol in Buenos Aires, Argentina, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **281**, 101–105 (2009).

Maenhaut, W., Raes, N., De Backer, H., Cheymol, A. (2007): Seasonal variability in atmospheric aerosol levels and elemental composition during 2006 at Uccle, Belgium. Proceedings of the XI International Conference on PIXE and its Analytical Applications. Puebla, Mexico, May 25 – 29, 2007.

Mason, B. (1966): Principles of geochemistry. Wiley. New York

Morata, D., Polvé, M., Valdés, A., Belmar, M., Dinator, M.I., Silva, M., Leiva, M.A., Aigouy, T., Morales, J.R. (2008): Characterisation of aerosol from Santiago, Chile: an integrated PIXE-SEM-EDX study. *Environmental Geology* 56: 81–95.

Perez N., Pey J., Querol X., Alstuey A., Lopez J.M., Viana M. (2008): Partitioning of major and trace components in PM_{10}-$PM_{2.5}$-PM_1 at an urban site in Southern Europe. Atmospheric Environment 42, 1677–1691.

Rajšić, S., Mijić, Z., Tasić, M., Radenković, M., Joksić, J. (2008): Evaluation of the levels and sources of trace elements in urban particulate matter. *Environmental Chemistry Letters* 6: 95–100.

Sillanpää, M., Saarikoski, S., Hillamo, R., Pennanen, A., Makkonen, U., Spolnik, Z., Van Grieken, R., Koskentalo, T., Salonen, R.O. (2005): Chemical composition, mass size distribution and source analysis of long-range transported wildfire smokes in Helsinki. *Science of the Total Environment* 350: 119–135.

Terzi, E., Anatolaki, C., Samara, C., Tsitouridou, R. (2008): Mass closure of total suspended particles over the coal burning power production area of western Macedonia, Greece. *Journal of Atmospheric Chemistry* 59:171–186.

Turpin, B.J., Saxena, P., Andrews, E. (2000): Measuring and simulating particulate organics in the atmosphere: problems and prospects. *Atmospheric Environment* 34, 2983–3013.

Vecchi, R., Chiari, M., D`Alessandro, A., Fermo, P., Lucarelli, F., Mazzei, F., Nava, S., Piazzalunga, A., Prati, P., Silvani, F., Valli, G. (2008): A mass closure and PMF source apportionment study on the sub-micron sized aerosol fraction at urban sites in Italy. *Atmospheric Environment* 42, 2240–2253

Viana, M., Kuhlbusch, T.A.J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R. M., Hopke, P.K., Winiwarter, W., Vallius, W., Szidat, S., Prévôt, A.S.H., Hueglin, C., Bloemen, H., Wåhlin, P., Vecchi, R., Miranda, A.I., Kasper-Giebl, A., Maenhaut, W., Hitzenberger, R. (2008): Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. *Aerosol Science* 39: 827–849.

4. Analiza epizodów podwyższonych stężeń pyłu

Celem tej części pracy jest 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 – rozdział 4.6.)*

Celem przeprowadzonej przez IETU analizy dla wybranych epizodów podwyższonych stężeń pyłu zawartej 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.

4.1. Metodyczne podstawy oceny wpływu różnych źródeł w tym naturalnych na poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem

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 określenia takiego wpływu wykonano przy uwzględnieniu wybranych wskazówek metodycznych do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych zawartych w Wytycznych Komisji Europejskiej, których treść jest szczegółowo opisana w rozdziale 5.

Według wspomnianych wytycznych najważniejszymi źródłami, których udziały kwalifikują się do odejmowania od stężeń zaobserwowanych, zgodnie z ustaleniami Dyrektywy CAFE, 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 marginalne i nie należy oczekiwać, aby udział tych źródeł mógł mieć większy wpływ na stężenie pyłu. Zważywszy jednak fakt konieczności próby takiej analizy, 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.

4.2. Kryteria wyboru epizodów podwyższonych stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$

Identyfikacja epizodów wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ zanieczyszczeń przebiegała 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 wykraczało poza możliwości i dane będące w posiadaniu wykonawców projektu.

4.2.1. Stężenia zanieczyszczeń

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 PM_{10} dobowe > 50 $\mu g/m^3$ (dodatkowo identyfikowany na podstawie róży 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 $PM_{2,5}$ dobowe > 50 $\mu g/m^3$,
- dodatkowo stężenie PM_{10} dobowe > 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.

4.2.2. Warunki meteorologiczne

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

Warunki meteorologiczne oddziaływają na poziom stężeń zanieczyszczeń dwojako:

- 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 dobowa temperatura powietrza < 5ºC,
- średnia dobowa prędkość wiatru < 3 m/s,
- kierunek wiatru,
- średnia dobowa 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 PIB 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.

4.2.3. Lista epizodów skatalogowanych w roku 2010

Poniżej zamieszczono listę epizodów wysokich stężeń pyłu zawieszonego frakcji PM_{10} i $PM_{2,5}$ wybranych zgodnie z powyżej opisanymi kryteriami z rocznego okresu pomiarowego realizowanego w roku 2010 dla czterech stanowisk pomiarowych, na których prowadzone były pomiary stężenia pyłu i jego składu chemicznego dla potrzeb realizacji niniejszej pracy. Analizę chemiczną wykonano dla epizodów wyróżnionych podkreśleniem, zaznaczono też najwyższe wartości poprzez pogrubienie.

W rezultacie do szczegółowej analizy wybrano epizody podwyższonych poziomów stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ dla 22 dni z okresu styczeń – marzec 2010 roku, w tym:

– 9 epizodów tylko dla Gdańska – 06-01-2010, 15-01-2010, 08-02-2010, 10-02-2010, 17-02-2010, 18-02-2010, 26-02-2010, 11-03-2010, 31-03-2010;

– 4 epizody wspólne dla Katowic, Gdańska i Diablej Góry – 07-01-2010, 25-01-2010, 26-01-2010, 09-02-2010;

– 2 epizody tylko dla Diablej Góry – 05-01-2010, 02-02-2010;

– 2 epizody tylko dla Katowic – 01-02-2010, 25-02-2010;

– 2 epizody wspólne dla Katowic i Diablej Góry – 08-01-2010, 27-01-2010;

– 2 epizody wspólne dla Katowic i Gdańska – 19-01-2010, 16-02-2010;

– 1 epizod wspólny dla Gdańska i Diablej Góry – 19-02-2010.

Tabela 4.2.3.1. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM dla przyjętych kryteriów (wartości zaokrąglone do 1μg/m^3; pogrubieniem zaznaczono najwyższe

stężenia; podkreśleniem zaznaczono epizody dla których wykonano analizę składu chemicznego)

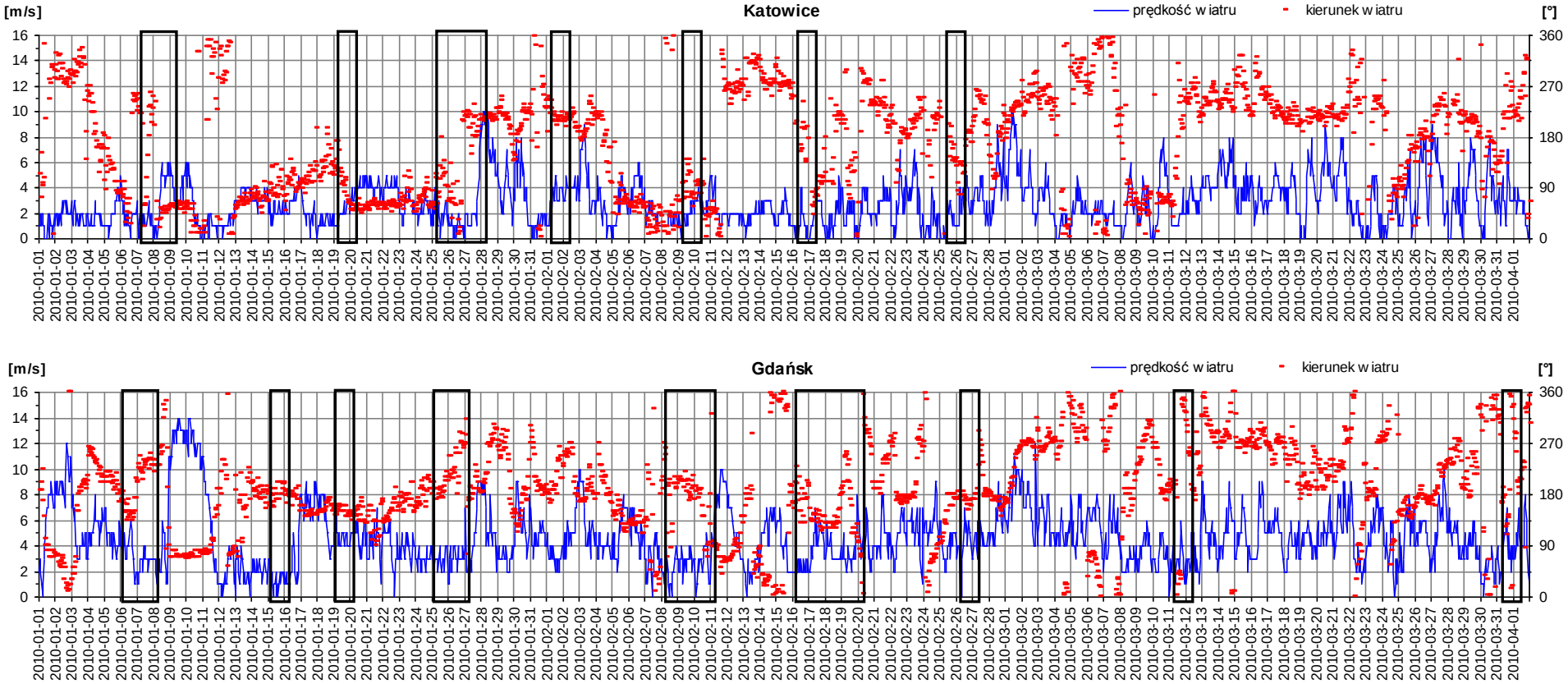
Data	Stacja pomiarowa				
	Katowice ul. W. Stwosza	**Katowice ul. S. Kossutha**	**Gdańsk ul. Leczkowa**		**Puszcza Borecka Diabla Góra**
	PM_{10}	**$PM_{2,5}$**	**PM_{10}**	**$PM_{2,5}$**	**$PM_{2,5}$**
	stężenie 24-godz. [μg/m^3]				
	> 150	**> 50**	**> 50**	**> 30**	**> 30**
Analiza chemiczna epizodów	***6/10 przypadków***		***11/16 przypadków***		***9/9 przypadków***
05-01-2010	-	-	-	-	39
06-01-2010	-	-	50	41	-
07-01-2010	214	152	75	62	40
08-01-2010	152	147	-	-	**69**
15-01-2010	-	-	54	41	-
19-01-2010	170	108	50	36	-
25-01-2010	211	124	**144**	**114**	47
26-01-2010	206	199	116	93	37
27-01-2010	**319**	**229**	-	-	37
01-02-2010	140	87	-	-	-
02-02-2010	-	-	-	-	49
08-02-2010	-	-	105	82	-
09-02-2010	159	126	112	89	47
10-02-2010	-	-	113	92	-
16-02-2010	168	129	74	55	-
17-02-2010	-	-	60	46	-
18-02-2010	-	-	75	57	-
19-02-2010	-	-	77	54	58
25-02-2010	168	114	-	-	-
26-02-2010	-	-	89	61	-
11-03-2010	-	-	72	54	-
31-03-2010	-	-	58	42	-

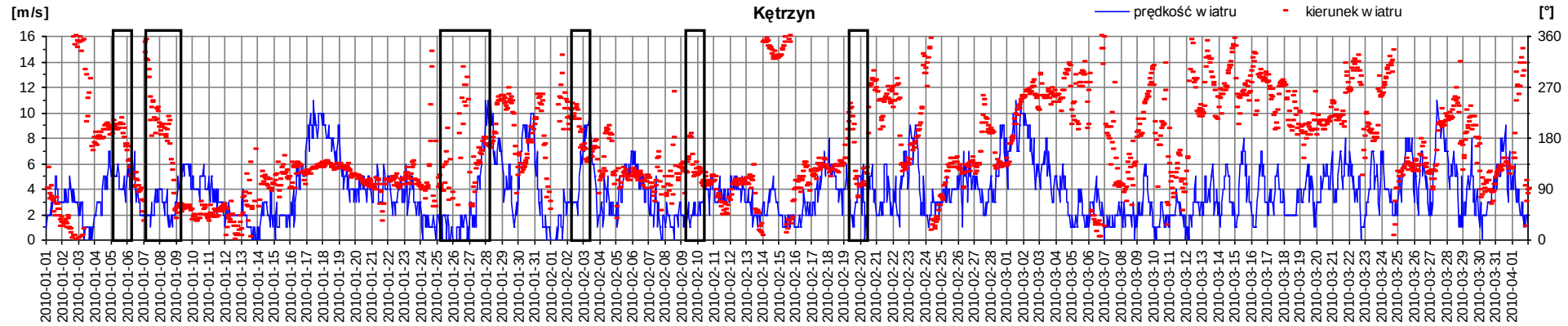
4.3. Analiza meteorologiczna epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu pod kątem źródeł jego pochodzenia

4.3.1. Przyziemne warunki meteorologiczne w miejscu epizodu

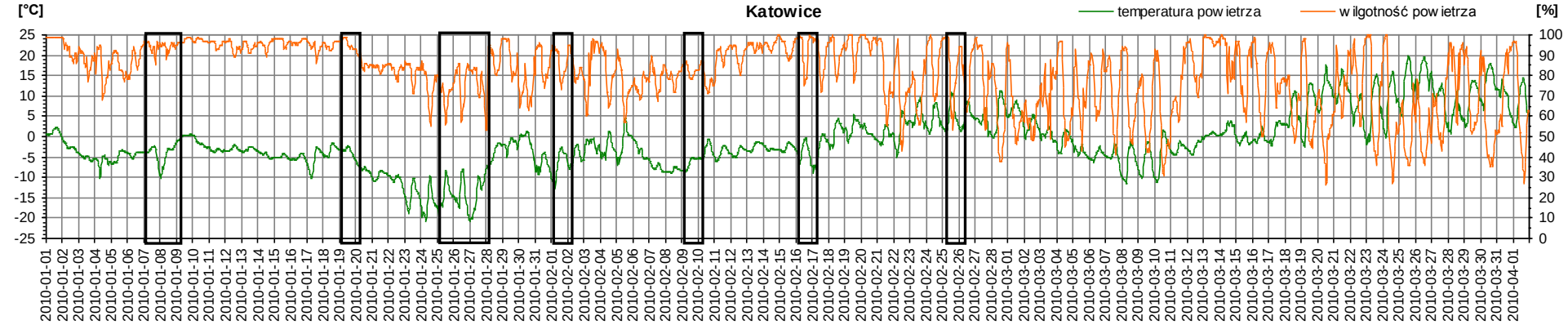
Analizę warunków meteorologicznych występujących w czasie i miejscu epizodów wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ przeprowadzono przy wykorzystaniu danych pomiarowych z trzech stacji synoptycznych (I rzędu) PSHM IMGW PIB: Katowice, Gdańsk, Kętrzyn. Stacje te wybrano do analiz ze względu na ich bliską lokalizację względem wytypowanych do badań punktów pomiarowych pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$: Katowice, Gdańsk, Diabla Góra (Puszcza Borecka). Stacje synoptyczne charakteryzują się reprezentatywnością regionalną pomiarów meteorologicznych.

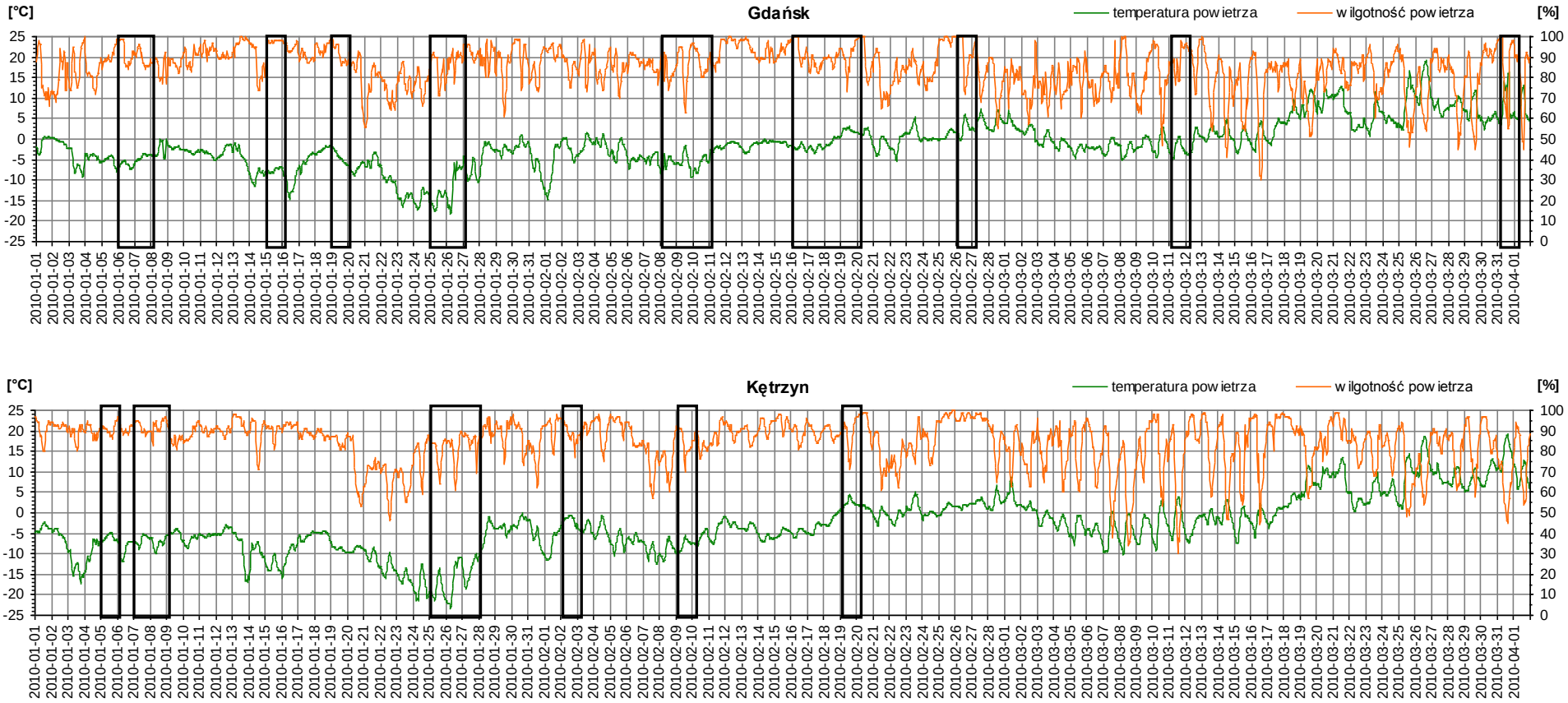
Dla Katowic, Gdańska i Kętrzyna wykreślono przebiegi w odstępie godziny w pierwszym kwartale 2010 roku takich parametrów meteorologicznych jak: prędkość i kierunek wiatru (rysunek 4.3.1.1.), temperatura i wilgotność względna powietrza (rysunek 4.3.1.2.), ciśnienie atmosferyczne (na poziomie stacji) oraz stopień zachmurzenia (rysunek 4.3.1.3.). Ponadto zestawiono przebiegi średnich dobowych wartości prędkości i kierunku wiatru, temperatury powietrza (średnia, maksymalna i minimalna) oraz dobowych sum opadów atmosferycznych z przebiegami średnich dobowych wartości stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$ zmierzonych w odpowiednich punktach pomiarowych (rysunki 4.3.1.4.-4.3.1.6.). Średnią dobową prędkość wiatru obliczono arytmetycznie oraz wektorowo. Różnica między tymi średnimi wskazuje na zmienność kierunku wiatru w ciągu doby. Kierunek wiatru obliczony wektorowo jest kierunkiem dominującym dla danej doby (najczęstszym i z największą średnią prędkością wiatru).


[m/s]
Katowice
prędkość wiatru
kierunek wiatru
[°]
Gdańsk

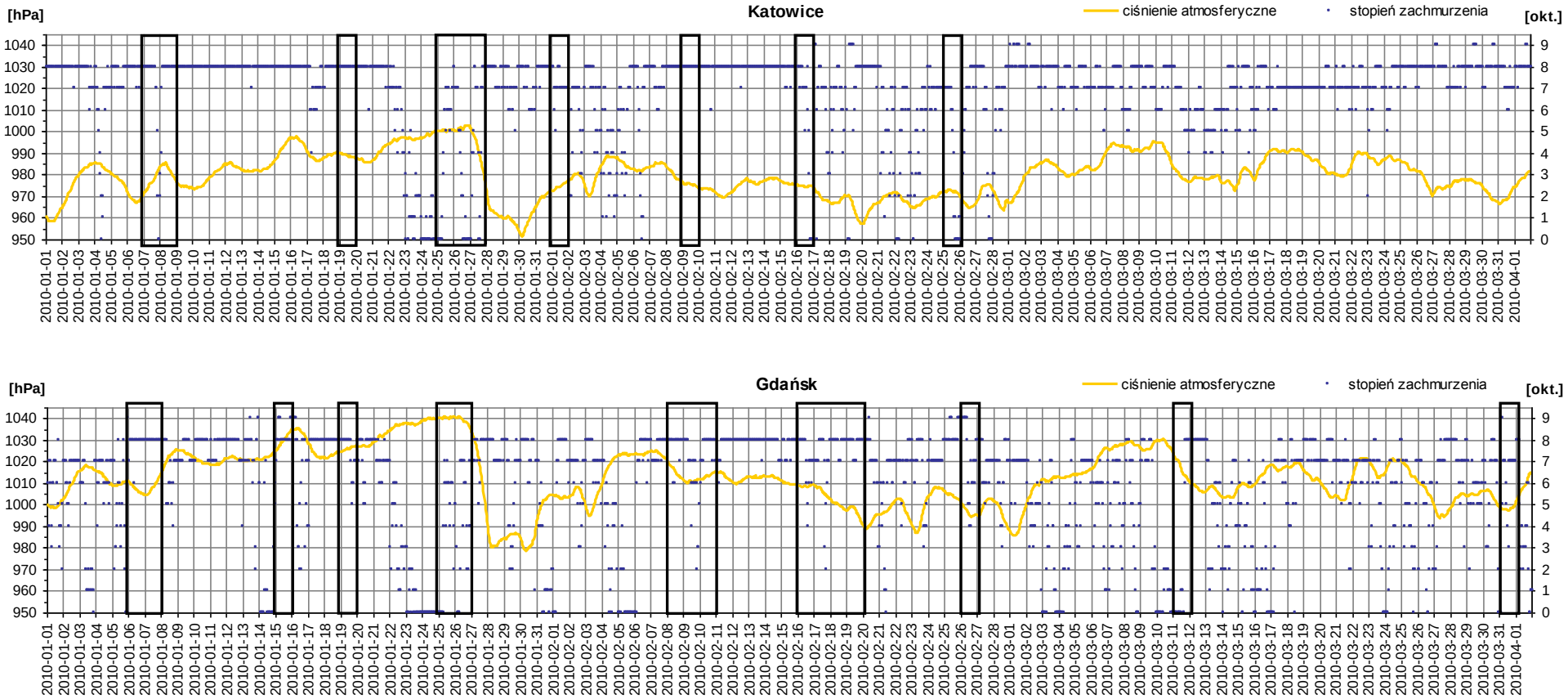


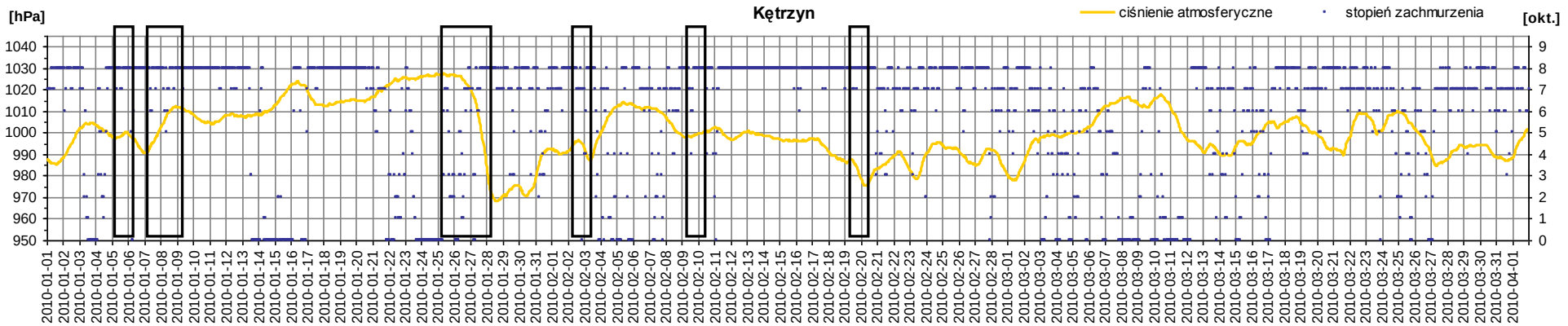
Rysunek 4.3.1.1. Przebieg wartości (co godzinę) prędkości i kierunku wiatru, zmierzonych w okresie 1.01-1.04.2010 na stacjach synoptycznych Katowice, Gdańsk i Kętrzyn; ramkami zaznaczono okresy, w których wystąpiły epizody wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$



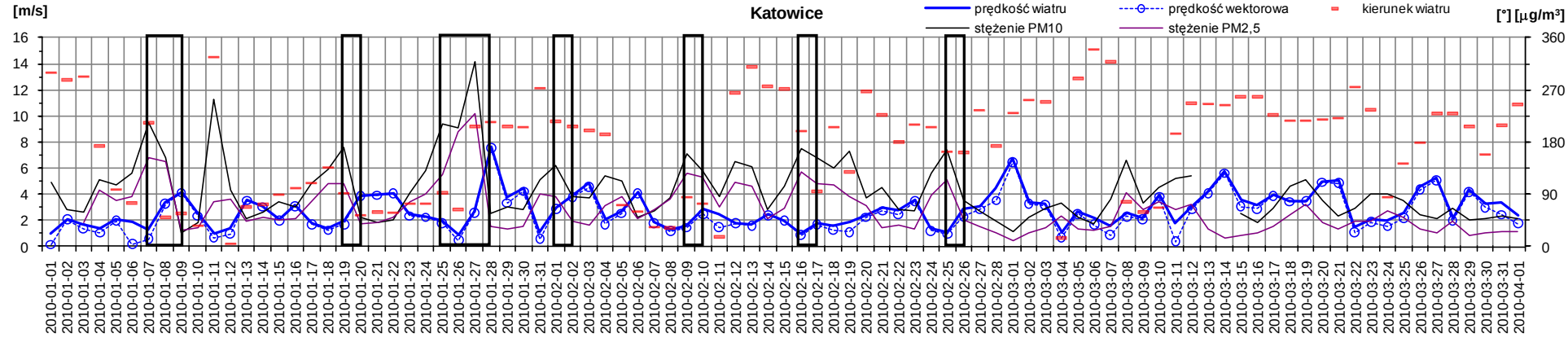


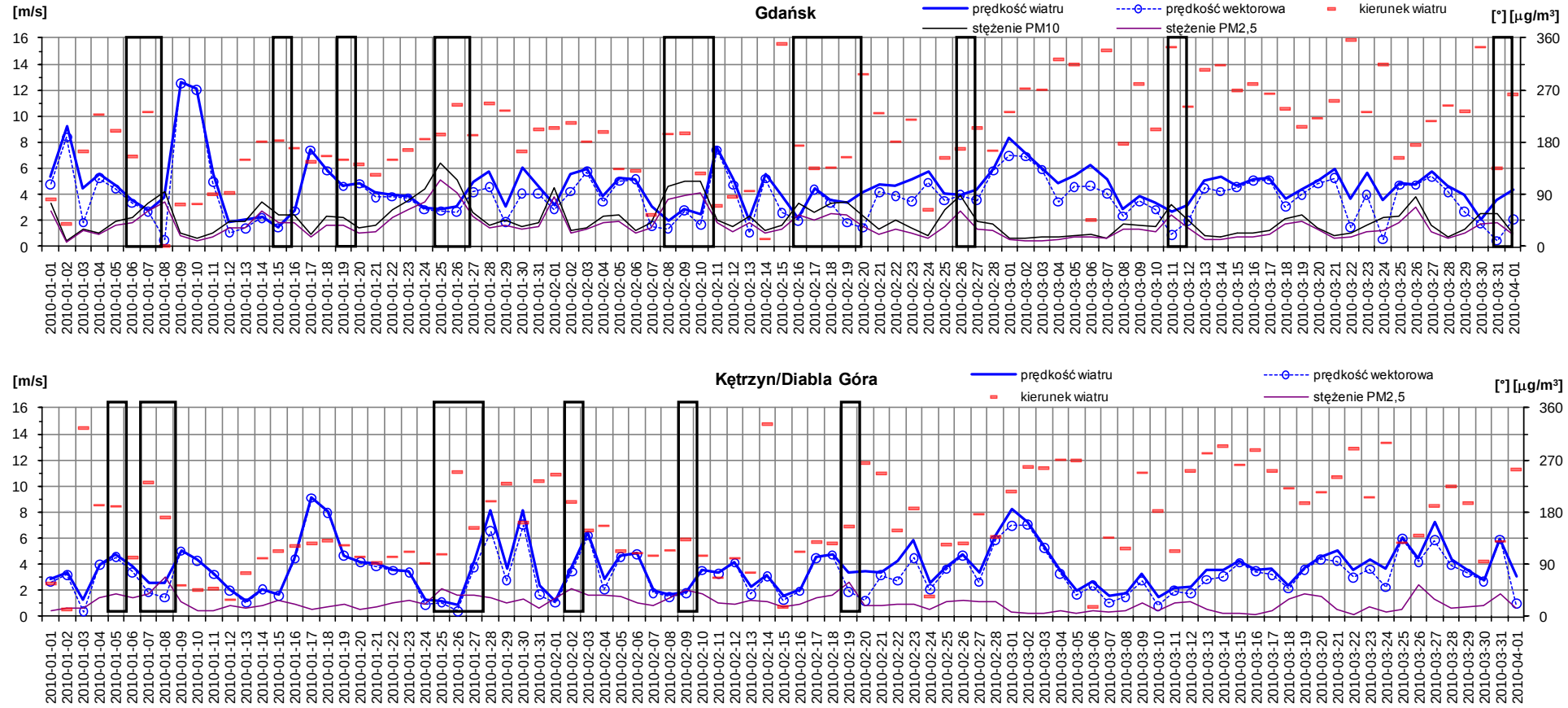
Rysunek 4.3.1.2. Przebieg wartości (co godzinę) temperatury i wilgotności powietrza, zmierzonych w okresie 1.01-1.04.2010 na stacjach synoptycznych Katowice, Gdańsk i Kętrzyn; ramkami zaznaczono okresy, w których wystąpiły epizody wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$


Katowice
[hPa]
[okt.]
ciśnienie atmosferyczne
stopień zachmurzenia
Gdańsk
[hPa]
[okt.]
ciśnienie atmosferyczne
stopień zachmurzenia

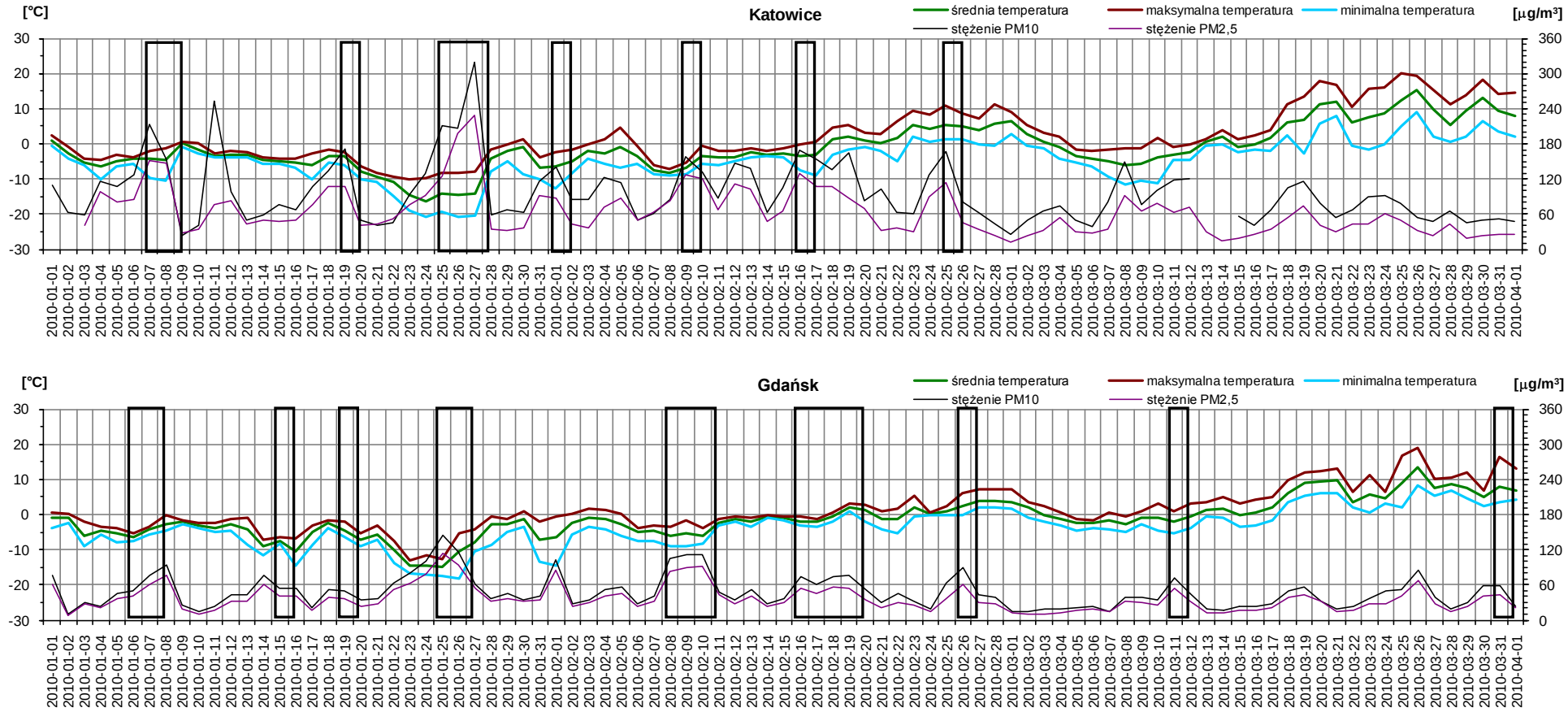


Rysunek 4.3.1.3. Przebieg wartości (co godzinę) ciśnienia atmosferycznego i stopnia zachmurzenia, zmierzonych w okresie 1.01-1.04.2010 na stacjach synoptycznych Katowice, Gdańsk i Kętrzyn; ramkami zaznaczono okresy, w których wystąpiły epizody wysokich stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$

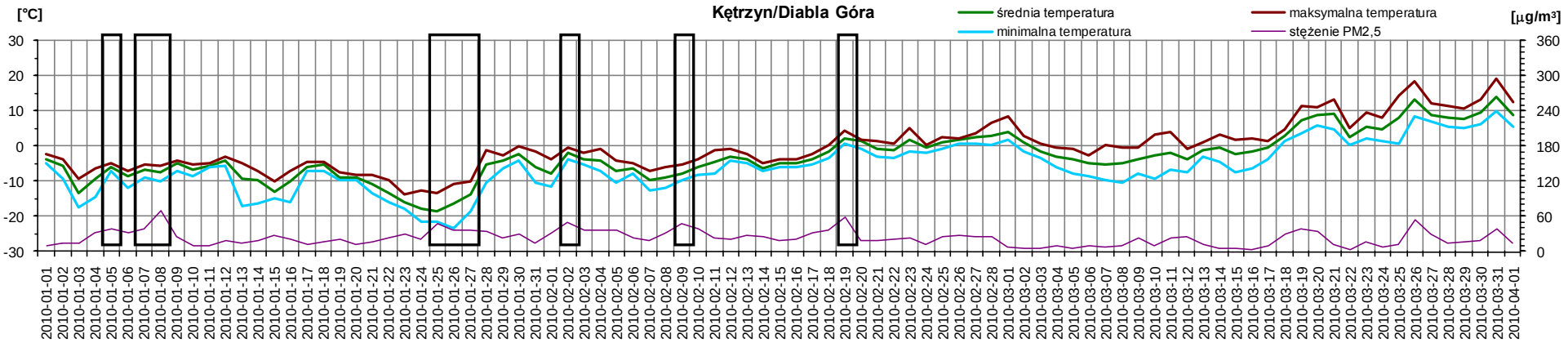




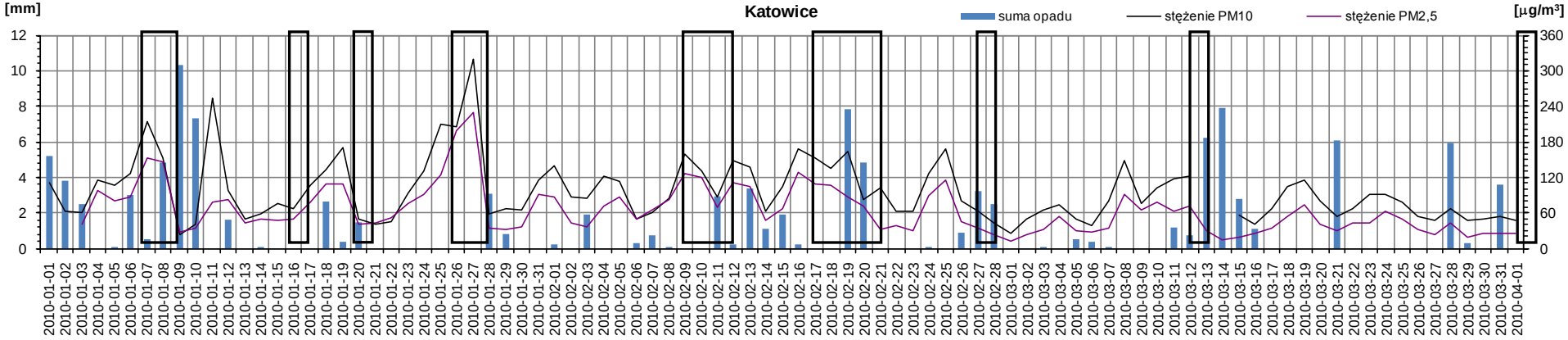
Rysunek 4.3.1.4. Przebieg dobowych wartości prędkości i kierunku wiatru (stacje synoptyczne Katowice, Gdańsk i Kętrzyn) oraz stężeń pyłu zawieszonego (punkty pomiarowe Katowice, Gdańsk, Diabla Góra), z okresu 1.01-1.04.2010; ramki oznaczają okresy z epizodami PM_{10} i $PM_{2,5}$

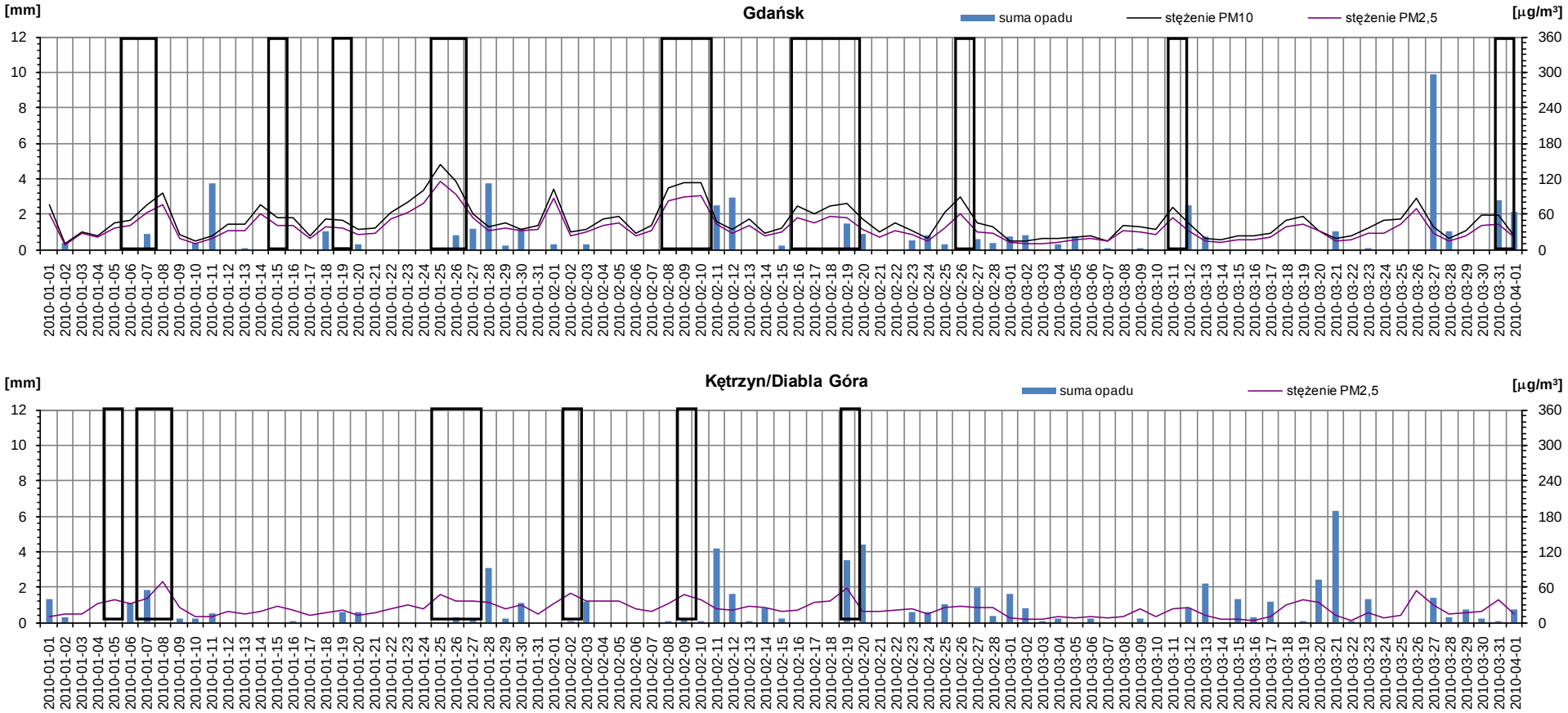

[°C]
Katowice
średnia temperatura
maksymalna temperatura
minimalna temperatura
stężenie PM10
stężenie PM2,5
[µg/m³]
30
20
10
0
-10
-20
-30
360
300
240
180
120
60
0
2010-01-01
2010-01-02
2010-01-03
2010-01-04
2010-01-05
2010-01-06
2010-01-07
2010-01-08
2010-01-09
2010-01-10
2010-01-11
2010-01-12
2010-01-13
2010-01-14
2010-01-15
2010-01-16
2010-01-17
2010-01-18
2010-01-19
2010-01-20
2010-01-21
2010-01-22
2010-01-23
2010-01-24
2010-01-25
2010-01-26
2010-01-27
2010-01-28
2010-01-29
2010-01-30
2010-01-31
2010-02-01
2010-02-02
2010-02-03
2010-02-04
2010-02-05
2010-02-06
2010-02-07
2010-02-08
2010-02-09
2010-02-10
2010-02-11
2010-02-12
2010-02-13
2010-02-14
2010-02-15
2010-02-16
2010-02-17
2010-02-18
2010-02-19
2010-02-20
2010-02-21
2010-02-22
2010-02-23
2010-02-24
2010-02-25
2010-02-26
2010-02-27
2010-02-28
2010-03-01
2010-03-02
2010-03-03
2010-03-04
2010-03-05
2010-03-06
2010-03-07
2010-03-08
2010-03-09
2010-03-10
2010-03-11
2010-03-12
2010-03-13
2010-03-14
2010-03-15
2010-03-16
2010-03-17
2010-03-18
2010-03-19
2010-03-20
2010-03-21
2010-03-22
2010-03-23
2010-03-24
2010-03-25
2010-03-26
2010-03-27
2010-03-28
2010-03-29
2010-03-30
2010-03-31
2010-04-01

[°C]
Gdańsk
średnia temperatura
maksymalna temperatura
minimalna temperatura
stężenie PM10
stężenie PM2,5
[µg/m³]
30
20
10
0
-10
-20
-30
360
300
240
180
120
60
0
2010-01-01
2010-01-02
2010-01-03
2010-01-04
2010-01-05
2010-01-06
2010-01-07
2010-01-08
2010-01-09
2010-01-10
2010-01-11
2010-01-12
2010-01-13
2010-01-14
2010-01-15
2010-01-16
2010-01-17
2010-01-18
2010-01-19
2010-01-20
2010-01-21
2010-01-22
2010-01-23
2010-01-24
2010-01-25
2010-01-26
2010-01-27
2010-01-28
2010-01-29
2010-01-30
2010-01-31
2010-02-01
2010-02-02
2010-02-03
2010-02-04
2010-02-05
2010-02-06
2010-02-07
2010-02-08
2010-02-09
2010-02-10
2010-02-11
2010-02-12
2010-02-13
2010-02-14
2010-02-15
2010-02-16
2010-02-17
2010-02-18
2010-02-19
2010-02-20
2010-02-21
2010-02-22
2010-02-23
2010-02-24
2010-02-25
2010-02-26
2010-02-27
2010-02-28
2010-03-01
2010-03-02
2010-03-03
2010-03-04
2010-03-05
2010-03-06
2010-03-07
2010-03-08
2010-03-09
2010-03-10
2010-03-11
2010-03-12
2010-03-13
2010-03-14
2010-03-15
2010-03-16
2010-03-17
2010-03-18
2010-03-19
2010-03-20
2010-03-21
2010-03-22
2010-03-23
2010-03-24
2010-03-25
2010-03-26
2010-03-27
2010-03-28
2010-03-29
2010-03-30
2010-03-31
2010-04-01



Rysunek 4.3.1.5. Przebieg dobowych wartości temperatury powietrza (stacje synoptyczne Katowice, Gdańsk i Kętrzyn) oraz stężeń pyłu zawieszonego (punkty pomiarowe Katowice, Gdańsk, Diabla Góra), z okresu 1.01-1.04.2010; ramki oznaczają okresy z epizodami PM_{10} i $PM_{2,5}$





Rysunek 4.3.1.6. Przebieg dobowych sum opadów (stacje synoptyczne Katowice, Gdańsk i Kętrzyn) oraz stężeń pyłu zawieszonego (punkty pomiarowe Katowice, Gdańsk, Diabla Góra), z okresu 1.01-1.04.2010; ramki oznaczają okresy z epizodami PM_{10} i $PM_{2,5}$

Szczegółowo przeanalizowano warunki meteorologiczne w dziesięciu okresach pierwszego kwartału 2010 roku (4-9.01, 14-19.01, 22-27.01, 29.01-1.02, 7-10.02, 16-19.02, 24-27.02, 8-11.03, 18/19.03, 26-31.03), obejmujących epizody podwyższonych stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$, które wystąpiły w wytypowanych miejscach pomiarowych. Poniżej opisano wyniki analiz z podziałem na wspomniane okresy.

4-9 stycznia 2010 roku

W Katowicach dnia 4.01 przez pierwsze pięć godzin doby wiał słaby wiatr zachodni, a w pozostałej części dnia przeważał słaby wiatr z kierunków południowych. Następnej doby wiatr zmienił stopniowo kierunek z południowo-wschodniego na wschodni, zwiększając nieco swą prędkość. Dnia 6.01 przez pierwszą część doby wiał słabnący wiatr z kierunków wschodnich, a po krótkiej ciszy nastąpił słaby wiatr południowo-zachodni. Dnia 7.01 w nocy okresowo wystąpiła cisza wiatrowa, a przez większą część doby wiatr był słaby, ze zmiennych kierunków, najczęściej z południowego-zachodu. Następnego dnia nad ranem zaczął wiać stopniowo wzmagający się do umiarkowanego wiatr z kierunku północno-wschodniego. Taki wiatr utrzymał się przez całą następną dobę.

W dniach 4-8.01 średnia dobowa temperatura powietrza w Katowicach mieściła się w granicach -6 do -4°C. Dnia 9.01 ociepliło się średnio do 0°C. Maksymalna temperatura wzrastała stopniowo od około -5°C pierwszego dnia rozważanego okresu do 0,5°C ostatniego dnia. Minimalne temperatury osiągnęły -10°C nad ranem 4.01 oraz nocą 7/8.01.

Średnia dobowa wilgotność powietrza w tym okresie w Katowicach stopniowo wzrastała od 84 do 97 %. Zachmurzenie przez większość czasu było duże do całkowitego (średniodobowo od 6 do 8 oktantów), z niewielkimi przejaśnieniami w dzień 4.01 i w nocy 7/8.01. Ciśnienie atmosferyczne przez dwa pierwsze dni danego okresu spadało, dnia 6.01 po dalszym spadku trwającym do godzin popołudniowych zaczęło wzrastać. Wzrost ciśnienia następował kolejnego dnia, a od rana 8.01 ciśnienie znów się obniżało. Dnia 9.01 zanotowano dalszy spadek ciśnienia, ale w nieco mniejszym tempie.

Dnia 4.01 w Katowicach nie wystąpił opad, a nazajutrz opad był śladowy. Dnia 6.01 dobowa suma opadów wyniosła 3 mm, w następny dzień natomiast zmierzono jedynie 0,5 mm. W dniach 8-9.01 zanotowano większą sumę opadów – kolejno 4,8 i 10,3 mm.

W Gdańsku dnia 4.01 wystąpił umiarkowany wiatr, skręcający stopniowo z kierunku zachodniego na południowo-zachodni. Kolejnej doby wiatr nieco osłabł i następowała dalsza zmiana jego kierunku na południowy. Dnia 6.01 przez większość doby wiał słaby i umiarkowany wiatr z kierunku południowego i południowo-wschodniego, a wieczorem zaczął wiać słabszy wiatr południowo-zachodni, który trwał całą następną dobę. Dnia 8.01 do godzin przedpołudniowych w dalszym ciągu występował słaby wiatr z kierunku południowo-zachodniego. Około południa nieznacznie przybrał na sile i zmienił kierunek na północno-zachodni, po południu ponownie osłabł i przez kilka godzin jego kierunek był zmienny. Natomiast w godzinach wieczornych gwałtownie zaczął wiać silny i bardzo silny wiatr z kierunku wschodniego, który utrzymał się całą następną dobę.

W dniach 4-7.01 średnia dobowa temperatura powietrza przyjęła wartości z przedziału -6 do -4°C. Dnia 8.01 nastąpiło niewielkie ocieplenie powietrza atmosferycznego, średnio do -3°C, a kolejnego dnia do -2°C. Najchłodniejszy dzień w tym okresie to 6.01, z maksymalną temperaturą powietrza sięgającą -5°C, a noc 5/6.01 była wtedy najmroźniejsza – temperatura minimalna wyniosła -8°C. Kolejna noc 6/7.01 była tylko nieco cieplejsza (-7°C). Dnia 8.01 zanotowano najwyższą w danym okresie maksymalną temperaturę powietrza równą 0°C. Następnego dnia powietrze miało bardziej wyrównaną temperaturę w ciągu całej doby.

Wilgotność względna powietrza w rozpatrywanym okresie w Gdańsku średniodobowo wahała się w zakresie 81 do 92 %. Najwilgotniejsze powietrze wystąpiło dnia 6.01. Średni stopień zachmurzenia w tym okresie mieścił się w zakresie 5-8 oktantów. Największe przejaśnienia wystąpiły dnia 5.01, trochę mniejsze 4.01 i 8.01. Całkowicie zachmurzone niebo zaobserwowano w dniach 6-7.01. Dnia 9.01 chmury pokrywały niebo w stopniu 7/8 i 8/8. Ciśnienie atmosferyczne dnia 4.01 odnotowało spadek, następnej doby niewielki wzrost, a kolejnej ponownie spadało. Dnia 7.01 zaczęło wzrastać i kontynuowało wzrost całą następną dobę. Dnia 9.01 znów się obniżało.

Opad atmosferyczny w tym okresie w Gdańsku wystąpił jedynie dnia 7.01 i nie był duży – suma dobowa była równa 0,9 mm.

W Kętrzynie w dniach 4-5.01 wiał słaby i umiarkowany wiatr z kierunku południowego. Dnia 6.01 już od pierwszych godzin wiatr zaczął zmieniać kierunek na południowo-wschodni, a następnie wschodni. Pod koniec doby nieco osłabł. Dnia 7.01 dominował słaby wiatr z kierunku południowo-zachodniego. W ciągu doby jednak zmieniał kierunek – przez kilka godzin w nocy wystąpił wiatr północny i północno-zachodni, a w dzień chwilami dawał o sobie znać słaby wiatr z kierunku południowego, który dnia 8.01 zaczął przeważać. Jednak w godzinach wieczornych wiatr zmienił kierunek na północno-wschodni, stopniowo w ciągu następnej doby przybierając na sile do umiarkowanych prędkości.

Średnia dobowa temperatura powietrza w rozważanym okresie wahała się w Kętrzynie pomiędzy wartościami -9 a -5°C. Najchłodniej było w nocy 3/4.01, kiedy wystąpiła minimalna temperatura równa -14°C. Nieznacznie wyższe minimum temperatury (-12°C) zanotowano również w nocy 5/6.01. Najmniej mroźnym dniem tego okresu był dzień 9.01, w którym maksymalna temperatura powietrza wyniosła -4 °C.

Wilgotność względna powietrza w Kętrzynie w analizowanym okresie nie była bardzo zróżnicowana (86-92 %). Zachmurzenie dnia 4.01 miało średni stopień 5 oktantów. Tego dnia wystąpiły okresowe przejaśnienia. W dniach 5-9.01 niebo było już całkowicie (8/8) lub prawie całkowicie zachmurzone (7/8). Ciśnienie atmosferyczne w dniach 4-7.01 naprzemiennie spadało i wzrastało, dnia 8.01 kontynuowało wzrost, a 9.01 zaczęło ponownie obniżać się.

Opad atmosferyczny w rozważanym terminie w Kętrzynie wystąpił w dniach 6-7.01 i jego dobowa suma wyniosła kolejno 1,1 i 1,8 mm. Ponadto dnia 9.01 zaobserwowano śladową ilość opadu. Pozostałe dni były bezopadowe.

14-19 stycznia 2010 roku

W Katowicach w tym okresie wiatr był przeważnie słaby z kierunku wschodniego, jedynie dnia 18.01 wiał z południowego-wschodu. Wieczorem 19.01 wiatr zmienił kierunek ze wschodniego na północno-wschodni. Dnia 17.01 po południu nastąpiło osłabienie wiatru do okresowej ciszy.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Katowicach była dość wyrównana w tym okresie. W dniach 14-17.01 wyniosła około -5°C, a w dniach 18-19.01 około -3,5°C. Minimalna temperatura powietrza równa -10°C wystąpiła nocą 16/17.01. Maksymalną wartość równą -1,5°C temperatura osiągnęła dnia 17.01.

Przez cały rozważany okres powietrze w Katowicach miało wysoką wilgotność względną (średniodobowo 94-97%). Zachmurzenie było przez większość czasu całkowite, tylko dnia 17.01 wystąpiły chwilowe niewielkie przejaśnienia. Ciśnienie atmosferyczne w dniach 14-15.01 rosło, następne dwa dni spadało, po czym znów zaczęło nieco wzrastać i dnia 19.01 odnotowało spadek w ciągu doby.

Dnia 14.01 w Katowicach wystąpił śladowy opad atmosferyczny, a w dniach 15-17.01 było bezopadowo. Dnia 18.01 suma dobowa opadów wyniosła 2,6 mm, a kolejnego dnia zanotowano zaledwie 0,4 mm opadu.

W Gdańsku w dniach 14-16.01 wiał słaby wiatr południowy, a 15.01 okresowo w ciągu dnia wystąpiła cisza. W godzinach wieczornych 16.01 zaczął wiać umiarkowany i dość silny wiatr z kierunku południowo-wschodniego, utrzymujący się również w dniach 18-19.01.

W dniach 14-16.01 w Gdańsku było mroźno i bardzo mroźno, średnia temperatura powietrza w tym czasie wyniosła od -7,5 do -10,5^{o}C, maksymalna sięgnęła około -7^{o}C, a minimalna przyjęła wartości pomiędzy -15 a -8^{o}C. Dnia 17.01 nastąpił stopniowy wzrost temperatury powietrza do maksymalnej wartości równej -1,5°C, po czym z początkiem doby dnia 19.01 temperatura zaczęła spadać, osiągając w nocy 19/20.01 wartość minimalną -9^{o}C.

Najniższa średniodobowa wilgotność względna powietrza w Gdańsku w tym okresie wystąpiła dnia 14.01 (87 %), a najwyższa dnia 15.01 (98 %). W kolejnych dniach mieściła się w przedziale 90-95 %. Zachmurzenie dnia 14.01 było małe (2 oktanty), w następne dni niebo w większości było pokryte chmurami całkowicie (8/8), tylko 16.01 wystąpiły przejaśnienia, powodując obniżenie średniej wartości stopnia zachmurzenia do 6 oktantów. Ciśnienie atmosferyczne od 14.01 do godzin porannych 16.01 wzrastało, po czym zaczęło spadać. Wieczorem dnia 17.01 odnotowano początek powolnego wzrostu ciśnienia, który postępował w dniach 18-19.01.

Opad atmosferyczny w danym okresie w Gdańsku wystąpił tylko dnia 18.01, jego suma dobowa wyniosła 1 mm.

W Kętrzynie po ciszy wiatrowej mającej miejsce w nocy 13/14.01, dnia 14.01 zaczął wiać słaby wiatr z kierunku wschodniego, utrzymujący się całą następną dobę, nieco słabnąc. Dnia 16.01 wiatr zwiększył swą prędkość do umiarkowanej i zmienił kierunek na południowo-wschodni, po czym kolejnej doby stał się dość silny, a 18.01 zaczął stopniowo tracić na sile, zachowując kierunek. Dnia 19.01 wciąż wiał południowo-wschodni umiarkowany i słaby wiatr.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Kętrzynie w pierwszych trzech dniach okresu wyniosła od -13 do -10^{o}C, przy maksimum zawierającym się w przedziale -10 do -7^{o}C. Najmroźniej w tym czasie było nocą 13/14.01, kiedy minimalna temperatura wyniosła -17^{o}C. Noce 14/15.01 i 15/16.01 też były bardzo mroźne, z minimalnymi temperaturami równymi odpowiednio -14^{o}C i -16^{o}C. Od 16.01 postępowało ocieplenie, do około -4^{o}C dnia 18.01, a następnie ponownie ochłodziło się stopniowo do -10^{o}C pod koniec doby 19.01.

Średniodobowa wilgotność względna powietrza w danym okresie w Kętrzynie wahała się w granicach 85-93 %. Zachmurzenie dnia 14.01 było małe (2 oktanty), a 15.01 wystąpiło bezchmurne niebo. Kolejnej doby zachmurzyło się średnio w stopniu 5/8. Natomiast w trzy ostatnie dni okresu zaobserwowano całkowite zachmurzenie. Ciśnienie atmosferycznie na początku rosło, aż do godzin przedpołudniowych dnia 16.01, kiedy zaczęło spadać. Na przełomie 17/18.01 nastąpiło zahamowanie spadku ciśnienia, po czym jego powolny wzrost.

Opad atmosferyczny w rozważanym przedziale czasu w Kętrzynie wystąpił dnia 16.01 w śladowej ilości, a także dnia 19.01 o nieznacznie większej sumie dobowej (0,6 mm).

22-27 stycznia 2010 roku

W Katowicach w danym okresie przez pierwsze pięć dni wiał słaby wiatr, z każdym dniem coraz słabszy, aż do całkowitego wyciszenia w godzinach przedpołudniowych i wieczornych 26.01. Dnia 22.01 wiatr wiał z kierunku północno-wschodniego, w dniach 23-25.01 z kierunku wschodniego, a 26.01 ponownie z kierunku północno-wschodniego. Dnia 27.01

wiatr zmienił kierunek na południowy i południowo-zachodni. Przez większą część doby wiatr był słaby, a wieczorem z południowego-zachodu zaczął wiać wiatr umiarkowany, przechodzący w dość silny.

W całym rozważanym okresie w Katowicach było bardzo mroźne powietrze. Średnia dobowa temperatura powietrza mieściła się w granicach -16 do -11^{o}C (najniższa wartość średnia wystąpiła 24.01). Temperatura maksymalna miała zakres -10 do -8^{o}C. Przez pięć nocy z rzędu (od 22/23.01 do 26/27.01) temperatura minimalna osiągnęła wartości od -21 do -19^{o}C. Noc 27/28.01 była już cieplejsza, z temperaturą minimalną równą -13^{o}C w godzinach wieczornych i ze wzrastającą temperaturą z upływem nocy.

Powietrze w Katowicach w danym okresie nie było bardzo wilgotne, średnia dobowa wilgotność względna wahała się w granicach 71-83 %. Zachmurzenie było początkowo duże (22.01 średnio 6/8), następnie zaczęło się przejaśniać i 23.01 niebo było średnio pokryte w małym stopniu (2 oktanty), a 24.01 stało się bezchmurne. Trzy ostatnie dni okresu zachmurzyło się do stopnia umiarkowanego (3-4 oktanty) i dużego (5/8). Ciśnienie atmosferyczne w dniach 22-27.01 wzrastało w niewielkim tempie, a w nocy 27/28.01 zaczęło gwałtownie spadać.

W tym terminie w Katowicach nie wystąpił opad atmosferyczny.

W Gdańsku w rozważanym czasie nieprzerwanie wiał słaby i umiarkowany wiatr, wzmagający się pod koniec danego okresu, czyli wieczorem 27.01 do dość silnego. Dnia 22.01 wiatr był z kierunku południowo-wschodniego, w dniach 23-25.01 z kierunku południowego, następnej doby przeważał wiatr południowo-zachodni i zachodni, a dnia 27.01 powrócił wiatr południowy.

Wartości dobowej średniej temperatury powietrza w Gdańsku w dniach 22-26.01 mieściły się w granicach -15 do -10^{o}C. W dniach 23-25.01 temperatury maksymalne sięgnęły -13 i -12^{o}C. Cztery z rzędu noce – 22/23.01, 23/24.01, 24/25.01 i 25/26.01 – były bardzo mroźne (temperatura minimalna w zakresie -18 do -17^{o}C). Dni 26-27.01 były nieco cieplejsze, z maksymalnymi wartościami temperatury równymi -5 i -4^{o}C. W nocy 27/28.01 temperatura powietrza zaczęła rosnąć.

Średnia dobowa wilgotność powietrza w Gdańsku sukcesywnie wzrastała w tym okresie od 72 do 93 %. Zachmurzenie pierwszego dnia było małe (średnio 3/8), w dniach 23-24.01 niebo stało się bezchmurne, następne dwa dni (25-26.01) chmury pokryły niebo połowicznie (średnio 4 oktanty), a dnia 27.01 zachmurzenie było prawie całkowite (około 7/8). Ciśnienie atmosferyczne w dniach 22-25.01 wolno wzrastało, a w godzinach przedpołudniowych 26.01 odnotowano początek jego gwałtownego spadku, który postępował dnia 27.01.

W danym terminie w Gdańsku opad atmosferyczny wystąpił w dniach 26-27.01, sumy dobowe opadów były równe kolejno 0,8 i 1,2 mm.

W Kętrzynie w dniach 22-23.01 wiatr był słaby, chwilami umiarkowany z kierunku wschodniego. W kolejnych dwóch dniach (24-25.01) nastąpiło osłabienie wiatru, w dalszym ciągu wschodniego, aż do wystąpienia okresów ciszy. Dnia 26.01 panowała cisza wiatrowa, naprzemiennie ze słabym wiatrem z kierunków zachodnich. Kolejnej doby dominował wiatr południowo-wschodni, początkowo słaby, przechodzący w umiarkowany i dość silny.

Średniodobowa temperatura powietrza w Kętrzynie w tym okresie zawierała się w przedziale -18 do -13^{o}C, a maksymalne wartości równały się od -13,5 do -10^{o}C. Temperatura minimalna w noce osiągnęła wartości z zakresu -23 do -16^{o}C. Najmroźniej było nocą 25/26.01. W nocy 27/28.01 zaczęło się stopniowo ocieplać.

Wartości średnie dobowe wilgotności względnej powietrza w Kętrzynie z dnia na dzień były coraz wyższe w tym czasie (od 64 do 85 %). Zachmurzenie w dniach 22-23.01 było małe, na ogół małe lub umiarkowane (2-3 oktanty) z przejaśnieniami. Dnia 24.01 całą dobę panowało bezchmurne niebo, w dniach 25-26.01 stopień pokrycia nieba chmurami był umiarkowany (3-4 oktanty), a dnia 27.01 zachmurzyło się w dużym stopniu (średnio 6/8). Ciśnienie atmosferyczne wykazywało niewielki wzrost od dnia 22.01 do początku dnia 26.01, po czym zaczęło w szybkim tempie spadać.

Opad atmosferyczny w danym okresie w Kętrzynie wystąpił w śladowych ilościach w dniach 26-27.01 – sumy dobowe opadów wyniosły kolejno 0,3 i 0,2 mm.

29 stycznia – 1 lutego 2010 roku

W Katowicach dnia 29.01 przeważał słaby i umiarkowany wiatr z kierunku południowo-zachodniego, a od godzin wieczornych tego dnia do godzin przedpołudniowych dnia następnego wiał wiatr południowy, początkowo słaby, następnie umiarkowany. W godzinach około-południowych 30.01 ponownie zaczął wiać wiatr z południowego-zachodu, stopniowo przechodzący od umiarkowanego do słabego. W nocy 30/31.01 wystąpiły okresy ciszy wiatrowej, utrzymujące się do godzin przedpołudniowych 31.01, po czym przez kilka godzin wiał słaby wiatr północny, a następnie zachodni, nieznacznie silniejszy. Dnia 1.02 wystąpił słaby, stopniowo przybierający na sile wiatr z kierunku południowo-zachodniego.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Katowicach w dniach 29-30.01 nie spadła poniżej -2^{o}C, a maksimum lekko przekroczyło 1^{o}C dnia 30.01. W nocy 30/31.01 ochłodziło się minimalnie do -9^{o}C. Następna noc (31.01/1.02) była jeszcze bardziej mroźna - temperatura minimalna sięgnęła -13^{o}C. Kolejnej nocy (1/2.02) minimum temperatury powietrza było nieco wyższe (-8^{o}C).

Wilgotność względna powietrza w Katowicach w tym okresie kształtowała się w granicach 86-89 % (średniodobowo), z wyjątkiem dnia 30.01, kiedy obniżyła się do wartości średniej w ciągu doby równej 73 %. Zachmurzenie było przez większość czasu prawie całkowite lub całkowite (średnio 7-8 oktantów). Ciśnienie atmosferyczne spadało przez cały dzień 29.01 i początek dnia 30.01, po czym nastąpił wzrost ciśnienia, trwający do końca rozważanego okresu.

Niewielki opad (o sumie dobowej 0,8 mm) wystąpił w Katowicach dnia 29.01. Przez kolejne dwa dni było bezopadowo, a dnia 1.02 zmierzono opad śladowy.

W Gdańsku dnia 29.01 do godzin popołudniowych wiał słaby wiatr z kierunków zachodnich, po czym nastąpił wiatr z kierunków południowych, w nocy umiarkowany i dość silny, wiejący z utrzymującą się umiarkowaną prędkością do godzin wieczornych dnia 30.01. W nocy 30/31.01 wiatr zmienił kierunek na zachodni, a nad ranem 31.01 powrócił umiarkowany wiatr południowy, trwający do godzin około-południowych dnia 1.02, z biegiem czasu nieco słabnący. Po południu zaczął wiać słaby wiatr południowo-zachodni, który w nocy 1/2.02 przybrał na sile i zmienił kierunek na zachodni.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Gdańsku w dniach 29-30.01 wyniosła kolejno -3 i -1^{o}C. W następnych dwóch dniach jej wartość osiągnęła -7^{o}C. Maksymalnie w danym okresie zmierzono na termometrze 1^{o}C dnia 30.01. W pozostałe dni maksimum temperatury zawierało się w granicach -2 do 0^{o}C. Temperatura minimalna nad ranem w dniach 29-30.01 osiągnęła wartości odpowiednio -5 i -4^{o}C. Noc 30/31.01 była już chłodniejsza, z minimalną temperaturą równą -8^{o}C. W ciągu dnia 31.01 powietrze było mroźne, a po południu zaczęło stawać się bardzo mroźne. Temperatura minimalna w nocy 31.01/1.02 osiągnęła -15^{o}C. W ciągu dnia 1.02 temperatura powietrza zaczęła stopniowo wzrastać, aż do 0^{o}C w godzinach

nocnych na przełomie dni 1/2.02, po czym powietrze ponownie się ochłodziło do -6°C dnia 2.02.

Wilgotność względna powietrza w Gdańsku w dniach 29.01 i 31.01 wyniosła średniodobowo 84 %, a w dniach 30.01 i 1.02 około 93 %. Zachmurzenie w tym okresie było duże i prawie całkowite (6-7 oktantów), jedynie dnia 31.01 wystąpiło małe pokrycie nieba chmurami (średnio 2/8). Ciśnienie atmosferyczne dnia 29.01 odnotowało wzrost, na przełomie dni 29/30.01 szybko się obniżyło i w połowie dnia 30.01 ponownie zaczęło gwałtownie rosnąć, aż do końca doby dnia 31.01. Dnia 1.02 ciśnienie utrzymywało się na osiągniętym poziomie, nieznacznie wahając się w ciągu doby.

Opad atmosferyczny w Gdańsku dnia 29.01 oraz 1.02 był bliski śladowego (0,2-0,3 mm). Dnia 30.01 zmierzono nieco większą sumę dobową opadów, równą 1,2 mm. Dnia 31.01 opad nie wystąpił.

W Kętrzynie dnia 29.01 przeważał słaby i umiarkowany wiatr południowo-zachodni, a od godzin wieczornych kierunek wiatru zmienił się na południowo-wschodni i nad ranem kolejnego dnia stał się dość silny. Nie tracąc na sile w godzinach przedpołudniowych dnia 30.01 wiatr zmienił kierunek na południowy. W nocy 30/31.01 wiatr osłabł i wiał z kierunków zachodnich. W godzinach około-południowych dnia 31.01 wystąpił bardzo słaby wiatr z kierunku południowego, po południu wschodni wiatr o podobnej prędkości, a po nim nastąpił okres kilkugodzinnej ciszy, trwający przez całą noc do rana dnia 1.02. W drugiej części doby 1.02 dominował słaby wiatr południowo-zachodni, który utrzymał się do godzin wieczornych dnia 2.02.

Średniodobowa temperatura powietrza w Kętrzynie wykazała z dnia 29.01 na dzień 30.01 wzrost z wartości -4 do -2°C, po czym w dniach 31.01 i 1.02 średnie wartości spadły kolejno do -6 i -8°C. Najcieplejszym dniem w tym okresie był 30.01, z temperaturą minimalną bliską 0°C. Następnej doby powietrze było coraz chłodniejsze, z niewielkim ociepleniem w godzinach około-południowych. Nocą 31.01/1.02 minimalna temperatura powietrza osiągnęła -12°C. Dnia 1.02 temperatura zaczęła stopniowo wzrastać do godzin popołudniowych kolejnej doby.

Wartości średniej dobowej wilgotności powietrza w Kętrzynie w danym przedziale czasowym kształtowały się w granicach 88-92 %, wyłączając dzień 31.01, w którym zmierzono średnią wilgotność na poziomie 80%. Średnie w ciągu doby zachmurzenie było duże i prawie całkowite (6-7 oktantów). Niewielkie przejaśnienia wystąpiły dnia 31.01. Ciśnienie atmosferyczne dnia 29.01 dość szybko rosło, przez następne pół doby malało, po czym znów zaczęło wzrastać w równie szybkim tempie. Wzrost ciśnienia ustał pod koniec dnia 31.01 i rozpoczął się łagodniejszy spadek, trwający przez całą dobę 1.02. Na przełomie dni 1/2.02 ciśnienie ponownie zaczęło się podnosić.

Opad atmosferyczny w Kętrzynie dnia 29.01 był śladowy, a w kolejnym dniu suma dobowa opadów wyniosła 1,1 mm.

7-10 lutego 2010 roku

W Katowicach w dniach 7-8.02 dominował słaby wiatr z kierunku północno-wschodniego. W nocy 8/9.02 wystąpiły okresy ciszy. W dniach 9-10.02 przeważającym kierunkiem wiatru był wschodni. Zaobserwowano niewielki wzrost prędkości wiatru dnia 10.02.

Temperatura powietrza w Katowicach w dniach 7-9.02 przyjęła wartości z zakresu -9 do -5°C, ze średnimi wartościami w dwa pierwsze dni bliskimi -8°C, dnia następnego -7°C. Dnia 9.02 powietrze stopniowo miało coraz wyższą temperaturę (maksymalnie -5°C pod koniec doby).

Wzrost temperatury postępował dnia 10.02, aż do wartości -0,5°C w godzinach popołudniowych.

Średnia dobowa wilgotność względna w Katowicach w rozważanym okresie była równa od 79 do 83 %. Zachmurzenie przez wszystkie cztery dni było całkowite (8 oktantów), tylko dnia 7.02 wystąpiły niewielkie przejaśnienia (średnia dobowa wyniosła 7/8). Dnia 7.02 ciśnienie atmosferyczne wzrastało, a w dniach 8-10.02 zaznaczył się spadek ciśnienia, z czasem coraz łagodniejszy.

Słabe opady atmosferyczne w tym terminie w Katowicach wystąpiły jedynie dnia 7.02 (suma dobowa opadów równa 0,7 mm), a kolejnego dnia opad był śladowy.

W Gdańsku dnia 7.02 wiał słaby wiatr z kierunków zmiennych, największą prędkość miał wiatr północno-wschodni, wiejący nad ranem i po południu do wieczora. Dnia 8.02 dominował słaby wiatr z kierunku południowego, a w godzinach około-południowych wystąpiły okresy ciszy. Następną dobę wiatr miał nieco większą prędkość, a kierunek nadal południowy. W nocy 9/10.02 wiatr chwilami ustawał, a dnia 10.02 przeważał słaby wiatr wiejący z południa i południowego-wschodu, zaś w godzinach popołudniowych i wieczornych wystąpił nieco silniejszy wiatr z kierunku wschodniego.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Gdańsku w tym okresie mieściła się w przedziale -6 do -5°C. Maksymalne temperatury osiągnęły wartości z zakresu -4 do -2°C, a minimalne były równe od -9 do -8°C.

Średniodobowa wilgotność powietrza w Gdańsku była wyniosła pomiędzy 84-87 %. Zachmurzenie było duże i całkowite (średnio w ciągu doby 6/8 i 8/8). Przejaśnienia wystąpiły tylko dnia 9.02. Wartości ciśnienia atmosferycznego w dniach 7-8.02 zanotowały spadek, natomiast w dniach 9-10.02 łagodny wzrost.

Opad atmosferyczny w tym terminie w Gdańsku wystąpił jedynie dnia 9.02 w śladowej ilości.

W Kętrzynie w rozważanym okresie wiał słaby wiatr, dnia 7.02 z kierunku wschodniego, w dniach 8-9.02 przeważnie południowo-wschodni, a dnia 10.02 ponownie ze wschodu, wzmagający się pod koniec doby do umiarkowanego. Wieczorem dnia 7.02 i w południe dnia 8.02 wystąpiły okresy ciszy wiatrowej.

Średnia dobowa temperatura w dniach 7-9.02 wyniosła od -9 do -8°C, a dnia 10.02 podwyższyła się do -6°C. Maksimum temperatury w kolejnych dniach okresu wzrastało od -7 do -4°C. Nad ranem dnia 7.02 na termometrze zmierzono minimalnie -12°C, w nocy 7/8.02 powietrze ochłodziło się do -13°C, następnej nocy minimalna temperatura była równa -10°C, a nocą 9/10.02 zanotowano wartość minimum temperatury -8°C.

Wartości średniodobowej wilgotności względnej powietrza w Kętrzynie w dniach 7-8.02 wyniosły pomiędzy 74-75 %, a w dniach 9-10.02 około 84 %. Średnie dobowe zachmurzenie dnia 7.02 było umiarkowane (4/8) przy okresowo bezchmurnym niebie, a w dniach 8-10.02 niebo było prawie całkowicie pokryte (średnio 7 oktantów) z niewielkimi przejaśnieniami. Ciśnienie atmosferyczne w dniach 7-8.02 wykazało spadek wartości, a następnie w dniach 9-10.02 łagodniejszy wzrost.

Śladowy opad atmosferyczny wystąpił w Kętrzynie w dniach 8-10.02.

16-19 lutego 2010 roku

W Katowicach dnia 16.02 w godzinach porannych, wieczornych i nocnych wystąpiły okresy ciszy wiatrowej, a przez resztę doby wiał słaby wiatr z kierunków południowych. Nazajutrz po nocnej ciszy zaczął wiać wiatr wschodni o niewielkiej prędkości. Nocą 17/18.02 znów okresowo panowała cisza, a pozostała część doby była zdominowana przez słaby wiatr

południowo-zachodni. Dnia 19.02 przeważał wiatr o podobnej sile z kierunku południowo-wschodniego, który z końcem doby chwilami ustawał.

Powietrze w Katowicach w dniach 16-17.02 było dość mroźne, ze średnią dobową temperaturą równą od -4 do -3^{o}C, maksimum wartości w zakresie 0-1^{o}C, a minimum pomiędzy -9 a -7^{o}C. W dniach 18-19.02 temperatura powietrza wzrosła, maksymalnie do 5^{o}C, średniodobowe wartości wyniosły około 1-2^{o}C, a minimalne sięgnęły -3 i -2^{o}C w kolejne noce (17/18.02 i 18/19.02). Nocą 19/20.02 temperatura powietrza przekroczyła 0^{o}C.

Wilgotność względna powietrza średnio w ciągu doby przyjęła wartości w granicach 89-94 %. Zachmurzenie było duże i prawie całkowite (5-7 oktantów) z częstymi przejaśnieniami. Niebo bezchmurne wystąpiło nocą 16/17.02 oraz nad ranem 19.02. W dniach 16-17.02 obserwowany był spadek ciśnienia atmosferycznego, dnia 18.02 ciśnienie wzrastało, a całą dobę 19.02 odnotowano dość szybkie obniżanie się ciśnienia.

W tym okresie w Katowicach zanotowano śladowy opad atmosferyczny dnia 16.02 oraz większą ilość opadów dnia 19.02 (suma dobowa równa 7,8 mm).

W Gdańsku dnia 16.02 wiał słaby wiatr z kierunku południowego. Następnego dnia wiatr zmienił kierunek na południowo-wschodni i zwiększał okresowo prędkość do umiarkowanej. Dnia 18.02 utrzymał się południowo-wschodni kierunek wiatru, ale prędkość nieco zmalała. Kolejnej doby wystąpił słaby wiatr ze zmiennych kierunków: południowo-zachodniego, południowego i południowo-wschodniego. W godzinach wieczornych zaczął wiać umiarkowany wiatr ze wschodu.

Temperatura powietrza w Gdańsku w danym okresie wahała się od -4^{o}C do 3^{o}C. W dniach 16-17.02 maksymalnie ociepliło się do około -1^{o}C, a od dnia 18.02 wartości temperatury stopniowo rosły, przekraczając 0^{o}C w nocy 18/19.02.

Wartości średniodobowe wilgotności względnej powietrza w Gdański w rozważanym okresie mieściły się w granicach 86-94 %. Średnie zachmurzenie w ciągu doby było prawie całkowite i całkowite (7-8 oktantów), z niewielkimi przejaśnieniami w dniach 16-17.02. Ciśnienie atmosferyczne przez trzy pierwsze dni okresu obniżało się, dnia 19.02 nastąpił wzrost wartości ciśnienia, trwający do godzin okołopołudniowych, po czym znów odnotowano spadek ciśnienia.

Niewielkie opady (o sumie dobowej równej 1,5 mm) wystąpiły w Gdańsku dnia 19.02. Pozostałe dni okresu były bezopadowe.

W Kętrzynie dnia 16.02 wiał słaby wiatr wschodni i południowo-wschodni. W dniach 17-18.02 wystąpił słaby i umiarkowany wiatr południowo-wschodni. Dnia 19.02 do godzin okołopołudniowych wiał słaby wiatr południowy i południowo-zachodni, a po południu zaczął wiać wiatr z kierunku wschodniego o podobnej średniej prędkości.

Powietrze w tym okresie w Kętrzynie stopniowo stawało się cieplejsze, średnie dobowe temperatury wzrastały od -5 do 2^{o}C. Z biegiem nocy 18/19.02 wartości temperatury były coraz wyższe, przekraczając 0^{o}C.

Średnie dobowe wartości wilgotności względnej powietrza w danym terminie w Kętrzynie przyjęły wartości z przedziału 87-89 %. Niebo w całym okresie było całkowicie zachmurzone (średnio 8/8). Ciśnienie atmosferyczne przez cały dzień 16.02 utrzymywało się na stałym poziomie, a kolejne dwie doby wykazało spadek. Dnia 19.02 do południa rosło, po czym zaczęło gwałtownie spadać.

W rozważanym okresie w Kętrzynie tylko dnia 19.02 wystąpiły opady, z dobową sumą równą 3,5 mm.

24-27 lutego 2010 roku

W Katowicach w dniach 24-25.02 okresowo występowała cisza wiatrowa, zwłaszcza w godzinach nocnych, porannych i przedpołudniowych. Poza tym wiał słaby wiatr południowo-zachodni i południowy. Dnia 26.02 utrzymywał się wiatr z kierunków południowych, rosnący nieznacznie w siłę. Kolejnej doby wiatr nie zmniejszył prędkości, jednak zmienił kierunek na południowo-zachodni.

Średnia dobowa temperatura powietrza w tym okresie w Katowicach wyniosła około 4-5^{o}C. Najcieplejszym wtedy dniem był 25.02, z temperaturą maksymalną równą 11^{o}C. W noce 23/24.02, 24/25.02 i 25/26.02 minimalna temperatura powietrza spadła do około 1^{o}C. Noc 26/27.02 była trochę cieplejsza (minimalna wartość temperatury równa 3^{o}C wystąpiła nad ranem), a następnej nocy znów powietrze stało się chłodniejsze (temperatura minimalna osiągnęła 0^{o}C).

Średniodobowa wilgotność względna w Katowicach dnia 24.02 była równa 86%, a w dniach 25-27.02 przyjęła wartości bliskie 82-83 %. Zachmurzenie dnia 24.02 było prawie całkowite (7/8), następnej doby średni stopień pokrycia chmurami wyniósł 4 oktanty – początkowo niebo było zachmurzone prawie całkowicie, a w godzinach popołudniowych rozchmurzało się stopniowo i w nocy 25/26.02 niebo stało się bezchmurne. W dniach 26-27.02 wystąpiło zachmurzenie duże (średnio 5-6 oktantów). Nocą 27/28.02 przejaśniło się i chwilami było bezchmurnie. Wartości ciśnienia atmosferycznego dnia 24.02 rosły aż do południa dnia następnego, po czym zaczęły maleć. Ponowny wzrost ciśnienia rozpoczął się po południu dnia 26.02 i trwał do godzin wieczornych kolejnej doby. Później nastąpił spadek ciśnienia.

Ilość opadów dnia 24.02 w Katowicach była śladowa, następnego dnia nie wystąpiły, a w dniach 26-27.02 zmierzono dobowe sumy opadów równe kolejno 0,9 i 3,2 mm.

W Gdańsku dnia 24.02 przeważał umiarkowany wiatr północno-wschodni. W nocy 24/25.02 wiał nieco silniejszy wiatr z kierunku wschodniego, a od rana przez resztę dnia 25.02 wiatr był słaby z kierunku południowo-wschodniego i południowego. Nad ranem dnia 26.02 okresowo wystąpiła cisza wiatrowa, a następnie zaczął wiać słaby i umiarkowany wiatr południowy, który utrzymał się również dnia 27.02. W godzinach przedpołudniowych tego dnia wiatr zmienił kierunek na zachodni, a po kilku godzinach powrócił wiatr z kierunków południowych.

Temperatura powietrza średnia w ciągu doby w Gdańsku wzrastała stopniowo w kolejnych dniach okresu od 0 do 4^{o}C. Maksymalna temperatura wystąpiła dnia 27.02 i wyniosła 7^{o}C. Wartości minimalnej temperatury w dniach 24-26.02 były bliskie 0^{o}C, dnia 27.02 termometr zmierzył najmniej 2^{o}C.

Średniodobowa wilgotność względna powietrza w Gdańsku dnia 24.02 wyniosła 84 %, następnego dnia osiągnęła 99 %, po czym w następne dni malała do 91 % (26.01) i 84 % (27.02). Zachmurzenie było prawie całkowite i całkowite (średnio 7-8 oktantów) z przejaśnieniami w dniach 26-27.02. Ciśnienie atmosferyczne przez pierwszą połowę doby 24.02 wzrastało, potem zaczęło spadać aż do końca dnia 26.02. Całą dobę 27.02 zaobserwowano wzrost ciśnienia.

Jedynym dniem bezopadowym w tym okresie w Gdańsku był 26.02. W resztę dni wystąpiły niewielkie opady o następujących sumach dobowych: 0,8 mm (24.02), 0,3 mm (25.02) i 0,6 mm (27.02).

W Kętrzynie dnia 24.02 dominował słaby wiatr z kierunku północno-wschodniego. Kolejnej doby wiatr nieznacznie przybrał na sile i zmienił kierunek na południowo-wschodni. Taki wiatr miał kontynuację dnia 26.02. Okresowo był umiarkowany. Dnia 27.02 przeważał słaby

wiatr południowy. Tego dnia na kilka godzin w okolicy południa wiatr zmienił kierunek na południowo-zachodni.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Kętrzynie z dnia na dzień wzrastała w danym okresie, od 0^oC do $2,5^oC$. Maksimum temperatury wyniosło 4^oC dnia 27.02, natomiast najniższa minimalna wartość temperatury została zmierzona w nocy 24/25.02 i równała się -2^oC.

Wilgotność względna powietrza dnia 24.02 przyjęła wartość średniodobową równą 85 %, zaś w dniach 25-27.02 wartości średnie w ciągu doby były bliskie 97-98 %. Wystąpiło zachmurzenie prawie całkowite i całkowite (średnio 7-8 oktantów). Ciśnienie atmosferyczne po lekkim wzroście, mającym miejsce dnia 24.02, w dniach 25-26.02 spadało, co trwało do początku doby 27.02. Następnie ciśnienie zaczęło rosnąć.

Niewielkie opady atmosferyczne wystąpiły w Kętrzynie w dniach 24-25.02 (sumy dobowe równe odpowiednio 0,6 i 1 mm) oraz 27.02 (suma dobowa równa 2 mm).

8-11 marca 2010 roku

W Katowicach dnia 8.03 przeważał słaby wiatr wschodni, a nazajutrz zaczął dominować wiatr z kierunku północno-wschodniego o podobnej sile. Nocą 9/10.03 wystąpiły kilkugodzinne okresy ciszy, natomiast od rana dnia 10.03 wiał słaby i umiarkowany wiatr północno-wschodni i wschodni. Dnia 11.03 w ciągu doby wiatr miał małą prędkość i zmienny kierunek – początkowo wschodni, następnie południowy, po czym południowo-zachodni.

W tym okresie powietrze w Katowicach było mroźne. Średnie dobowe wartości temperatury powietrza w kolejnych dniach mieściły się w przedziale -6 do -3^oC. W dniach 8-9.03 i 11.03 maksymalna temperatura wyniosła około -1^oC, a dnia 10.03 osiągnęła $1,5^oC$. Trzy noce z rzędu (7/8.03, 8/9.03 i 9/10.03) temperatura powietrza spadła minimalnie do około -11^oC. W kolejne dwie noce (10/11.03 i 11/12.03) minimum temperatury było wyższe, bliskie -5^oC.

Wilgotność względna powietrza w danym okresie w Katowicach wykazywała duże zmiany w ciągu doby, przyjmując średniodobowe wartości w zakresie 58-73 %. Zachmurzenie było prawie całkowite i całkowite (średnio 7-8 oktantów). Ciśnienie atmosferyczne dnia 8.03 zanotowało spadek, kolejnego dnia nastąpił jego wzrost, a w dniach 10-11.03 ciśnienie ponownie się obniżało.

W dniach 8-10.03 w Katowicach było bezopadowo, niewielkie opady wystąpiły jedynie dnia 11.03 (suma dobowa równa 1,2 mm).

W Gdańsku dnia 8.03 wystąpił słaby wiatr południowy, przechodzący w południowo-zachodni. Kolejnej doby wiatr nieco zwiększył prędkość i zmienił kierunek na zachodni. Dnia 10.03 wiał słaby wiatr z kierunków zachodnich i południowych. W nocy 10/11.03 wiatr południowy słabł, a przed południem dnia 11.03 zaczął wiać słaby wiatr z kierunku północnego.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Gdańsku w rozważanym przedziale czasu przyjęła wartości od -3 do -1^oC. Maksymalna temperatura równa 3^oC wystąpiła dnia 10.03. Najchłodniejszą nocą była noc 10/11.03 z temperaturą minimalną równą -5^oC.

Wartości średniodobowe wilgotności względnej powietrza w danym okresie w Gdańsku kształtowały się w granicach 79-88 %. Zachmurzenie w dniach 8-9.03 było duże (średnio 5-6 oktantów), z przejaśnieniami głównie dnia 8.03. Dnia 10.03 rozchmurzyło się, wystąpiły okresy z bezchmurnym niebem, zwłaszcza w godzinach nocnych. Średnio w ciągu doby zachmurzenie było małe (około 1/8). Dnia 11.03, po bezchmurnej większej części doby, pod wieczór niebo pokryło się całkowicie chmurami. Ciśnienie atmosferyczne dnia 8.03 miało

tendencję spadkową, następnej doby zaczęło wzrastać, a od godzin południowych dnia 10.03 do końca okresu zmniejszało wartości.

Dnia 9.03 w Gdańsku wystąpił śladowy opad, a pozostałe dni tego okresu były pozbawione opadów.

W Kętrzynie dnia 8.03 dominował słaby wiatr południowo-wschodni, ustający w nocy. Następnej doby zaczął wiać nieco silniejszy wiatr z kierunku zachodniego. Nocą 9/10.03 wystąpiły okresy ciszy wiatrowej, a dnia 10.03 wiał słaby wiatr ze zmiennych kierunków, z dominacją południowego. Dnia 11.03 wiatr nie zwiększył prędkości i wiał z kierunku wschodniego i południowo-wschodniego.

Średnia temperatura dobowa w Kętrzynie w danym okresie wzrastała stopniowo z -5 do -2°C. Maksymalne wartości temperatury w dniach 8-9.03 były bliskie 0°C, a w dniach 10-11.03 osiągnęły poziom 3-4°C. Wszystkie noce wtedy były mroźne, z minimalnymi temperaturami w granicach -10 do -7°C.

Wilgotność względna powietrza w Kętrzynie wykazała najniższą średniodobową wartość równą 62 % dnia 8.03, a kolejny dzień był najbardziej wilgotny (średnio 83%). Dnia 10.03 średnia dobowa wartość wilgotności była podobna do tej z dnia poprzedniego (81%), a następnej doby zmniejszyła się do 68 %. Dni 8.03 i 11.03 były bezchmurne. Dnia 9.03 chmury pokrywały niebo w stopniu umiarkowanym (średnio 4/8), a dnia 10.03 wystąpiło zachmurzenie małe (1/8), z licznymi okresami bezchmurnego nieba. Wartości ciśnienia atmosferycznego w dniach 8-9.03 były coraz mniejsze, od wieczora 9.03 do popołudnia 10.03 nastąpił wzrost ciśnienia, po czym ciśnienie zaczęło się obniżać.

Opad atmosferyczny w śladowej ilości zanotowano tylko dnia 9.03. Reszta dni rozważanego okresu była bezopadowa.

18-19 marca 2010 roku

W Katowicach w tych dniach wiał słaby i umiarkowany wiatr z kierunku południowo-zachodniego. W nocy 18/19.03 okresowo wystąpiła cisza.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Katowicach w rozważanym okresie była rzędu 6-7°C. Maksymalnie ociepliło się w kolejnych dniach do 11 i 13°C. Nocą 18/19.03 temperatura powietrza spadła minimalnie do -3°C.

Średnia dobowa wilgotność względna powietrza w Katowicach w danym okresie równa była 66-67 %. Zachmurzenie było prawie całkowite (7/8). Ciśnienie atmosferyczne miało tendencję spadkową.

W tym terminie w Katowicach nie wystąpiły opady atmosferyczne.

W Gdańsku w danym okresie przeważał słaby, okresowo umiarkowany wiatr południowo-zachodni. Duży udział miał ponadto wiatr z kierunku południowego, szczególnie dnia 19.03.

Średniodobowa temperatura powietrza w Gdańsku wzrosła w kolejnych dniach z 6 do 9°C. Dnia 18.03 powietrze ogrzało się maksymalnie do temperatury równej 10°C, a dnia 19.03 temperatura maksymalna wyniosła 12°C. W nocy 18/19.03 temperatura powietrza spadła minimalnie do wartości bliskiej 4°C.

Wilgotność względna powietrza w Gdańsku przyjęła w tym okresie wartości średnie w ciągu doby kolejno 79 i 68 %. Zachmurzenie było od dużego do całkowitego. Ciśnienie atmosferyczne początkowo lekko wzrastało, po czym zaczęło się obniżać.

Nie zanotowano opadów atmosferycznych w danym przedziale czasu w Gdańsku.

W Kętrzynie dnia 18.03 dominował słaby wiatr z kierunku południowo-zachodniego, a dnia następnego przewagę miał wiatr z południa o nieco większej prędkości.

Temperatura powietrza w Kętrzynie w tym okresie miała tendencję wzrostową. Średnie dobowe temperatury wyniosły kolejno 3 i 7°C. Dnia 18.03 termometr wskazał maksymalną wartość 5°C, a kolejnej doby maksimum temperatury osiągnęło 11°C. W nocy 17/18.03 minimalna temperatura wyniosła 1°C, następna noc była cieplejsza (minimum temperatury w okolicy 4°C). Nocą 19/20.03 powietrze ochłodziło się minimalnie do temperatury 6°C.

Dnia 18.03 w Kętrzynie powietrze było dość wilgotne – średnia dobowa wilgotność względna była równa 93 %. Następnej doby średniodobowa wilgotność powietrza wyniosła 76 %. Zachmurzenie było całkowite i prawie całkowite, z niewielkimi przejaśnieniami dnia 19.03. Ciśnienie atmosferyczne po początkowym lekkim wzroście, przez resztę okresu spadało.

Śladowa ilość opadów wystąpiła w Kętrzynie dnia 19.03. Poprzedniego dnia było bezopadowo.

26-31 marca 2010 roku

W Katowicach dnia 26.03 wystąpił słaby i umiarkowany wiatr południowy. Następnej doby wiał wiatr o podobnej prędkości z kierunku południowo-zachodniego. W godzinach nocnych dnia 28.03 przez kilka godzin panowała cisza wiatrowa, a reszta doby była zdominowana przez słaby wiatr południowo-zachodni. Dnia 29.03 wystąpił słaby i umiarkowany wiatr z kierunku południowo-zachodniego, który pod koniec doby zmienił się na południowy. W nocy 29/30.03 wystąpiły okresy ciszy. Dnia 30.03 przeważał słaby i umiarkowany wiatr z południa, a dnia 31.03 wiatr utrzymał prędkość, lecz zmienił kierunek na południowo-zachodni.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Katowicach w tym okresie wahała się pomiędzy wartościami 5 a 15°C. Najcieplejszym dniem okresu był 26.03 z maksimum temperatury równym 19,5°C. W najchłodniejszym dniu, jakim był w tym czasie 28.03, zmierzono maksymalną temperaturę powietrza 11°C. Najniższa minimalna temperatura równa 1°C wystąpiła w nocy 27/28.03.

Najwyższa średniodobowa wilgotność względna powietrza w danym przedziale czasowym wyniosła 86% dnia 28.03. W pozostałych dniach średnia wilgotność przyjęła wartości z zakresu 53-76 %. Zachmurzenie było prawie całkowite i całkowite (średnio 7-8 oktantów). Ciśnienie atmosferyczne dnia 26.03 dość szybko spadało, przez następne dwa dni wzrastało, w dniach 29-30.03 znów obniżało się, a dnia 31.03 rosło.

Opady atmosferyczne w Katowicach w dniach 26-27.03 nie wystąpiły, dnia 28.03 suma dobowa opadów wyniosła 5,9 mm, kolejnej doby sumaryczna ilość opadów była niemal śladowa (0,3 mm), a dnia 30.03 zanotowano brak opadów. Dnia 31.03 ponownie wystąpiły opady o sumie dobowej równej 3, 6mm.

W Gdańsku dnia 26.03 wiatr był słaby i umiarkowany, z kierunku południowego. Kolejnej doby przeważał umiarkowany i dość silny wiatr południowo-zachodni, który utrzymał się w dniach 28-29.03, tracąc nieco na sile. Dnia 29.03 wiatr miał zmienny kierunek. Nazajutrz zaczął dominować słaby wiatr z kierunku północnego. Dnia 31.03 wystąpił słaby i umiarkowany wiatr ze zmiennego kierunku, z przewagą południowo-wschodniego.

Średnia dobowa temperatura powietrza w Gdańsku w rozważanym okresie wahała się pomiędzy wartościami 5 a 13°C. Maksymalna temperatura osiągnęła dnia 26.03 wartość 19°C. Temperatura minimalna równa 2°C wystąpiła nocą 29/30.03.

Wilgotność względna powietrza w Gdańsku w danym terminie średnio w ciągu doby przyjęła wartości z przedziału 71-92 %. Zachmurzenie było umiarkowane (26.03), duże (29-31.03) i prawie całkowite (27-28.03). Ciśnienie atmosferyczne dnia 26.03 i część doby 27.03 malało, następnie wzrastało, a od 30.03 zaznaczył się ponownie spadek ciśnienia.

Opady atmosferyczne w Gdańsku dnia 26.03 nie wystąpiły, kolejnej doby zmierzono sumaryczną ilość opadów równą 9,9 mm, a dnia 28.03 suma dobowa opadów wyniosła 1 mm. W dniach 29-30.03 było bezopadowo, a dnia 31.03 znów wystąpiły opady o sumie dobowej równej 2,8 mm.

W Kętrzynie dnia 26.03 wiał słaby i umiarkowany wiatr z kierunku południowo-wschodniego. Nazajutrz przeważał umiarkowany i dość silny wiatr południowy. Dnia 28.03 kierunek wiatru zmienił się na południowo-zachodni, a prędkość pozostała umiarkowana. Wieczorem i w nocy 28/29.03 wystąpił słaby wiatr południowy, a dnia 29.03 wiał słaby i umiarkowany wiatr, naprzemiennie z południowego-zachodu i południa. Dnia 30.03 dominował słaby wschodni wiatr, a kolejnej doby wiatr stał się umiarkowany i dość silny, a także zmienił kierunek na południowo-wschodni.

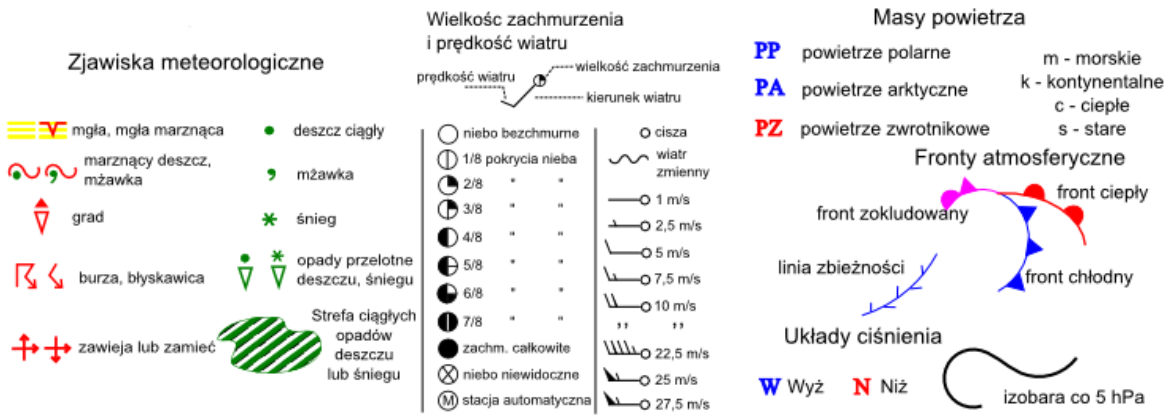
Temperatura powietrza w Kętrzynie w danym okresie przyjmowała wartości średnie dobowe z zakresu 8-13^{o}C. Maksymalnie ociepliło się do 19^{o}C dnia 26.03 i 31.03. Minimalne temperatury wyniosły między 5-10^{o}C.

Średniodobowa wilgotność względna w Kętrzynie w dniach 26-30.03 równa była między 71 a 89 %, natomiast dnia 31.03 miała wartość 64 %. Zachmurzenie dnia 26.03 było umiarkowane (średnio 4/8), a w dniach 27-31.03 niebo pokryło się chmurami w stopniu dużym (6 oktantów) i prawie całkowitym (8/8). Ciśnienie atmosferyczne początkowo obniżało się, a od godzin przedpołudniowych dnia 27.03 wykazało tendencję wzrostową aż do połowy doby 30.03. Później zanotowano spadek ciśnienia.

Opady atmosferyczne w Kętrzynie dnia 26.03 nie wystąpiły, a w następnych dniach zanotowano niewielkie opady – dnia 27.03 suma dobowa opadów wyniosła 1,3 mm, a w dniach 28-31.03 sumaryczne ilości opadów w ciągu doby wahały się w granicach 0,1-0,7 mm.

4.3.2. Opis sytuacji barycznej i ocena źródła napływu zanieczyszczeń przy wykorzystaniu analizy synoptycznej

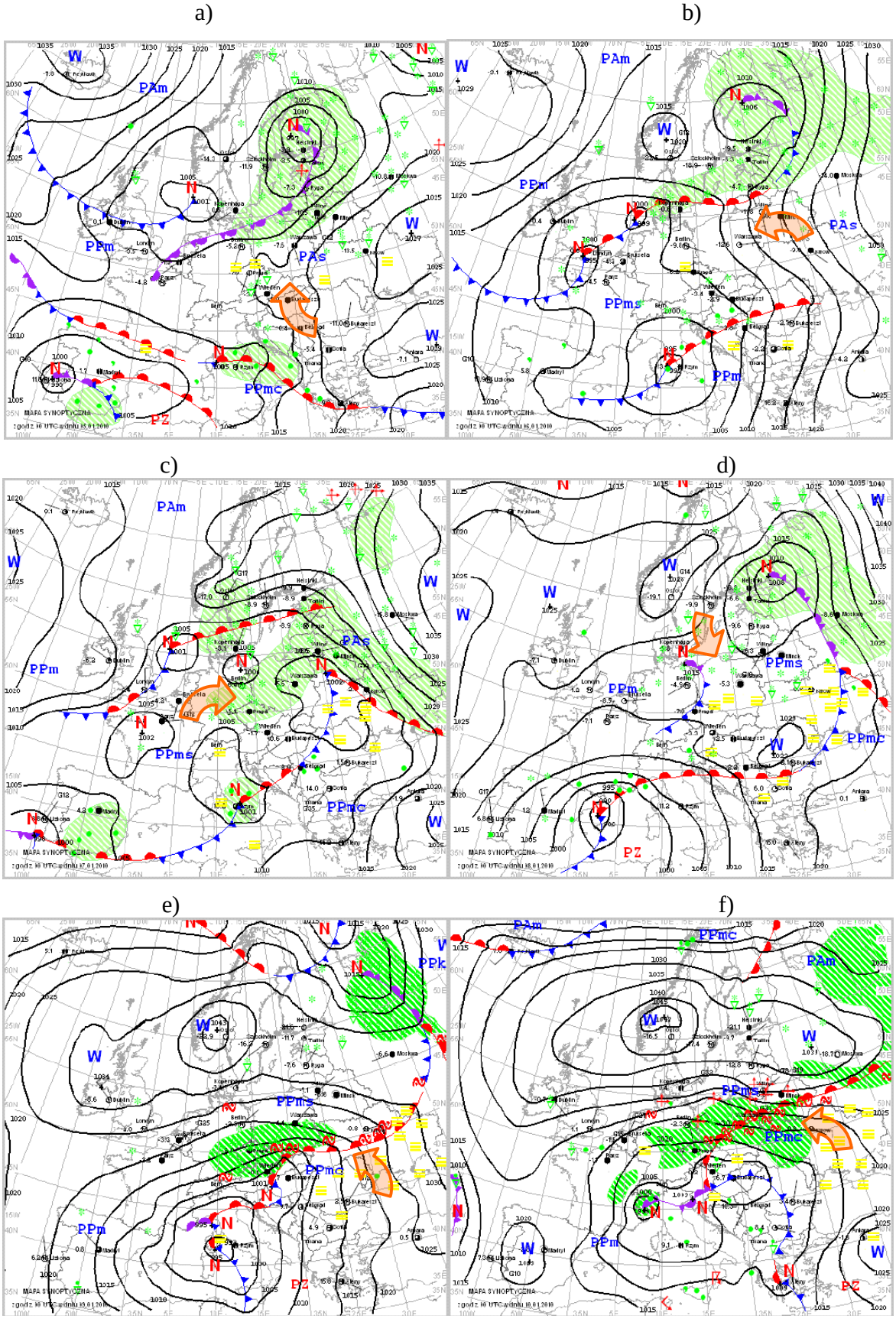
Przy wykorzystaniu Codziennych Biuletynów Meteorologicznych i Biuletynów Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej wydawanych przez IMGW przeanalizowano układy ciśnienia atmosferycznego oraz rodzaje mas powietrza napływających nad obszar Polski w czasie wystąpienia podwyższonych stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$. Przedstawiono mapy synoptyczne dolne (powierzchniowe) dla wybranych epizodów. Oznaczenia na mapach synoptycznych wyjaśnia legenda (rysunek 4.3.2.1.). Na mapach dodatkowo zaznaczono strzałką, z jakiego kierunku napływały masy powietrza.



Rysunek 4.3.2.1. Legenda mapy synoptycznej

W dniach **4-9.01.2010** pogodę w Polsce kształtowały układy niskiego ciśnienia z frontami atmosferycznymi. Napływały masy mroźnego i wilgotnego powietrza polarno-morskiego, a także przejściowo powietrza arktycznego. Rysunek 4.3.2.2. przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 5-10.01.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 5.01.2010 nastąpiła zmiana kierunku wiatru z południowego na wschodni, napływała wtedy masa mroźnego powietrza arktycznego (PAs). Wiatr był słaby i umiarkowany. Następnego dnia wiatr zmienił kierunek na zachodni i zaczęła napływać masa chłodnego powietrza polarno-morskiego (PPms). Dnia 7.01.2010 wiatr osłabł, a jego kierunek był zmienny. Nazajutrz głęboki niż baryczny z ośrodkiem nad Półwyspem Apenińskim wraz z układem frontów atmosferycznych zaczął przesuwać się nad Nizinę Węgierską, powodując napływ z południowego-wschodu nad obszar Polski bardzo wilgotnego powietrza polarno-morskiego (PPmc). Od południa w głąb kraju przesuwała się strefa intensywnych opadów śniegu, a na południowym-wschodzie deszczu marznącego. W dniach 8-9.01.2010 wiatr stał się dość silny i bardzo silny, porywisty, wschodni i północno-wschodni. Wystąpiły zawieje i zamiecie śnieżne. W danym okresie nad ranem lokalnie tworzyły się mgły osadzające szadź.



Rysunek 4.3.2.2. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 5-10.01.2010 (a-f)

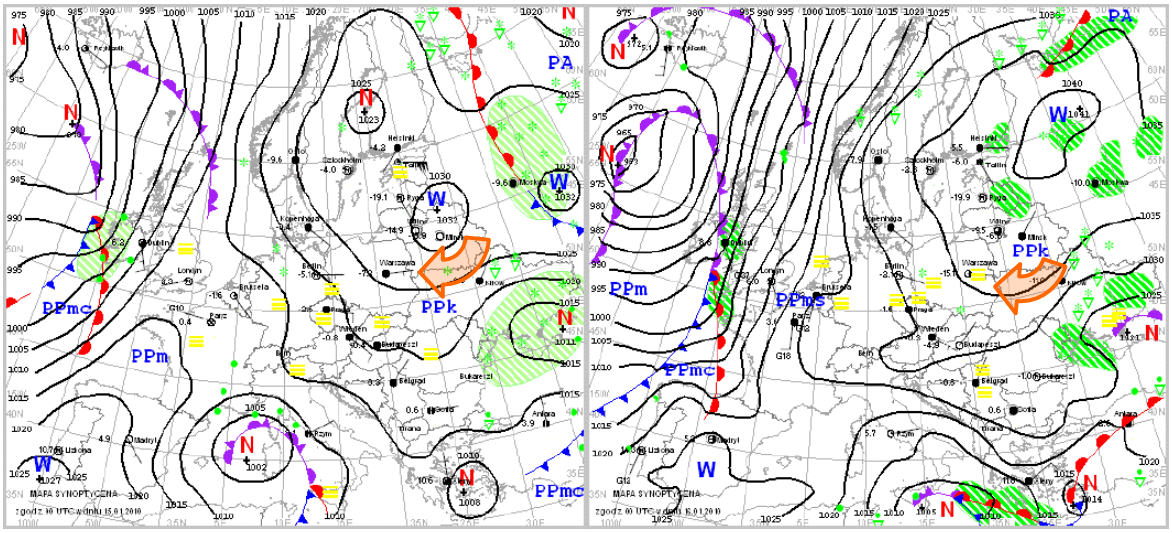
W dniach **14-19.01.2010** Polska znajdowała się w zasięgu bardzo silnego wyżu syberyjskiego (1045 hPa). Z kierunków wschodnich napływała masa mroźnego powietrza polarno-kontynentalnego (PPk). Rysunek 4.3.2.3. przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 15-20.01.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 14.01.2010 wiał słaby wiatr z kierunku wschodniego. Następnego dnia wiatr wciąż był słaby, wiejący ze zmiennych kierunków, jednak z przewagą wschodniego. W dniu 16.01.2010 wiatr przybierał stopniowo na sile do umiarkowanego, a w nocy stał się dość silny i porywisty. Przeważał południowo-wschodni kierunek wiatru. Nazajutrz utrzymywał się wiatr umiarkowany, dość silny i porywisty, z podobnego kierunku. Na północy kraju padał śnieg, okresami mocno, a na wschodzie obserwowane były zamiecie śnieżne. Dnia 18.01.2010 wiatr dość silny i porywisty występował tylko na północnym-wschodzie Polski, na pozostałym obszarze kraju wiał wiatr słaby i umiarkowany. Kierunek wiatru nadal był południowo-wschodni, z wyjątkiem zachodniej części Polski, gdzie wiatr wiał ze zmiennych kierunków. Na zachodzie kraju ponadto wystąpiły opady marznącej mżawki, deszczu ze śniegiem i deszczu. Następnego dnia w całym kraju wiatr był słaby i umiarkowany z kierunku wschodniego. Wystąpiły wówczas miejscami, słabe opady śniegu, na wschodzie Polski umiarkowane. Na zachodzie padała marznąca mżawka, a na południowym-zachodzie deszcz.
W całym okresie obserwowane były mgły osadzające szadź.

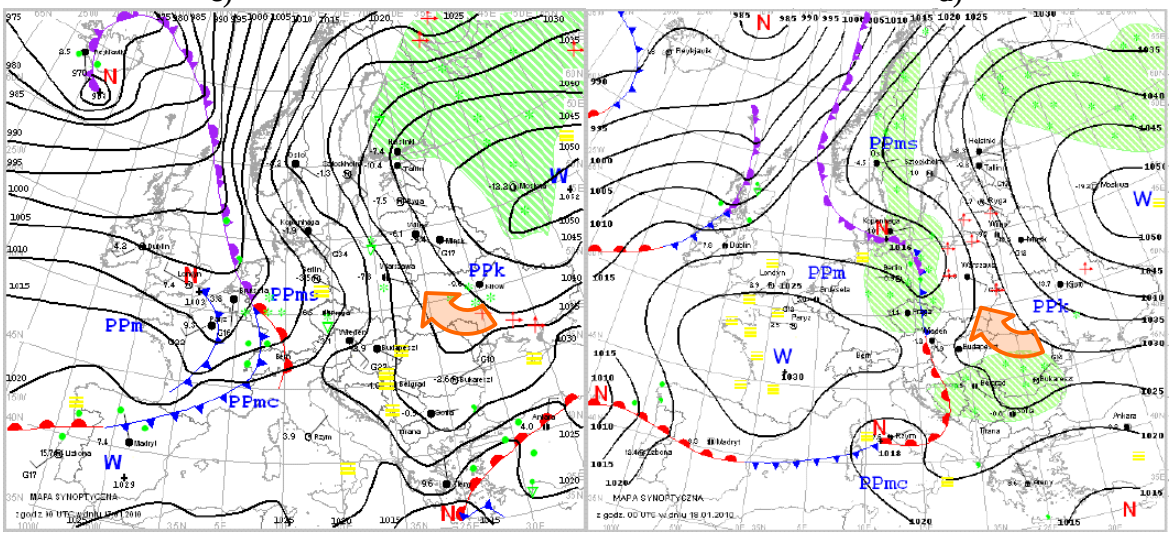
W dniach **22-26.01.2010** nad Polską wciąż oddziaływał Wyż Syberyjski i napływała mroźna polarno-kontynentalna masa powietrza (PPk). Dnia **27.01.2010** Polska znalazła się w zasięgu głębokiego niżu barycznego z ośrodkiem nad Skandynawią. Zaczęła napływać masa nieco cieplejszego i wilgotnego powietrza polarno-morskiego (PPmc). Rysunek 4.3.2.4 przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 23-28.01.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

W dniach 22-25.01.2010 wiał słaby i umiarkowany z wiatr kierunku wschodniego oraz przejściowo również południowo-wschodniego (24.01.2010). Dnia 26.01.2010 wiatr był słaby, przeważnie z zachodu i północy. Miejscami padał śnieg, z wyjątkiem zachodniej części kraju. Dnia 27.01.2010 wystąpił wiatr umiarkowany i dość silny, na północy Polski silny i porywisty, powodujący zawieje i zamiecie. Strefa opadów śniegu, okresami intensywnych, postępowała od północnego-zachodu w głąb kraju.
Na południu i południowym-wschodzie obserwowane były mgły osadzające szadź.

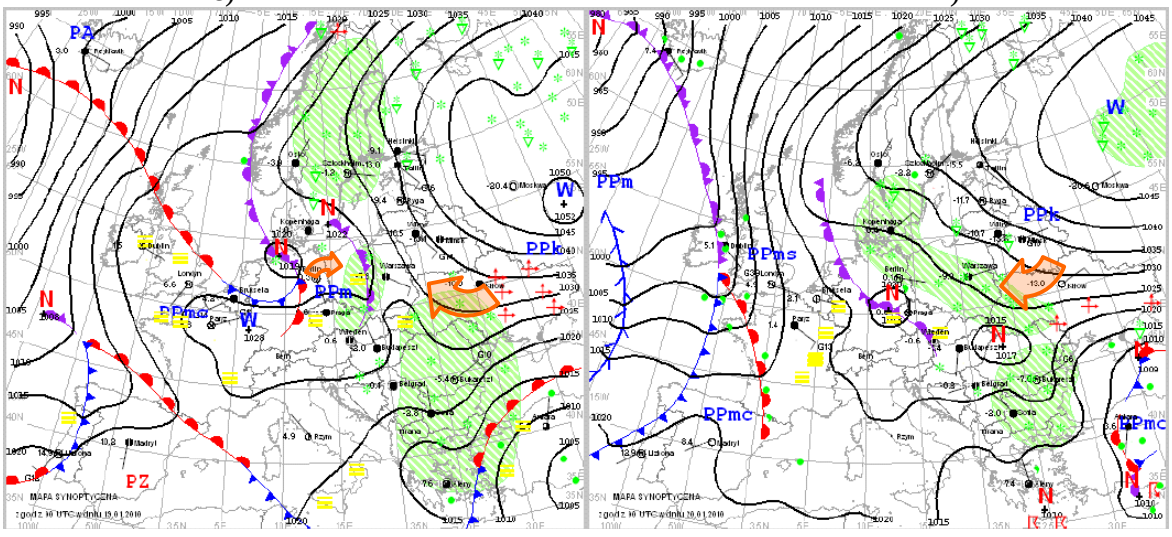
a) b)



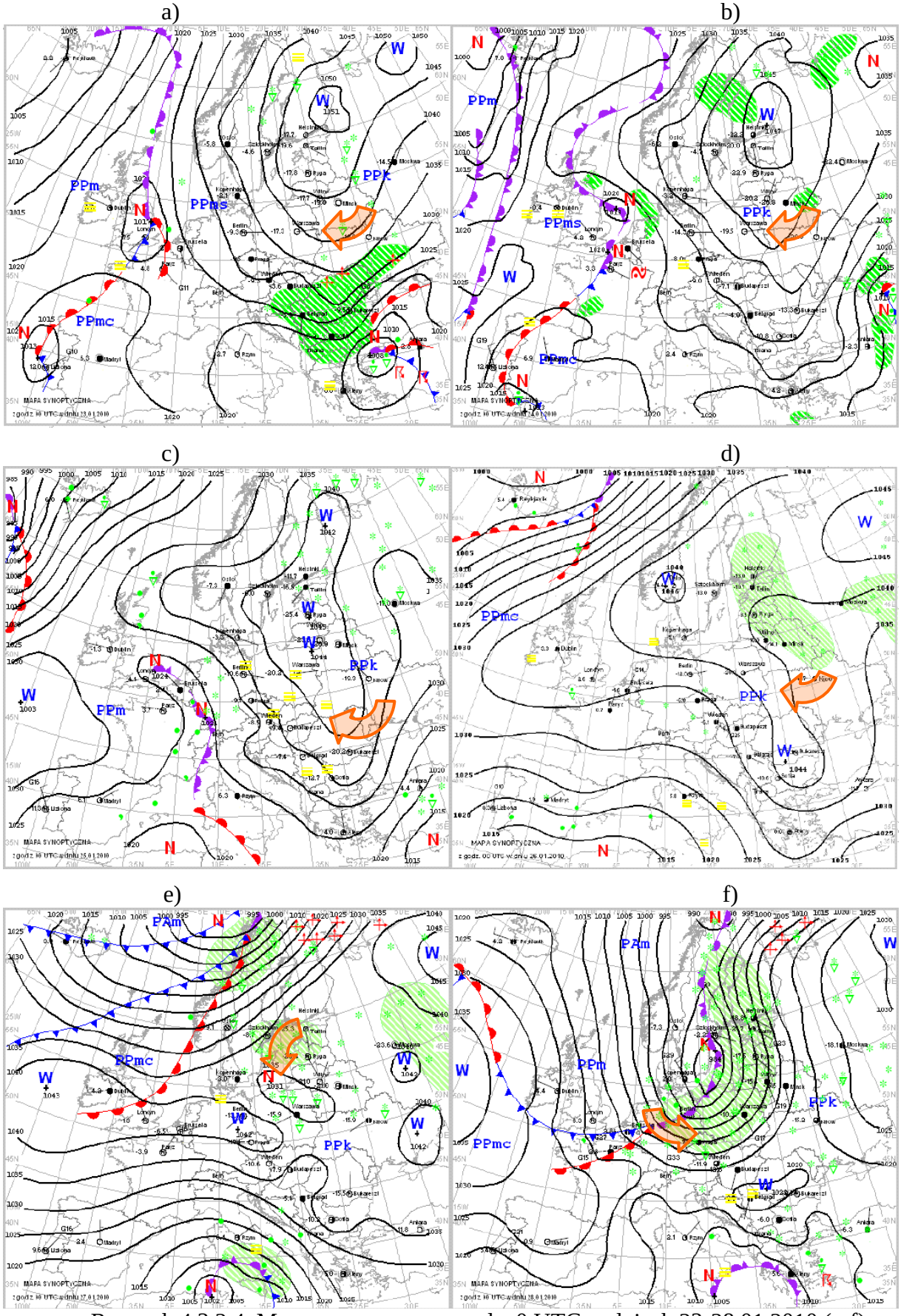
c) d)



e) f)



Rysunek 4.3.2.3. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 15-20.01.2010 (a-f)



Rysunek 4.3.2.4. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 23-28.01.2010 (a-f)

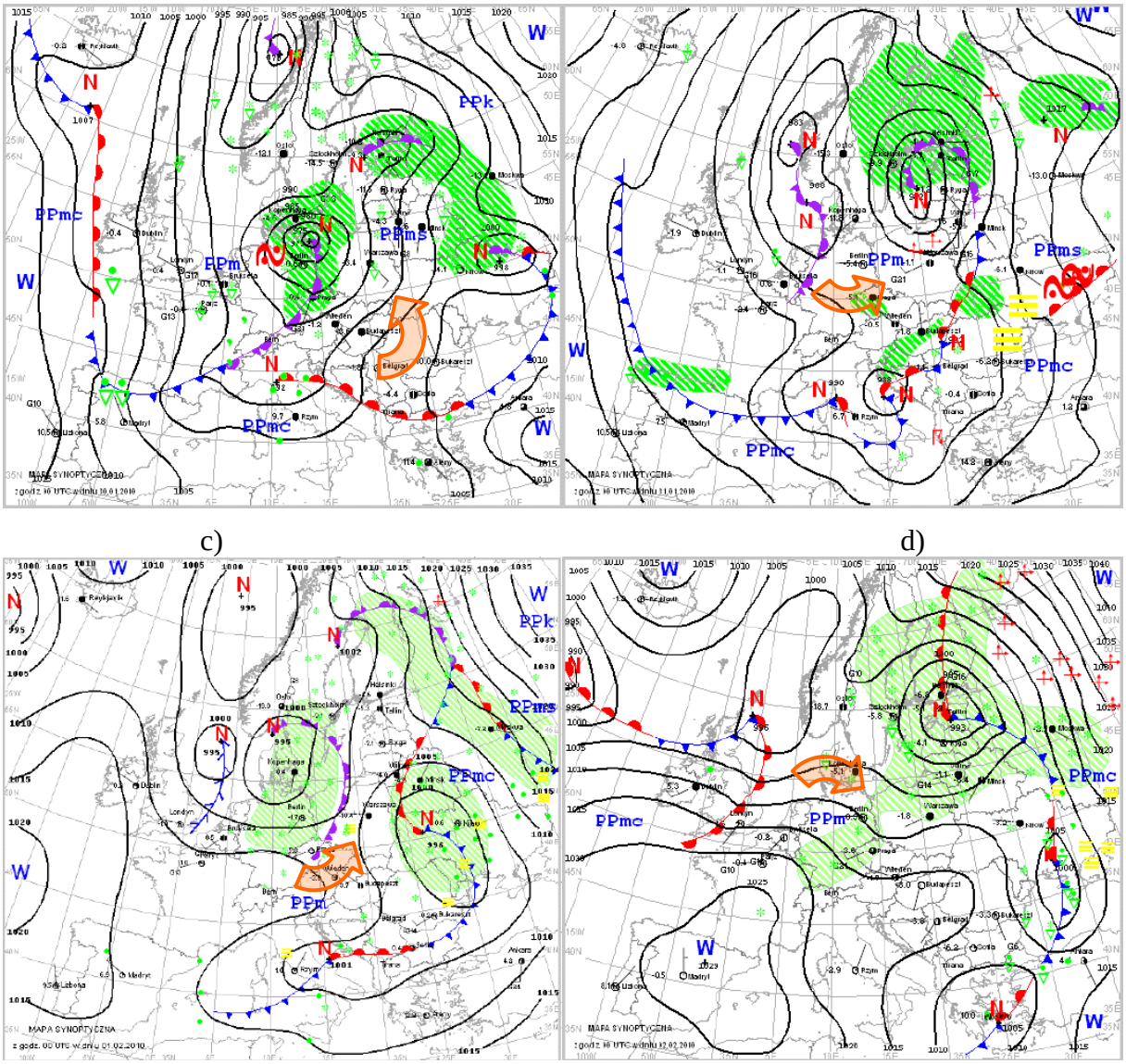
W dniach **29.01-1.02.2010** Polska pozostawała pod wpływem układów niżowych z frontami atmosferycznymi, przemieszczającymi się z zachodu na wschód kraju. Napływała wilgotna polarno-morska masa powietrza (PPm). Rysunek 4.3.2.5 przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 30.01-2.02.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 29.01.2010 wiatr był początkowo słaby i umiarkowany, stopniowo wzrastający do dość silnego i porywistego, z kierunku południowo-wschodniego. Okresowo występowały opady śniegu, przejściowo dość intensywne, a w nocy na zachodzie kraju także deszczu ze śniegiem. Nazajutrz wiał wiatr umiarkowany i dość silny, porywisty, z kierunków południowych i zachodnich. Padał śnieg, na południowym-wschodzie w nocy intensywnie. Następnego dnia wiatr był słaby i umiarkowany, na zachodzie Polski południowy i zachodni, a na wschodzie – głównie północno-zachodni. Na południowym-wschodzie kraju miejscami padał śnieg, na wschodzie w nocy intensywnie. Dnia 1.02.2010 wiatr był słaby i umiarkowany z kierunku: południowo-zachodniego i zachodniego. Miejscowo wystąpiły opady śniegu, w nocy na północnym-zachodzie przejściowo śnieg z deszczem. W nocy 31.01/1.02.2010 wystąpiły mgły osadzające szadź.

W dniach **7-9.02.2010** Polska znajdowała się na skraju wyżu znad Rosji, a od **10.02.2010** nad obszarem kraju zaczął oddziaływać niż znad Adriatyku, podążający w kierunku Niziny Węgierskiej, a następnie Ukrainy. Początkowo z południowego-wschodu napływała masa powietrza polarno-kontynentalnego (PPk), a następnie z południowego-wschodu i wschodu zaczęła napływać bardzo wilgotna polarno-morska masa powietrza (PPms). Rysunek 4.3.2.6 przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 8-11.02.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 7.02.2010 wiał słaby, okresowo umiarkowany wiatr z północnego-wschodu. Padał niewielki śnieg. Następnego dnia wiatr był przeważnie słaby ze zmiennych kierunków. Wystąpiły niewielkie opady śniegu. W kolejny dzień także wiał słaby wiatr, z kierunków: południowego i wschodniego. Okresowo wystąpiły słabe opady śniegu. Dnia 10.02.2010 wiatr był słaby i umiarkowany, w nocy okresami dość silny i porywisty, ze wschodu i północnego-wschodu. Nad ranem w rozważanym okresie lokalnie tworzyły się mgły.

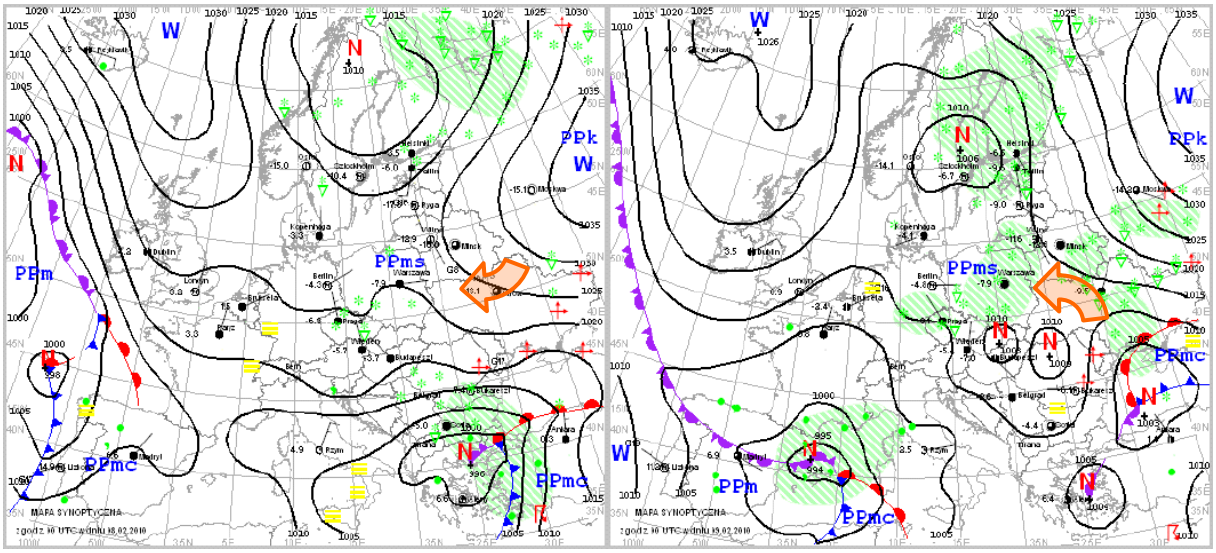
a) b)



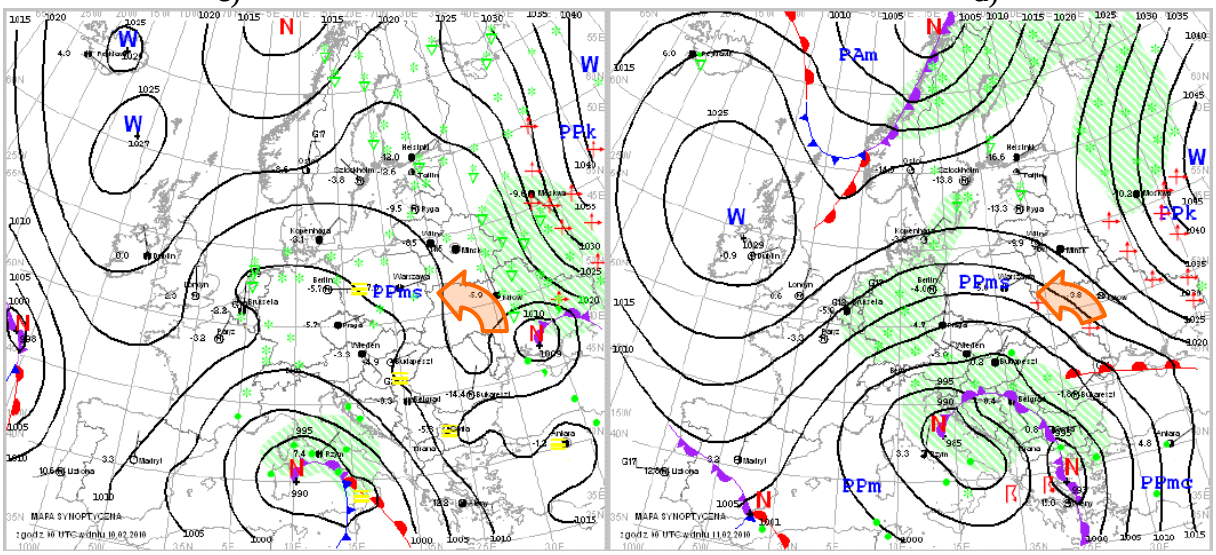
c) d)

Rysunek 4.3.2.5 Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 30.01-2.02.2010 (a-d)

a) b)



c) d)



Rysunek 4.3.2.6. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 8-11.02.2010 (a-d)

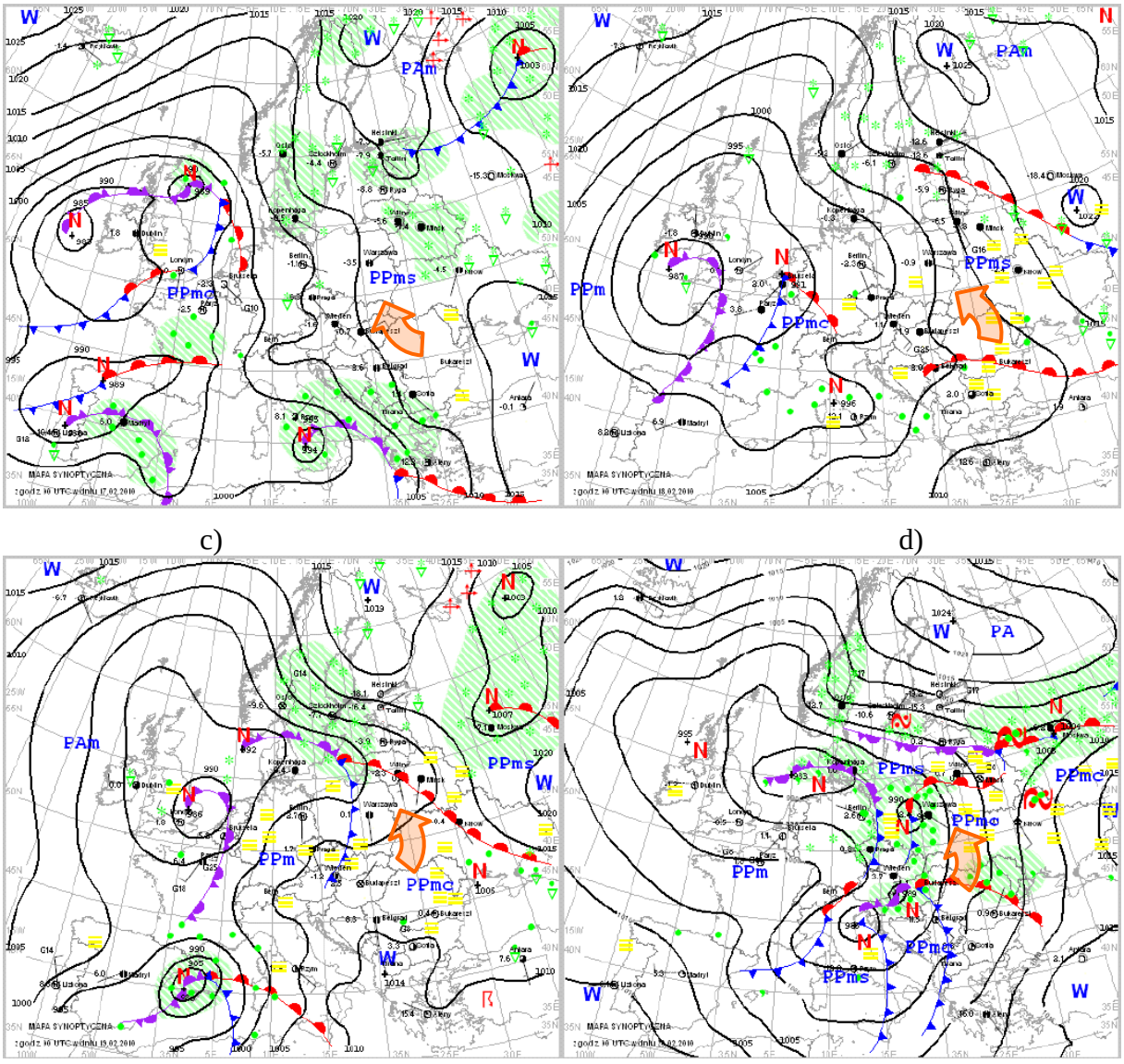
W dniach **16-18.02.2010** pogodę w Polsce kształtował słaby wyż przesuwający się znad południowej Szwecji nad zachodnią Rosję. Nad obszarem kraju zalegała zimna polarno-morska masa powietrza (PPms). Od **19.02.2010** zaznaczył się wpływ ośrodka niżowego przemieszczającego się znad Wysp Brytyjskich nad południową Skandynawię. Z zachodu i południowego-zachodu zaczęło napływać ciepłe powietrze polarno-morskie (PPmc). Rysunek 4.3.2.7. przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 17-20.02.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 16.02.2010 wiał słaby wiatr, przeważnie z kierunku południowo-wschodniego. Miejscami padał niewielki śnieg. Nazajutrz wiatr był słaby i umiarkowany, południowo-wschodni i południowy. W następną dobę wiał również słaby i umiarkowany wiatr z kierunków południowych. Na zachodzie i północy Polski wystąpiły opady deszczu ze śniegiem i deszczu, lokalnie marznącego. Dnia 19.02.2010 wiatr był słaby i umiarkowany, południowo-wschodni, w nocy skręcający na zachodni. W dzień padał deszcz, miejscami dość intensywny, a w nocy na zachodzie i południu kraju śnieg i śnieg z deszczem. W dniach 16-18.02.2010 wystąpiły licznie gęste mgły osadzające szadź.

W dniach **24-27.02.2010** Polska pozostawała pod wpływem układów niskiego ciśnienia z frontami atmosferycznymi. Początkowo napływała z północy chłodniejsza masa powietrza polarno-morskiego (PPms), a następnie ciepła polarno-morska masa powietrza (PPmc). Rysunek 4.3.2.8 przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 25-28.02.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 24.02.2010 wiał słaby i umiarkowany wiatr z kierunków wschodnich. Wówczas na północy kraju padał śnieg i śnieg z deszczem, na pozostałym obszarze Polski deszcz, lokalnie marznący. Następnego dnia wiatr był słaby i umiarkowany, w nocy w rejonach podgórskich dość silny, w górach bardzo silny, z południowego-wschodu i południa. Na północnym-wschodzie z początkiem dnia padał słaby deszcz. Dnia 26.02.2010 wiał wiatr z południa i południowego-wschodu, słaby i umiarkowany, na pogórzu okresowo porywisty, a w Tatrach halny. Z południa na południowy wschód postępowała strefa opadów deszczu, w górach padał śnieg. Nazajutrz nadal wiał wiatr słaby i umiarkowany, w Tatrach halny, z kierunków południowych. Miejscami wystąpiły opady deszczu, w górach śniegu. Dniami i nocami w tym czasie tworzyły się gęste mgły, lokalnie osadzające szadź.

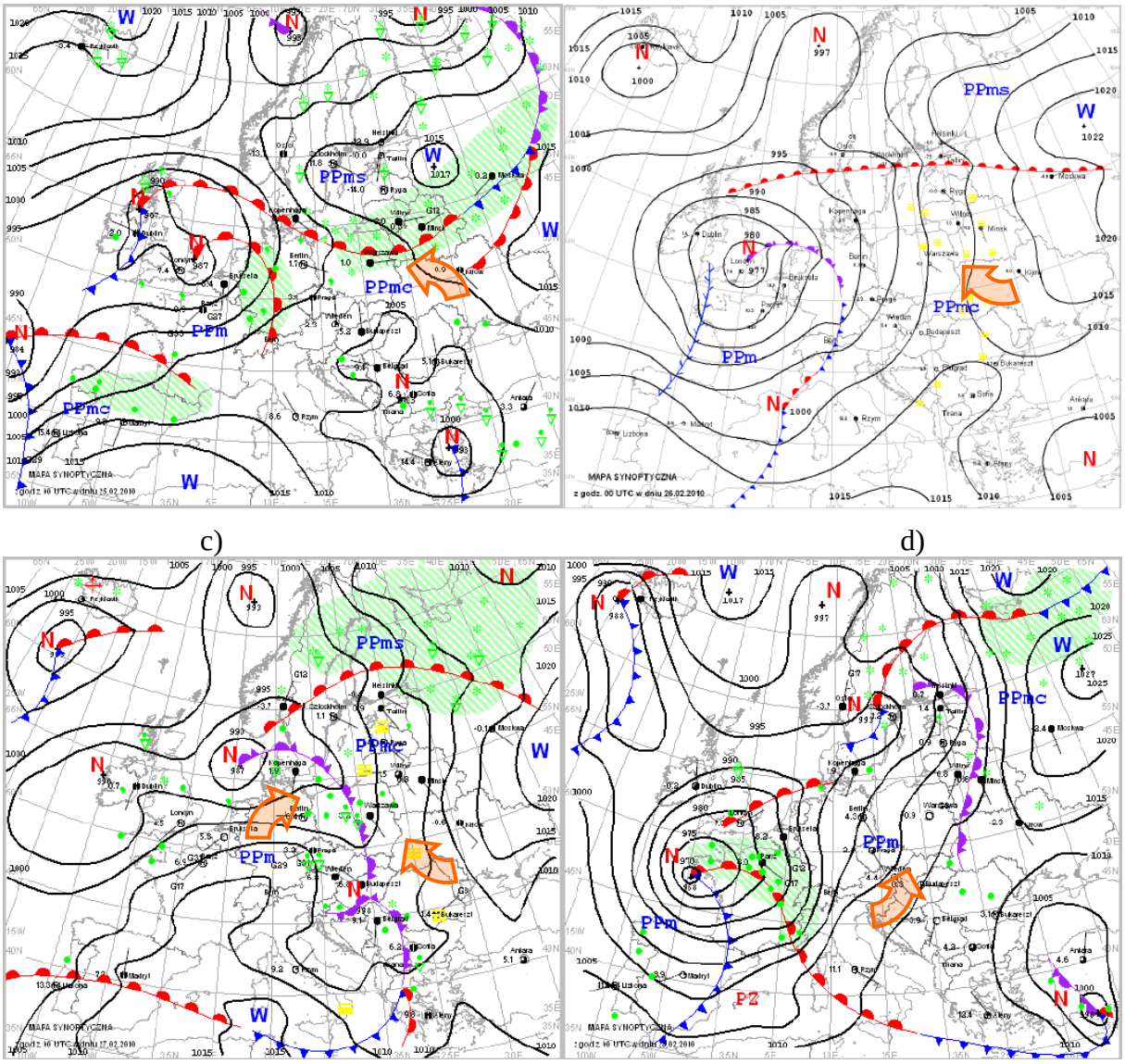
a) b)



c) d)

Rysunek 4.3.2.7. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 17-20.02.2010 (a-d)

a) b)



c) d)

Rysunek 4.3.2.8. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 25-28.02.2010 (a-d)

W dniach **8-10.03.2010** nad Polską oddziaływał wyż z rejonu Wysp Brytyjskich. Napływało wtedy zimne powietrze pochodzenia arktycznego (PAs). Od **11.03.2010** Polska znalazła się pod wpływem niżu znad północnej Rosji i związanych z nim frontów atmosferycznych. Z kierunków zachodnich napływała chłodna masa powietrza polarno-morskiego (PPms). Rysunek 4.3.2.9. przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 9-14.03.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

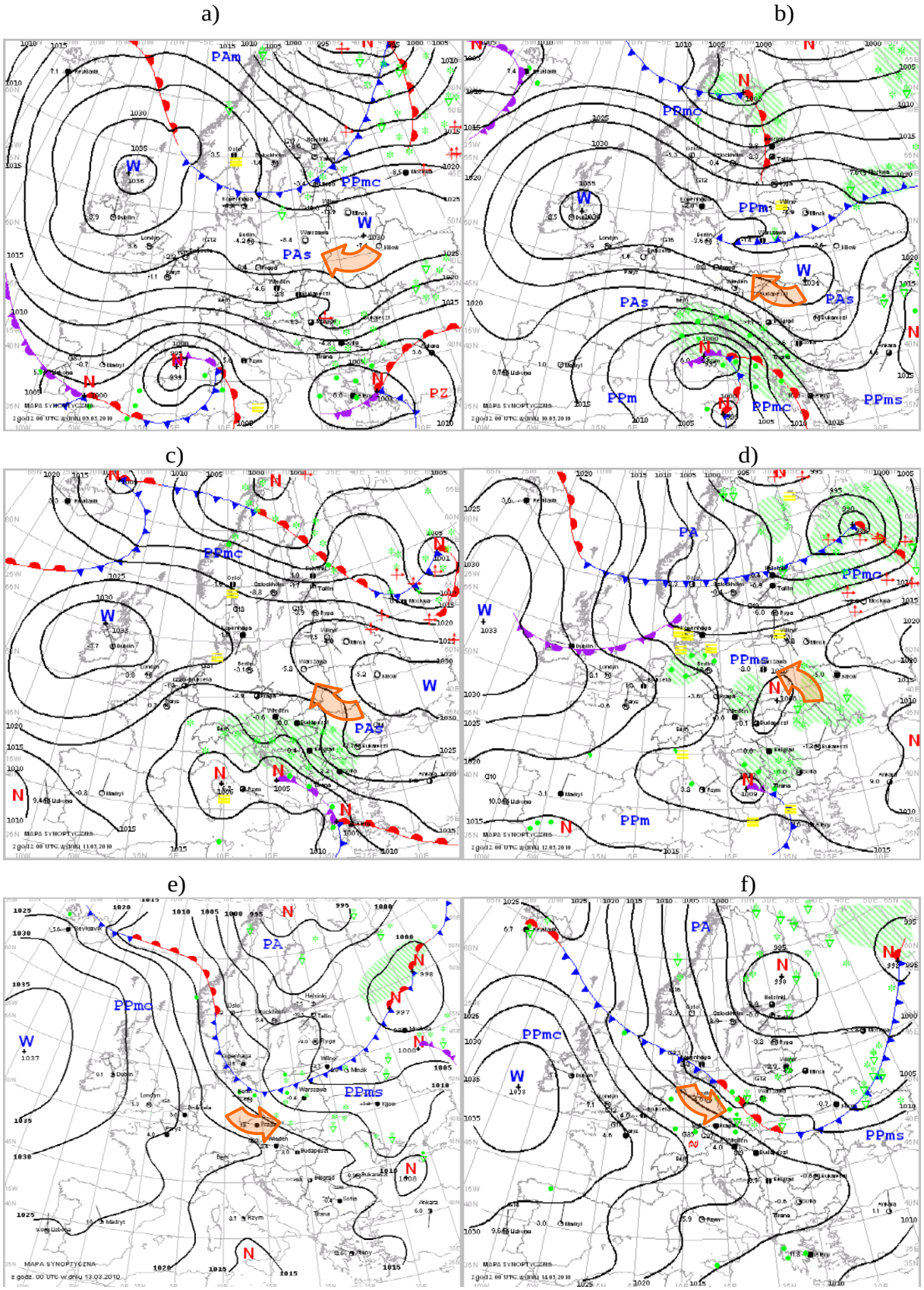
Dnia 8.03.2010 wiatr był przeważnie słaby z kierunku północnego i wschodniego. Wystąpiły niewielkie przelotne opady śniegu, głównie na południu kraju. Nazajutrz wiał wiatr słaby, na północy Polski okresami umiarkowany, z kierunków zmiennych. Miejscami padał słaby śnieg. Następnego dnia wiał słaby i umiarkowany wiatr z północnego-wschodu i wschodu. Dnia 11.03.2010 wiatr był słaby, zmienny. Na południu i południowym-wschodzie kraju padał śnieg, w nocy lokalnie intensywny. Na zachodzie i północnym-zachodzie Polski w nocy wystąpiły opady mżawki i marznącego deszczu. Kolejnej doby wiał wiatr słaby i umiarkowany, okresowo porywisty, z kierunków zachodnich. Na południowym-wschodzie padał śnieg. Po południu strefa opadów śniegu przechodzącego w deszcz ze śniegiem i deszcz przesuwała się z zachodu na wschód kraju. Miejscami opady były dość intensywne. Dnia 13.03.2010 wiatr był słaby i umiarkowany, okresowo na południu i zachodzie kraju dość silny i porywisty, z kierunku zachodniego i północno-zachodniego. Wystąpiły przelotne opady śniegu, deszczu ze śniegiem i deszczu, miejscami dość intensywne.

W dniach 9-12.03.2010 tworzyły się, szczególnie na północy i północnym-wschodzie kraju, gęste mgły osadzające szadź.

W dniach **18-19.03.2010** Polska znajdowała się na skraju wyżu z centrum nad Morzem Śródziemnym. Napływało wówczas cieplejsze powietrze polarno-morskie (PPmc). Rysunek 4.3.2.10. przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 19-20.03.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

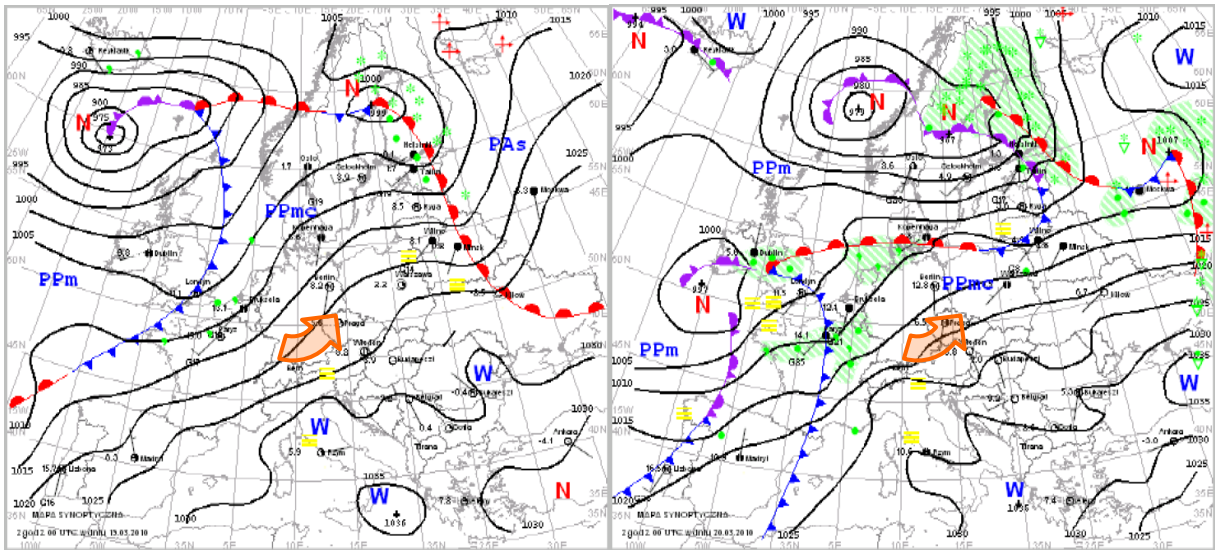
Dnia 18.03.2010 wiatr był słaby, na Wybrzeżu i w górach umiarkowany i dość silny, z kierunku południowego i południowo-zachodniego. Miejscami na wschodzie Polski padał słaby deszcz. Nazajutrz wiał wiatr słaby i umiarkowany, na Wybrzeżu i południu dość silny i porywisty, w górach bardzo silny, południowo-zachodni i zachodni. W niektórych miejscach północnej i centralnej Polski padał słaby deszcz.

W nocy 18/19.03.2010 wystąpiły mgły, lokalnie osadzające szadź.



Rysunek 4.3.2.9. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 9-14.03.2010 (a-f)

a) b)

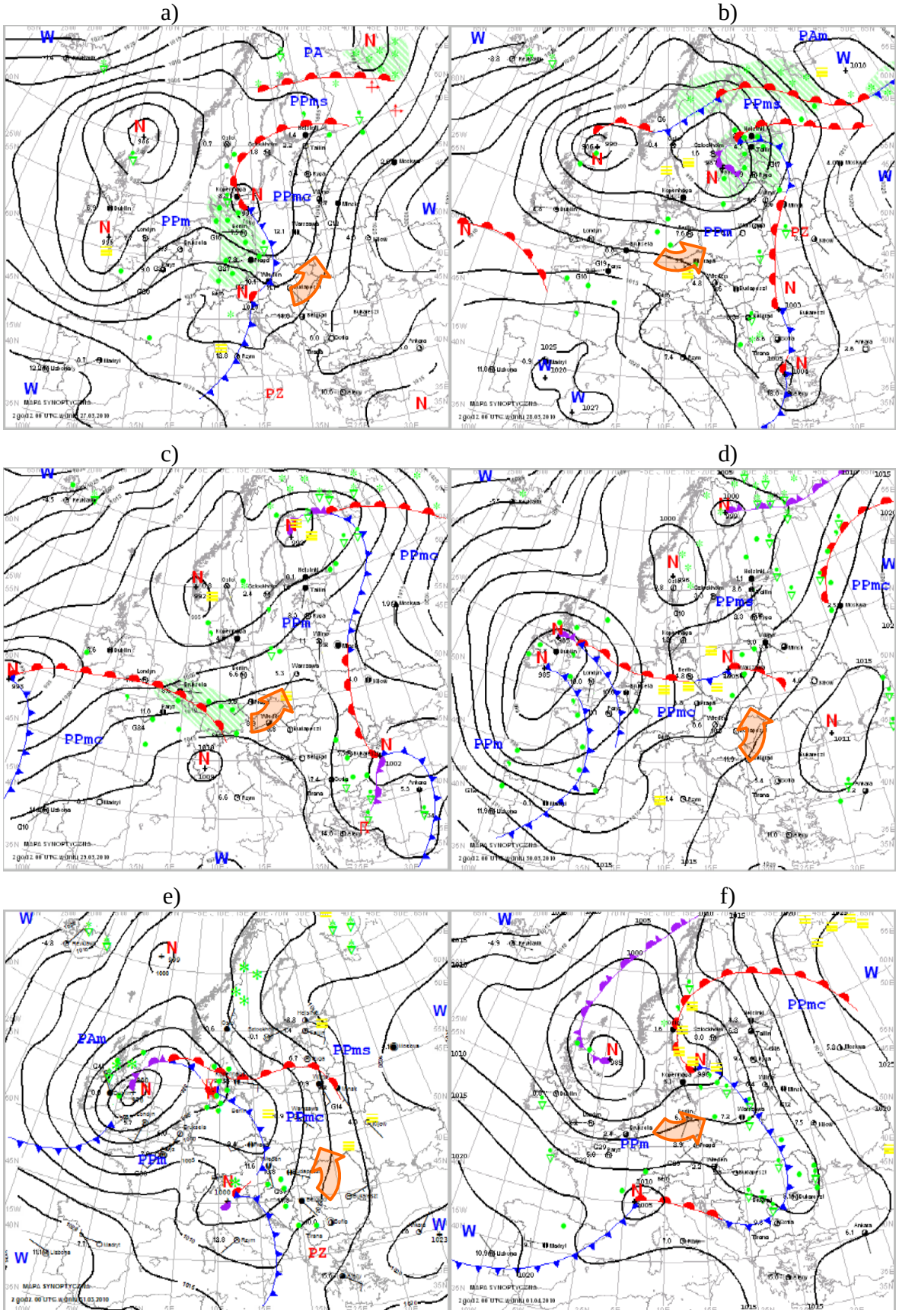


Rysunek 4.3.2.10. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 19-20.03.2010 (a-b)

W dniach **26-31.03.2010** Polska znajdowała się pod wpływem ośrodków niżowych z rejonu Wysp Brytyjskich i południowej Skandynawii oraz związanych z nimi układów frontów atmosferycznych. Z południa i zachodu napływała masa powietrza polarno-morskiego (PPm), a przejściowo zwrotnikowego (PZ). Rysunek 4.3.2.11. przedstawia mapy synoptyczne z godziny 0 UTC z kolejnych dni okresu 27.03-1.04.2010, z zaznaczonymi dodatkowo dominującymi kierunkami napływu mas powietrza nad obszar Polski.

Dnia 26.03.2010 wiatr był umiarkowany, okresami dość silny i porywisty, w górach halny, południowy skręcający na zachodni. W nocy i nad ranem wystąpiły opady deszczu. Następnej doby wiał wiatr słaby i umiarkowany, na północy kraju i w górach dość silny i silny, porywisty, przeważnie z kierunków południowo-zachodnich. Okresami padał deszcz, na Pomorzu dość intensywnie. Dnia 28.03.2010 w dzień wiatr był umiarkowany i porywisty, a w nocy słaby i umiarkowany, z kierunku południowo-zachodniego. Miejscami wystąpiły przelotne opady deszczu, a lokalnie burze. Nazajutrz wiał wiatr słaby i umiarkowany, w rejonach podgórskich dość silny i porywisty, w Tatrach halny, z kierunków południowych. Prawie w całym kraju padał deszcz. Kolejnego dnia wiatr był słaby i umiarkowany, na południu Polski porywisty, w Tatrach halny, z południowego-wschodu i południa. Na wschodnich i północno-wschodnich krańcach Polski miejscami wystąpiły słabe, przelotne opady deszczu. Dnia 31.03.2010 wiał słaby i umiarkowany wiatr, okresami porywisty, południowy skręcający na zachodni. Przelotnie padał deszcz, miejscami dość intensywnie. Lokalnie wystąpiły burze.

W dniach 27-30.03.2010 lokalnie tworzyły się mgły.



Rysunek 4.3.2.11. Mapy synoptyczne z godz. 0 UTC w dniach 27.03-1.04.2010 (a-f)

4.3.3. Ocena wpływu źródeł regionalnych emisji PM_{10} i $PM_{2,5}$ na wysokość imisji pyłu

Do oceny wpływu źródeł regionalnych emisji PM_{10} i $PM_{2,5}$ na wysokość imisji pyłu zastosowano metody właściwe do oceny napływu z odległych źródeł wykorzystując tzw. metodę trajektorii wstecznych opisaną w rozdziale poniżej. Różnica metodyczna polegała tylko na wyróżnieniu trajektorii o krótszym czasie trwania. Szczegółowy opis wyników podano w rozdziale 4.3.4.

4.3.4. Metodyka oceny napływu z odległych źródeł

Na wysokość imisji pyłu zawieszonego wpływają zarówno lokalne źródła emisji, jak i emisja w obszarach oddalonych, często zlokalizowanych poza granicami kraju. Do oceny udziału emisji z oddalonych źródeł w rejestrowanej imisji użyto metody opartej o wyznaczanie trajektorii wstecznych. Trajektorie wsteczne wypuszczano z trzech wysokości zlokalizowanych w obrębie warstwy granicznej atmosfery tj. 30 m, 100 m i 150 m nad poziomem gruntu w punktach pomiaru imisji pyłu w Gdańsku, Diablej Górze i Katowicach, do 48 h wstecz. Obliczenia przeprowadzono dla okresu 1.I. 2010 – 28.III. 2010, z krokiem czasowym 1 h. Tym samym dla każdej wymienionej lokalizacji wyznaczono trajektorie wsteczne dla 24 h z 87 dni i trzech wysokości, co razem czyni 6264 trajektorie, każda licząca 49 punktów.

Obliczenia trajektorii wstecznych wykonano posługując się ogólnodostępnym modelem w sieci internetowej HYSPLIT_4 (*HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) [Draxler, Rolph 2010; Rolph 2010]. Jest to model pozwalający na obliczenia złożonych dyspersyjnych i depozycyjnych sytuacji, używając przybliżenia obłoku lub cząstki. Jego zaletą jest możliwość przeprowadzenia obliczeń przy wykorzystaniu łączy internetowych (http://www.arl.noaa.gov/ready). Obliczenia modelowe wykonano przy użyciu historycznych danych meteorologicznych GDAS (*Global Data Assimilation System*). Trajektorie wsteczne obrazują prawdopodobny 48-godzinny tor ruchu powietrza, zanim znajdzie się ono w miejscu pomiaru imisji na wysokości 30, 100 lub 150 m nad tym punktem. Zdecydowano się na wyznaczenie trajektorii wstecznych z kilku wysokości nad punktem imisji, ze względu na procesy mieszania występujące w warstwie przypowierzchniowej, wpływające na homogenizację stężeń. Innymi słowy, jeśli nad punkt pomiaru imisji zanieczyszczeń napłynie pył zawieszony z odległych źródeł emisji, to ze względu na procesy mieszania (termiczne czy też mechaniczne) jego stężenie będzie miało udział w rejestrowanej imisji.

Idea metody jest prosta. Gdybyśmy mieli do czynienia wyłącznie z emisją z oddalonych źródeł (tak, jak to ma miejsce w przypadku Diablej Góry), to o istnieniu oddalonego źródła emisji wpływającego na poziom stężeń w danej lokalizacji możemy wnioskować obserwując wartości rejestrowanej imisji. Jeśli obserwujemy częste podwyższenie imisji przy napływie mas powietrza z konkretnego rejonu, to możemy wnioskować o istnieniu źródeł emisji w tym rejonie. Jeśli dysponujemy odpowiednio długim okresem danych imisyjnych i wyznaczymy dla tego okresu trajektorie wsteczne, to posługując się metodami GIS możemy wyznaczyć obszary źródłowe, dla których takie podwyższenie imisji jest obserwowane i w przybliżeniu oszacować wkład tych źródeł w wielkość rejestrowanej imisji.

Dla każdego punktu pomiaru imisji wypuszczano co godzinę trajektorie wsteczne do 48 h wstecz. Każdemu z 49 punktów wyznaczonej trajektorii wstecznej (obrazujących lokalizację masy powietrza kolejno 0h, 1h, 2h ….48h przed jej napływem nad punkt pomiaru imisji)

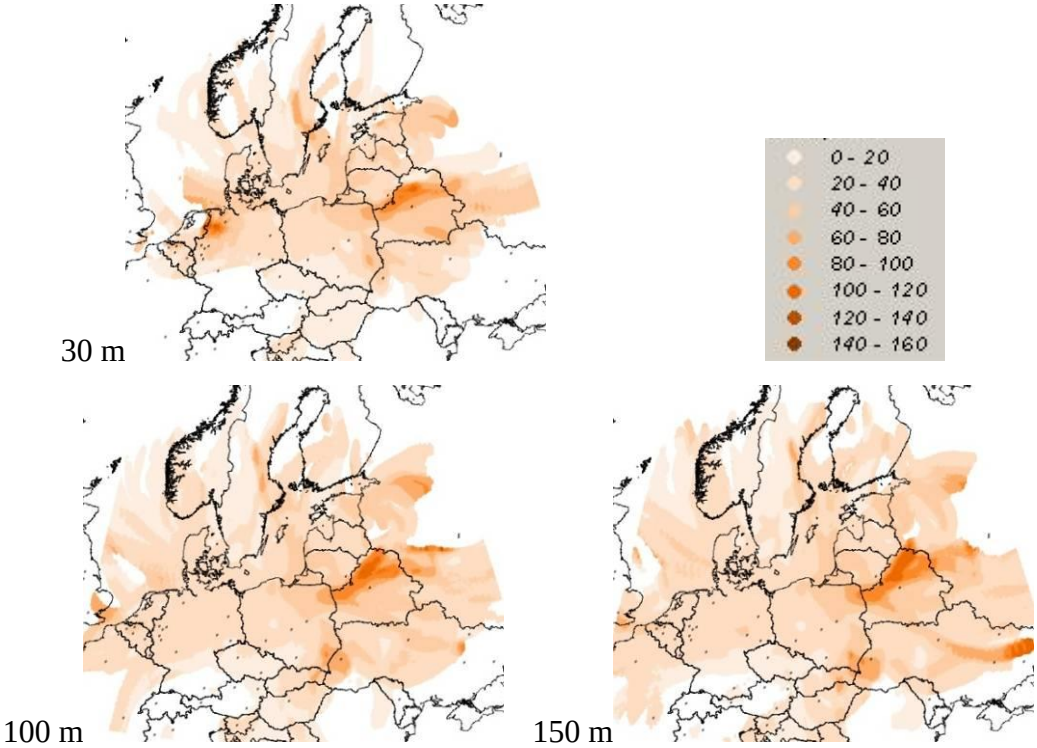
przyporządkowano godzinowe stężenia PM_{10}, $PM_{2,5}$ i stosunku $PM_{2,5}/PM_{10}$ zarejestrowane w godzinie jej wypuszczenia. W ten sposób osobno dla każdej z trzech wysokości otrzymano zbiory do 102 312 punktów, każdy z nich opisany przez długość i szerokość geograficzną oraz wysokość imisji PM_{10}, $PM_{2,5}$ i stosunku $PM_{2,5}/PM_{10}$ w miejscu docelowym trajektorii. Dokładność wyznaczenia lokalizacji trajektorii wynosiła $0{,}001^o$ szerokości i długości geograficznej. W rzeczywistości punktów trajektorii było nieco mniej, gdyż ze zbioru danych usunięto wszystkie odcinki trajektorii wstecz od momentu, kiedy wysokość trajektorii była mniejsza od 10 m lub natężenie opadu było większe niż 0,2 mm/h. Uznano, że takie warunki sprzyjają depozycji pyłu zawieszonego, przez co ewentualne obszary źródłowe penetrowane przez wcześniejsze odcinki trajektorii nie będą miały udziału w rejestrowanej imisji. Na ograniczenie liczebności zbiorów danych przestrzennych wpływały także braki danych imisji PM_{10} i $PM_{2,5}$.

Każdy z otrzymanych zbiorów danych został opracowany przy pomocy programu SURFER. Dla obszaru 0^o-40^o E i 45^o-65^o N z krokiem $0{,}05^o$ długości i $0{,}025^o$ szerokości, obliczano średnią wartość imisji w elipsie o promieniach r1 = $0{,}5^o$ długości i r2 = $0{,}5^o$ szerokości geograficznej. Średnią imisję obliczano z imisji przyporządkowanych wszystkim przechodzącym przez tę elipsę trajektoriom. Jeśli przez daną elipsę przechodzą wyłącznie lub głównie trajektorie dające wysokie stężenia zanieczyszczeń w miejscu docelowym, średnia wartość imisji w tej elipsie jest wysoka. Jednocześnie istnieje duże prawdopodobieństwo istnienia źródeł pyłu zawieszonego w obszarze wewnątrz tej elipsy. Jeśli tylko czasami trajektoria przechodząca przez daną elipsę skutkuje wysokim poziomem stężeń w miejscu docelowym, średnia wartość imisji jest niska i jednocześnie mamy prawo przypuszczać, że w tym obszarze nie ma źródeł pyłu zawieszonego. Wyniki obliczeń przedstawiono na tle granic państw europejskich przy pomocy programu ArcView. Dodatkowo, dla każdej lokalizacji przedstawiono przestrzenne rozkłady liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100 m dla okresu 1.I – 28.03.2010. Duża gęstość trajektorii wstecznych dla rejonów, w których zidentyfikowano źródła PM_{10} lub $PM_{2,5}$, uprawdopodabnia uzyskane rezultaty.

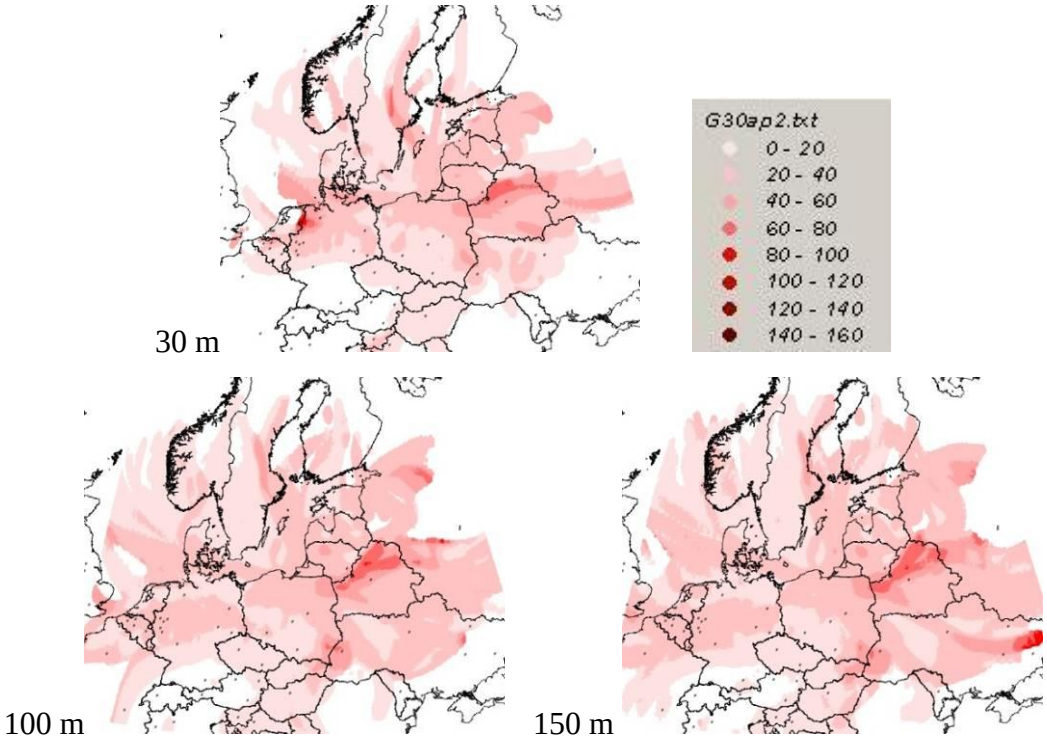
Gdańsk

Zbadano udział odległych źródeł emisji pyłu zawieszonego w imisji zarejestrowanej na stacji Gdańsk Leczkowa. Analizie poddano godzinowe stężenia PM_{10} i $PM_{2,5}$ oraz godzinowy udział $PM_{2,5}$ w PM_{10}. Wyniki dla PM_{10} zaprezentowano na rysunek 4.3.4.1. dla $PM_{2,5}$ na rysunek 4.3.4.2. dla udziału $PM_{2,5}$ w PM_{10} na rysunek 4.3.4.3.

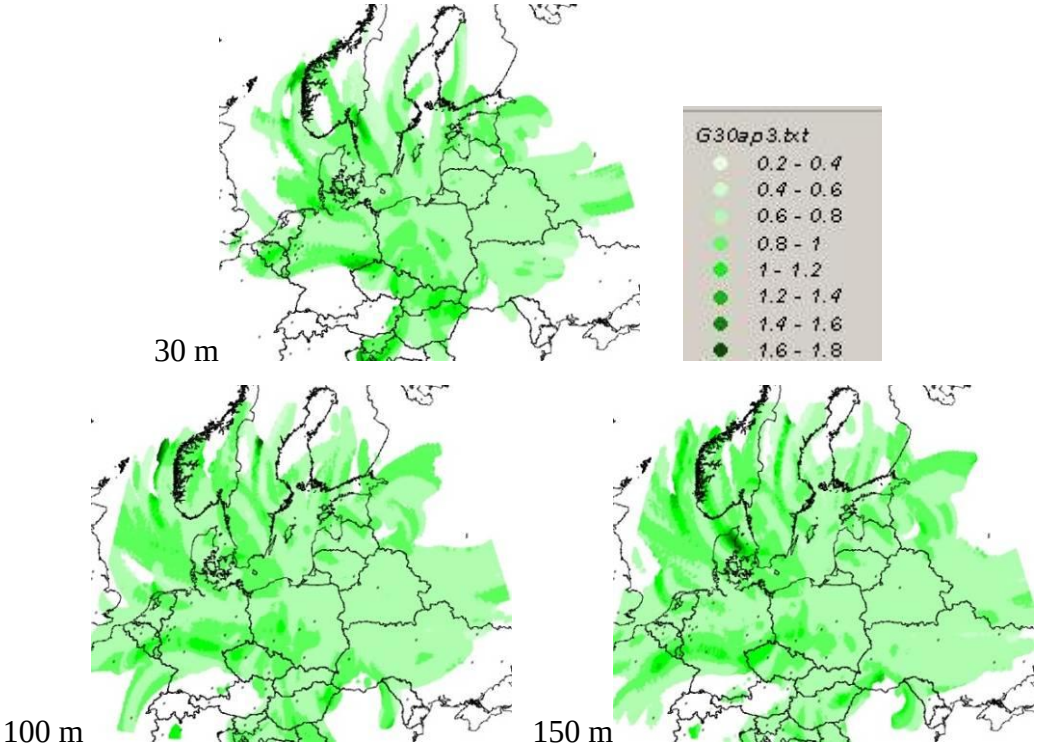
W przypadku PM_{10} obserwuje się wyraźne zwiększenie imisji w Gdańsku przy napływie mas powietrza z północnej Białorusi i granicy białorusko-litewskiej. Podobny obraz zanotowano dla wszystkich początkowych wysokości trajektorii. Imisja w Gdańsku była średnio o około 40-60 $\mu g/m^3$ wyższa przy napływie z tych obszarów niż przy napływie z innych regionów. Przykładowo średnia imisja PM_{10} dla całego analizowanego okresu wynosiła 38,9 $\mu g/m^3$, podczas gdy dla okresu czasu, kiedy trajektorie wypuszczane wstecz z wysokości 100 m penetrowały obszar granicy litewsko – białoruskiej średnia imisja PM_{10} w Gdańsku wynosiła 80 - 110 $\mu g/m^3$. Wynik ten uprawdopodabnia duża liczebność trajektorii penetrujących ten obszar w badanym okresie czasu (rysunek 4.3.4.4.). Potencjalne źródła emisji pyłu występują także w krajach Beneluksu, ale odpowiadają one tylko za napływ na wysokość 30 m. Z kolei transport ze źródeł we wschodniej i zachodniej Ukrainie był widoczny dla trajektorii wypuszczanych z wysokości 100 i 150 m. W obu tych przypadkach, ze względu na stosunkowo małą liczebność penetrujących ten obszar trajektorii i dużą odległość potencjalnych źródeł emisji, wyniki powinny być powtórzone na większym zbiorze danych.



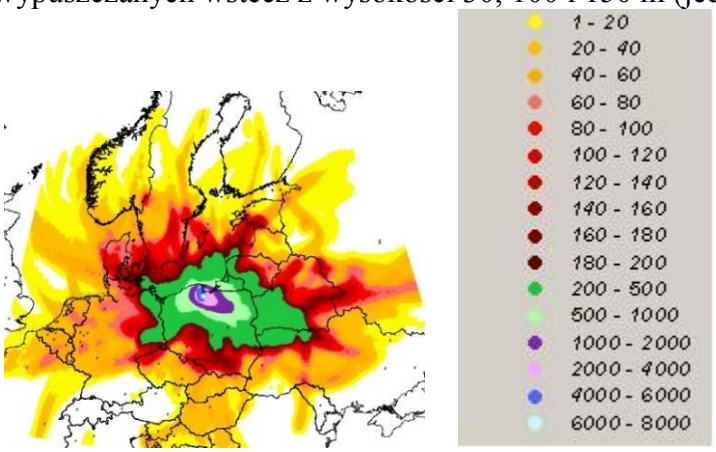
Rysunek 4.3.4.1. Rozmieszczenie odległych źródeł PM_{10} dla lokalizacji Gdańsk ul. Leczkowa dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)



Rysunek 4.3.4.2. Rozmieszczenie odległych źródeł $PM_{2,5}$ dla lokalizacji Gdańsk ul. Leczkowa dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)



Rysunek 4.3.4.3. Zależność wielkości udziału pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ w PM_{10} od lokalizacji obszarów źródłowych mas powietrza dla lokalizacji Gdańsk Leczkowa dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)



Rysunek 4.3.4.4. Rozkład przestrzenny liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100 m w Gdańsku ul. Leczkowa dla okresu 1.I.-28.03.2010

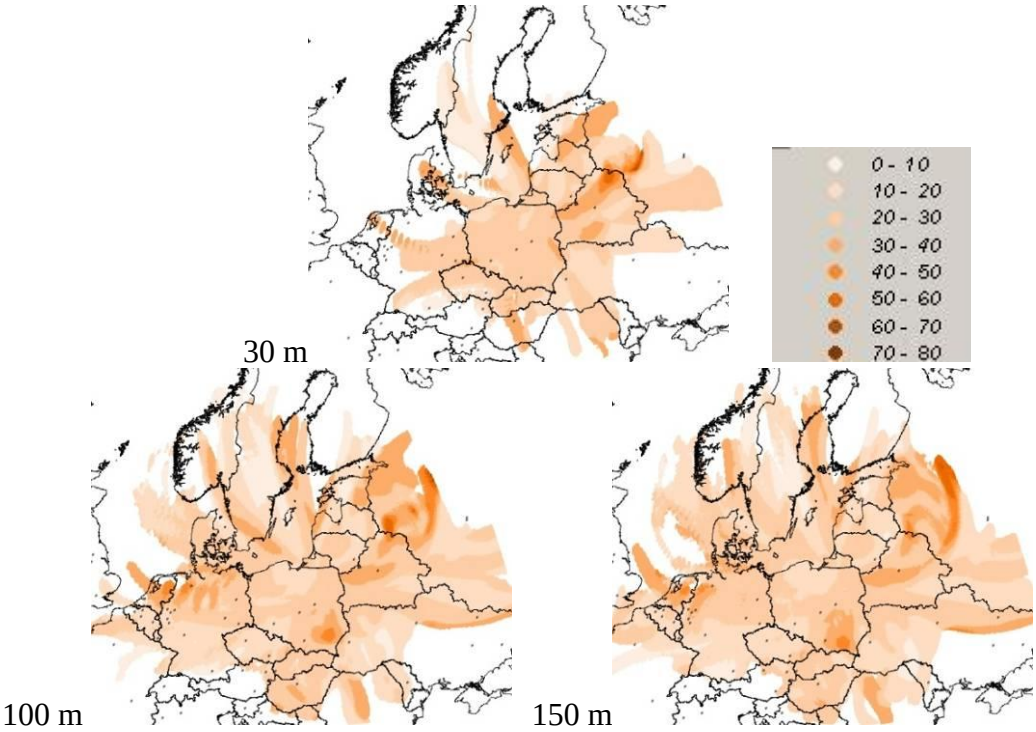
Niezmiernie podobny obraz odległych źródeł emisji obserwujemy dla $PM_{2,5}$ (rysunek 4.3.4.1.). Wpływ lokalizacji obszarów źródłowych mas powietrza na wielkość udziału $PM_{2,5}$ w PM_{10} przedstawia rysunek 4.3.4.2.

Wysoki udział pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ w PM_{10} miał miejsce przy napływie mas powietrza z południowo-zachodniej Polski, środkowych Niemiec, krajów Beneluksu, rejonu cieśnin duńskich, Czech, Słowacji, Rumunii oraz północnej części wybrzeża Morza Czarnego. Większość z tych rejonów została wyróżniona jako potencjalne obszary źródłowe pyłu zawieszonego PM_{10} dla Katowic, przy analizie trajektorii wstecznych z okresu 1.XI – 28.II. 2005. Jednocześnie są to obszary dużej antropopresji. Znacznie mniejsze wartości udziału

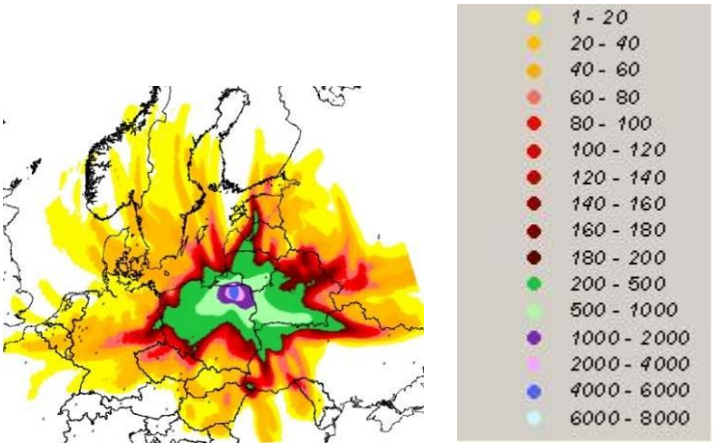
$PM_{2,5}$ w PM_{10} zaobserwowano przy spływie ze wschodu. Przypadki wyższych stężeń $PM_{2,5}$ niż PM_{10} występowały głównie przy niższych stężeniach i mogą mieć związek z metodyką pomiarów.

Diabla Góra

Na stacji napływu regionalnego w Diablej Górze mierzono wyłącznie stężenia dobowe $PM_{2,5}$. Wszystkim trajektoriom wstecznym wypuszczanym co godzinę w ciągu danej doby przyporządkowano średnie dobowe stężenie $PM_{2,5}$ dla tej doby. Rozmieszczenie obszarów źródłowych $PM_{2,5}$ przedstawiono na rysunku 4.3.4.5.
Podobnie jak w Gdańsku, na wysokość imisji w Diablej Górze mogą mieć wpływ źródła $PM_{2,5}$ w północnej Białorusi. Podwyższenie stężeń $PM_{2,5}$ w Diablej Górze dla tego kierunku napływu mas powietrza zaobserwowano dla trajektorii wypuszczanych z różnych wysokości. Imisja w Diablej Górze była średnio o około 30-40 $\mu g/m^3$ wyższa przy napływie z tych obszarów niż przy napływie z innych regionów. Przykładowo średnia imisja $PM_{2,5}$ dla całego analizowanego okresu wynosiła 9,5$\mu g/m^3$, podczas gdy dla okresu czasu, kiedy trajektorie wypuszczane wstecz z wysokości 100 m penetrowały obszar Białorusi, średnia imisja $PM_{2,5}$ dla trajektorii pochodzących z tego obszaru wynosiła 40 – 50 $\mu g/m^3$. Obserwowane podwyższenie imisji w Diablej Górze przy napływie znad Białorusi ma porównywalną amplitudę, jak w Gdańsku. Tak jak dla Gdańska, liczne trajektorie wsteczne penetrowały ten obszar, wpływając na wysoką istotność uzyskanych rezultatów (rysunek 4.3.4.6.). Źródła $PM_{2,5}$ przy transporcie na wysokość 100 m i 150 m nad miejscem pomiaru imisji w Diablej Górze dla badanego okresu były także zlokalizowane w południowej Polsce. Obserwując tendencję zmian z wysokością można uznać, że w imisji w Diablej Górze widoczna była emisja pyłu na Śląsku i w Małopolsce. Jednakże w tym przypadku, ze względu na stosunkowo niewielką liczebność 48 – godzinnych trajektorii wstecznych penetrujących obszar Śląska i Małopolski do tego rezultatu należy podchodzić z większą ostrożnością.



Rysunek 4.3.4.5. Rozmieszczenie odległych źródeł $PM_{2,5}$ dla lokalizacji Diabla Góra dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

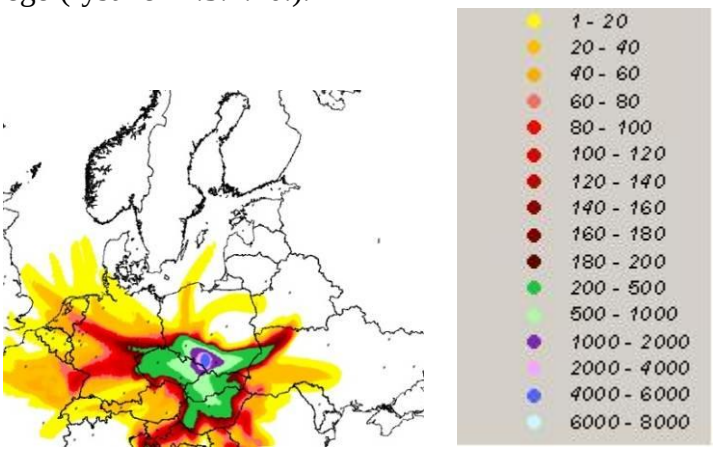


Rysunek 4.3.4.6. Rozkład przestrzenny liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100m w Diablej Górze dla okresu 1.I.-28.03.2010

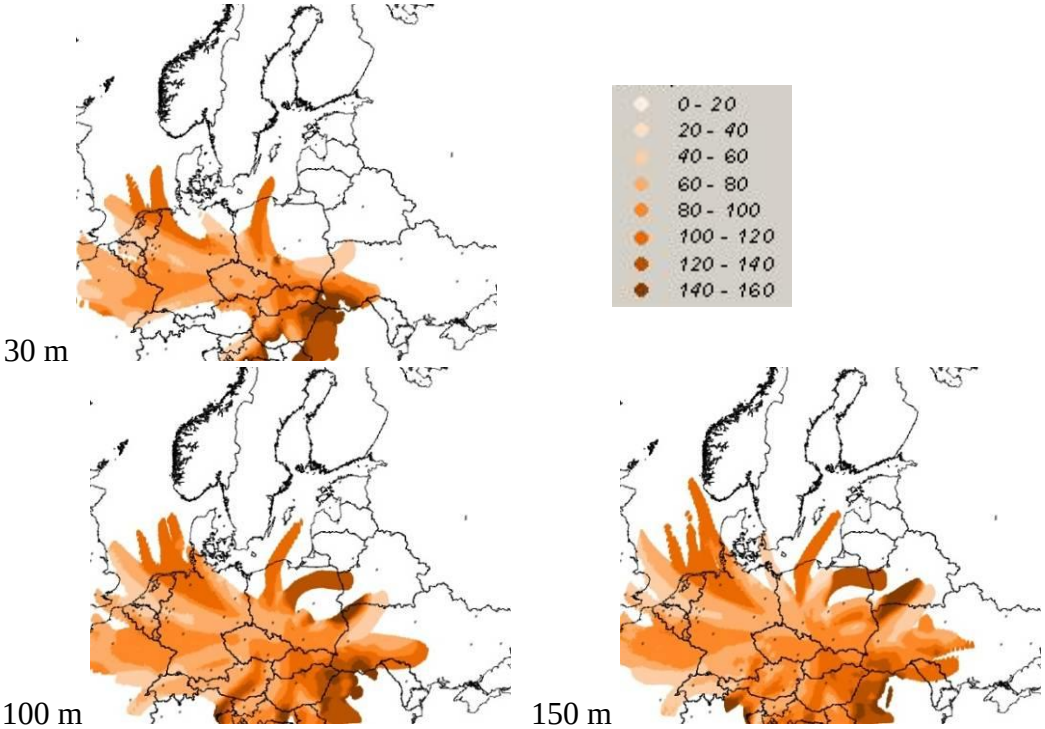
Katowice

Wyniki dla stężeń dobowych $PM_{2,5}$, PM_{10} oraz dobowego udziału $PM_{2,5}$ w PM_{10} przedstawiono na rysunkach 4.3.4.7.-4.3.4.9. Wszystkim trajektoriom wstecznym wypuszczanym co godzinę w ciągu danej doby przyporządkowano średnie dobowe stężenie $PM_{2,5}$, PM_{10} lub udziału $PM_{2,5}$ w PM_{10} dla tej doby.

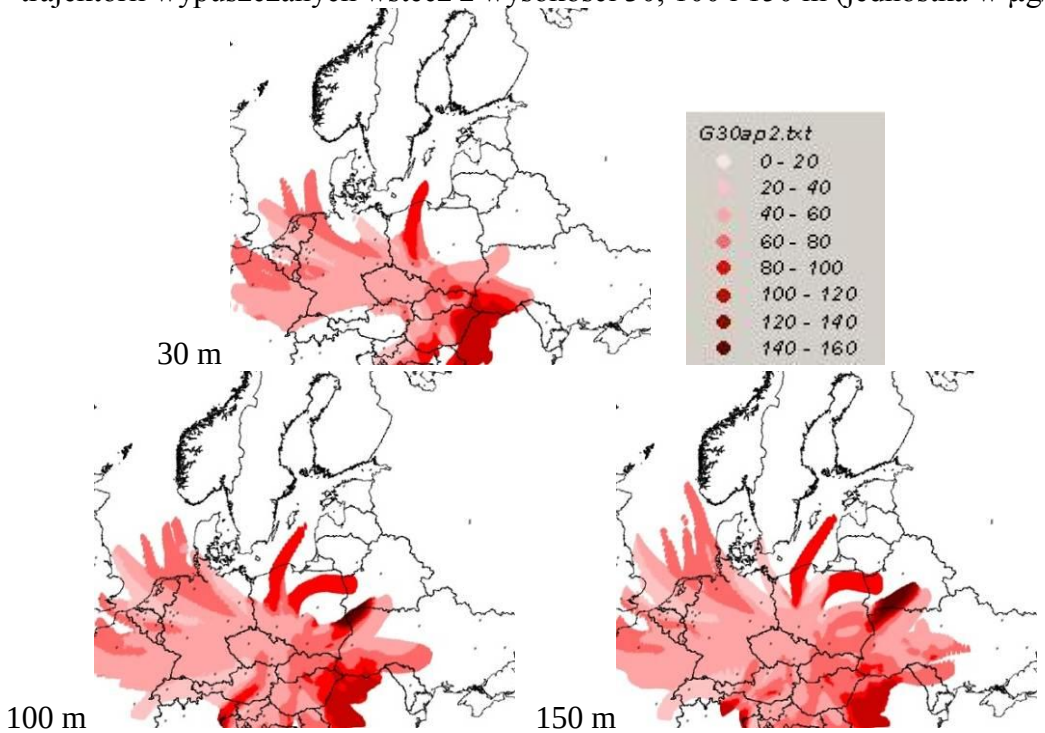
Zwraca uwagę zupełnie inny obraz obszarów źródłowych mas powietrza dla Katowic w badanym okresie. Główne kierunki napływu mas powietrza były zlokalizowane w południowej i zachodniej Europie. Bardzo rzadko masy powietrza napływały z kierunku północno-wschodniego (rysunek 4.3.4.10.).



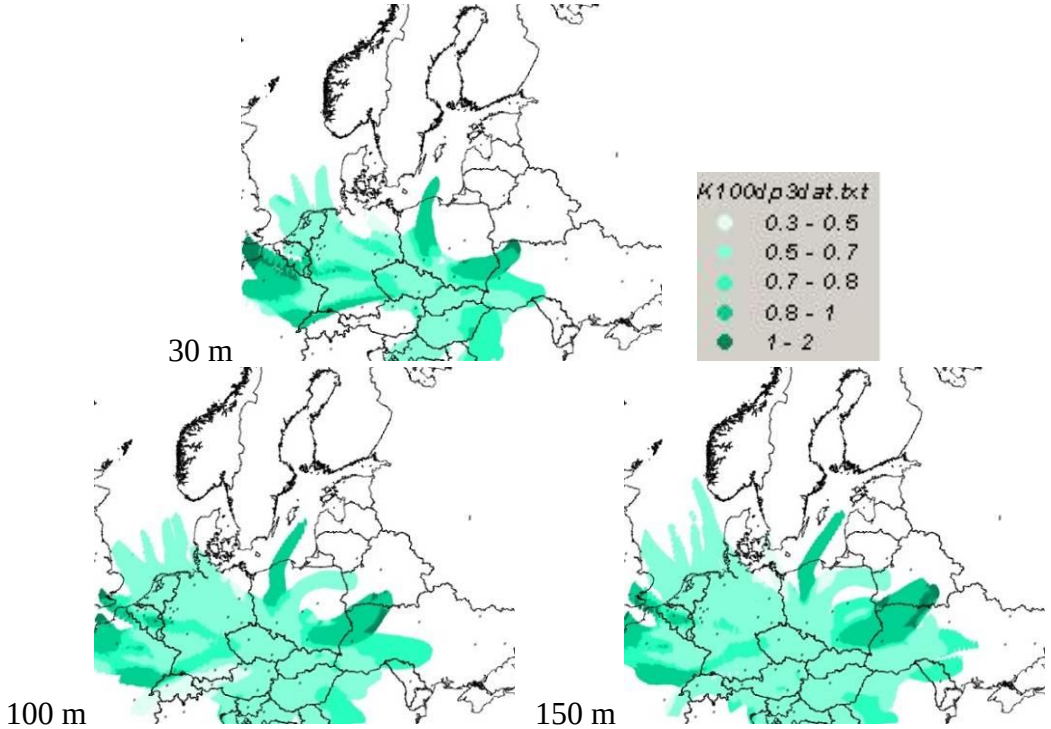
Rysunek 4.3.4.7. Rozkład przestrzenny liczebności trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 100m w Diablej Górze dla okresu 1.I.-28.03.2010



Rysunek 4.3.4.8. Rozmieszczenie odległych źródeł PM_{10} dla lokalizacji Katowice dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)



Rysunek 4.3.4.9. Rozmieszczenie odległych źródeł $PM_{2,5}$ dla lokalizacji Katowice dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)



Rysunek 4.3.4.10. Zależność wielkości udziału pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ w PM_{10} od lokalizacji obszarów źródłowych mas powietrza dla lokalizacji Katowice dla trajektorii wypuszczanych wstecz z wysokości 30, 100 i 150 m (jednostka w $\mu g/m^3$)

Podobnie jak w Gdańsku i Diablej Górze przy napływie z Białorusi odnotowuje się zwiększenie imisji PM_{10} i $PM_{2,5}$ w Katowicach. Imisja pochodząca od emitorów lokalnych jest w Katowicach znacznie większa niż w przypadku Gdańska i Diablej Góry. Obszary źródłowe PM_{10} zlokalizowane są także w północnych Włoszech i Rumunii.

Wnioski

- Dla wszystkich lokalizacji widoczne jest zwiększenie imisji PM_{10} i $PM_{2,5}$ przy napływie mas powietrza z Białorusi. Szczególnie istotne jest podwyższenie imisji $PM_{2,5}$ przy napływie z tego regionu dla lokalizacji Diabla Góra. Ze względu na nieobecność źródeł lokalnych w tej lokalizacji można stwierdzić, że za obserwowane zwiększenie imisji dla napływu z tamtego rejonu odpowiedzialny jest daleki transport.
- Ze względu na charakter przemieszczania się mas powietrza nad terytorium Polski nie obserwuje się wpływu źródeł PM_{10} i $PM_{2,5}$ zlokalizowanych na południu Polski na imisję na północy Polski.
- Na to czy dane źródło ma wpływ na imisję w jakiejś lokalizacji ma wpływ zarówno istnienie źródła w tym rejonie, jak i możliwości transportu emitowanego pyłu znad innego źródła do tej lokalizacji, co jest warunkowane cyrkulacją atmosferyczną.
- Wyniki dotyczące udziału $PM_{2,5}$ w PM_{10} są niejednoznaczne.

4.3.5. Analiza napływu zanieczyszczeń przy wykorzystaniu trajektorii wstecznych w dniach epizodów

Opis założeń metodyki

Ocenę napływu zanieczyszczeń wykonano przy pomocy modelu HYSPLIT_4. Trajektorie wsteczne wypuszczano wybranego dnia o godz. 12 UTC z wysokości 300 m (czerwona), 500 m (granatowa) i 1000 m (zielona) metrów nad poziomem gruntu [m n.p.gr.] do 48h wstecz. Wybrane trajektorie ilustrują zmienność pionową pola wiatru w warstwie granicznej atmosfery. Dla naszych celów, ze względu na możliwy wpływ na wielkość imisji, najbardziej interesujące są trajektorie obliczane dla 300 m i 500 m. Należy pamiętać, że zwłaszcza w przypadku PM_{10}, nawet jeżeli około-południowa wysokość warstwy mieszania jest niższa od tych wielkości, w rzeczywistości zanieczyszczenie może się znaleźć w jej obrębie (grawitacyjne opadanie), wpływając na wielkość lokalnej imisji. Przebieg takich trajektorii obrazują poniższe rysunki umieszczone z lewej strony. Ponadto, żeby określić obszary źródłowe mas powietrza dla całej doby, zaprezentowano sekwencję trajektorii wstecznych wypuszczanych z wysokości 500 m o 23, 20, 17, 14, 11, 8, 5, 2 UTC danego dnia do 24 h wstecz. I tak trajektoria wypuszczana o 2 UTC informuje nas, znad jakich obszarów (poruszając się wzdłuż trajektorii przez 24h) napłynęło powietrze nad badaną lokalizację (wysokość 50 m) o 2 UTC. Przebieg takich trajektorii obrazują rysunki umieszczone z prawej strony.

Objaśnienia do poniższych rysunków trajektorii

Katowice

Na rysunkach z lewej strony przedstawiono wspólnie przebiegi trajektorii dla obu katowickich lokalizacji: Katowice ul. Wita Stwosza i Katowice ul. S. Kossutha. W większości przypadków trajektorie dla tych lokalizacji są niemal identyczne. Z tego względu, na rysunkach z prawej strony umieszczono trajektorie wsteczne tylko dla jednej lokalizacji: Katowice ul. Wita Stwosza.

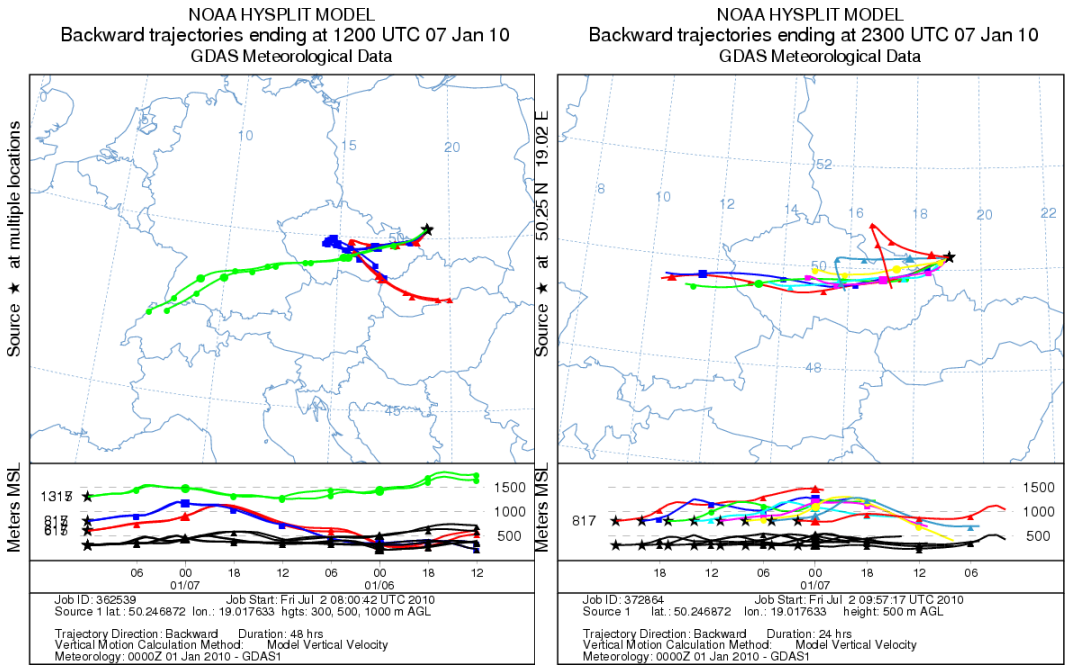
Gdańsk i Diabla Góra – wspólne terminy

Na rysunku u góry przedstawiono 48h trajektorie wsteczne wypuszczane o 12 UTC dla obu lokalizacji.

Na rysunkach na dole przedstawiono 24 trajektorie wsteczne wypuszczane w terminach 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 UTC dla Gdańska (na lewo) i dla Diablej Góry (na prawo).

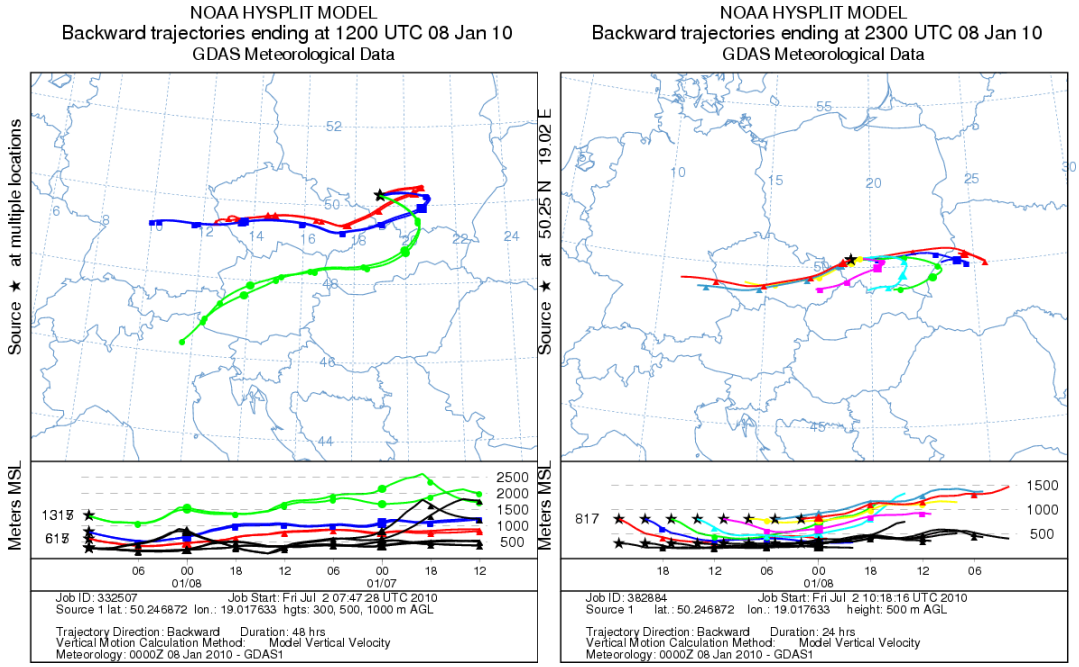
Gdańsk, Diabla Góra – nie pokrywające się terminy

Na rysunkach z lewej strony przedstawiono 48h trajektorie wsteczne wypuszczane o 12 UTC. Na rysunkach z prawej strony umieszczono 24h trajektorie wsteczne wypuszczane w terminach 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 UTC.



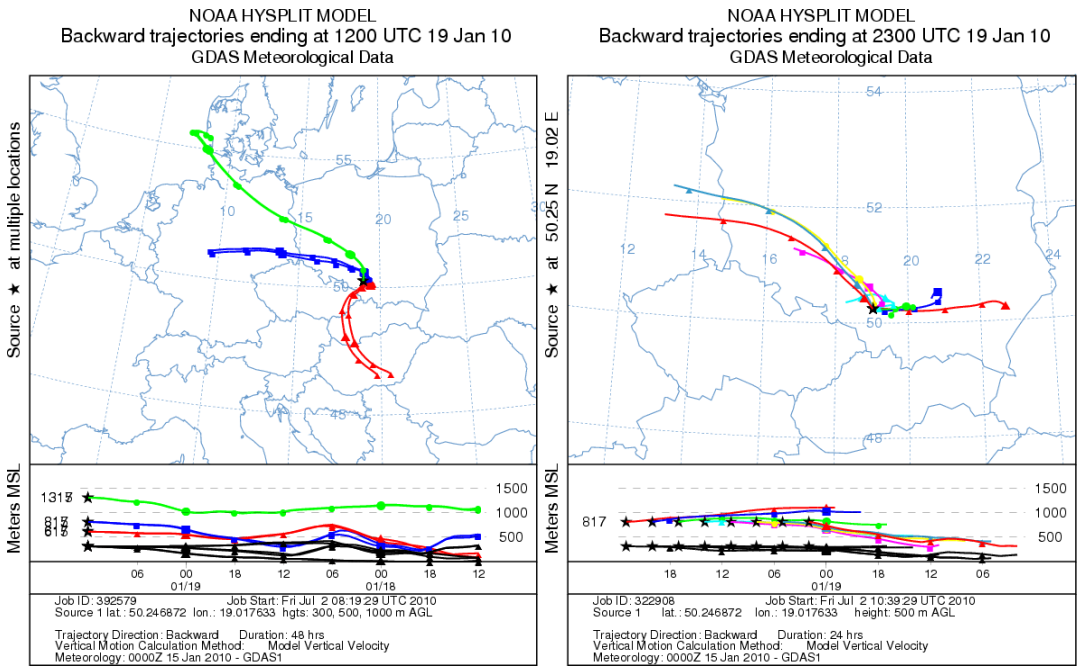
Rysunek 4.3.5.1. Katowice 7 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 640 m. Trajektorie nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm, a także nie schodzą poniżej 50 m do 31 godzin wstecz. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Niemal przez całą dobę napływ z Czech i ewentualnie środkowych Niemiec. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 152 µg/m^3, PM_{10} = 214 µg/m^3.



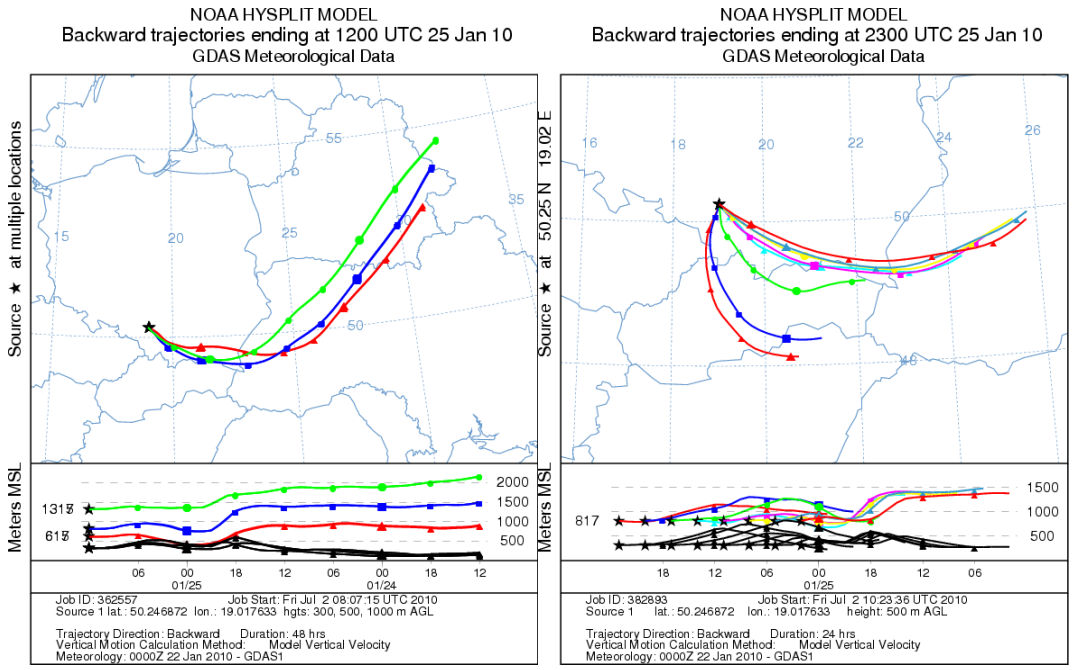
Rysunek 4.3.5.2. Katowice 8 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 370 m. Prognozowane opady w lokalizacji wyjściowej od 12 UTC. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm, a także nie schodzą poniżej 50 m do 33 godzin wstecz. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Początkowo napływ z Czech i ewentualnie środkowych Niemiec, później ze Słowacji, a wieczorem z Ukrainy. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 147 µg/m^3, PM_{10} = 152 µg/m^3.



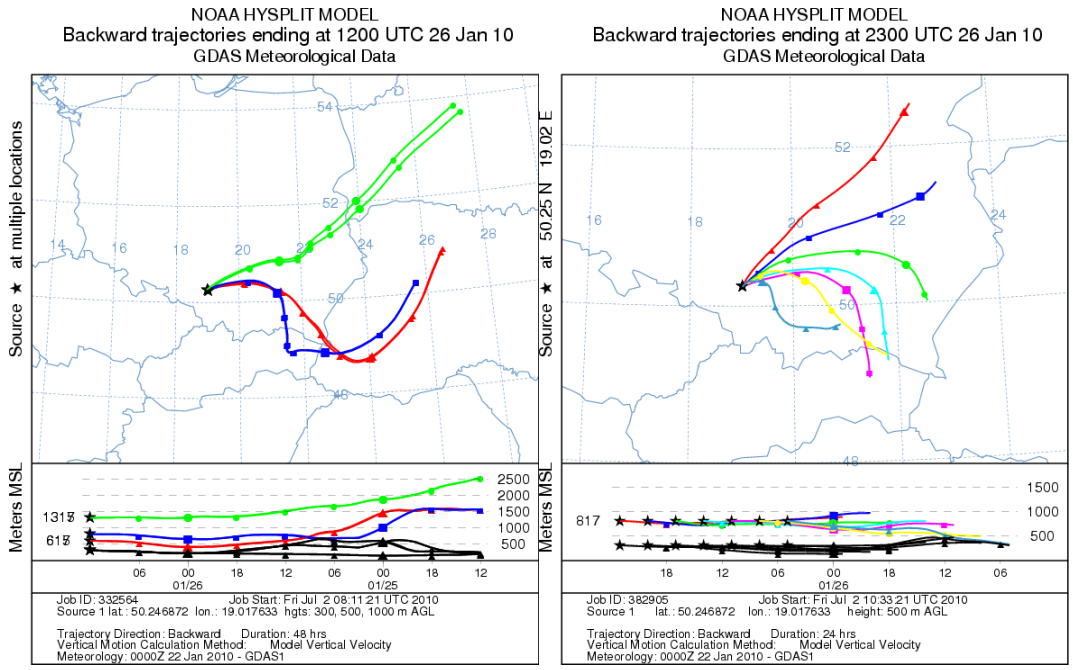
Rysunek 4.3.5.3. Katowice 19 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 240 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm, a także nie schodzą poniżej 50m do 22 godzin wstecz (300 m czerwona), 11 godzin wstecz (500 m granatowa) i 9 godzin wstecz (1000 m zielona). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Na najniższym poziomie o 12 UTC napływ z Czech. Na średnim poziomie (500 m) napływ początkowo z zachodu, od godz. 14 do 21 niskie prędkości wiatru wraz ze zmianą kierunku spływu z zachodniego na wschodni. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 108 µg/m^3, PM_{10} = 170 µg/m^3.



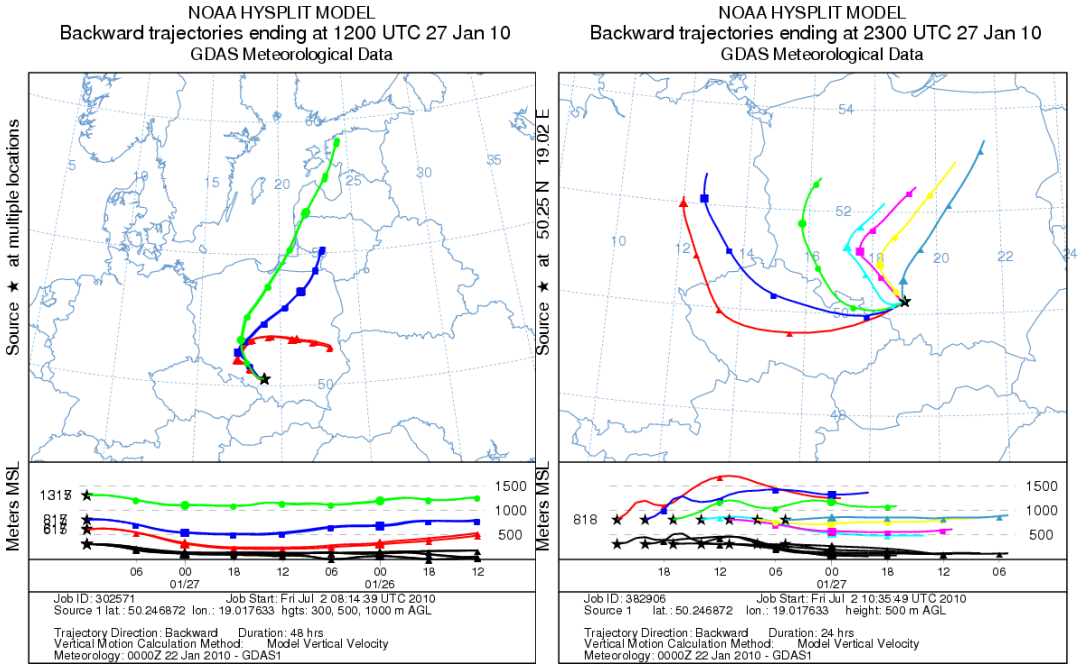
Rysunek 4.3.5.4. Katowice 25 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 170 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1mm, a także nie schodzą poniżej 50m do 48 godzin wstecz. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. O 12 UTC napływ na wszystkich poziomach z Ukrainy i Białorusi. Na wysokości 500 m napływ niemal przez cały dzień z Ukrainy, dopiero od 17 UTC obszary źródłowe na terenie Słowacji, a później również rejonu Ostrawy. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 124 µg/m^3, PM_{10} = 211 µg/m^3.



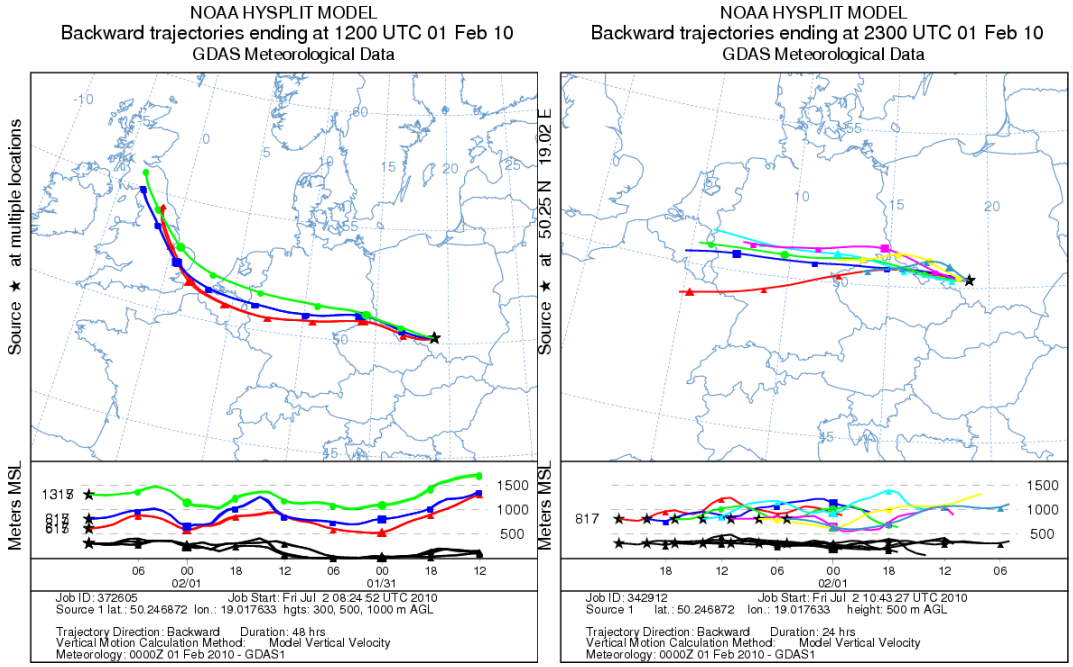
Rysunek 4.3.5.5. Katowice 26 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 250 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm, a także nie schodzą poniżej 50m do 48 godzin wstecz. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. O 12 UTC napływ na 300 i 500m ze wschodniej Słowacji i Ukrainy, a na wys. 1000 m z Białorusi. Stosunkowo niska prędkość wiatru. Na wysokości 500 m 24h trajektorie wsteczne w większości penetrują obszar Polski, początkowo południowej (małe prędkości wiatru), a na końcu dnia środkowo-wschodniej. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 199 µg/m^3, PM_{10} = 206 µg/m^3.



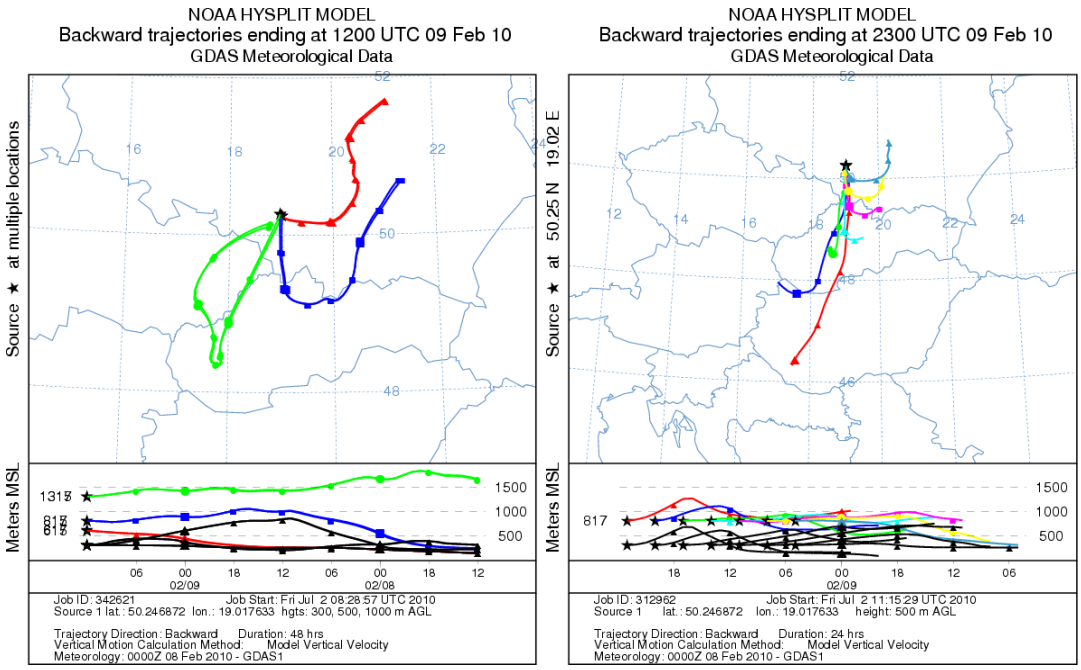
Rysunek 4.3.5.6. Katowice 27 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 270 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm a także nie schodzą poniżej 50 m do 48 godzin wstecz. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne, bardzo niskie. O 12 UTC silny wpływ wysokości końcowej smugi na jej historię (obszary źródłowe). Na wysokości 300 m obszary źródłowe na wschodzie Polski, na 500 m w północno-wschodniej Polsce, na 1000 m w krajach bałtyckich. Na wysokości 500 m 24h trajektorie wsteczne początkowo penetrują obszar środkowej Polski, a wieczorem Czech i Niemiec. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 229 µg/m^3, PM_{10} = 319 µg/m^3.



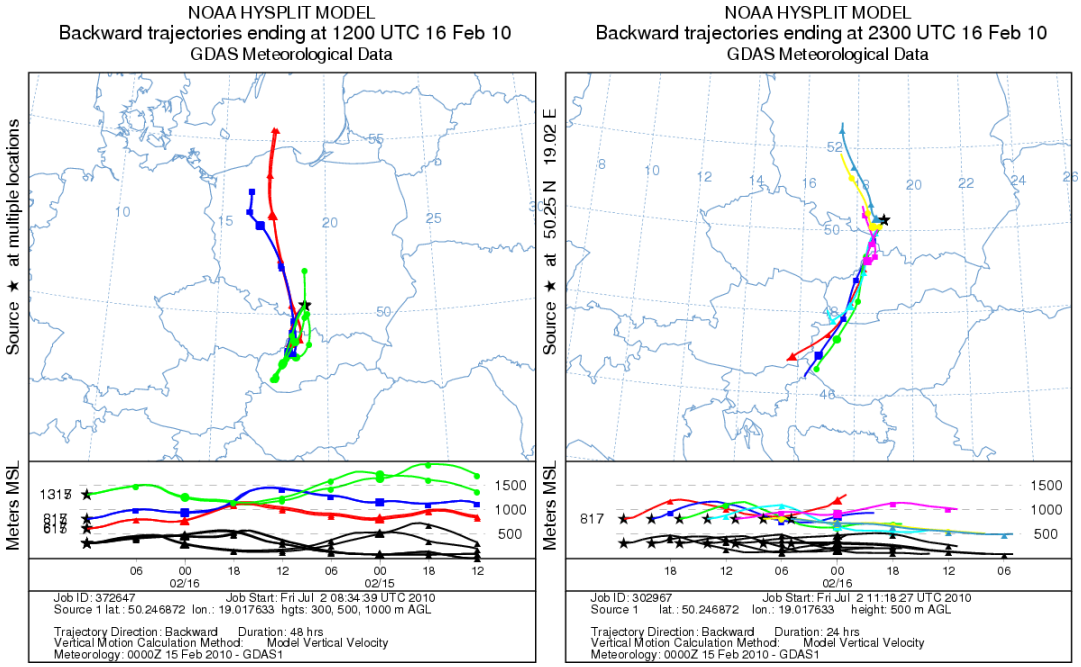
Rysunek 4.3.5.7. Katowice 1 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to ok. 490 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) dość szybko (po 9h) spotykają obszar opadów większych niż 0,1mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. O 12 UTC bardzo słaby wpływ wysokości końcowej smugi na jej historię (obszary źródłowe). Obszary źródłowe na zachodzie Polski i środkowo-wschodnich Niemczech. Obszary źródłowe dla wysokości 500 m (24h trajektorie wsteczne) przez całą dobę penetrują obszar Sudetów i środkowych Niemiec. Obszar opadów napotykany wyłącznie dla trajektorii wypuszczanej około południa, dla pozostałych terminów bez deszczu. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 87 µg/m^3, PM_{10} = 140 µg/m^3.



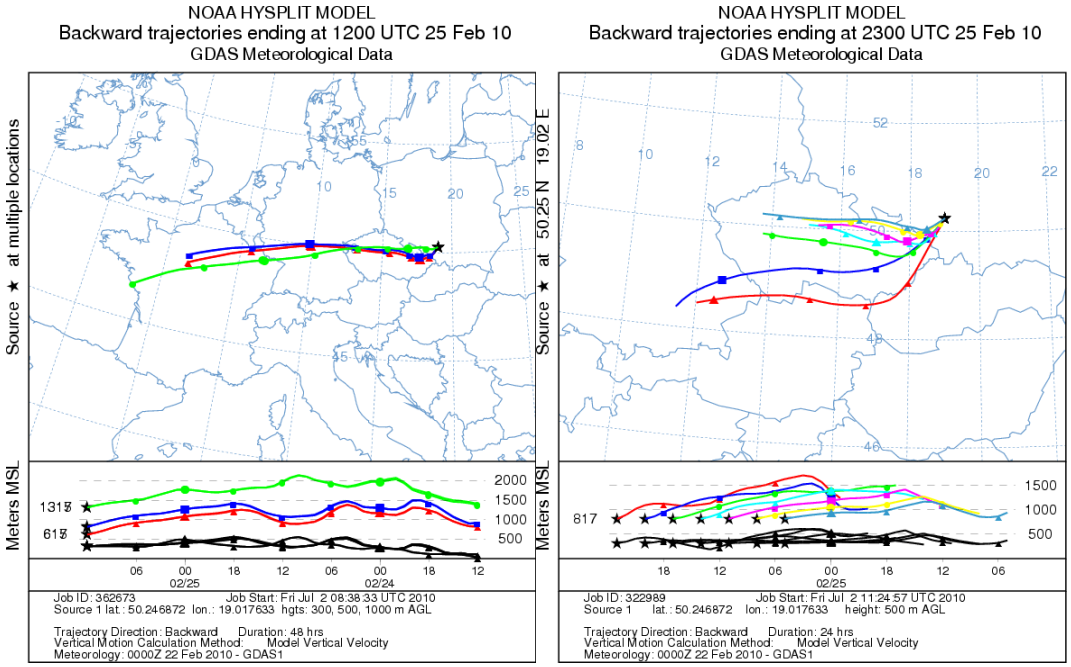
Rysunek 4.3.5.8. Katowice 9 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 480 m. O 12 UTC silny wpływ wysokości końcowej smugi na jej historię (obszary źródłowe) i niskie prędkości wiatru. Na wysokości 300 m obszary źródłowe po 48 h w centralnej Polsce, na 500 m trajektoria zahacza o północ Słowacji, na 1000 m po 48h wstecz smuga nad Śląskiem, potem zbiera zanieczyszczenia z granicy czesko-słowackiej. Trajektorie wsteczne z wysokości 300 m schodzą poniżej 50 m po 17h. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Obszary źródłowe dla wysokości 500 m (24 h trajektorie wsteczne) początkowo na Śląsku i w Małopolsce (bardzo małe prędkości wiatru), a w godzinach popołudniowych i wieczornych na Słowacji. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 126 µg/m^3, PM_{10} = 159 µg/m^3.



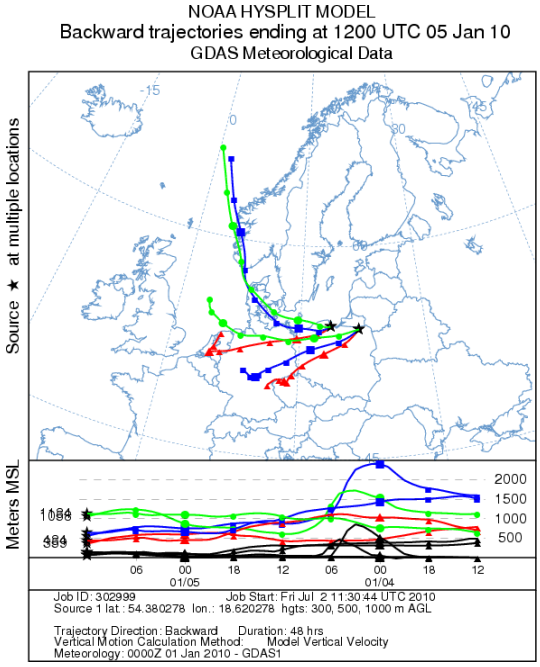
Rysunek 4.3.5.9. Katowice 16 lutego 2010 r.

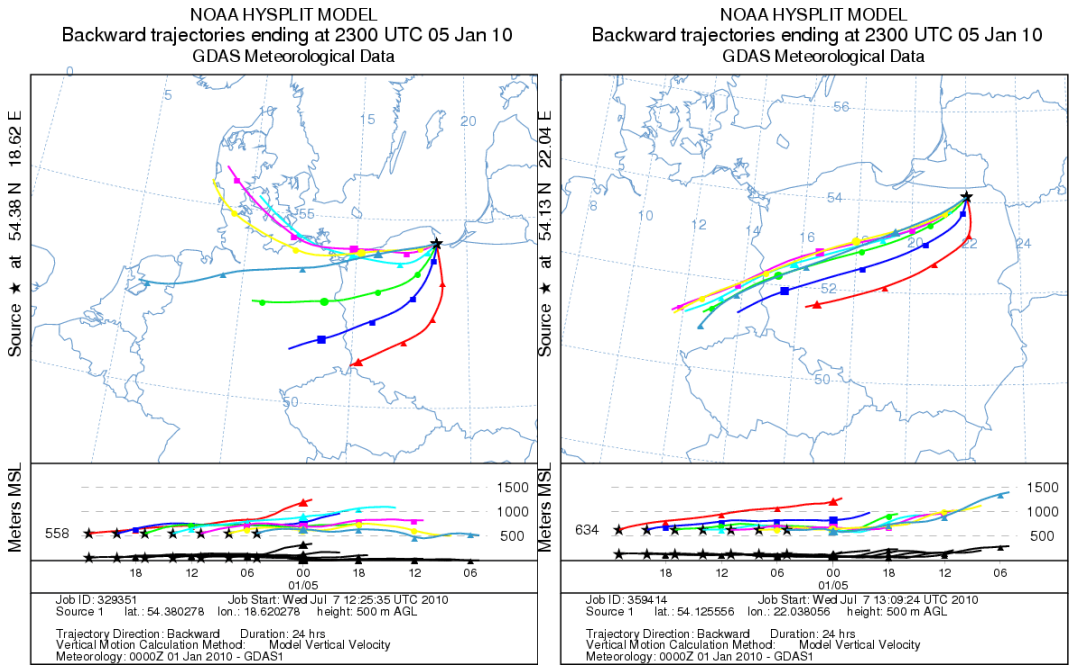
Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 410 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek na lewo) po około 25h spotykają obszar opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. O 12 UTC bardzo słaby wpływ wysokości końcowej smugi na jej historię (obszary źródłowe) dla wysokości 300 i 500 m. Obszary źródłowe od północnej, przez środkową i południową Polskę do granicy słowacko-czeskiej. Na wysokości 1000 m obszar źródłowy dla trajektorii 48h rozciąga się południkowo i jest ograniczony do południowej Polski oraz północnych Czech i Słowacji. Obszary źródłowe dla wysokości 500 m (24h trajektorie wsteczne) początkowo penetrują obszar środkowej Polski, potem około południa obszar styku granic Polski, Czech i Słowacji (niskie prędkości wiatru), a w godzinach popołudniowych i wieczornych obszary źródłowe rozciągają się wzdłuż granic węgiersko-austriackiej i czesko-słowackiej. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 129 µg/m^3, PM_{10} = 168 µg/m^3.



Rysunek 4.3.5.10. Katowice 25 lutego 2010 r.

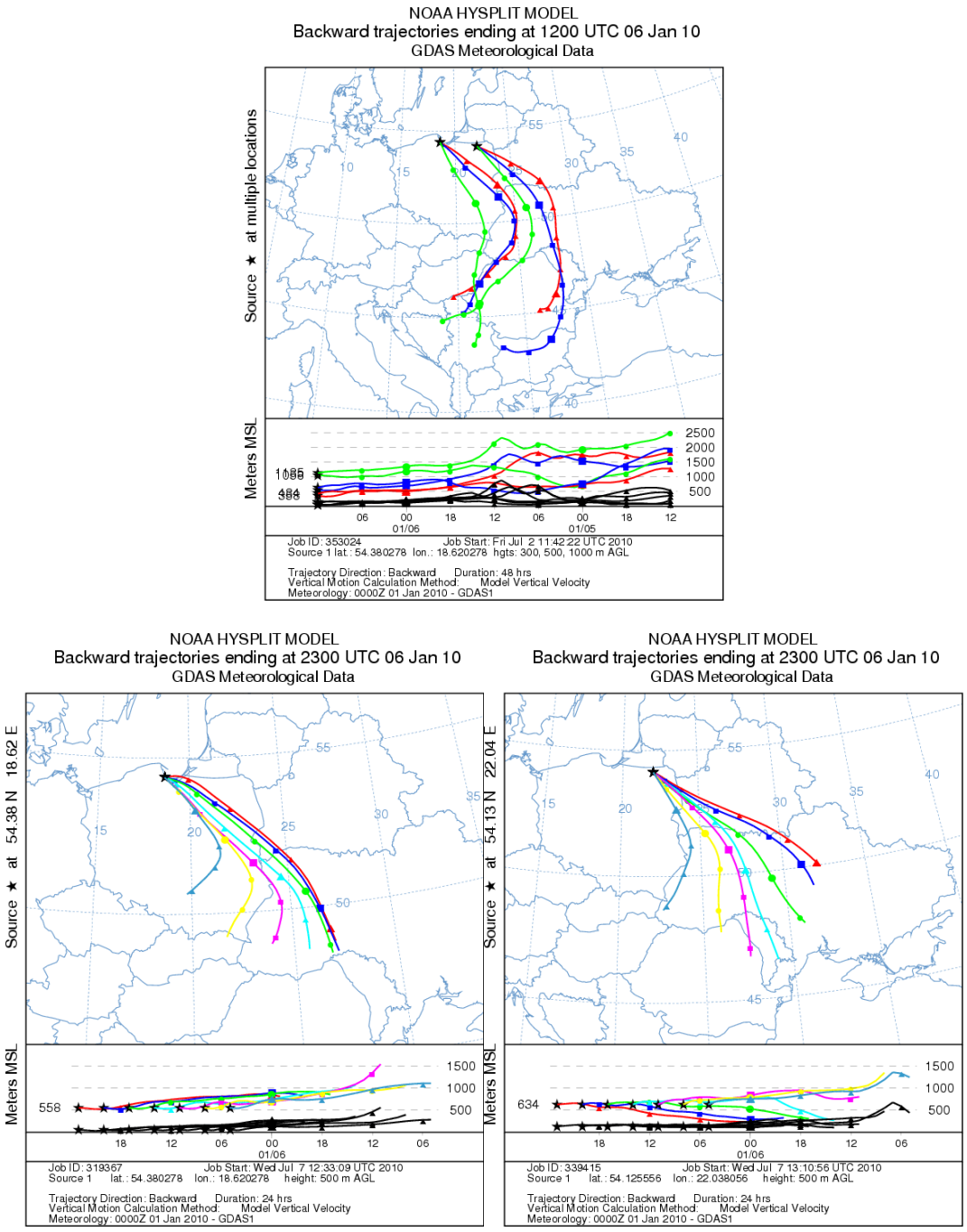
Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC to około 520 m. Wzdłuż trajektorii temperatury dodatnie. O 12 UTC bardzo słaby wpływ wysokości końcowej smugi na jej historię (obszary źródłowe). Obszar opadów większych od 0,1 mm spotykany po ok. 28h. Obszary źródłowe w Czechach i Niemczech. Obszary źródłowe dla wysokości 500 m (24 h trajektorie wsteczne) przez całą dobę penetrują obszar Czech. Stężenie średnie $PM_{2,5}$ = 114 µg/m^3, PM_{10} = 168 µg/m^3.





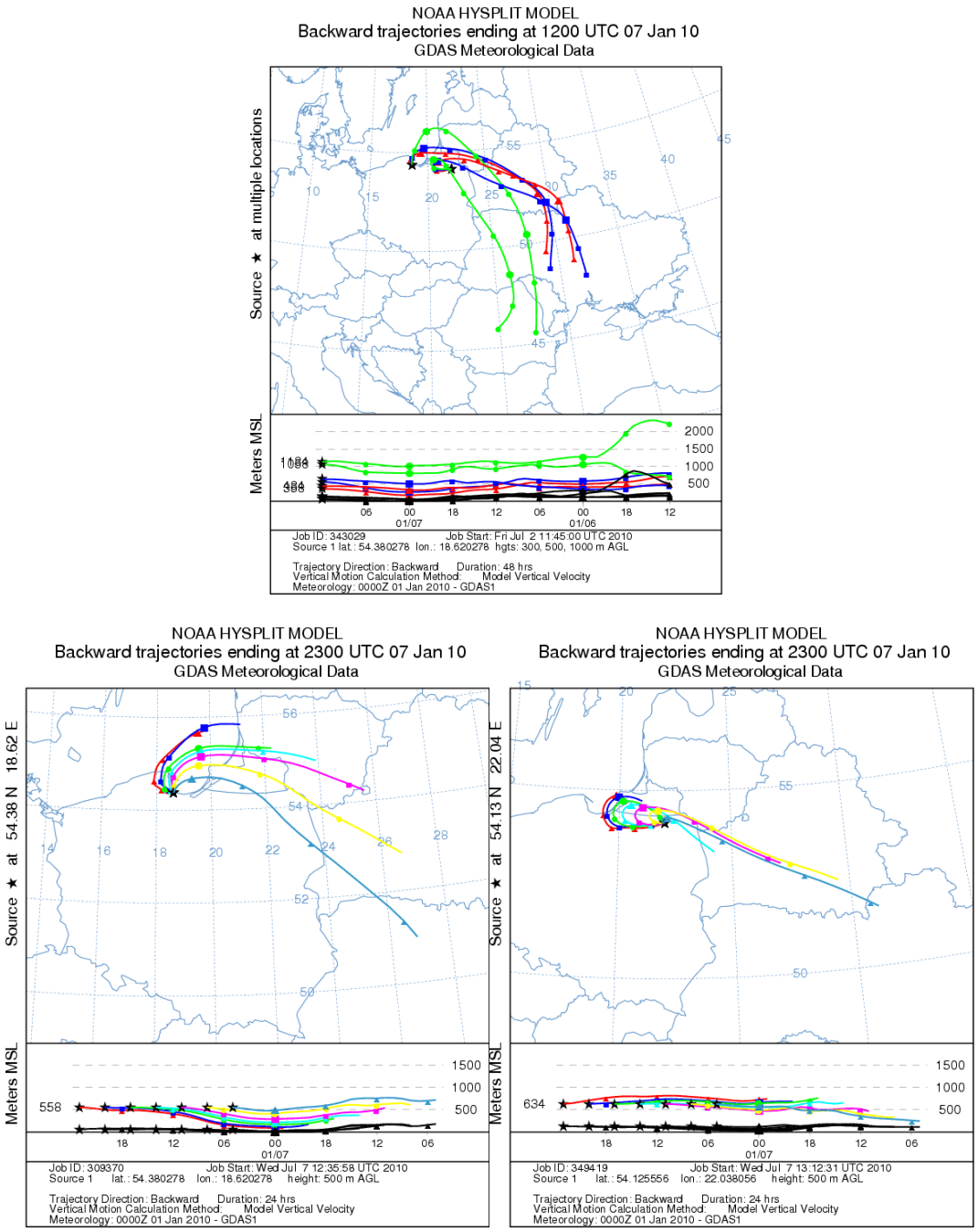
Rysunek 4.3.5.11. Diabla Góra i Gdańsk 5 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 250 m, a w Diablej Górze 360 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do ok. 20h (300 m Gdańsk) i co najmniej 36h (pozostałe trajektorie) nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Obszary źródłowe dla Gdańska i trajektorii 500 i 1000 m obejmują obszar Mórz Północnego i Norweskiego, a dla trajektorii 300 m obszar północnej Polski i Niemiec. Obszary źródłowe dla Diablej Góry i trajektorii 300 i 500 m obejmują obszar środkowej Polski i Niemiec, a dla trajektorii 1000 m północnej Polski i Niemiec oraz Morza Północnego. Obszary źródłowe dla wysokości 500 m (24h trajektorie wsteczne) dla Gdańska penetrują obszar północno-zachodniej Polski. Napływ znad morza jest tam możliwy tylko od 8 do 14 UTC z okolic cieśnin Duńskich. Przez całą dobę trajektorie 500 m dla Diablej Góry penetrują obszar od środkowo-wschodnich Niemiec, przez Pojezierze Wielkopolskie do Pojezierza Mazurskiego. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 39 $\mu g/m^3$, a w Gdańsku PM_{10} = 44,21 $\mu g/m^3$, $PM_{2,5}$ = 37,13 $\mu g/m^3$.



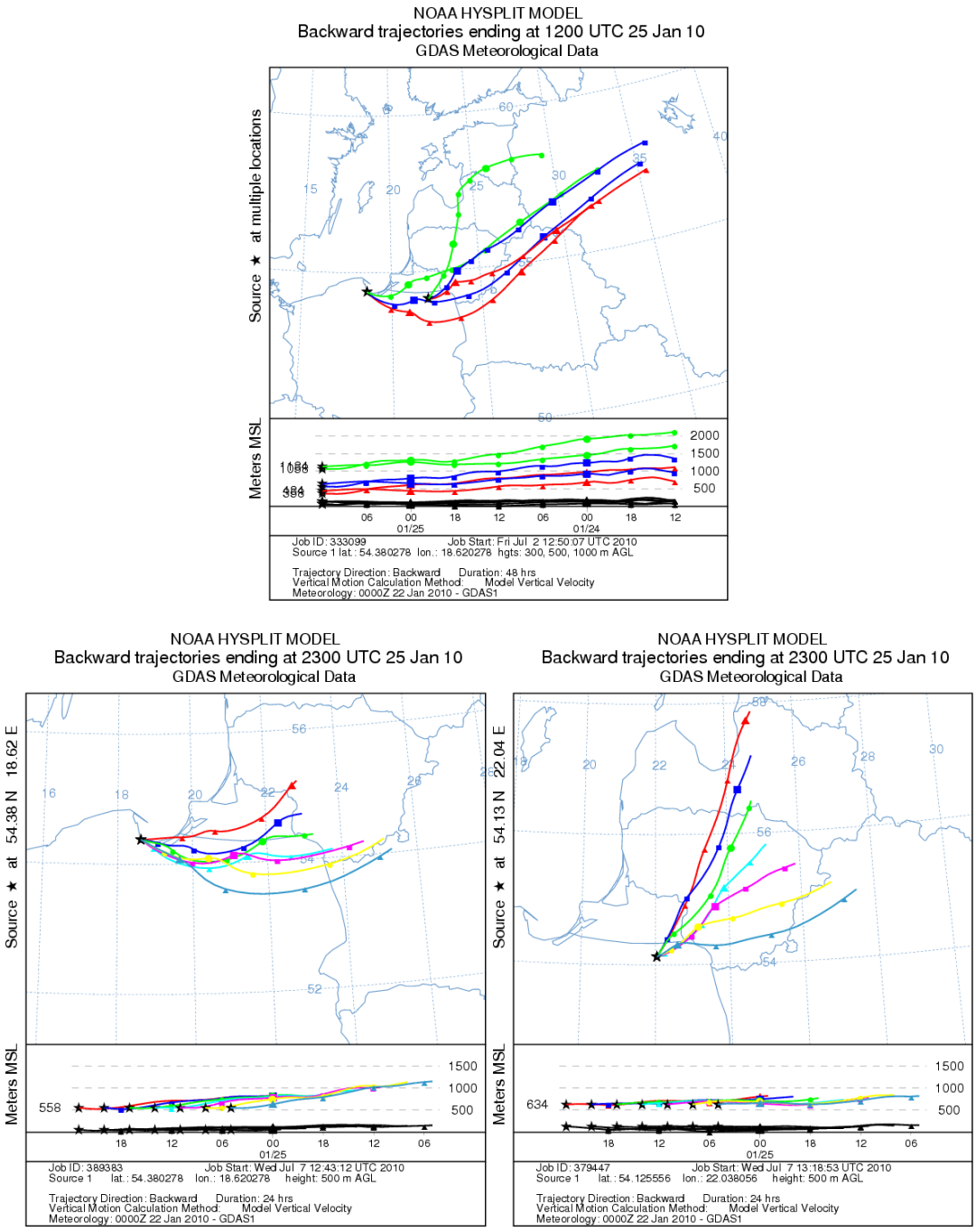
Rysunek 4.3.5.12. Diabla Góra i Gdańsk 6 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 320 m, a w Diablej Górze 500 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Do Gdańska o 12 UTC napływają masy powietrza znad północnej Polski, zachodniej Ukrainy i granicy węgiersko-rumuńskiej. Obszary źródłowe dla Diablej Góry obejmują obszar zachodniej Białorusi i Ukrainy, a także Rumunii. Obszary źródłowe dla wysokości 500 m (h trajektorie wsteczne) dla Gdańska penetrują obszar północno-wschodniej Polski i zachodniej Ukrainy. Tylko nad ranem możliwy napływ ze Śląska. W przypadku Diablej Góry przez całą dobę obserwuje się napływ z zachodniej Białorusi i Ukrainy. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 41 μg/m^3, PM_{10} = 50 μg/m^3, a w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 31,42 μg/m^3.



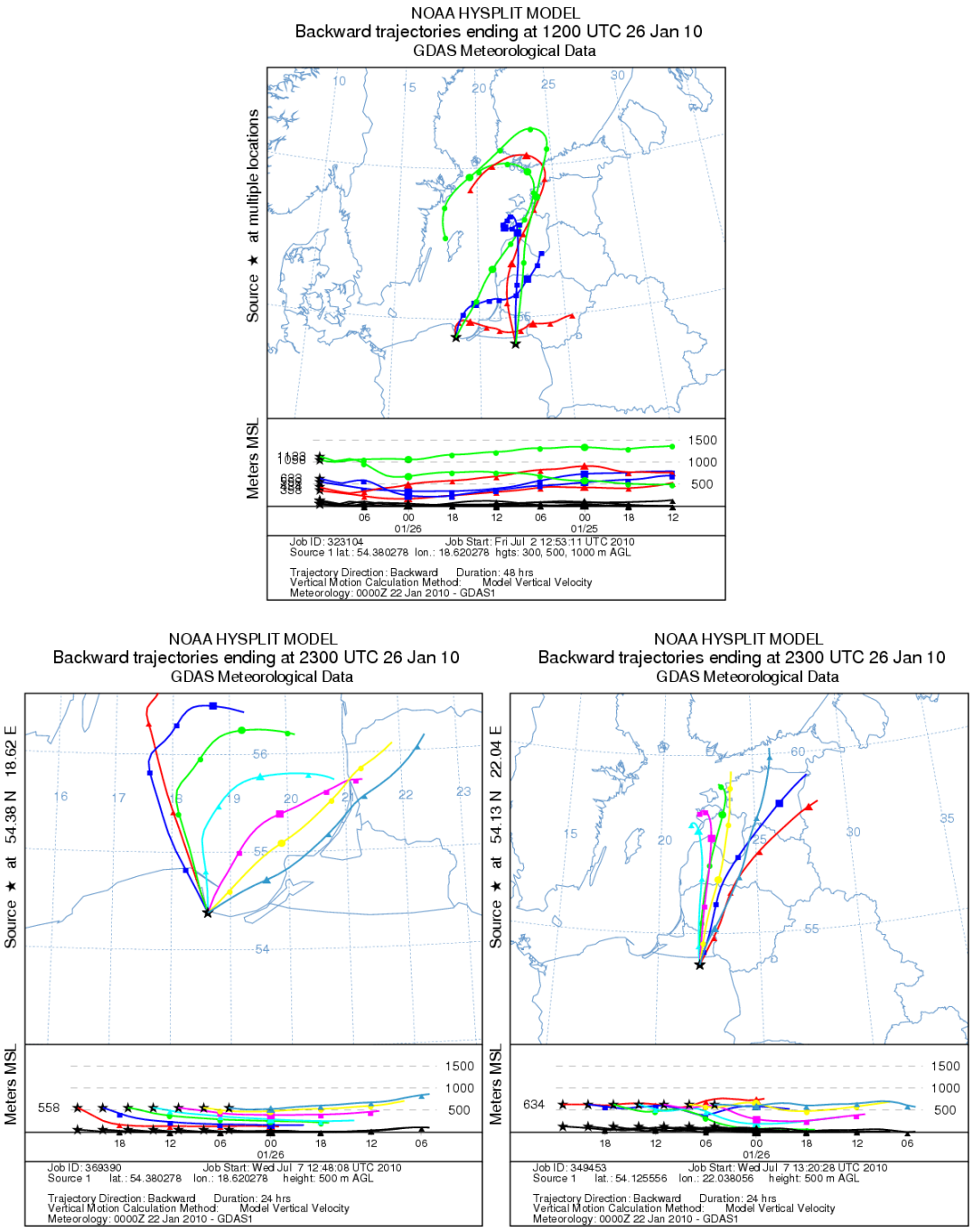
Rysunek 4.3.5.13. Diabla Góra i Gdańsk 7 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 230 m, a w Diablej Górze 380 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz dla Gdańska nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm, ale w przypadku Diablej Góry taki obszar napotykany jest już po 3h wstecz. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Niższe trajektorie penetrują obszar Litwy, Białorusi i Ukrainy, zaś trajektorie 1000 m również Rumunii. Końcowe odcinki trajektorii 24-godzinnych dla wysokości 500 m dla Gdańska penetrują obszar Zatoki Gdańskiej, a wieczorem części Morza Bałtyckiego położonej na północ od niej. W przypadku Diablej Góry ściąganie powietrza znad Zatoki Gdańskiej możliwe jest tylko pod koniec dnia. W godzinach porannych ma miejsce napływ z Białorusi. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 62 µg/m^3, PM_{10} = 75 µg/m^3. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 40 µg/m^3.



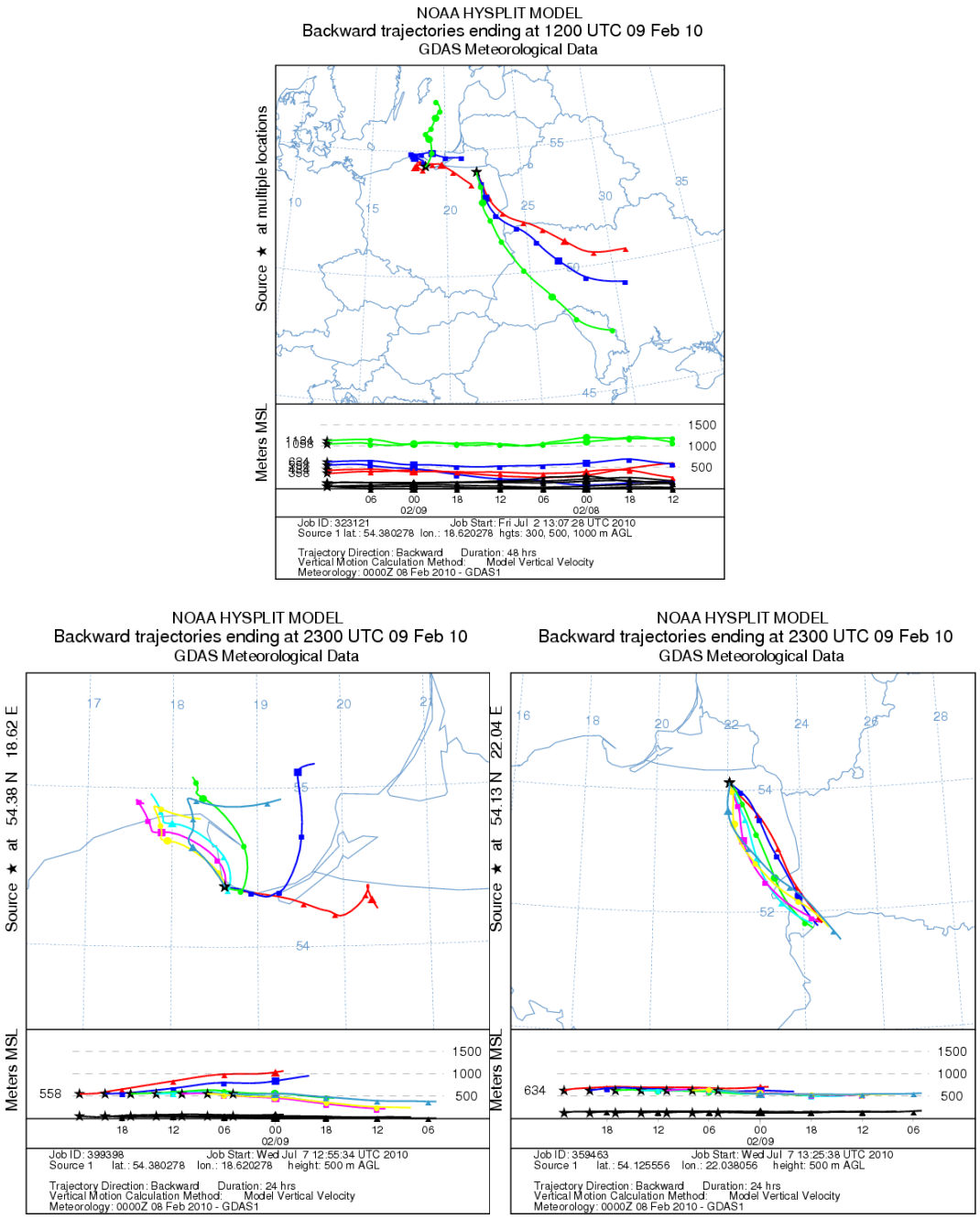
Rysunek 4.3.5.14. Diabla Góra i Gdańsk 25 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 250 m, a w Diablej Górze 195 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Trajektorie te penetrują obszar Litwy i północnej Białorusi sięgając po 48h obszar Rosji. Dla Gdańska trajektorie 24 godzinne dla wysokości 500 m penetrują obszar północno-wschodniej Polski, sięgając na początku dnia po Białoruś, a w końcu dnia, przez Obwód Kaliningradzki do Litwy. Podobna tendencja obserwowana jest dla Diablej Góry, z tym że obserwuje się nieco większe prędkości wiatru, stąd obszar wpływu w końcowej części dnia sięga po Łotwę. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 114 µg/m^3, PM_{10} = 144 µg/m^3. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 47 µg/m^3.



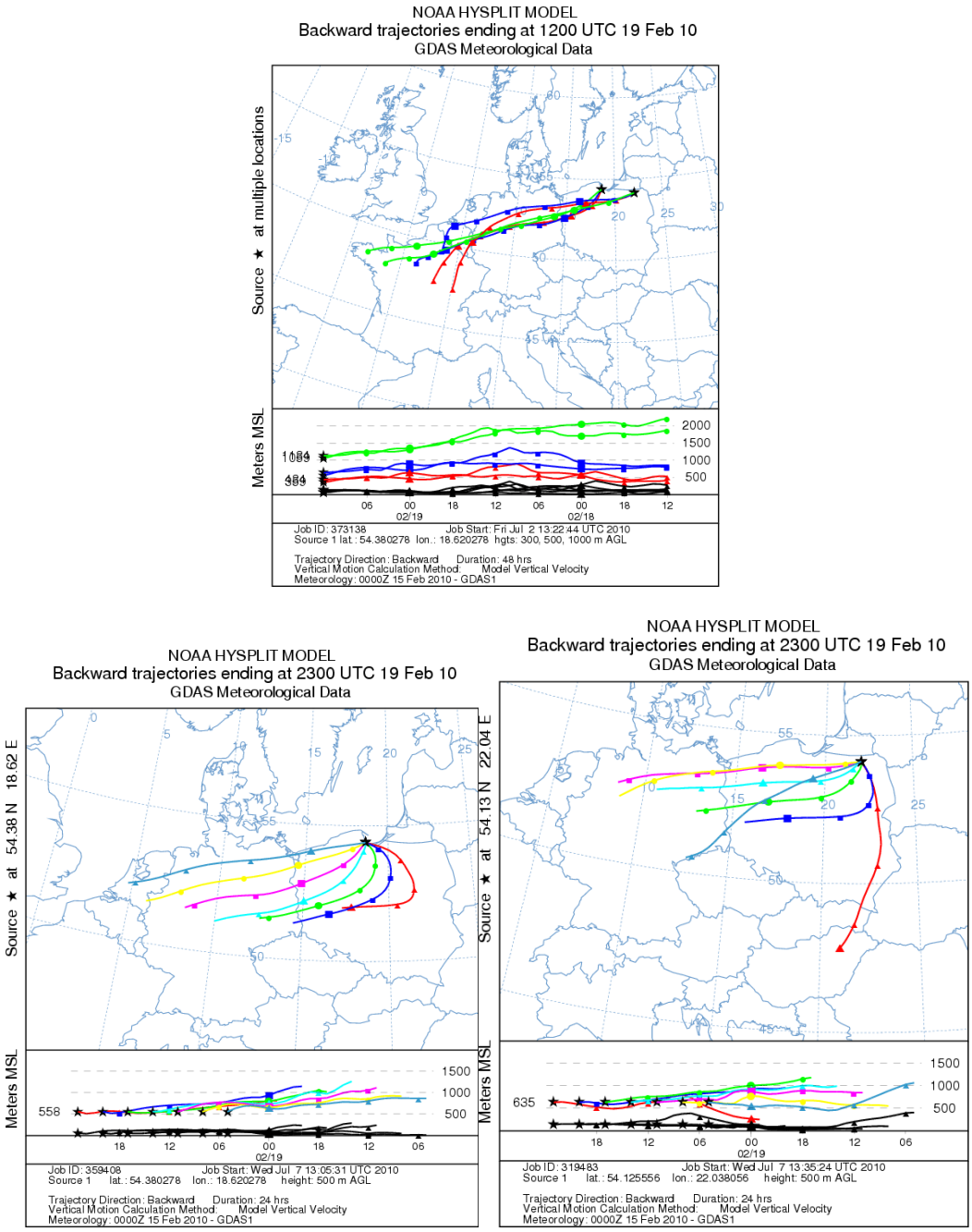
Rysunek 4.3.5.15. Diabla Góra i Gdańsk 26 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 430 m, a w Diablej Górze 370 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm (z wyjątkiem trajektorii 1000 m dla Diablej Góry, dla której strefa opadów jest osiągana po 7h wstecz). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Trajektorie dla Gdańska penetrują obszar Morza Bałtyckiego, a dla Diablej Góry biegną wzdłuż wybrzeża krajów nadbałtyckich. Dla Gdańska trajektorie 24 godzinnych dla wysokości 500 m penetrują obszar Morza Bałtyckiego niemal przez całą dobę, zaś dla Diablej Góry – obszar Obwodu Kaliningradzkiego, Litwy, Łotwy i Estonii. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 92 µg/m^3, PM_{10} = 116 µg/m^3. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 37 µg/m^3.



Rysunek 4.3.5.16. Diabla Góra i Gdańsk 9 lutego 2010 r.

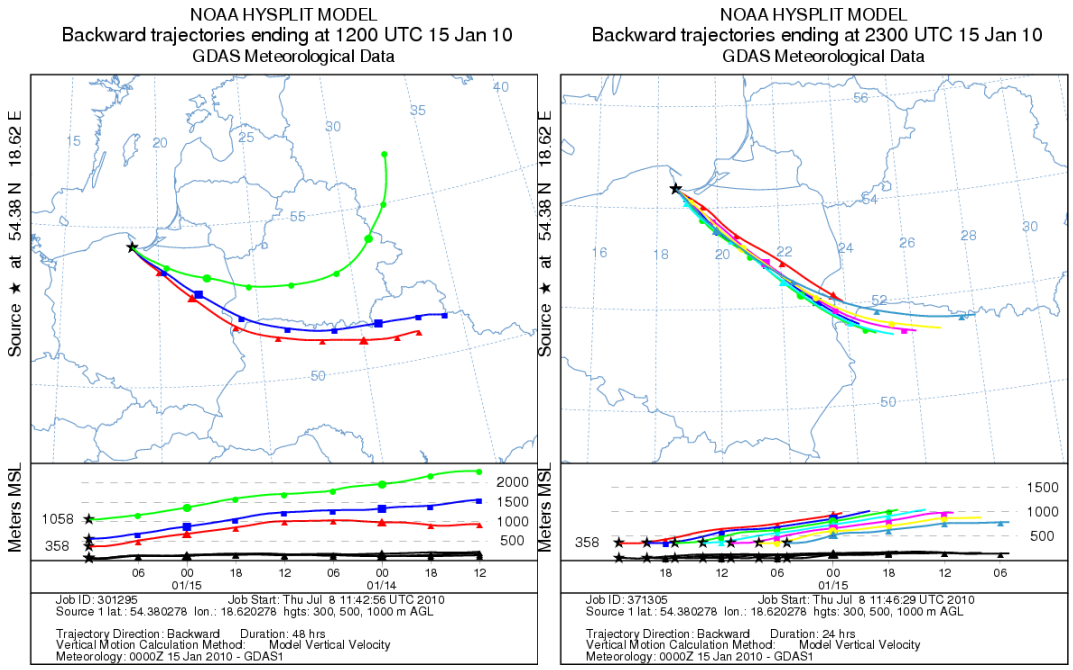
Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 370 m, a w Diablej Górze 380 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz nie spotykają obszar opadów większych niż 0,1 mm (z wyjątkiem trajektorii 1000 m dla Diablej Góry, dla której strefa opadów jest osiągana po 21h wstecz). Dla Gdańska na niższych poziomach niskie prędkości wiatru i spływ znad Zatoki Gdańskiej oraz Obwodu Kaliningradzkiego i północnej Polski, zaś na poziomie 1000 m znad Bałtyku. Dla Diablej Góry obszary źródłowe rozciągają się wzdłuż wschodniej granicy Polski sięgając na Ukrainę. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Dla Gdańska trajektorie 24-godzinne dla wysokości 500 m zahaczają o obszar Zatoki Gdańskiej w ciągu dnia, zaś dla Diablej Góry – penetrują rejon granicy polsko-białoruskiej.
Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 89 µg/m^3, PM_{10} = 112 µg/m^3. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 46 µg/m^3.



Rysunek 4.3.5.17. Diabla Góra i Gdańsk 19 lutego 2010 r.

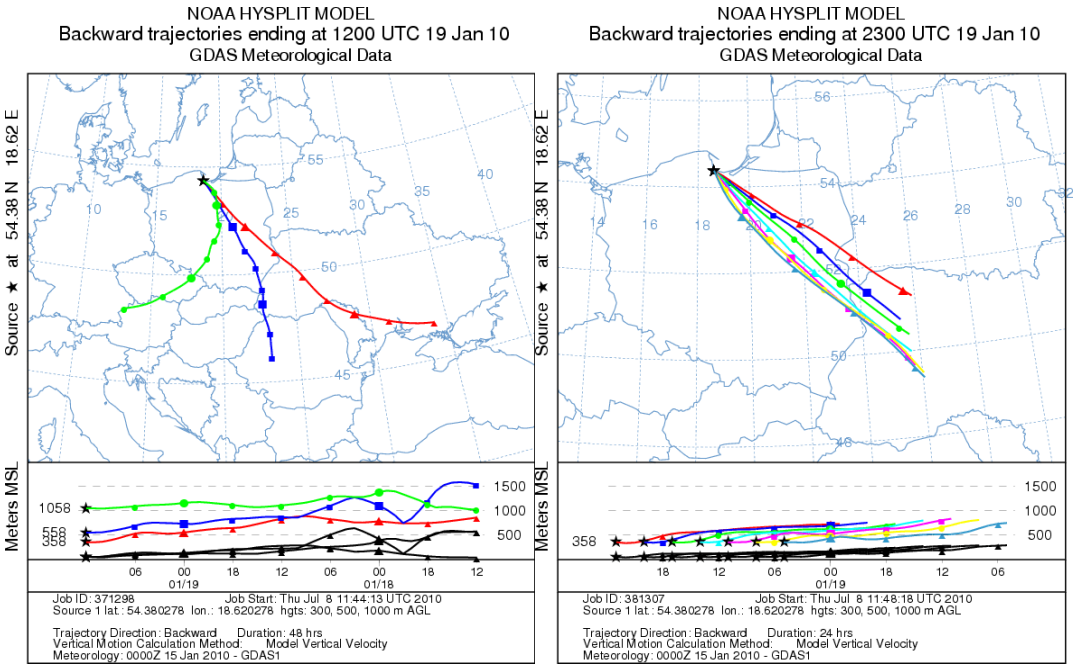
Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 80 m, a w Diablej Górze 180 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) obliczane do 48h wstecz z wysokości 300 i 500 m spotykają obszar opadów większych niż 0,1mm po 9h wstecz w przypadku Gdańska i 3h wstecz w przypadku Diablej Góry. Trajektorie 1000 m odpowiednio po 4 i 9h wstecz. Trajektorie przebiegają nad północną Polską, Niemcami i Francją. Wzdłuż trajektorii temperatury bliskie 0^{o}C. Dla Gdańska trajektorie 24 godzinne dla wysokości 500 m, zwłaszcza na początku i w końcowej części doby szybko (po kilku godzinach) osiągają strefę opadów, co skutkuje tym, że obszary źródłowe związane są raczej wyłącznie z północną częścią Polski. Podobnie jest dla Diablej Góry.

Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 54 µg/m^3, PM_{10} = 77 µg/m^3. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 58 µg/m^3.



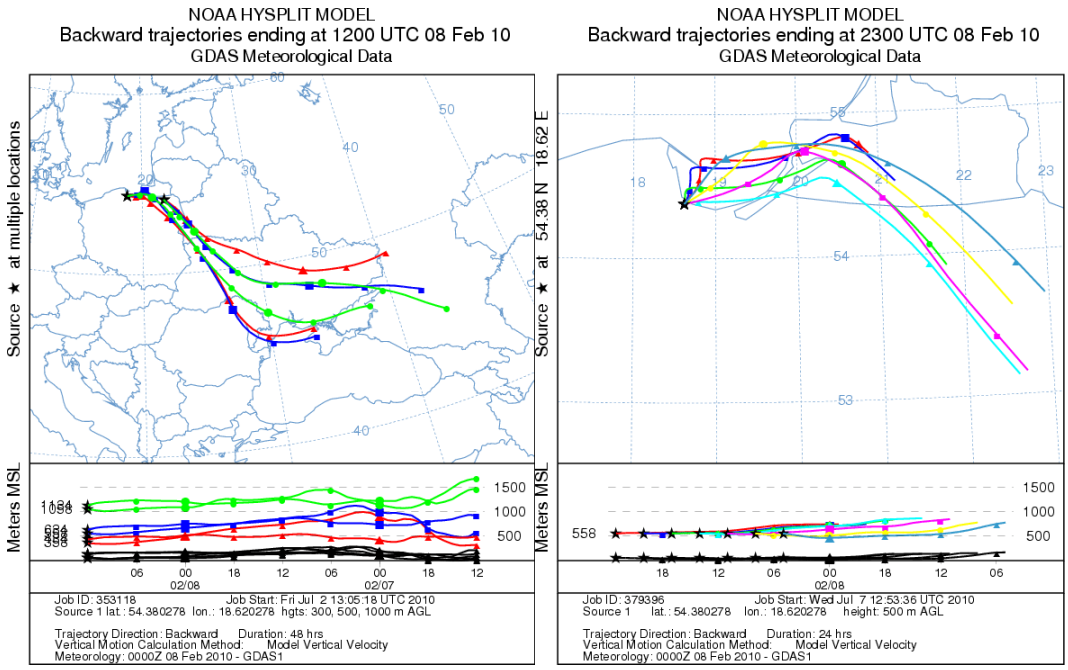
Rysunek 4.3.5.18. Gdańsk 15 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 260 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Obszary źródłowe sięgają w tym czasie rejonu granicy ukraińsko-białoruskiej (trajektorie 300m i 500m) oraz Rosji (trajektoria 1000m). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Trajektorie 24 godzinne dla wysokości 500m penetrują przez całą dobę obszar Polski i rejon granicy ukraińsko-białoruskiej. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5} = 41\ \mu g/m^3$, $PM_{10} = 54\ \mu g/m^3$.



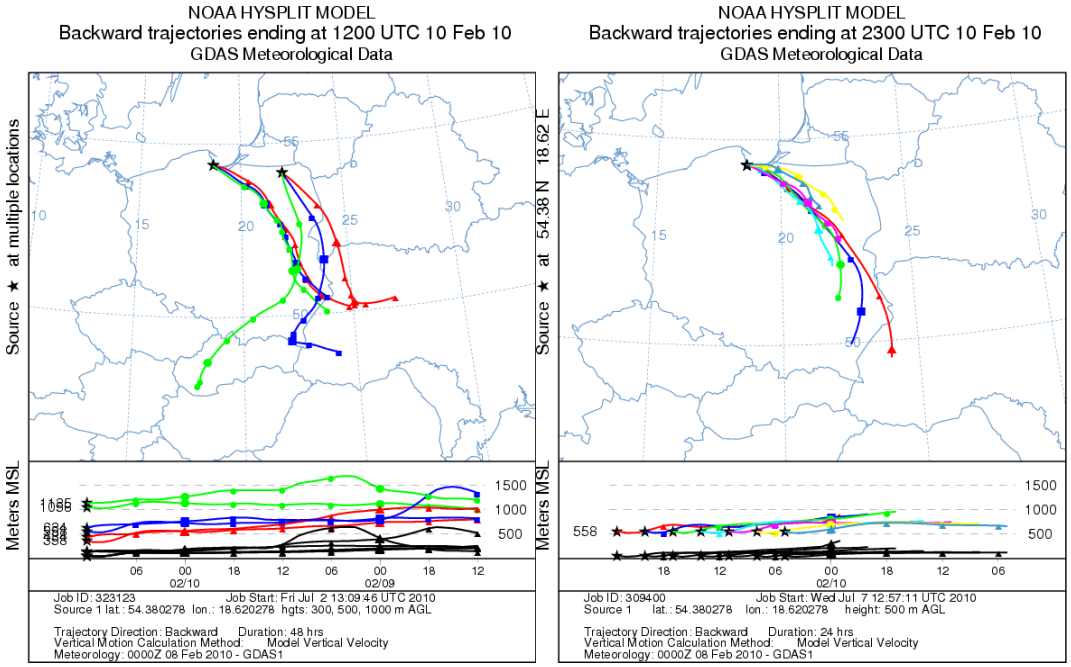
Rysunek 4.3.5.19. Gdańsk 19 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 380 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz nie spotykają (poza trajektorią 1000 m – opad po 25h) obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Obszary źródłowe sięgają w tym czasie południa Ukrainy (trajektoria 300 m), Rumunii (trajektoria 500 m) oraz granicy austriacko-niemieckiej (trajektoria 1000 m). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Trajektorie 24-godzinne dla wysokości 500 m penetrują przez całą dobę obszar Polski i rejon północno-zachodniej Ukrainy. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 36 µg/m^3, PM_{10} = 50 µg/m^3.



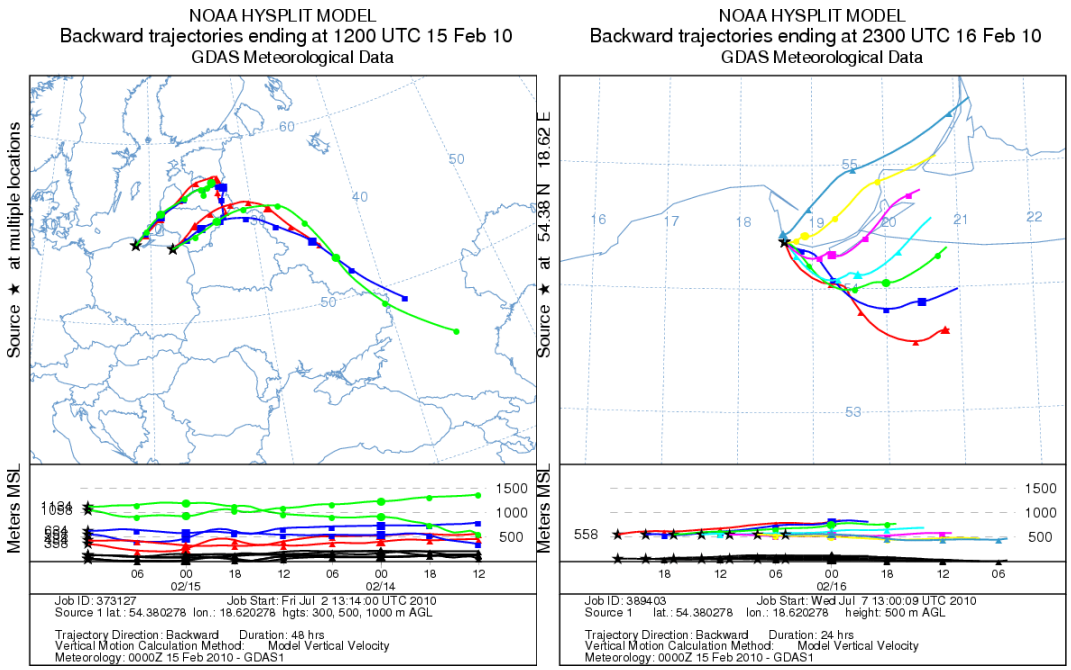
Rysunek 4.3.5.20. Gdańsk 8 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 290 m, a w Diablej Górze 345 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz spotykają obszar opadów większych niż 0,1 mm dla Gdańska po 26h wstecz i nie spotykają takiego obszaru w ciągu 48h w przypadku Diablej Góry. Obszary źródłowe sięgają w tym czasie wybrzeża Morza Czarnego i południowo-zachodniej Rosji. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Dla Gdańska trajektorie 24-godzinne dla wysokości 500 m penetrują niemal przez całą dobę obszar Zatoki Gdańskiej, Obwodu Kaliningradzkiego i północno-wschodniej Polski.
Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 82 µg/m^3, PM_{10} = 105 µg/m^3.



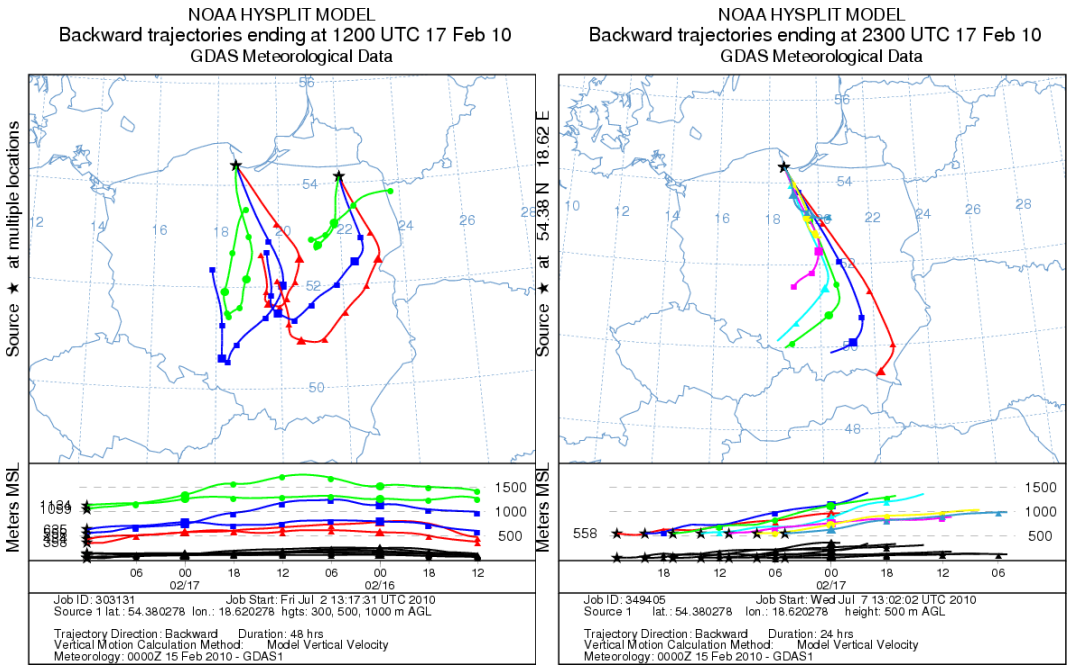
Rysunek 4.3.5.21. Gdańsk 10 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 430 m, a w Diablej Górze 400 m. Trajektorie z 12 UTC (rysunek u góry) do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Obszary źródłowe sięgają w tym czasie zachodniej Ukrainy (300 m i 500 m) oraz Słowacji (1000 m). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Trajektorie 24 godzinne dla wysokości 500 m penetrują niemal przez całą dobę obszar wschodniej Polski. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 92 µg/m^3, PM_{10} = 113 µg/m^3.



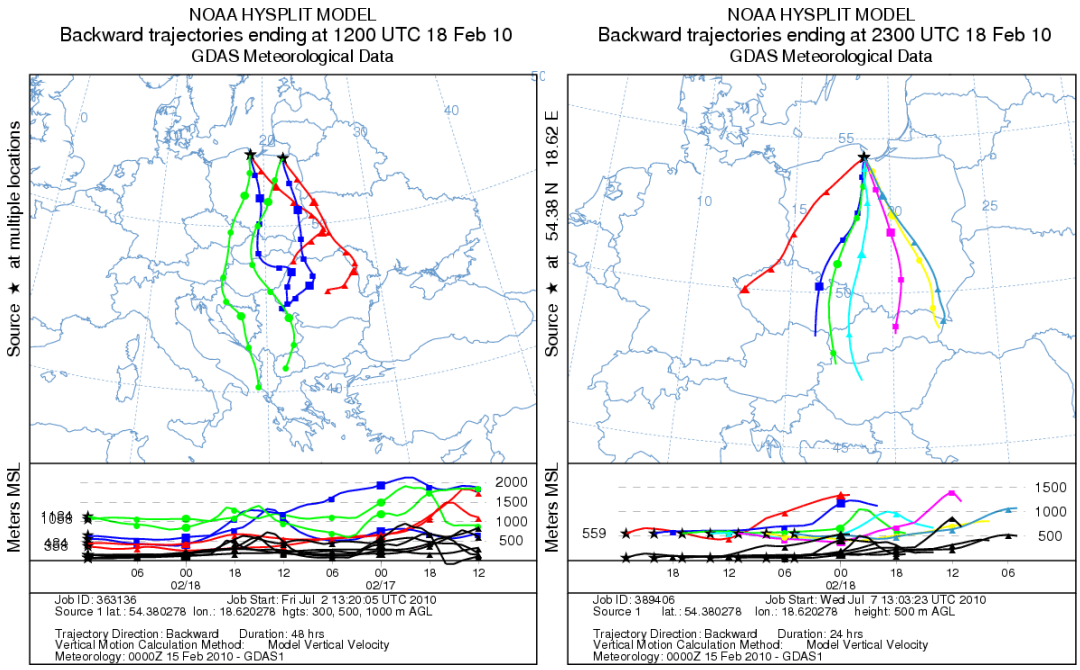
Rysunek 4.3.5.22. Gdańsk 16 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 400 m, a w Diablej Górze 460 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz dla Gdańska spotykają obszar opadów większych niż 0,1 mm już po 6h. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Wszystkie trajektorie penetrują obszar Bałtyku blisko wybrzeża Obwodu Kaliningradzkiego, Litwy i Łotwy. Analiza trajektorii 24-godzinnych dla wysokości 500 m wykazała, że napływ znad Zatoki Gdańskiej miał miejsce tylko w godzinach porannych. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 55 µg/m^3, PM_{10} = 74 µg/m^3.



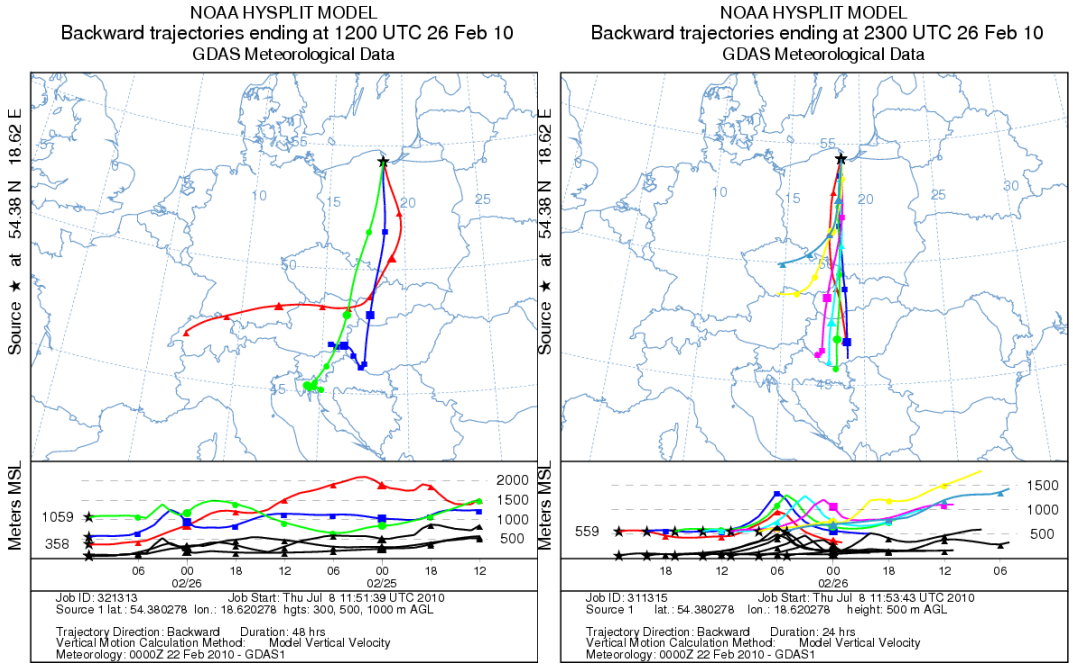
Rysunek 4.3.5.23. Gdańsk 17 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 520 m, a w Diablej Górze 525 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz dla Gdańska spotykają obszar opadów większych niż 0,1 mm po ponad 21h. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Wszystkie trajektorie penetrują obszar środkowej Polski. Analiza trajektorii 24 godzinnych dla wysokości 500 m wykazała narastanie prędkości wiatru w ciągu dnia wzdłuż trajektorii, co skutkuje zwiększeniem zasięgu trajektorii w godzinach popołudniowych. Około południa możliwy wpływ Śląska. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 46 µg/m^3, PM_{10} = 60 µg/m^3.



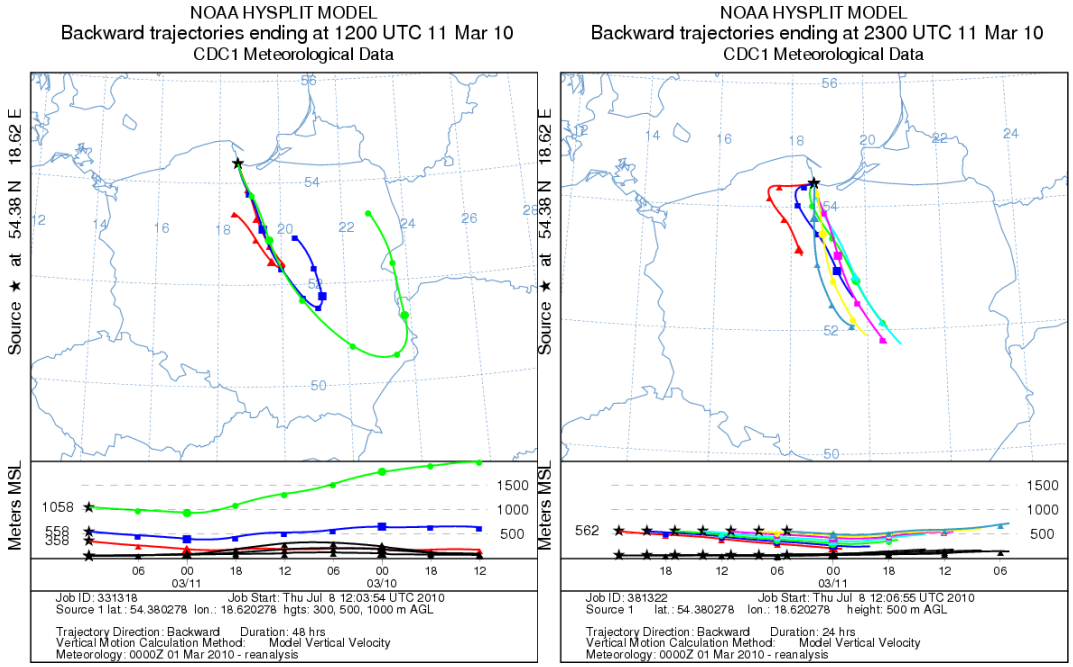
Rysunek 4.3.5.24. Gdańsk 18 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 220 m, a w Diablej Górze 315 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz dla Gdańska spotykają obszar opadów większych niż 0,1mm po 9h (300 m), 21h (500 m) i 36h (100 m). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne, bliskie 0^oC. Trajektoria 300 m penetruje obszar Polski, sięgając poprzez Ukrainę na Węgry, trajektoria 500 m biegnie na południe sięgając granicy serbsko-rumuńskiej, zaś trajektoria 100 m sięga południowego Adriatyku. Analiza trajektorii 24-godzinnych dla wysokości 500 m wykazała, że obszary źródłowe dla całej doby obejmują swoim zasięgiem niemal cały obszar Polski oraz Czechy i Słowację, jakkolwiek dla niemal wszystkich trajektorii obserwuje się przechodzenie przez strefę opadów w centralnej Polsce. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 56 $\mu g/m^3$, PM_{10} = 75 $\mu g/m^3$.



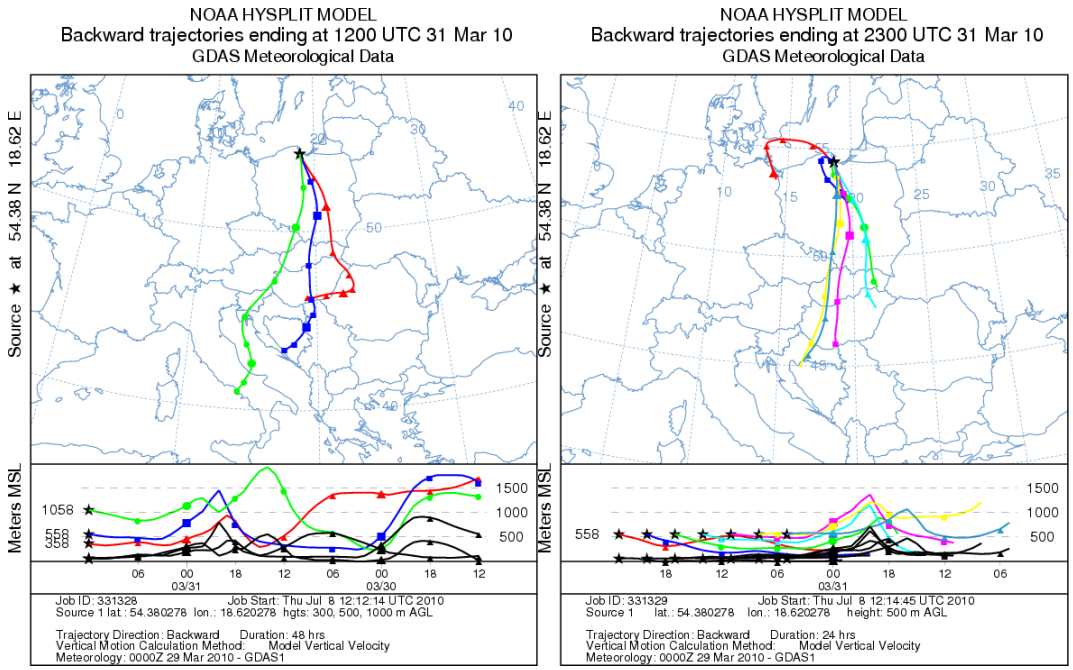
Rysunek 4.3.5.25. Gdańsk 26 lutego 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 320 m. Trajektorie z 1 UTC do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne, bliskie 0^{o}C. Trajektoria 300 m penetruje obszar Polski, sięgając poprzez południowe Niemcy do Szwajcarii, trajektoria 500 m biegnie na południe sięgając granicy węgiersko-rumuńskiej, zaś trajektoria 1000 m sięga północnego Adriatyku. Analiza trajektorii 24-godzinnych dla wysokości 500 m wykazała, że trajektorie dla niemal całej doby pokrywają się sięgając na początku doby obszaru Czech a później południa Węgier. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 61 µg/m^3, PM_{10} = 89 µg/m^3.



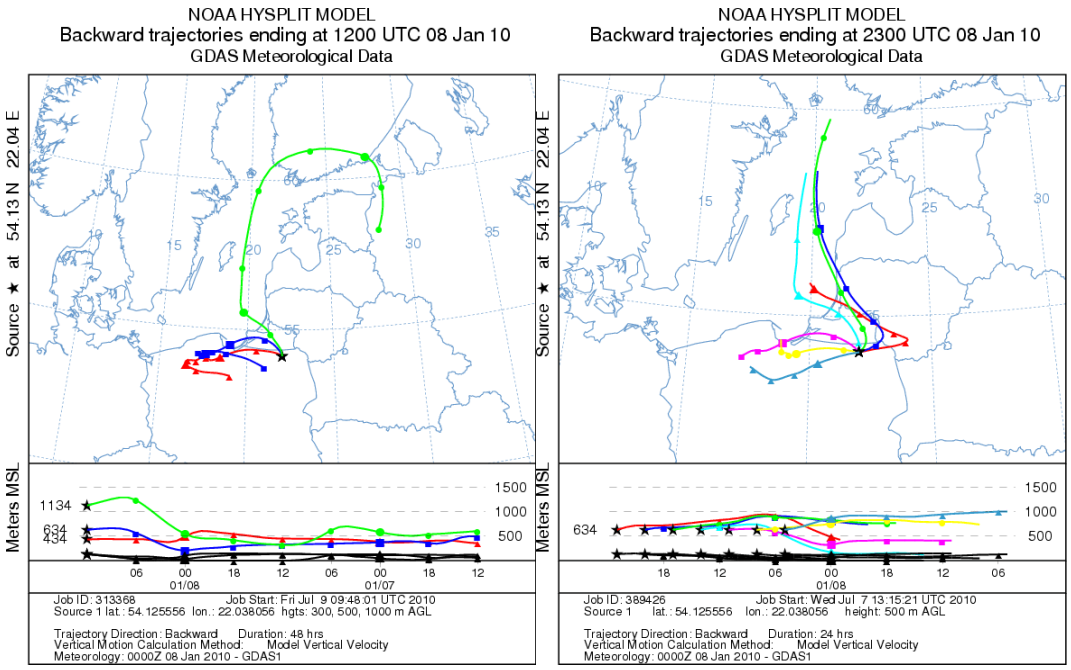
Rysunek 4.3.5.26. Gdańsk 11 marca 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 245 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne, bliskie 0^{o}C. Trajektorie 300 m i 500 m wskazują na niskie prędkości wiatru w tym zakresie wysokości, sięgając zaledwie do Polski Centralnej, zaś wzdłuż trajektorii 1000 m co prawda prędkości wiatru są większe, ale ona również przebiega wyłącznie przez obszar środkowej i wschodniej Polski. Analiza trajektorii 24-godzinnych dla wysokości 500 m wykazała, że trajektorie dla niemal całej doby pokrywają się, biegnąc na południe w kierunku Warszawy. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5}$ = 54 µg/m^3, PM_{10} = 72 µg/m^3.



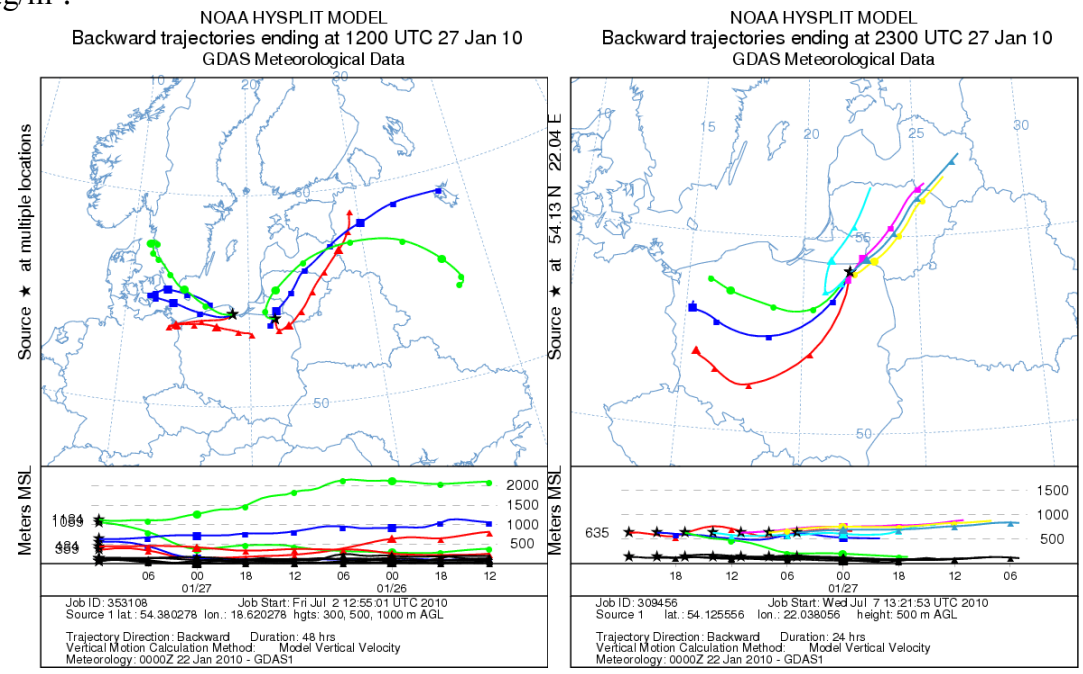
Rysunek 4.3.5.27. Gdańsk 31 marca 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Gdańsku to około 1130 m. Trajektorie z 12 UTC do 48h wstecz nie spotykają obszaru opadów większych niż 0,1 mm. Wzdłuż trajektorii temperatury dodatnie. Trajektoria 300 m sięga granicy rumuńsko-węgiersko-serbskiej, trajektoria 500 m wybrzeża Adriatyku (Bośnia i Hercegowina), zaś trajektoria 1000 m okolic Neapolu. Analiza trajektorii 24-godzinnych dla wysokości 500 m wykazała, że do godziny 17 UTC obszary źródłowe mas powietrza znajdują się na południe od Gdańska, sięgając Węgier i krajów byłej Jugosławii. Sytuacja zdecydowanie zmienia się wieczorem, kiedy prędkość wiatru silnie spada i o godz. 23 UTC obserwuje się spływ znad Bałtyku. Stężenie średnie w Gdańsku $PM_{2,5} = 42\ \mu g/m^3$, $PM_{10} = 58\ \mu g/m^3$.



Rysunek 4.3.5.28. Diabla Góra 8 stycznia 2010 r.

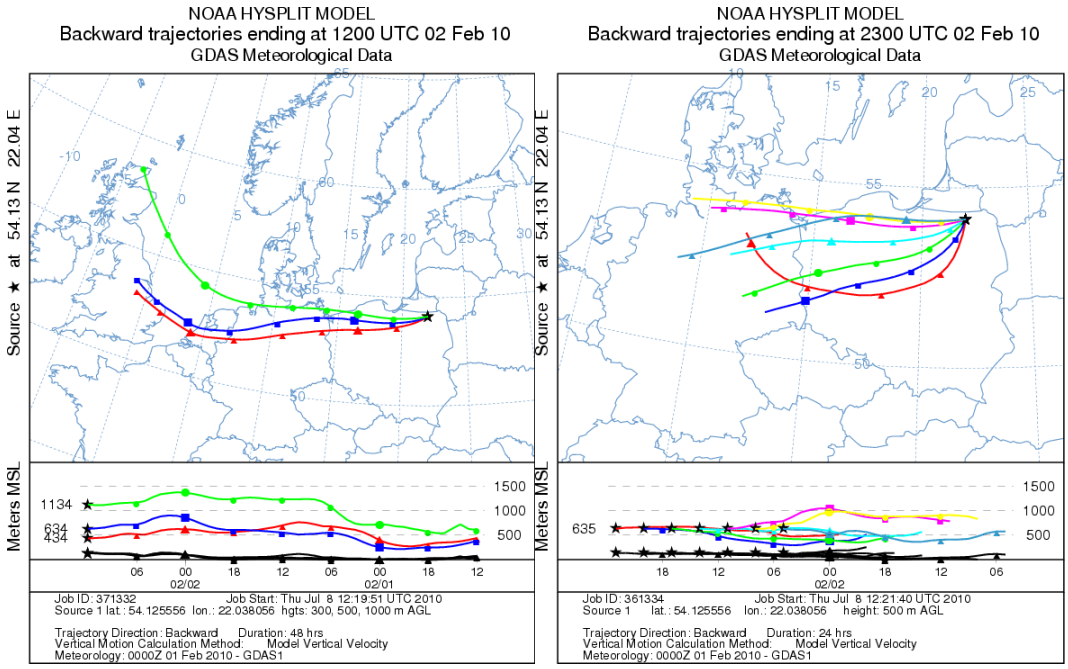
Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Diablej Górze 130 m. Trajektorie wsteczne z 12 UTC (rysunek z lewej) spotykają obszar opadów większych niż 0,1 mm już po 3h, a pojawiają się nad Morzem Bałtyckim dopiero po 9h (dla wys. 500 m i 1000 m). Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Dla trajektorii 500 m 24-godzinnych ściąganie powietrza znad Zatoki Gdańskiej możliwe jest tylko w godzinach około południowych (po ok. 9h wstecz), ale wcześniej spotykany jest obszar z opadami. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 69 $\mu g/m^3$.



Rysunek 4.3.5.29. Diabla Góra 27 stycznia 2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Diablej Górze 260 m. Trajektoria wsteczna 300 m z 12 UTC (rysunek z lewej) spotyka obszar opadów większych niż 0,1 mm po 27h,

pozostałe trajektorie przebiegają przez obszary bez opadów. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne, niskie (poniżej – 15 ^{o}C). Dla trajektorii 500 m 24 godzinnych w ciągu dnia widoczna silna zmiana obszarów źródłowych: przed południem ściąganie powietrza z krajów nadbałtyckich, zaś po południu z obszaru centralnej i zachodniej Polski. Trajektorie niebieska (13 UTC) i zielona (16 UTC) napotykają obszar opadów po odpowiednio 12 i 7h. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ = 37 µg/m^3.



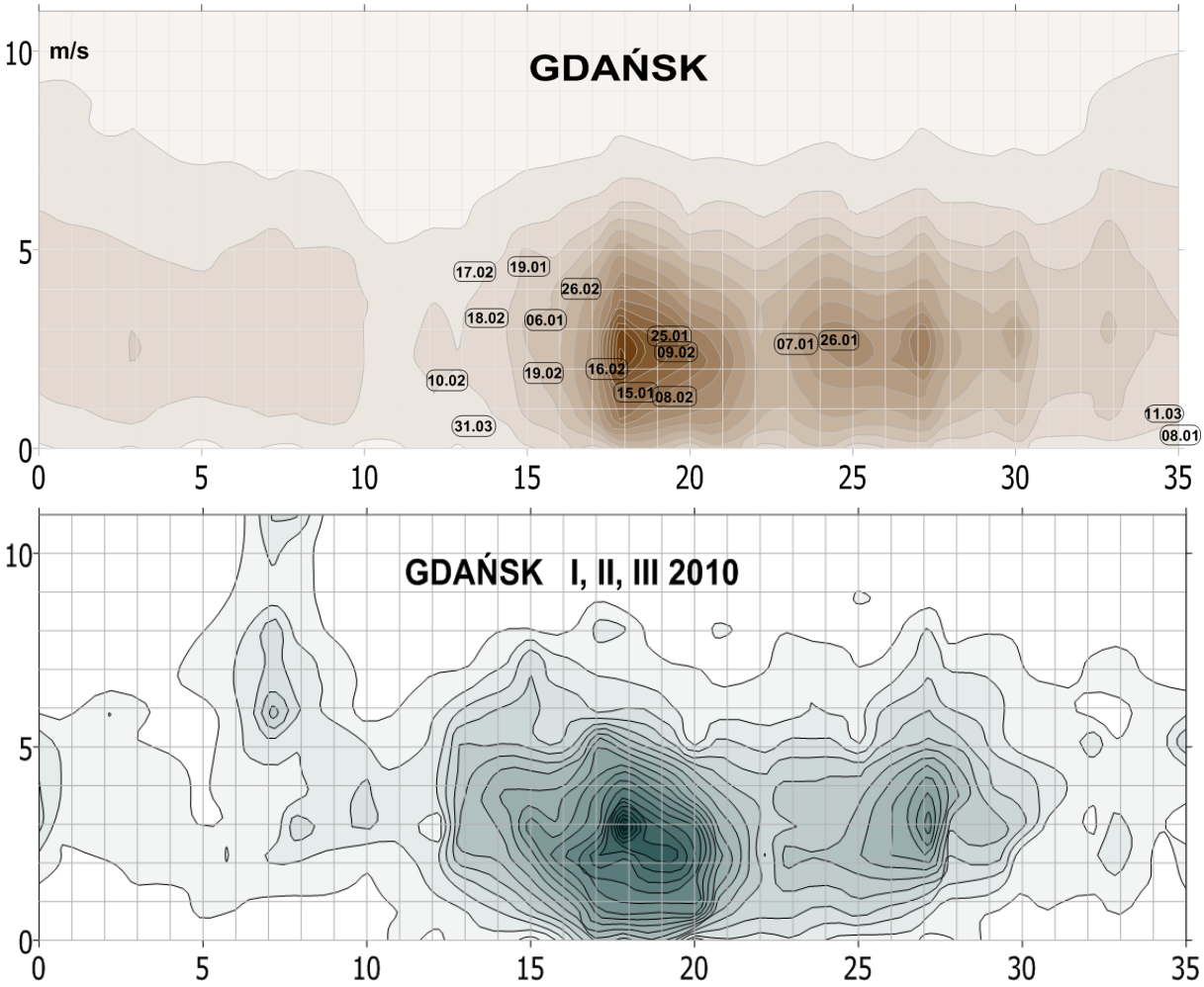
Rysunek 4.3.5.30. Diabla Góra 2 lutego2010 r.

Modelowana głębokość mieszania o 12 UTC w Diablej Górze 640 m. Trajektorie wsteczne 300 m i 500 m z 12 UTC (rysunek z lewej) przebiegają przez obszary bez opadów, natomiast trajektoria 1000 m spotyka obszar opadów większych niż 0,1 mm już po 10h. Wzdłuż trajektorii temperatury ujemne. Trajektorie biegną wzdłuż północnych obszarów Polski i Niemiec, po środkową Wielką Brytanię. Dla trajektorii 500 m 24-godzinnych w ciągu dnia cały czas ściąganie powietrza z obszaru centralnej i zachodniej Polski oraz północno-zachodnich Niemiec. Stężenie średnie w Diablej Górze $PM_{2,5}$ =49 µg/m^3.

4.3.6. Ocena napływu zanieczyszczeń w wyniku analiz meteorologicznych w 2010 r.

Głównym czynnikiem odpowiedzialnym za transport aerozolowych zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza wobec często w chłodnej porze roku obserwowanej stałej równowagi atmosfery, jest wiatr. Pierwszy kwartał 2010 roku obfitował w częste przekroczenia dopuszczalnych wartości stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$. W niniejszym opracowaniu poddano analizie trzy znacznie od siebie oddalone i zlokalizowane w wyraźnie różnych rejonach Polski miejsca: Gdańsk, Katowice i Diablą Górę w Puszczy Boreckiej. Korzystając z synoptycznych danych meteorologicznych dla każdego z tych miejsc sporządzono wieloletnią różę wiatru i różę wiatru za pierwsze trzy miesiące 2010. W przypadku Diablej Góry skorzystano z danych synoptycznych ze stacji w Kętrzynie. Róże wykreślono w prostokątnym układzie

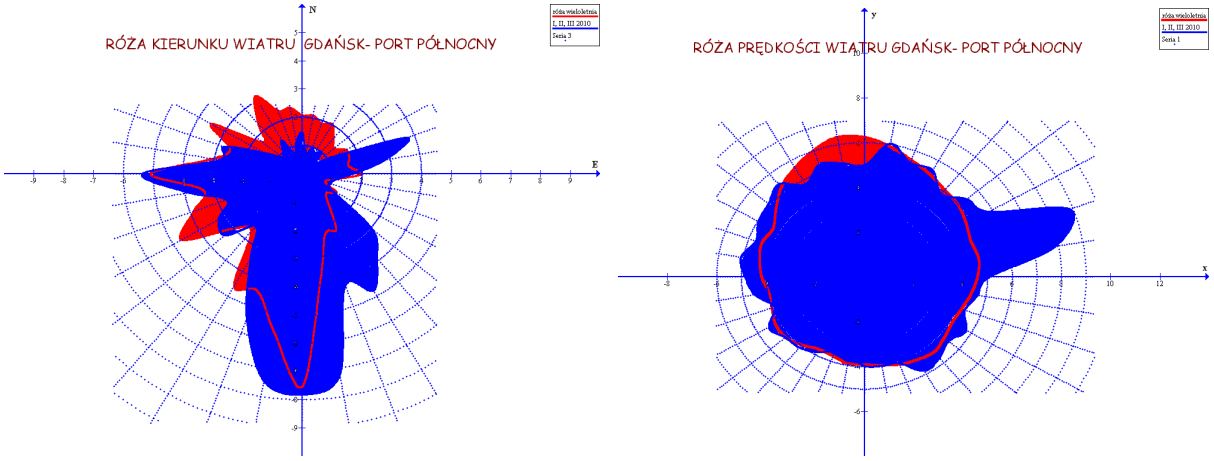
współrzędnych, w którym na osi rzędnych odłożono prędkość wiatru w m/s, zaś na osiach odciętych kolejne numery 10-cio stopniowej rozwartości sektorów, przy czym sektor zerowy zawiera częstości obserwowania wiatru północnego z kierunków pomiędzy 355 a 5 stopni. Powierzchniową interpolację dyskretnych współrzędnych (1 m/s i 10 stopni) wykonano programem SURFER. Parametry interpolacji dobrano subiektywnie kierując się raczej czytelnością rysunku niż bezwzględną poprawnością merytoryczną. Na różach wieloletnich naniesiono terminy przekroczeń dopuszczalnych wartości stężeń pyłu zawieszonego.



Rysunek 4.3.6.1. Róże wiatru dla Gdańska (górny rysunek – średnia wieloletnia, dolny – za pierwszy kwartał 2010 r.) – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

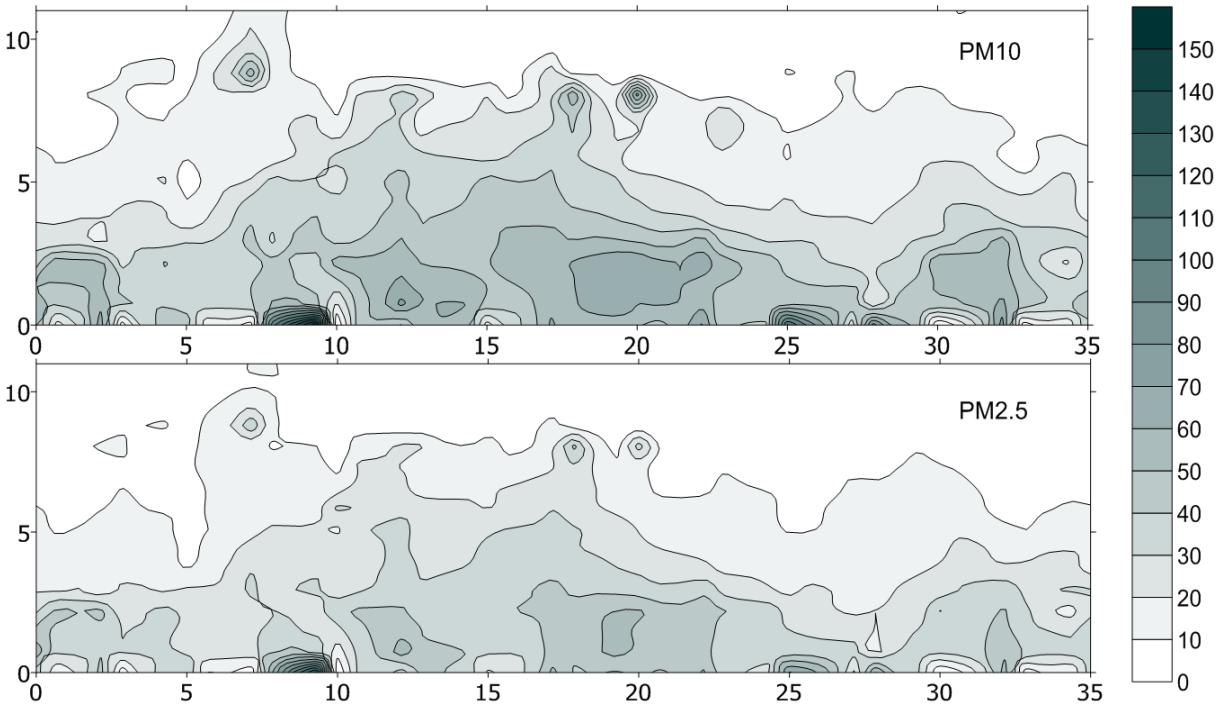
Na wykresach daje się, zauważyć zdecydowana przewaga wiatru południowego. Z kierunków między 135 a 225 stopniem na początku roku 2010 wiało przez 53% czasu, podczas gdy z północy jedynie przez 9%. Wyraźniej tę asymetrię można dostrzec na różach w układzie klasycznym.

Rysunek 4.3.6.2. Róże kierunku i prędkości wiatru dla Gdańska (kolorem czerwonym



zaznaczono średnią wieloletnią, niebieską – pierwszy kwartał 2010 r.).

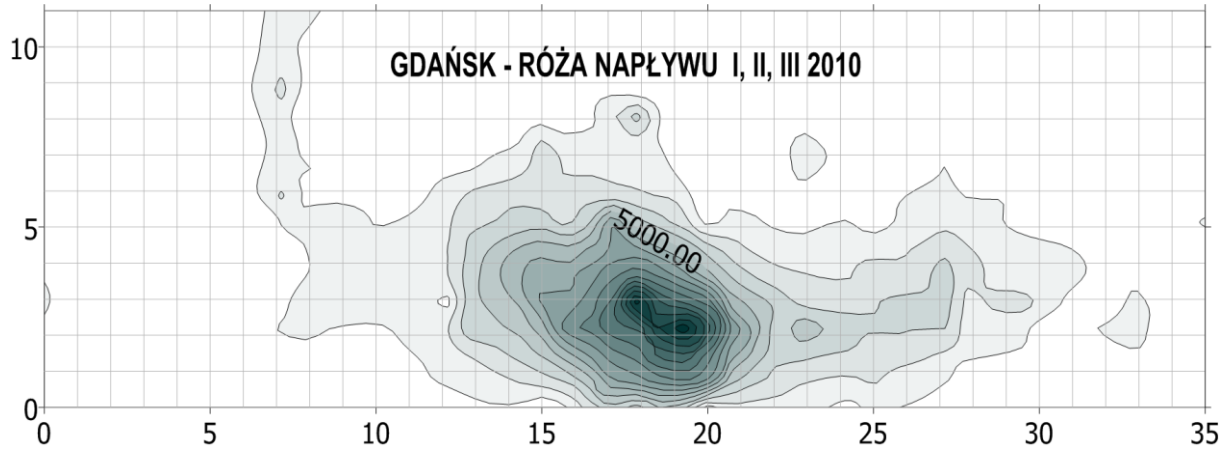
Kolejne wykresy prezentują róże stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$.



Rysunek 4.3.6.3. Róże stężeń [µg/m^3]pyłu zawieszonego PM_{10} i $PM_{2,5}$ w I kwartale 2010 r. w Gdańsku – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

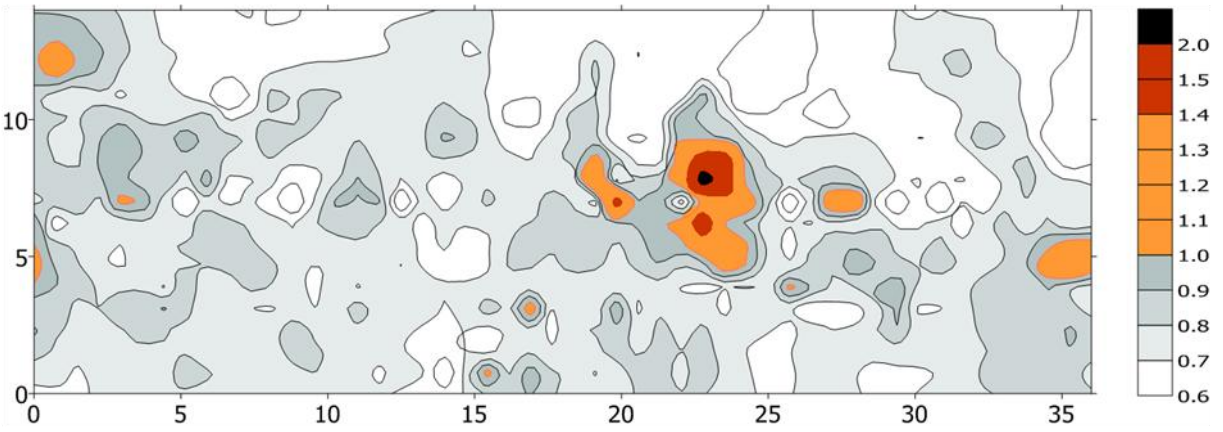
W obu przypadkach mniejszym prędkościom wiatru towarzyszą większe stężenia pyłu. Współczynnik korelacji między stężeniem PM_{10}, a prędkością wiatru w Gdańsku wynosi 0,48. 99-procentowy poziom ufności dla porównywalnej liczebności próbki zaczyna się od wartości współczynnika równej 0,25. Szczególnie wysokie stężenia obserwuje się dla słabych wiatrów z kierunków: wschodniego (90 stopni) i zachodniego (250 stopni). Można przypuszczać, że są to źródła zanieczyszczeń o charakterze lokalnym, których natężenie wzrasta wraz ze spadkiem temperatury. Współczynnik korelacji między stężeniem pyłu PM_{10} i temperaturą wynosi tu –0,40, natomiast dla $PM_{2,5}$: -0,52. Przy większych prędkościach

wiatru (8 – 9 m/s) obserwuje się podwyższone stężenia pyłów zawieszonych z kierunków południowych i wschodnich, pochodzące najprawdopodobniej ze źródeł odległych. Różę kierunków napływu pyłu PM_{10} prezentuje rysunek 4.3.6.4.



Rysunek 4.3.6.4. Róża napływu pyłu PM_{10} na Gdańsk w miesiącach styczeń – marzec 2010 r. – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

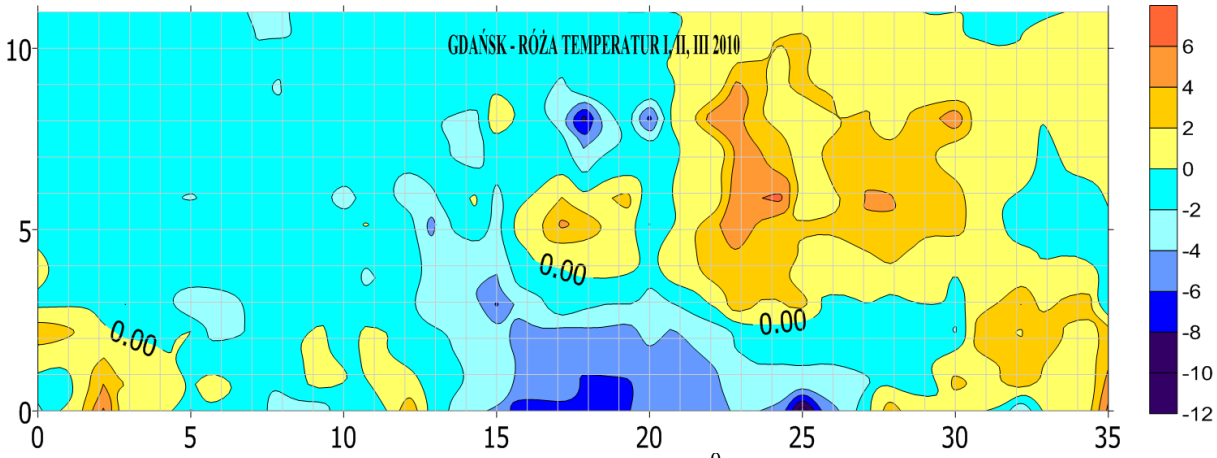
Ponieważ wśród godzinowych danych pomiarowych dotyczących zapylenia w Gdańsku w przeszło 10% przypadków udział frakcji $PM_{2,5}$ w PM_{10} przekraczał, 100% wykreślono kolejną różę prezentującą ten udział (rysunek 4.3.6.5.).



Rysunek 4.3.6.5. Róża udziału frakcji $PM_{2,5}$ w PM_{10} w pierwszym kwartale 2010 r. w Gdańsku

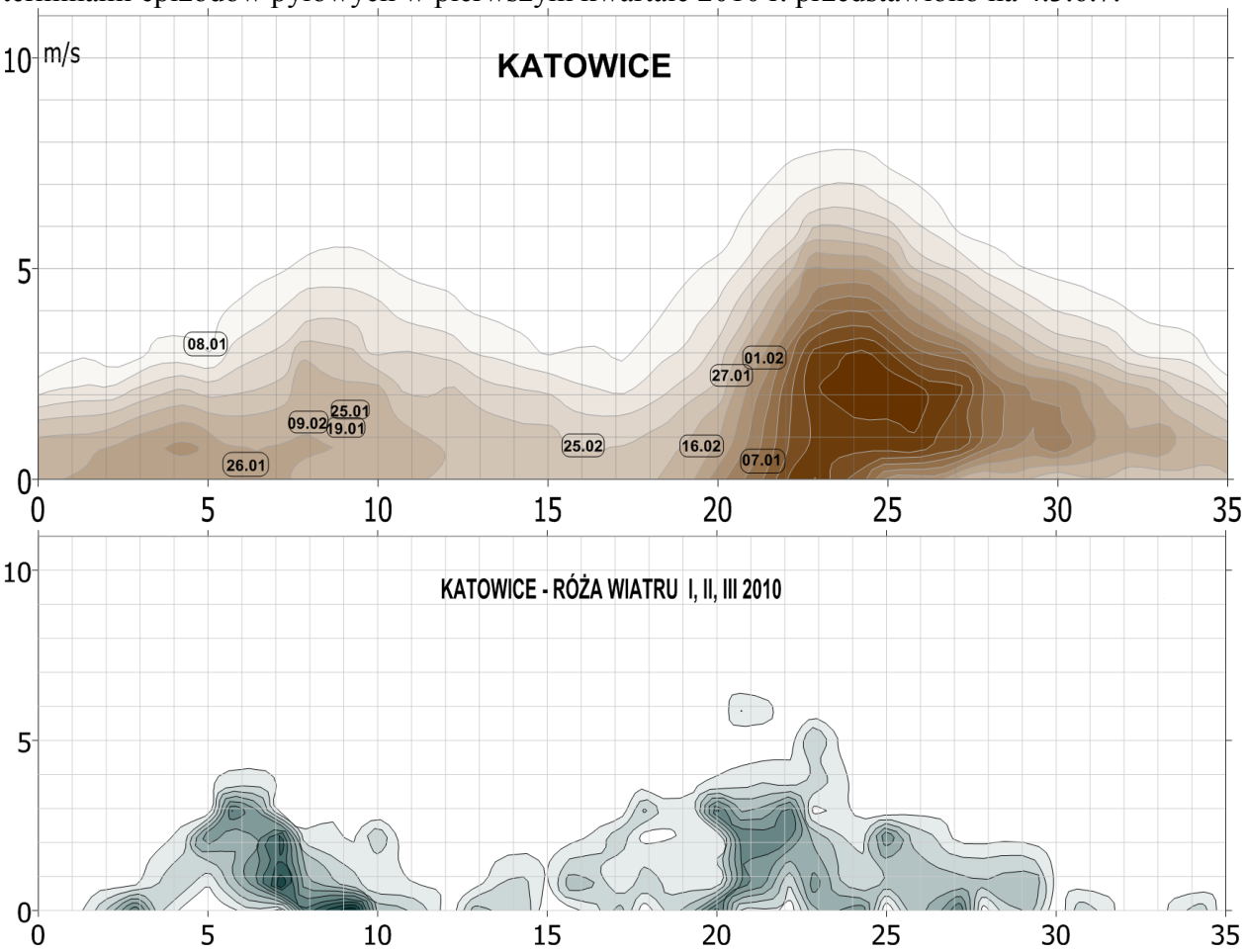
Wynikać to może z usytuowania mierników pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ w stosunku do kierunku wiatru i zabudowy terenu wokół stacji.

Następny wykres (rysunek 4.3.6.6.) dotyczy pola temperatury wokół Gdańska w I kwartale 2010 r. Przy niewielkich prędkościach wiatru powietrze niesione z północy, znad morza ma zdecydowanie wyższą temperaturę od tego znad lądu. Dla wyższych prędkości wiatru potwierdza się spostrzeżenie z analizy map synoptycznych tego okresu: napływy wschodnie niosły znacznie chłodniejsze powietrze od zachodnich. Na uwagę zasługuje zależność temperatury powietrza od prędkości wiatru wiejącego z południa. Podczas słabego, do 3 m/s, wiatru z tego kierunku odnotowywano temperatury zdecydowanie niższe niż przy prędkościach wyższych, około 5 m/s. Przy wietrze silnym, rzędu 10 m/s, znowu mierzono temperatury niskie.

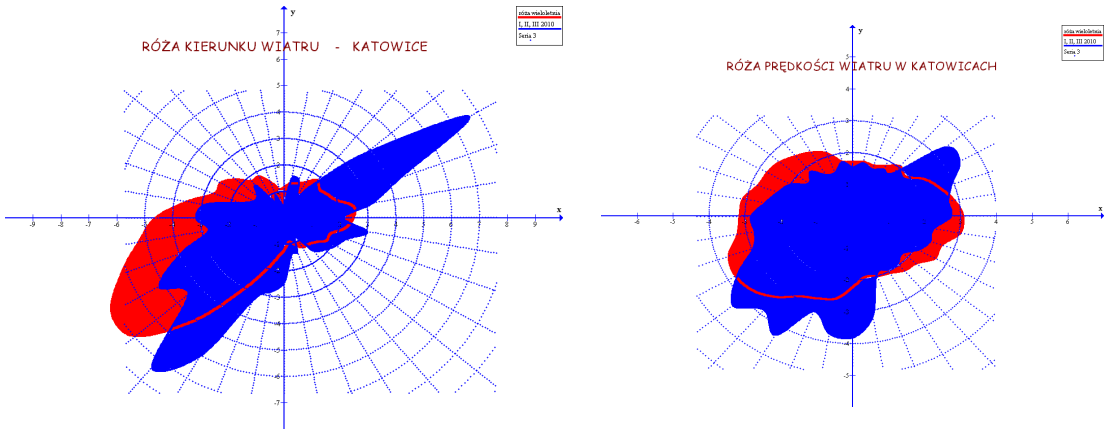


Rysunek 4.3.6.6. Róża temperatury powietrza [^{0}C] w Gdańsku w pierwszym kwartale 2010 r.

W porównaniu z Gdańskiem, w Katowicach rejestruje się znacznie słabszy wiatr. Spowodowane jest to inną lokalizacją miasta, w terenie wyżynnym i większą szorstkością podłoża zurbanizowanego otoczenia. Wieloletnią różę wiatru dla Katowic z naniesionymi terminami epizodów pyłowych w pierwszym kwartale 2010 r. przedstawiono na 4.3.6.7.

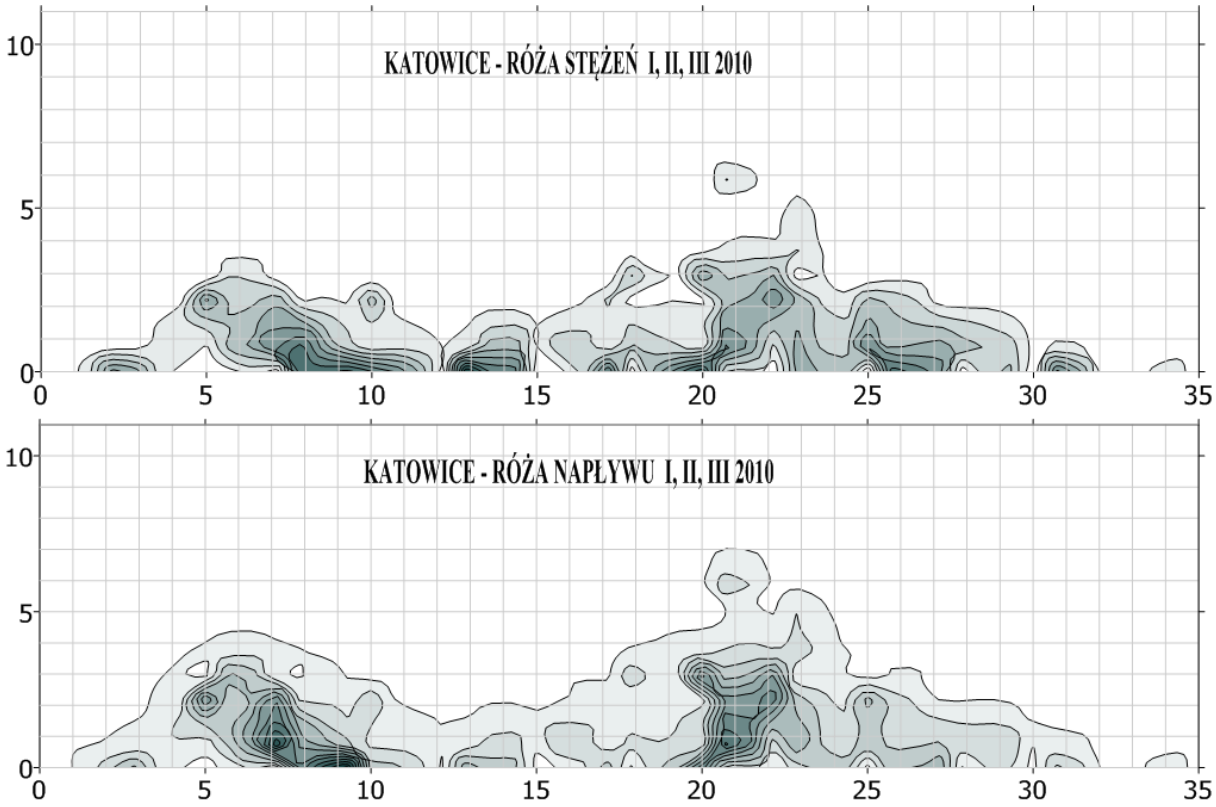


Rysunek 4.3.6.7. Róża wiatru dla Katowic (rysunek górny – średnia wieloletnia, dolny – za I kwartał 2010 r.) – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s



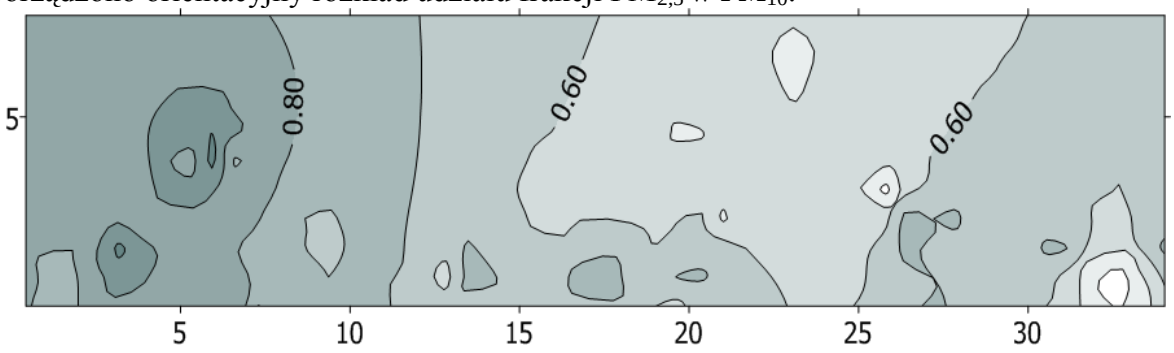
Rysunek 4.3.6.8. Róże kierunku i prędkości wiatru w Katowicach (kolorem czerwonym zaznaczono średnią wieloletnią, niebieskim – za pierwszy kwartał 2010 r.)

Zestawienie róży wieloletniej całorocznej z kwartalną pokazuje znacząco większy udział wiatru z kierunku północno-wschodniego z początkiem 2010 roku. Róże stężeń i napływu pyłu PM_{10} przedstawiono na rysunku 4.3.6.9.



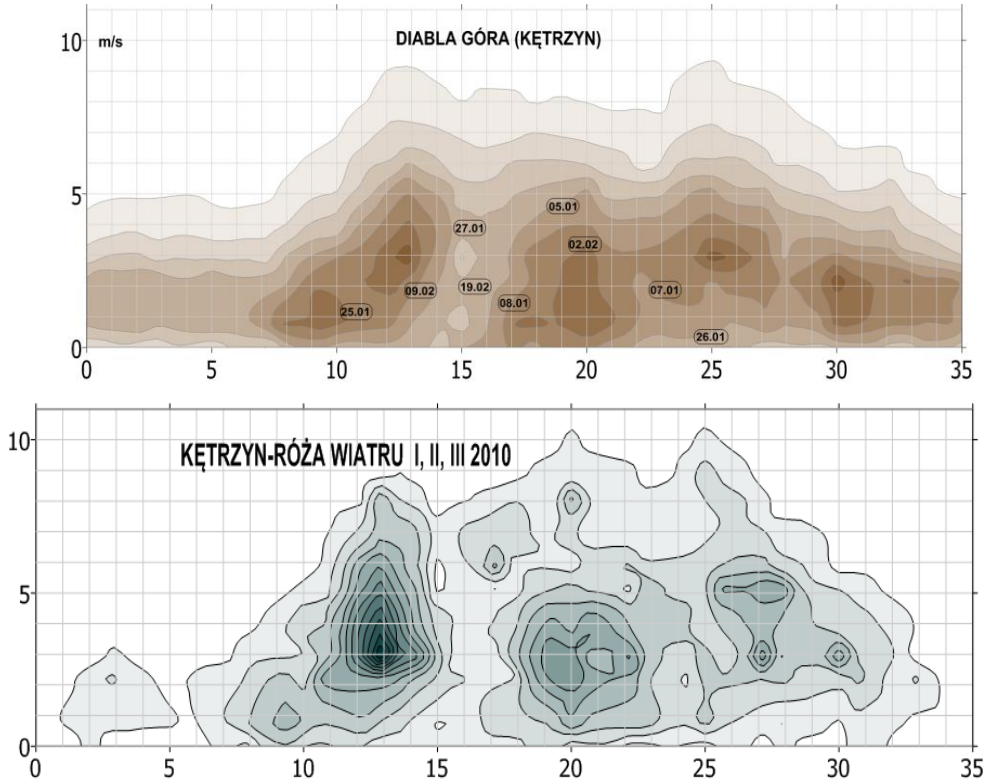
Rysunek 4.3.6.9. Róże stężeń i napływu PM_{10} w Katowicach w pierwszym kwartale 2010 r. – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s

Porównanie stężeń pyłu zawieszonego z prędkością wiatru i temperaturą powietrza w postaci wartości średnich dobowych wskazuje, że również w Katowicach za poziom imisji w znacznym stopniu odpowiedzialne są źródła lokalne, w tym paleniska. Współczynnik korelacji stężenia pyłu PM_{10} z prędkością wiatru wynosi –0,48, a z temperaturą powietrza – 0,40. Dla pyłu $PM_{2,5}$ korelacja z temperaturą wynosi –0,52. Pomimo statystycznej niejednorodności danych pomiarowych, zwłaszcza dla wyższych prędkości wiatru, sporządzono orientacyjny rozkład udziału frakcji $PM_{2,5}$ w PM_{10}.

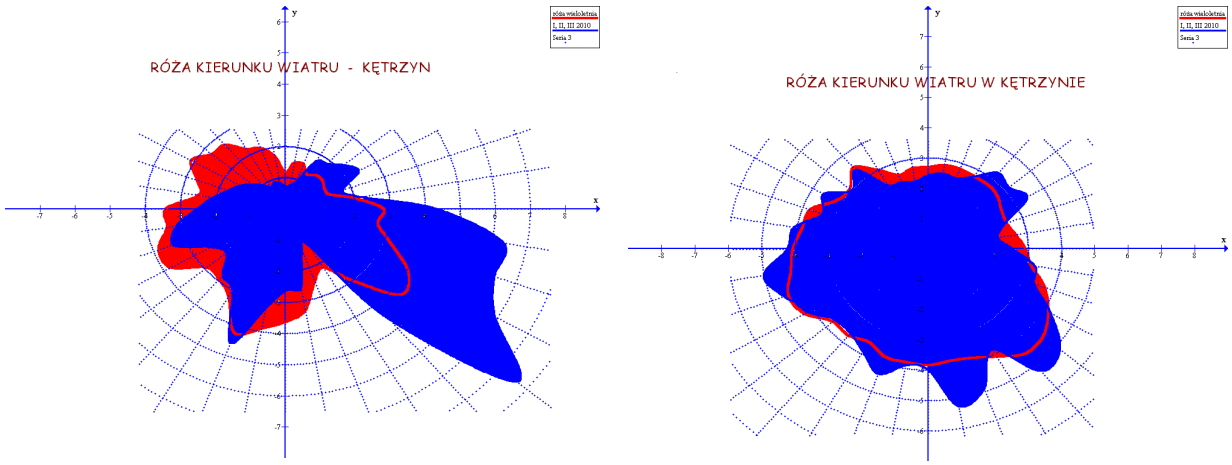


Rysunek 4.3.6.10. Róża udziału $PM_{2,5}$ w PM_{10} dla Katowic w I kwartale 2010 r. – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru m/s

Wynika z niego, że w pyle niesionym przez wiatr z kierunków północno wschodnich ziarna frakcji $PM_{2,5}$ mają wyższy udział niż przy wietrze z kierunków przeciwnych.
Trzecim analizowanym punktem pomiaru imisji pyłu zawieszonego jest Diabla Góra. Wieloletnią różę wiatru dla pobliskiego Kętrzyna przedstawiono na rysunku 4.3.6.11.

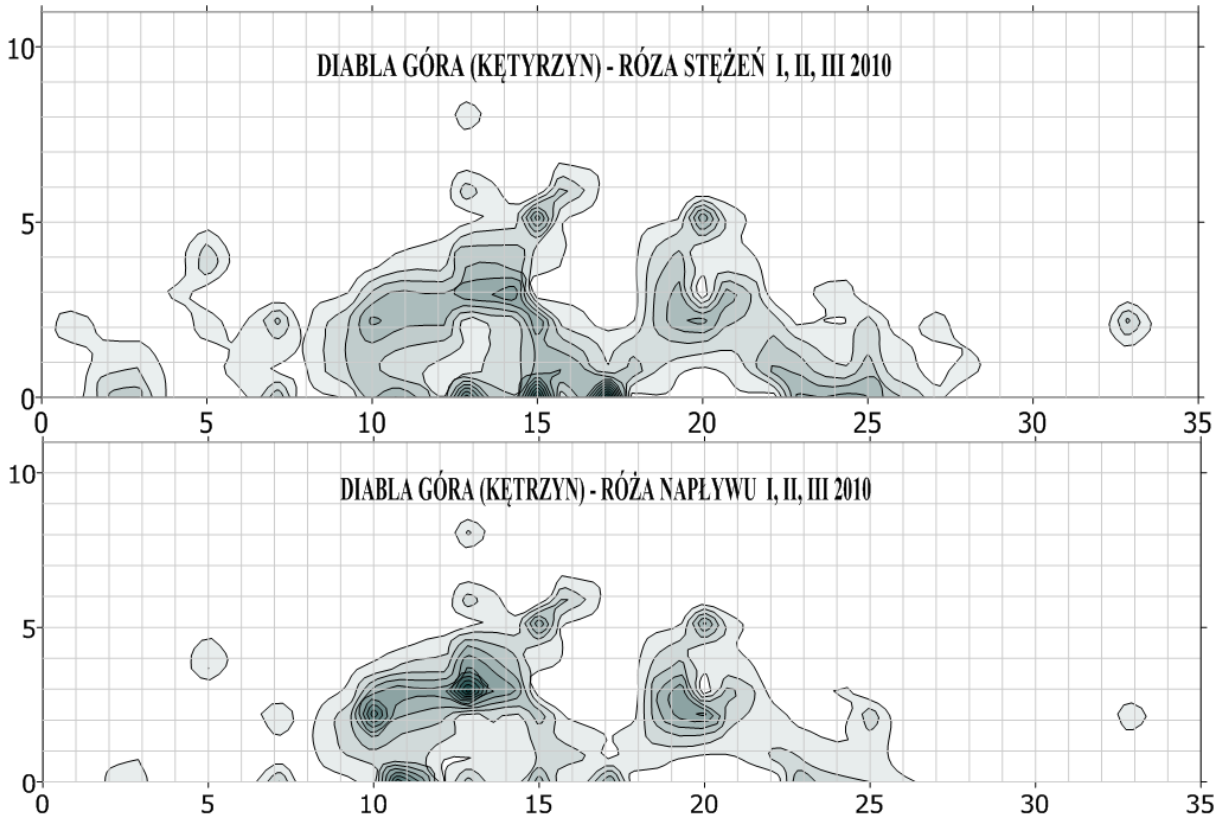


Rysunek 4.3.6.11. Róża wiatru dla Kętrzyna (powyżej średnia wieloletnia, poniżej za I kwartał 2010 r.) – oś pozioma: kierunek wiatru w 10 stopniowych sektorach, oś pionowa: prędkość wiatru w m/s



Rysunek 4.3.6.12. Róża kierunku i prędkości wiatru w Kętrzynie (kolorem czerwonym zaznaczono średnią wieloletnią, niebieskim – za pierwszy kwartał 2010 r.)

W Kętrzynie rejestruje się prędkości wiatru zdecydowanie wyższe niż w Katowicach, porównywalne do mierzonych w Gdańsku. W porównaniu do średniej wieloletniej, w pierwszych trzech miesiącach 2010 r. znacznie częściej obserwowany był wiatr zachodni i południowo zachodni.



Rysunek 4.3.6.13. Róże stężeń i napływu pyłu $PM_{2,5}$ dla Diablej Góry w I kwartale 2010 r.

Nie obserwuje się korelacji stężeń $PM_{2,5}$ z prędkością wiatru. (współczynnik korelacji -0,01)

4.3.7. Określenie źródeł pochodzenia zanieczyszczeń podczas epizodów PM na podstawie kryteriów meteorologicznych

Opis otoczenia stacji pomiarowych

Przy próbie określenia źródeł pochodzenia zanieczyszczeń w epizodach (tabela 4.3.6.1.) postępowano w ten sposób, że najpierw przeanalizowano pomiary dla stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska (KMŚ) „Puszcza Borecka" i porównywano z pomiarami ze stacji w Gdańsku położonej na ul. Leczkowa oraz w Katowicach z ul. W. Stwosza i ul. S. Kossutha.

Stacja KMŚ Puszcza Borecka jest stacją Instytutu Ochrony Środowiska PIB w Warszawie, przeznaczoną do prowadzenia badań długoterminowych zmian zachodzących w środowisku pod wpływem antropopresji. Prowadzony jest tam monitoring zanieczyszczenia środowiska na poziomie tła. Stacja ta położona jest w rejonie leśniczówki "Diabla Góra", na zachodnim skraju Puszczy Boreckiej. W pobliżu tej lokalizacji nie występują ani większe obszary zurbanizowane ani emitory punktowe, można więc z dobrym przybliżeniem uważać ją za stację „tła".

Stacja pomiarowa w Gdańsku położona przy ulicy Konrada Leczkowa znajduje na terenie zurbanizowanym o zabudowie mieszanej, z budynkami wielokondygnacyjnymi i zabudową jednorodzinną. W odległości 500 m w kierunku południowym przebiega ruchliwa droga wojewódzka 468 oraz wielotorowa linia kolejowa, a od północnego wschodu rozciąga się Aleja Generała Józefa Hallera. W kierunku wschodnim w odległości około 15 km znajduje się Elektrociepłownia Gdańska, a za nią zaczyna się delta Wisły, za kanałem Kaszubskim w odległości 15 km od EC Gdańsk znajdują się Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych „Fosfory" Sp. z o.o. W kierunku południowo-wschodnim w odległości około 8 km od ul. Leczkowa znajduje się Rafineria Gdańska S.A., a 2 km dalej położone jest zwałowisko fosfogipsu Gdańskich Zakładów Nawozów Fosforowych. Z południa i od strony zachodnio-południowej stację pomiarową otaczają dzielnice mieszkaniowe.

W odległości 3 km w kierunku północno-wschodnim znajduje się składowisko popiołów EC Gdańsk, a dalej zaczyna się zabudowa Portu Północnego. Stacja pomiarowa jest usytuowana na terenie, gdzie zgodnie z danymi zawartymi w załączniku nr 3 do Rozporządzenia Nr 33/2007 Wojewody Pomorskiego z dnia 19 grudnia 2007 r. dominuje emisja powierzchniowa, której udział procentowy emisji powierzchniowej w imisji rocznej PM_{10} w receptorach na obszarze aglomeracji trójmiejskiej zawiera się w przedziale 61 do 77 %. Dane te są także podane przez Hannę Dzikowską - Zastępcę dyrektora Wydziału Środowiska i Rolnictwa Pomorskiego Urzędu Wojewódzkiego w Gdańsku na warsztatach: Zarządzanie jakością powietrza – Międzyzdroje 6-7.09.07 r. w prezentacji pt. „Program ochrony powietrza dla aglomeracji trójmiejskiej i jego wdrażanie".

Stacja pomiarowa położona przy ulicy S. Kossutha w Katowicach jest położona na obszarze zajmowanym przez budownictwo mieszkaniowe,

Pomiary prowadzone przy ul. Wita Stwosza w Katowicach prowadzone są w podobnie ukształtowanym terenie co stacji powyżej, z tym, że stacja położona jest przy autostradzie A4.

Zgodnie z danymi zawartymi w opracowaniu „Program ochrony powietrza dla stref województwa śląskiego, w których stwierdzone zostały ponadnormatywne poziomy substancji w powietrzu", dla Śląskiego Urzędu Marszałkowskiego, załącznik do uchwały Nr III/52/15/2010 Sejmiku Województwa Śląskiego z dnia 16 czerwca 2010 r. dla Katowic w obszarze przekroczenia stężeń udział poszczególnych rodzajów emisji wygląda następująco: emisja powierzchniowa 65%, źródła liniowe 19%, punktowe 16%, a dla pobliskiego

Chorzowa dane te są następujące: emisja powierzchniowa 75,3%, źródła liniowe 12,4%, a punktowe 12,3%.

Metodyka pracy

Analizy smogowe prowadzono w ten sposób, że najpierw wprowadzono kategoryzację prędkości zmierzoną na stacjach i policzono średnią dobową. Przyjęto następujące kryteria:

- jeśli prędkość była poniżej 2 m/s to przyjmowano, że wzrost stężenia był spowodowany przede wszystkim przez emisję powierzchniową,
- w wypadku występowania wiatru o prędkości powyżej 3 m/s zakładano znaczący udział źródeł dalekich,
- gdy prędkość wiatru była z przedziału 2 do 3 m/s prowadzono analizę posługując się dodatkowo danymi meteorologicznymi takimi jak temperatura i kierunek wiatru a także wilgotność i ciśnienie.

W przypadku epizodów wysokich stężeń poza warunkami lokalnymi, które miały charakter dominujący, należy brać pod uwagę także warunki ogólno cyrkulacyjne.

Wyniki

Poniżej w tabeli przedstawiono wybrane do szczegółowej analizy epizody wysokich stężeń zanieczyszczeń pyłowych w roku 2010 na tle warunków anemologicznych. Kolorem czerwonym oznaczono te dni, gdy średnia prędkość wiatru przekraczała 3 m/s, kolorem zielonym, gdy średnia prędkość wiatru była z przedziału 2 do 3 m/s, a niebieskim gdy średnia prędkość wiatru była do 2 m/s.

Tabela 4.3.6.1. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego w roku 2010 na tle warunków anemologicznych (kolor czerwony, prędkość wiatru > 3 m/s, kolor zielony – prędkość wiatru 2 – 3 m/s, kolor niebieski – prędkość wiatru < 2 m/s; podkreśleniem zaznaczono epizody dla których wykonano analizy chemiczne, pogrubieniem – najwyższe zmierzone wartości).

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. [µg/m^3]				
	> 150	**> 50**	**> 50**	**> 30**	**> 30**
05-01-2010	-	-	-	-	39
06-01-2010	-	-	50	41	-
07-01-2010	214	152	75	62	40
08-01-2010	152	147	-	-	**69**
15-01-2010	-	-	54	41	-
19-01-2010	170	108	50	36	-

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. [µg/m^3]				
	> 150	> 50	> 50	> 30	> 30
25-01-2010	211	124	**144**	**114**	47
26-01-2010	206	199	116	93	37
27-01-2010	**319**	**229**	-	-	37
01-02-2010	140	87	-	-	-
02-02-2010	-	-	-	-	49
08-02-2010	-	-	105	82	-
09-02-2010	159	126	112	89	47
10-02-2010	-	-	113	92	-
16-02-2010	168	129	74	55	-
17-02-2010	-	-	60	46	-
18-02-2010	-	-	75	57	-
19-02-2010	-	-	77	54	58
25-02-2010	168	114	-	-	-
26-02-2010	-	-	89	61	-
11-03-2010	-	-	72	54	-
31-03-2010	-	-	58	42	-

Stacje pomiarowe występujące w tabeli dla dalszej analizy oznaczono następującymi kodami:

1. stacja Puszcza Borecka Diabla Góra – PBDG,
2. stacja w Gdańsku na ulicy Leczkowa – GdaL,
3. stacja w Katowicach na ul. S. Kossutha – KatSK,
4. stacja w Katowicach na ul. W. Stwosza – KatWS.

Epizod z dnia 05-01-2010 r. obserwowane stężenie pyłu $PM_{2,5}$ na stacji PBDG przy zmieniających się kierunkach wiatru od 181 stopni do 139 stopni i przy braku w pobliżu większych emitorów punktowych sugeruje, że było to spowodowane dalekim transportem znad środkowej Polski i środkowych Niemiec, jak można zobaczyć na wykresach trajektorii wstecznych.

Epizod z dnia 06-01-2010 na stacji GdaL wiatr wiejący zmienia kierunek od 138 do 226 stopni, a temperatura wynosi przez całą dobę poniżej – 6 stopni i prędkość zmienia się od 4 do 2 m/s, główny wkład na podwyższenie stężeń mają emisja powierzchniowa znad śródmieścia Gdańska i liniowa z arterii komunikacyjnych Gdańska.

Epizod z dnia 07-01-2010 zaobserwowano wzrost zanieczyszczeń na wszystkich stacjach prędkość wiatru i temperatura sugeruje emisję powierzchniową, ale o ile jest to

prawdopodobne w wypadku stacji GdaL oraz KatSK i KatWS to napływ pyłu na stację PBDG jest spowodowany prawdopodobnie ściąganiem pyłu znad Zatoki Gdańskiej.

Epizod z dnia 08-01-2010 dla stacji KatWS i KatSK ze względu na temperaturę i prędkość wiatru stężenia zostały podniesione poprzez emisję powierzchniową, ponadto na kierunku wiatru znajduje się odległa o około 6 km Elekrociepłownia Będzin S.A. Epizod na stacji PBDG był prawdopodobnie spowodowany napływem pyłu znad zachodniej Białorusi i Ukrainy.

Epizod z dnia 15-01-2010 na stacji GdaL był spowodowany przez emisję powierzchniową, gdyż temperatura w ciągu całej doby była poniżej –7 stopni.

Epizod z dnia 19-01-2010 dla stacji KatSK i KatWS podniesienie stężeń spowodowane było prawdopodobnie emisją powierzchniową, pod koniec dnia (godz. 19-23), ze względu na wzrost siły wiatru mógł się zaznaczyć wpływ Elektrociepłowni Będzin S.A. Na stacji GdaL warunki meteorologiczne wskazują na napływ znad Rafinerii Gdańskiej.

Epizod z dnia 25-01-2010, obserwowany jest w tym dniu na wszystkie stacje napływ cząstek z dalekiego transportu zza wschodniej granicy Polski. O ile dla stacji PBDG napływ znad Obwodu Kalingradzkiego i Litwy wydaje się jedynym źródłem wystąpienia epizodu, to dla stacji KatSK i KatWS spowodowane to jest emisją powierzchniową (temperatura zmienia się od –8,2 do –19,3), podobnie dla stacji GdaL.

Epizod z dnia 26-01-2010 dla stacji KatWS i KatSK spowodowany był przez emisję powierzchniową, podobnie dla stacji GdaL. Dla stacji PBDG to prawdopodobnie daleki napływ znad środkowo-północnej Polski i Niemiec.

Epizod z dnia 27-01-2010 dla KatWS i KatSK był spowodowany prawdopodobnie emisją powierzchniową (temperatura –20,3 do –8,0). Epizod na stacji PBDG to prawdopodobnie daleki napływ znad zachodnio-północnej Ukrainy.

Epizod z dnia 01-02-2010 dla stacji KatWS i KatSK był spowodowany przez emisję powierzchniową, a także napływ znad Alei Górnośląskiej i kopalni „Wujek” (zwiększenie prędkości wiatru w ciągu dnia).

Epizod z dnia 02-02-2010 na stacji PBDG prawdopodobny napływ znad Białorusi i Ukrainy.

Epizod z dnia 08-02-2010 dla stacji GdaL spowodowany został przez emisję powierzchniową a dla stacji PBDG to prawdopodobnie napływ znad wschodniej granicy Polski.

Epizod z dnia 09-02-2010 dla stacji KatWS i KatSK prawdopodobnie został spowodowany przez emisję powierzchniową tak jak dla stacji GdaL (niskie temperatury i mała prędkość wiatru). Dla stacji PBDG to prawdopodobny napływ znad granicy wschodniej Polski.

Epizod z dnia 10-02-2010 dla stacji GdaL został spowodowany emisją powierzchniową.

Epizod z dnia 16-02-2010 dla stacji GdaL był spowodowany emisją powierzchniową, dla stacji KatWS i KatSK wzrost stężenia pyłów został najprawdopodobniej emisją powierzchniową.

Epizod z 17-02-2010 i 18-01-2010 dla stacji GdaL to prawdopodobnie spowodowany silnym wiatrem napływ znad Rafinerii Gdańskiej.

Epizod z dnia 19-02-2010 dla stacji był spowodowany stosunkowo dużą prędkością wiatru i dużą zmiennością kierunku (od 201 do 82 stopni) napływem cząstek pyłu znad zabudowy urbanistycznej (niska emisja) i w dużej części napływem znad: Rafinerii Gdańskiej, Gdańskich Zakładów Nawozów Fosforowych, Elektrociepłowni Gdańskiej oraz składowiska

popiołów Elektrociepłowni Gdańskiej. Wzrost stężenia na PBDG to najpewniej napływ znad północno–zachodniej Polski i Niemiec.

Epizod z dnia 25-02-2010 dla stacji KatWS i KatSK został prawdopodobnie wywołany poprzez emisję powierzchniową.

Epizod z dnia 26-02-2010 dla stacji GdaL jest prawdopodobnie wynikiem dalekiego transportu prawdopodobnie znad centralnej Polski.

Epizod z dnia 11-03-2010 dla stacji GdaL spowodowany został emisją powierzchniową (nocą temperatury poniżej –5 stopni i mała prędkość wiatru).

Epizod z dnia 31-03-2010 dla stacji GdaL wiatr o zmiennej sile i kierunku zachodnim i stosunkowo niska temperatura jak na tę porę (w nocy do 4 stopni, w dzień 13 stopni) sugerują emisję powierzchniową jako główną przyczynę tego epizodu.

4.3.8. Typ cyrkulacji atmosfery jako metoda oceny częstości występowania epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu

Charakterystyczną dla obszaru Polski sytuację cyrkulacyjną określono na podstawie klasyfikacji typów cyrkulacji Lityńskiego. Jest to liczbowa klasyfikacja oparta o wartości współczynników cyrkulacji równoleżnikowej i południkowej w obszarze 40^o - 65^o N i 0^o - 35^o E oraz o wartość ciśnienia w Warszawie. Na tej podstawie utworzono po 8 klas zależnych od kierunku spływu (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) dla sytuacji antycyklonalnej (a), cyklonalnej (c) i zerowej ($_0$) oraz 3 klasy (a, c, $_0$) dla sytuacji z zerową (0) wartością obu współczynników cyrkulacji strefowej, co daje razem 27 klas (tabela 4.3.7.1.).

Tabela 4.3.7.1. Wykaz typów cyrkulacji według Lityńskiego

Nr	Symbol	Opis typu	Nr	Symbol	Opis typu
1.	Nc	północny cyklonalny	14.	S_0	południowy zerowy
2.	N_0	północny zerowy	15.	Sa	południowy antycyklonalny
3.	Na	północny antycyklonalny	16.	SWc	południowo-zachodni cyklonalny
4.	NEc	północno-wschodni cyklonalny	17.	SW_0	południowo-zachodni zerowy
5.	NE_0	północno-wschodni zerowy	18.	SWa	południowo-zachodni antycyklonalny
6.	NEa	północno-wschodni antycyklonalny	19.	Wc	zachodni cyklonalny
7.	Ec	wschodni cyklonalny	20.	W_0	zachodni zerowy
8.	E_0	wschodni zerowy	21.	Wa	zachodni antycyklonalny

Nr	Symbol	Opis typu	Nr	Symbol	Opis typu
9.	Ea	wschodni antycyklonalny	22.	NWc	północno-zachodni cyklonalny
10.	SEc	południowo-wschodni cyklonalny	23.	NW_0	północno-zachodni zerowy
11.	SE_0	południowo-wschodni zerowy	24.	NWa	północno-zachodni antycyklonalny
12.	SEa	południowo-wschodni antycyklonalny	25.	0c	zerowy cyklonalny (centrum niżu)
13.	Sc	południowy cyklonalny	26.	0_0	zerowy siodłowy
			27.	0a	zerowy antycyklonalny (centrum wyżu)

Analizę warunków synoptycznych dla Polski przeprowadzono w oparciu o dane z okresu 2001 – 2010 dla następujących okresów:

- wielolecie 2001-2010,
- sezon chłodny 2001-2010 tj. I i IV kwartał (I-III, X-XII),
- sezon ciepły 2001-2010 tj. II i III kwartał (IV-IX),
- zima 2001-2010 (I, II, XII),
- wiosna 2001-2010 (III, IV, V),
- lato 2001-2010 (VI, VII, VIII),
- jesień 2001-2010 (IX, X, XI).

Częstotliwości występowania poszczególnych typów klasyfikacji Lityńskiego dla poszczególnych okresów przedstawiono w tabeli 4.3.7.2.

Dla poszczególnych okresów oznaczono 12 typów cyrkulacji atmosfery najczęściej kształtujących między innymi warunki napływu mas powietrza na obszarze Polski.

Tabela 4.3.7.2. Częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji Lityńskiego w wieloleciu 2001-2010

Typ cyrkulacji według Lityńskiego (udział %)																									
N_a	**NE_a**	**E_a**	**SE_a**	**S_a**	**SW_a**	**W_a**	**NW_a**	**0_a**	**N_0**	**NE_0**	**E_0**	**SE_0**	**S_0**	**SW_0**	**W_0**	**NW_0**	**0_0**	**N_c**	**NE_c**	**E_c**	**SE_c**	**S_c**	**SW_c**	**W_c**	**NW_c**	**0_c**
wielolecia 2001-2010																									
5,1	**5,1**	**5,7**	3,7	**4,3**	**3,9**	3,6	3,7	**4,3**	2,8	2,5	1,8	2,0	2,7	**4,0**	3,3	***3,8***	3,0	**4,3**	3,0	2,9	2,4	**4,6**	**5,0**	3,5	**5,8**	3,0
sezon chłodny 2001-2010 - I i IV kwartał (I-III, X-XII)																									
4,9	**4,4**	**5,1**	3,4	***3,8***	**4,3**	2,7	3,3	**4,2**	3,3	2,4	1,6	2,0	2,7	**4,3**	3,1	*3,8*	3,2	**4,7**	2,5	2,7	2,3	**5,4**	**5,8**	**4,4**	**6,6**	3,1
sezon ciepły 2001-2010 - II i III kwartał (IV-IX)																									
5,2	**5,9**	**6,3**	**4,0**	**4,9**	3,5	**4,5**	**4,2**	**4,4**	2,2	2,7	1,9	2,1	2,7	3,7	3,6	3,8	2,8	***3,9***	3,5	3,2	2,5	***3,9***	**4,3**	2,6	**5,0**	2,8
zima 2001-2010 (I, II, XII)																									
5,3	**4,5**	**5,3**	**4,5**	3,0	3,7	2,1	***3,9***	3,5	**4,0**	2,8	2,1	2,2	2,8	**4,4**	3,5	***3,9***	2,8	**3,9**	2,3	2,3	2,7	**6,8**	**5,7**	3,2	**5,3**	3,4
wiosna 2001-2010 (III, IV, V)																									
6,0	**5,8**	**6,2**	**4,1**	**5,2**	3,2	***4,1***	**4,2**	4,0	2,4	2,9	1,5	1,1	2,0	***4,1***	3,0	3,9	2,8	***4,1***	2,2	3,5	2,6	3,6	**5,3**	**4,3**	**5,2**	2,5
lato 2001-2010 (VI, VII, VIII)																									
5,0	**5,5**	**6,8**	3,4	**4,5**	3,8	**5,1**	3,8	**4,5**	2,2	2,2	1,8	1,6	3,2	3,0	***3,9***	3,6	3,3	**5,1**	***3,9***	2,9	2,1	**4,1**	**4,0**	2,5	**5,0**	3,2
jesień 2001-2010 (IX, X, XI)																									
4,0	**4,7**	**4,4**	2,7	**4,6**	**5,1**	3,2	3,0	**5,3**	2,6	2,3	1,5	3,2	2,9	**4,4**	2,9	3,7	3,2	**4,1**	3,5	3,0	2,2	**4,1**	**5,2**	***4,0***	**7,7**	2,7

Typ cyrkulacji występujący w poszczególnych dniach epizodów podwyższonych poziomów pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 4.3.7.3. Typ cyrkulacji podczas wybranych epizodów pyłowych w roku 2010

Typ cyrkulacji według Lityńskiego	**Częstość występowania w roku**	**Data**	**Stacje na których zanotowano epizod**
południowo-wschodni zerowy SE_0	2,0 %	05-01-2010	Diabla Góra
południowo-wschodni cyklonalny SE_c	2,4 %	06-01-2010	Gdańsk
		16-02-2010	Katowice, Gdańsk
		17-02-2010	Gdańsk
		18-02-2010	Gdańsk
		19-02-2010	Gdańsk, Diabla Góra
wschodni cyklonalny E_c	2,9 %	07-01-2010	Katowice, Gdańsk, Diabla Góra
		09-02-2010	Katowice, Gdańsk, Diabla Góra
		10-02-2010	Gdańsk
wschodni antycyklonalny E_a	5,7 %	08-01-2010	Katowice, Diabla Góra
		25-01-2010	Katowice, Gdańsk, Diabla Góra;
południowo-wschodni antycyklonalny SE_a	3,7 %	15-01-2010	Gdańsk
		19-01-2010	Katowice, Gdańsk
		26-01-2010	Katowice, Gdańsk, Diabla Góra
południowy antycyklonalny S_a	4,3 %	27-01-2010	Katowice, Diabla Góra
zerowy cyklonalny 0_c	3,0 %	01-02-2010	Katowice
		02-02-2010	Diabla Góra
wschodni zerowy E_o	1,8 %	08-02-2010	Gdańsk
południowy cyklonalny S_c	4,6 %	25-02-2010	Katowice
		26-02-2010	Gdańsk
		31-03-2010	Gdańsk
północno-zachodni zerowy NW_0	3,8 %	11-03-2010	Gdańsk

W analizowanym okresie:

- 2 epizody wystąpiły tylko w Diablej Górze: 05-01-2010 (SE_0) i 02-02-2010 (0_c);
- 9 epizodów wystąpiło tylko w Gdańsku: 06-01-2010, 17-02-2010, 18-02-2010 (SE_c), 15-01-2010 (SE_a), 08-02-2010 (E_o), 10-02-2010 (E_c), 26-02-2010, 31-03-2010 (S_c), 11-03-2010 (NW_0);
- 2 epizody wystąpiły tylko w Katowicach: 01-02-2010 (0_c), 25-02-2010 (S_c);
- 2 epizody wystąpiły w Katowicach i Diablej Górze: 08-01-2010 (E_a), 27-01-2010 (S_a);
- 2 epizody wystąpiły w Katowicach i Gdańsku: 19-01-2010 (SE_a), 16-02-2010 (SE_c);

- 1 epizod wystąpił w Gdańsku i Diablej Górze: 19-02-2010 (SE_c);
- 4 epizody wystąpiły w Katowicach, Gdańsku i Diablej Górze: 07-01-2010 (E_c), 25-01-2010 (E_a), 26-01-2010 (SE_a), 09-02-2010 (E_c).

Jak wynika z analizy wyników epizody wysokich stężeń pyłu w większości przypadków występowały w 10 spośród 27 sytuacji synoptycznych Lityńskiego w typach sklasyfikowanych jako antycyklonalne (E_a, SE_a, S_a), bądź cyklonalne (SE_c, E_c, S_c) i zerowe (SE_o, E_o, 0_0) o wspólnej cesze: słabym gradiencie poziomym ciśnienia a więc dużym wpływie lokalnych warunków meteorologicznych. Udział sytuacji synoptycznych sprzyjających powstawaniu wspólnych epizodów we wszystkich stacjach wynosi 12,3% wszystkich sytuacji (10,8% sytuacji w porze chłodnej). Nie oznacza to jednak, że każdorazowe wystąpienie danego typu cyrkulacji skutkuje powstaniem epizodu wysokiego stężenia pyłu. Do zaistnienia epizodu potrzeba jeszcze jednoczesnego wystąpienia innych sprzyjających okoliczności meteorologicznych.

W tabeli 4.3.7.4. zbiorczo przedstawiono warunki charakteryzujące analizowane sytuacje podwyższonych stężeń pyłu zawieszonego w roku 2010.

Tabela 4.3.7.4. Syntetyczna analiza warunków meteorologicznych dla zdiagnozowanych epizodów w pyle w 2010 roku

Data epizodu	Stacja pomia-rowa	PM_{10} [µg/m^3]	$PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Opad wzdłuż trajektorii > 0,2mm 0-12 / 12-24	Typ cyrkulacji Lityńskiego	Średnia prędkość wiatru dolnego [m/s]	Kierunek wiatru dolnego (średnia wektorowa)	Wysokość warstwy mieszania o 12 UTC [m]	Kierunek trajektorii	Potencjalne odległe obszary źródłowe (wysokość trajektorii 300 m)	Potencjalny wpływ na stężenia 0-12 UTC / 12-24 UTC
5.01.2010	Diabla Góra		39	-/-	SE_0	> 3	SSW	360	SW	centralna Polska, środkowe Niemcy	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na wysokościach 300 i 500 m)
6.01.2010	Gdańsk	50	41	-/-	SE_c	> 3	SSE	320	SE	Zachodnia Białoruś i Ukraina	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
7.01.2010	Katowice	214	152	-/-	E_c	< 2	SSW	640	SW	Czechy	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
	Gdańsk	75	62	-/-		2 - 3	SW	230	NE	Bałtyk	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
	Diabla Góra		40	+-/-		< 2	SW	380	cykloniczn ie z SE	Białoruś	raczej duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach, choć możliwe wejście w strefę opadów)
8.01.2010	Katowice	152	147	-/+	E_a	> 3	NE	370	SW-S-SE	Czechy/Polska, Ukraina	średni/mały (opad)
	Diabla Góra		**69**	+/+		< 2	E	130	W-N	Gdańsk	raczej mały (trajektorie po około 3 godz. spotykają obszar z opadami)
15.01.2010	Gdańsk	54	41	-/-	SE_a	< 2	S	260	SE	granica ukraińsko-białoruska	duży (bardzo mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych

Data epizodu	**Stacja pomia-rowa**	**PM_{10} [µg/m^3]**	**$PM_{2,5}$ [µg/m^3]**	**Opad wzdłuż trajektorii > 0,2mm 0-12 / 12-24**	**Typ cyrkulacji Lityńskiego**	**Średnia prędkość wiatru dolnego [m/s]**	**Kierunek wiatru dolnego (średnia wektorowa)**	**Wysokość warstwy mieszania o 12 UTC [m]**	**Kierunek trajektorii**	**Potencjalne odległe obszary źródłowe (wysokość trajektorii 300 m)**	**Potencjalny wpływ na stężenia 0-12 UTC / 12-24 UTC**
											wysokościach)
19.01.2010	Katowice	170	108	-/-	SE_a	< 2	E	240	W-SSW-E	Czechy	mały (duża zmienność kierunku spływu, niskie prędkości wiatru 14-21 UTC)
	Gdańsk	50	36	-/-		> 3	SSE	380	SE	północno-zachodnia Ukraina	średni (bardzo mała zmienność dobowa wiatru)
25.01.2010	Katowice	211	124	-/-	E_a	< 2	E	170	SE, E	Ukraina, Białoruś	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
	Gdańsk	**144**	**114**	-/-		2 - 3	SSW	250	E	Litwa, Białoruś granica białorusko-litewska	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
	Diabla Góra		47	-/-		< 2	ESE	195	E, NE	Litwa, Białoruś granica białorusko-litewska	duży (stosunkowo mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
26.01.2010	Katowice	206	199	-/-	SE_a	< 2	ENE	250	SE-E-NE	Ukraina	średni
	Gdańsk	116	93	-/-		2 - 3	WSW	430	N-NE	Bałtyk, zachodnia Litwa, Łotwa	średni (stosunkowo mała zmienność dobowa wiatru)
	Diabla Góra		37	-/-		< 2	WSW	370	N	zachodnia Litwa, Łotwa., Estonia	duży (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
27.01.2010	Katowice	**319**	**229**	-/-	S_a	2 - 3	SSW	270	SW-N-NE	Polska, Czechy	mały (duża zmienność kierunku spływu, niskie prędkości wiatru, bardzo niskie temperatury)

Data epizodu	**Stacja pomia-rowa**	**PM_{10} [µg/m^3]**	**$PM_{2,5}$ [µg/m^3]**	**Opad wzdłuż trajektorii > 0,2mm 0-12 / 12-24**	**Typ cyrkulacji Lityńskiego**	**Średnia prędkość wiatru dolnego [m/s]**	**Kierunek wiatru dolnego (średnia wektorowa)**	**Wysokość warstwy mieszania o 12 UTC [m]**	**Kierunek trajektorii**	**Potencjalne odległe obszary źródłowe (wysokość trajektorii 300 m)**	**Potencjalny wpływ na stężenia 0-12 UTC / 12-24 UTC**
	Diabla Góra		37	-/-		> 3	WSW	260	NE/SW	przed południem kraje Bałtyckie, po południu centralna Polska	trudny do określenia
1.02.2010	Katowice	140	87	-/- (tylko ok. 12 UTC+)	0_c	2 - 3	SSW	490	WNW	Sudety, środkowe Niemcy	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
2.02.2010	Diabla Góra		49	-/-	0_c	> 3	SSW	640	W	centralna i zachodnia Polska, zachodnie Niemcy	duży (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
8.02.2010	Gdańsk	105	82	-/-	E_o	< 2	SSW	290	E, dalej SE	Zatoka Gdańska, Obwód Kaliningradzki, granica polsko-białoruska, Ukraina	średni (stosunkowo mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach ale niskie prędkości wiatru)
9.02.2010	Katowice	159	126	-/-	E_c	< 2	ENE	480	S-E-NE	Polska, Słowacja	bardzo mały (duża zmienność kierunku napływu z wysokością, bardzo małe prędkości wiatru)
	Gdańsk	112	89	-/-		2 - 3	SSW	370	E-N-NW	Bałtyk	mały (niskie prędkości wiatru, duża zmienność dobowa kierunku wiatru)
	Diabla Góra		47	-/-		< 2	SE	380	SE	Południowo-zachodnia Białoruś, Ukraina	duży (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
10.02.2010	Gdańsk	113	92	-/-	E_c	< 2	ESE	430	SE	wschodnia Polska, zachodnia. Ukraina	duży (mała zmienność dobowa kierunku wiatru,

Data epizodu	**Stacja pomia-rowa**	**PM_{10} [µg/m^3]**	**$PM_{2,5}$ [µg/m^3]**	**Opad wzdłuż trajektorii > 0,2mm 0-12 / 12-24**	**Typ cyrkulacji Lityńskiego**	**Średnia prędkość wiatru dolnego [m/s]**	**Kierunek wiatru dolnego (średnia wektorowa)**	**Wysokość warstwy mieszania o 12 UTC [m]**	**Kierunek trajektorii**	**Potencjalne odległe obszary źródłowe (wysokość trajektorii 300 m)**	**Potencjalny wpływ na stężenia 0-12 UTC / 12-24 UTC**
											podobny przepływ na różnych wysokościach)
16.02.2010	Katowice	168	129	-/-	SE_c	< 2	SSW	410	N przed /S po południu	Polska przed/ obszar graniczny Czech, Austrii, Słowacji, Węgier po południu	duży (poza godzinami około południowymi, wtedy niskie prędkości wiatru)
	Gdańsk	74	55	+/+		< 2	S	400	SE-NE	Zatoka Gdańska, Litwa, Obwód Kaliningradzki,	raczej mały (stosunkowo duża zmienność dobowa kierunku wiatru, choć podobny przepływ na różnych wysokościach, strefa opadu po 6 godzinach)
17.02.2010	Gdańsk	60	46	-/-	SE_c	> 3	ESE	520	S	centralna Polska, około południa możliwy wpływ Śląska	duży (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
18.02.2010	Gdańsk	75	57	-+/+-	SE_c	> 3	ESE	220	SW-S-SE	Polska, Czechy, Słowacja	raczej mały (strefa opadu po 9 godzinach)
19.02.2010	Gdańsk	77	54	+/+	SE_c	< 2	SSE	80	W	północna Polska,	średni (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, duża prędkość, podobny przepływ na różnych wysokościach, ale trajektorie przechodzą przez strefę opadów)
	Diabla Góra		58	+/+		< 2	SSE	180	W	północna Polska,	średni (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, duża prędkość, podobny przepływ na różnych wysokościach ale trajektorie przechodzą przez strefę opadów)

Data epizodu	**Stacja pomia-rowa**	**PM_{10} [µg/m^3]**	**$PM_{2,5}$ [µg/m^3]**	**Opad wzdłuż trajektorii > 0,2mm 0-12 / 12-24**	**Typ cyrkulacji Lityńskiego**	**Średnia prędkość wiatru dolnego [m/s]**	**Kierunek wiatru dolnego (średnia wektorowa)**	**Wysokość warstwy mieszania o 12 UTC [m]**	**Kierunek trajektorii**	**Potencjalne odległe obszary źródłowe (wysokość trajektorii 300 m)**	**Potencjalny wpływ na stężenia 0-12 UTC / 12-24 UTC**
25.02.2010	Katowice	168	114	-/-	S_c	< 2	SSE	520	SW	Czechy, środkowe Niemcy	duży (mała zmienność dobowa wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach)
26.02.2010	Gdańsk	89	*61*	-/-	S_c	> 3	SSE	320	S	Śląsk, Czechy, Słowacja, Węgry, Rumunia	duży (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach, duża prędkość wiatru)
11.03.2010	Gdańsk	72	54	-/-	NW_0	< 2	ENE	245	SSE	Centralna Polska	średni (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach ale mała prędkość wiatru)
31.03.2010	Gdańsk	58	42	-/-	S_c	< 2	SE	1130	S	Słowacja, Węgry, Bałkany	duży do godzin wieczornych (mała zmienność dobowa kierunku wiatru, podobny przepływ na różnych wysokościach, duża prędkość wiatru)

4.3.9. Wpływ erupcji wulkanicznej i pożarów lasów na stężenie pyłu w przyziemnej warstwie atmosfery między innymi na podstawie zdarzeń w roku 2010

Atmosfera ziemska składa się z gazów, aerozoli, cząsteczek pary wodnej i kryształków lodu. Składniki te występują w rozmaitym stosunku zależnym od odległości od powierzchni, oraz warunków fizycznych panujących w określonym obszarze. Zwykle przez dolną atmosferę rozumie się dwie dolne warstwy tzn. troposferę i stratosferę. Większość procesów mających wpływ na życie ziemi przebiega w troposferze, występuje tutaj największe stężenie gazów i aerozoli, a także procesy fizyczne związane z chmurami. Antropopresja na atmosferę występuje głównie w warstwie granicznej, która osiąga wysokość nad lądem około 2 km, a nad morzem około 1 km. W atmosferze w wyniku reakcji heterogenicznych powstają aerozole. W Polsce według normy PN-64/Z-01001 aerozol to: układ dwufazowy ciało stałe – gaz, czy też układ trójfazowy ciało stałe-ciecz-gaz, jeśli stopień rozdrobnienia fazy rozproszonej jest tak duży, że w nieruchomym powietrzu o ciśnieniu 760 mm Hg i w temperaturze 20^{o}C ziarna ciała stałego lub kropelki cieczy, na które działa siła ciążenia, będą opadały ze stałą prędkością mniejszą od 0,5 m/s lub będą wykonywały ruchy Browna. Zwykle w literaturze poprzez aerozol rozumie się wszystkie (nawet najdrobniejsze) cząstki w stanie stałym lub ciekłym rozproszone w gazie. Do atmosfery cząstki emitowane są jako aerozole pierwotne lub wtórne. Wtórne aerozole powstają w wyniku konwersji gazów w cząstki zawieszone. Rozmiary ich sięgają od dziesiątków mikrometrów do kilku nanometrów. W zależności od rozmiarów aerozole dzieli się na dwie frakcje: grubą o średnicy > 1 μm i drobną poniżej 1 μm. Dla frakcji grubej depozycja przebiega głównie poprzez grawitacyjne opadanie, inercyjne opadanie i opad mokry, zwykle nie przemieszcza się dalej niż 100 km od źródła. Frakcja drobna usuwana jest z atmosfery przez mokry opad i dyfuzję turbulentną i może się przemieszczać do tysięcy kilometrów od źródła. Więcej na temat aerozoli można znaleźć w literaturze [Falkowska, Lewandowska 2009; Kalwas et al. 2007].

Źródła zanieczyszczenia atmosfery można podzielić na antropogenne i naturalne.

Naturalne źródła zanieczyszczeń powietrza to:

1. Wybuchy wulkanów.
2. Pożary lasów i stepów.
3. Wietrzenie chemiczne skał.
4. Napływ znad wielkich pustyń ziemskich.
5. Wyładowania atmosferyczne.
6. Pył kosmiczny.
7. Procesy biologiczne.
8. Aerozol morski.

Aerozole wulkaniczne

Wulkany obok pożarów lasów i stepów oraz napływu znad wielkich pustyń ziemskich są jednym z najważniejszych naturalnych źródeł zanieczyszczeń atmosfery. W czasie erupcji emitują na powierzchnię ziemi lub do atmosfery materiał wulkaniczny taki jak: materiały piroklastyczne, magmy (lawy) oraz substancje lotne w postaci gazów i par. Pyły i gazy wyemitowane do atmosfery mogą podlegać reakcjom chemicznym, tworząc aerozol wulkaniczny. Wśród gazów wydobywających się z wulkanu najwięcej bo od 50% do 90% jest

pary wodnej; oprócz tego występują: chlor, siarkowodór, dwutlenek siarki, dwutlenek węgla, wodór i metan. Gazy wydobywają się z wulkanu znacznie dłużej niż trwa wypływ lawy. Aerozol wulkaniczny, podobnie jak pył pustynny, zanieczyszczenia emitowane w trakcie wielkich pożarów lasów lub stepów czy wskutek działalności człowieka, może znacznie wpływać na warunki meteorologiczne.

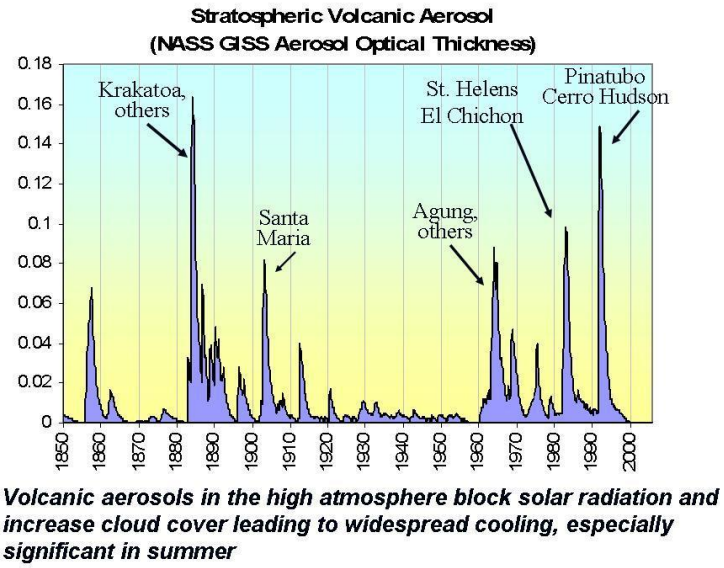
Wybuch wulkanu Krakatau 27 sierpnia 1883 r. w Indonezji spowodował, że wyspa Krakatau (utworzona przez trzy leżące w centralnej części kaldery, wulkany: Rakata, Danan oraz Perbuwatan) przestała istnieć - 2/3 powierzchni wyspy zniknęło, a na pozostałej części została zniszczona wszelka biologiczna aktywność, na powierzchni pozostała tylko wyspa Rakata. Mechanizm destrukcji wyspy jest wciąż przedmiotem sporów. Nie wiadomo do końca, czy wyspa Rakata zapadała się, czy też raczej została wysadzona w powietrze. Obecnie najbardziej rozpowszechniona teoria głosi, że tuż przed największym wybuchem wyspa zapadła się pod swoim ciężarem, a przez powstałe wskutek tego pęknięcia do wnętrza znajdującej się pod nią komory magmowej (której opróżnienie było przyczyną zapadnięcia się wyspy) wdarła się woda morska. Zetknięcie się wody z rozpaloną lawą spowodowało gwałtowne wytworzenie się olbrzymiej ilości przegrzanej pary wodnej, której wybuch był główną przyczyną eksplozji. Najbardziej tragicznym skutkiem wybuchu wulkanu Krakatau było powstanie olbrzymich fal morskich, znanych tsunami. Ich wysokość w Cieśninie Sundajskiej sięgała nawet 40 m. Spośród ok. 40 tys. (znanych) ofiar erupcji, większość zginęło wskutek ich działania. Na wybrzeżach Jawy i Sumatry zniszczonych zostało 165 wiosek. Fala tsunami o prędkości ponad 700 km/h obiegła połowę Ziemi, zanim zupełnie zanikła. Statki u wybrzeży Południowej Afryki zachybotały się w efekcie tsunami wywołanego erupcją. Gazy i pyły wulkaniczne uwolnione do atmosfery sprawiły, że przez około 3 lata Słońce widziane z Ziemi miało zabarwienie zielone.

Wbrew rozpowszechnianym wyobrażeniom, wybuch Krakatau nie był największym, znacznie potężniejszy był wybuch w 1815 r., wulkanu Tambora na indonezyjskiej wyspie Sumbawa. W jego wyniku rok 1816 przeszedł do historii jako "rok bez lata". Wybuch wulkanu Tambora miał dramatyczne skutki dla ziemskiej biosfery. W „bezpośrednim" otoczeniu zagłada była całkowita, wyrzucony do atmosfery materiały piroklastyczne poważnie ograniczyły ilość docierającego do ziemi światła słonecznego, powodując dramatyczny kryzys żywnościowy dla całego ówczesnego świata.

Wybuch wulkanu Eyjafjoll na Islandii w kwietniu 2010 r. spowodował perturbacje ruchu lotniczego nad półkulą północną.

Wpływ wybuchów wulkanów na klimat nie jest tak spektakularny ani tak efektowny, ale znacząco zauważalny na powierzchni Ziemi. Autorzy pracy Markowicz et al. [2010] twierdzą, że silne oddziaływanie wulkanów na klimat Ziemi wynika ze stosunkowo długiego czasu życia aerozoli wtórnych w atmosferze (głównie związków siarki). Tlenek siarki emitowany podczas silnych wybuchów wulkanów najczęściej dostaje się do stratosfery, gdzie w wyniku reakcji homogenicznych lub heterogenicznych ulega konwersji do kropelek kwasu siarkowego, tworząc w obecności innych cząstek złożone cząsteczki aerozoli. Aerozole te o rozmiarach od 0,3 do 0,5 μm należą do klasy akumulacyjnej [Falkowska, Lewandowska 2009], z powodu braku wilgotnej depozycji czas ich przebywania w atmosferze wynosi od kilku dni do kilku lat. Poprzez rozpraszanie i absorpcję promieniowania docierającego do atmosfery, a także pośrednio poprzez wpływ na własności fizyczne chmur, aerozole powstałe w wyniku erupcji wulkanicznych wpływają na własności klimatu. Prowadzi on do redukcji promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni ziemi i wzrostu albeda planetarnego. Tym samym głównie siarczany wulkaniczne przyczyniają się do ochładzania klimatu. Ten mechanizm ochładzania klimatu jest prawdziwy dla erupcji pliniańskiej gdzie

gazy i pyły wyrzucone zostają do stratosfery. W pracy Joe D'Aleo [http://icecap.us/images/uploads/HOW_VOLCANISM_AFFECTS_CLIMATE.pdf] został zaprezentowany wykres zależności grubości optycznej aerozolu stratosferycznego w zależności od czasu (rysunek 4.3.8.1.). Ponieważ grubość optyczna jest zależna od koncentracji aerozolu, jej szacowanie pozwala ocenić skalę erupcji wulkanicznej.



Rysunek 4.3.8.1. Globalny aerozol oszacowany przez grubość optyczną aerozolu wykonaną przez Sato z NASA GISS

Dla erupcji typu hawajskiego czy strombolińskiego, gdy wyrzut materiału wulkanicznego jest stosunkowo bliski, aerozol wulkaniczny nie osiąga stratosfery i jest stosunkowo szybko usuwany (rzędu dni) przez mokrą depozycję, wpływ tego typu wybuchów wulkanicznych na klimat jest stosunkowo niewielki. W pracy Mather, Pyle [2003] zostały zamieszczone dane dotyczące oszacowania emisji aerozoli i gazów z wulkanów i innych źródeł troposferycznych tabela 4.3.8.1.

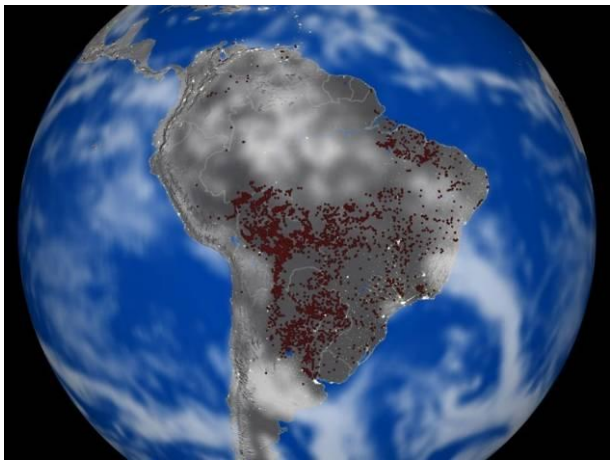
Tabela 4.3.8.1. Emisja aerozoli i gazów z wulkanów i innych źródeł

Materiał	**Średnioroczna emisja (Tg/rok)**
Emisja pierwotna:	
Sól morska	3340
Pył	2150
Aerozole pochodne węgla	150
Drobny popiół z małych erupcji wulkanicznych	20
Uśredniony po czasie powrotny strumień siarczanów ze stratosfery do górnej troposfery	0,5 - 2
Emisja wykorzystana do konwersji gaz-cząstka:	
Biogeniczne siarczki	25
Antropogeniczny SO_2	79
Wulkaniczny (SO_2), tylko troposferyczny	5 - 10

Jednym ze sposobów obserwacji i pomiarów erupcji wulkanów są pomiary lidarowe. Erupcja wulkanu Kasatochi na centralnej wyspie Aleutów wystąpiła w dniach 7-8 sierpnia 2008 roku i wyrzuciła materiał wulkaniczny do troposfery i dolnej stratosfery. Pomiary aerozolu wulkanicznego prowadzone były przez lidar umiejscowiony w Halifaksie w Nowej Szkocji. Pomiary prowadzono w tydzień po erupcji i 4 miesiące później [Bitar et al. 2010]. Wyniki zaprezentowane w cytowanej wyżej pracy pokazują efekt omówiony wcześniej, a mianowicie zanieczyszczenia ze stratosfery ze względu na brak mokrej depozycji są usuwane wolniej. Miarą wpływu wulkanów na klimat jest wymuszanie radiacyjne, opisujące zaburzenie bilansu radiacyjnego w systemie klimatycznym. Wymuszenie radiacyjne jest zdefiniowane jako zaburzenie równowagi energetycznej w systemie Ziemia – atmosfera, wyrażone w watach na metr kwadratowy. Wymuszenia radiacyjne mogą mieć znak dodatni, kiedy odnoszą się do ocieplenia klimatu, lub znak ujemny, kiedy stanowią o ochłodzeniu klimatu [Falkowska, Lewandowska 2009]. W pracy Markowicz et al. [2010] podano, że wymuszenie radiacyjne w przypadku erupcji wulkanu Pinatubo zostało oszacowane na poziomie -2,2 W/m^2. Wartość wymuszenia radiacyjnego spowodowanego produkcją gazów cieplarnianych przez populację ludzką jest szacowana na 2,6 W/m^2. Czyli w liczbach bezwzględnych te dwie wartości są porównywalne. Oprócz wpływu aerozolu wulkanicznego na lokalną równowagę radiacyjną, należy jeszcze wspomnieć o innych zjawiskach, a mianowicie wpływie pary wodnej emitowanej przez wulkany na wzrost temperatury powietrza a także na ubytki ozonu zachodzącymi w związku z reakcjami chemicznymi w obecności siarczynów. Pośredni wpływ aerozolu wulkanicznego na klimat jest związany z jego oddziaływaniem na własności fizyczne chmur. A mianowicie z jednej strony siarczany emitowane do atmosfery powodują wzrost ilości kropel kosztem ich rozmiaru, co powoduje wzrost albeda chmury i w konsekwencji ochładzanie, z drugiej strony cząstki pyłu wulkanicznego zaczynają pełnić rolę nowych centrów zamarzania w chmurach, co konsekwencji prowadzi też do wzrostu albeda chmury. Należy wspomnieć jeszcze o jednym ważnym z punktu widzenia klimatu fakcie, a mianowicie kwestii lokalizacji wulkanów. Bowiem, jeśli erupcja wystąpi na okołorównikowych szerokościach, to w ciągu roku albo dwóch wiatry rozprzestrzenią aerozol wulkaniczny na wszystkie szerokości geograficzne. Jednakże jeśli erupcja wystąpi na wyższych szerokościach to efekt globalny będzie mniej istotny, choć regionalne konsekwencje wybuchu mogą być znaczące.

Pożary lasów

Pożary lasów i stepów były naturalnym zjawiskiem na Ziemi, do czasu jak człowiek opanował posługiwanie się ogniem. Pożary z reguły były wywoływane przez długie susze i wyładowania atmosferyczne. Znacznie rzadziej przyczynami pożarów były erupcje wulkaniczne. Obecnie większość pożarów, zwłaszcza w regionach sub- i tropikalnych jest wywoływana sztucznie przez człowieka. Może to być spowodowane nieostrożnością lub złymi intencjami, ale (zwłaszcza) w regionach tropikalnych duże obszary wilgotnych lasów są wypalane, stanowiąc narzędzie do zarządzania użytkowaniem ziemią. Podczas spalania materiałów organicznych uwalniane są do atmosfery gazy i cząstki stałe. Gazy to głównie CO, CO_2, O_3, CH_4 i niemetanowe węglowodory, które są podstawowymi gazami cieplarnianymi a ich emisja w czasie pożarów jest największa, mniejszy wkład mają takie gazy jak amoniak czy tlenki azotu. Te ostatnie nie są co prawda gazami cieplarnianymi ale mają duży wkład w produkcję ozonu w atmosferze, który silnie absorbuje promieniowanie podczerwone. Oprócz frakcji gazowej w czasie pożarów emitowane są do atmosfery cząstki stałe, które przyczyniają się do wzrostu aerozoli w troposferze. Na rysunku 4.3.8.2. pokazano (ze strony http://svs.gsfc.nasa.gov) przykład pożaru biomasy w Ameryce Południowej w dniu 7 października 2004 roku.



Rysunek 4.3.8.2. Pożar biomasy w Ameryce Południowej w dniu 7 października 2004 roku (źródło: http://svs.gsfc.nasa.gov)

Każdego roku płonie od 200 do $400 \cdot 10^6$ ha sawann, od 5 do $15 \cdot 10^6$ ha lasów borealnych i około-borealnych oraz wiele innych formacji roślinnych w Australii i w obszarze Basenu Morza Śródziemnego. W skali globalnej strumień węgla wynoszony do atmosfery szacuje się na około 1,7 do 4,1 Gt na rok. Zanieczyszczenia wnoszone do dolnej atmosfery poprzez wielkie pożary to gazy i aerozole, ich oddziaływanie na klimat jest odmienne. Jak wynika z danych [Falkowska, Lewandowska 2009; Markowicz et al. [2010] aerozole powodują wymuszenie radiacyjne na poziomie -2,0 W/m^2, natomiast wymuszenie radiacyjne spowodowane gazami cieplarnianymi szacuje się na +2,5 W/m^2, można by sądzić, że w takim razie wpływ na klimat zarówno przez gazy cieplarniane, jak i przez aerozole powinien być znikomy. Jednak w skali globalnej z powodu innych mechanizmów działania takie założenie jest co najmniej wątpliwe. Przede wszystkim czas życia gazów sięga często setek lat a aerozoli troposferycznych ze względu na grawitacyjne opadanie i mokrą depozycję (najbardziej wydajny mechanizm usuwania aerozoli ze środowiska) kilka do kilkunastu dni, ponadto koncentracja aerozoli globalnie ulega szybkim zmianom zarówno czasowo jak i przestrzennie, a zmiany stężenia gazów cieplarnianych wokół Ziemi są niewielkie. Istnieje jeszcze jeden mechanizm powodujący różnicę w obu efektach. Mianowicie molekuły gazów cieplarnianych wymuszające efekt cieplarniany niejako „pracują 24 godziny na dobę", natomiast aerozole praktycznie wymuszają ochłodzenie tylko wtedy gdy energia dociera ze słońca, a potem wspomagają efekt cieplarniany. Wydaje się zatem, że uprawniona jest hipoteza, że większy wpływ na klimat radiacyjny mają gazowe produkty wielkich pożarów niż aerozole. Należy tu jeszcze wspomnieć o pośrednich wpływie aerozoli na tworzenie się chmur, jednak wpływ tych procesów na wymuszenia radiacyjne jest niewielki. W czasie wielkich obszarowo pożarów lasów strumień materii wyniesiony do troposfery może w niej przebywać przez znacząco długi okres czasu. W roku 2003 na wiosnę i w lecie, na Syberii miały miejsce wielkie pożary borealnego lasu. W pracy Damoah et al. [2004] pokazano zarówno modelowanie trajektorii dymu pochodzącego (w dniach 10 do 31 maja 2003) z tych pożarów jak i wyniki sondaży lidarowych prowadzonych w Lipsku, te ostatnie można też znaleźć w pracy Mattis et al. [2004]. Smuga dymu pochodząca z pożarów rozdzieliła się na dwie. Jedna poprzez Morze Beringa napłynęła na Alaskę, następnie przeszła nad zachodnią Kanadą i skierowała się nad Europę, gdzie połączyła się ze smugą, która napłynęła znad Rosji. W pracy Damoah et al. [2004] i Mattis et al. [2004] w czasie przeprowadzonych sondaży lidarowych w Lipsku istotnie potwierdzono istnienie dwóch warstw rozpraszających jednej na 4, a drugiej na 5 km. Wyniki tych badań pokazują, że dymy pochodzące z pożarów lasów borealnych mogę przez ponad 2 tygodnie wpływać na warunki radiacyjne na Północnej

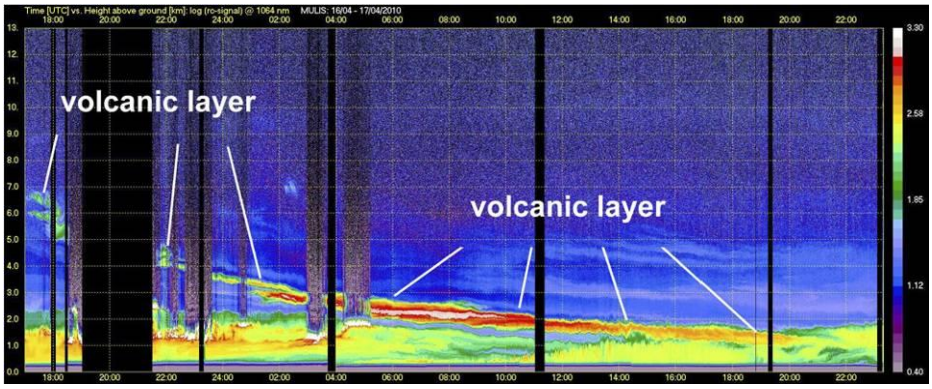
Hemisferze, powodując liczne komplikacje. Dowodem potwierdzającym wpływ pożarów lasów syberyjskich na środowisko USA i Kanady, były przeprowadzone pomiary CO, CO_2, które na stacjach tych krajów pokazały wartości wyższe niż w analogicznym okresie w poprzednich latach [Jaffe et al. 2004]. Spalanie biomasy jest istotnym elementem globalnego bilansu atmosferycznego CO i NO_x. Ponadto, jeśli palą się lasy zawierające duże ilości biomasy, emitowane są także duże ilości CO_2. Naturalne pożary sawann nie zawsze są źródłem emisji CO_2, gdyż cząsteczki sadzy są częściowo zatrzymywane w postaci osadu na powierzchni ziemi. Wytworzył się tam zatem rodzaj naturalnej równowagi, która obecnie jest zakłócana przez antropopresję. Jak więc widzimy pożary nie tylko zmieniają krajobraz, ale także skład chemiczny powietrza.

Wybuch wulkanu na Islandii

Aktywność sejsmiczną Eyjafjoell wykazywał już na początku marca ub. r., największy wybuch nastąpił w nocy z 13 na 14 kwietnia 2010 r., wyrzucając materiał wulkaniczny na kilkanaście kilometrów do troposfery. Wulkan zaprzestał działalności pod koniec maja 2010 r. Podczas wybuchu 14 kwietnia 2010 zachodnia i środkowa Europa była pod wpływem wyżu z centrum na północo-zachód od Wysp Brytyjskich. W kolejnych dwóch dniach układ wyżowy przemieścił się w kierunku wschodnim. W dniu 17 kwietnia obszar Polski był pod wpływem klina wysokiego ciśnienia znad Wielkiej Brytanii, natomiast w dniu 18 kwietnia układ wyżowy znalazł się nad środkową Europą, a w dniach 19 i 20 kwietnia w dalszym ciągu sytuacja meteorologiczna sprzyjała napływowi mas powietrza z rejonu Islandii.

Trajektorie wstecznie uzyskane przy użyciu modelu HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) wskazują, że powietrze, które napłynęło nad Polskę znajdowało się wcześniej nad Islandią. Trajektorie powietrza znajdującego się tego dnia na wysokościach 2,5, 4 i 6 km przebiegają bardzo podobnie. Z dużym prawdopodobieństwem można powiedzieć, że nastąpił transport aerozolu wulkanicznego na Polskę. Trajektorie wsteczne, które autorzy pracy Markowicz et al. [2010] uzyskali 24 godziny później nie przechodzą już przez rejon Islandii, mogą jednak wskazywać na potencjalny transport pyłów wulkanicznych znajdujących się w okolicach Islandii. Na stronie www.igf.edu.pl został zaprezentowany artykuł „Chmura pyłu wulkanicznego nad Belskiem 17-20.04.2010" gdzie zostały zaprezentowane wyniki kampanii lidarowej prowadzonej w czasie erupcji wulkanu Eyjafjoell w Polsce w Belsku. Oszacowane na podstawie pomiarów teledetekcyjnych własności optyczne aerozoli wulkanicznych wykazują niewielkie współczynniki ekstynkcji. Maksymalny współczynnik ekstynkcji 0,02-0,03 km^{-1} (1064nm) zarejestrowano rano 17 kwietnia na wysokości ok. 4,5 km [Markowicz et al. 2010]. Niskie wartości grubości optycznej podczas analizowanego epizodu sugerują względnie niską zawartość pyłów wulkanicznych nad Polską. Ponadto zgodnie z tym co powiedziano wyżej, ponieważ wybuch zamknął się w granicach troposfery to na wskutek sedymentacji i mokrej depozycji został stosunkowo szybko usunięty. Proces opadania pyłu jest pokazany na rys. 4.3.8.3.

Jednocześnie na stacjach PMŚ w tym okresie nie notowano znaczących od wartości typowych dla tego okresu odchyleń stężeń pyłu PM_{10}.



Rysunek 4.3.8.3. Ewolucja w czasie wulkanicznej chmury obserwowanej przez sieć EARLINET na stacji w Monachium (źródło: Gelsomina Pappalardo)

Jak widać na rysunku warstwa pyłów wulkanicznych szybko zostaje usuwana z wyższych warstw atmosfery.

Pożary lasów w Rosji

Wysokie temperatury powietrza utrzymujące się w Rosji w okresie letnim 2010 roku przez prawie 2 miesiące oraz wywołana nimi susza spowodowały powstanie, zgodnie z oficjalnymi danymi, prawie 30 tys. ognisk pożarów lasów i torfowisk na obszarze 856 tys. ha. W wyniku pożarów zginęło ponad 50 osób, spłonęło ponad 2 tys. budynków. W miastach płonących regionów pojawił się gęsty toksyczny smog. Duszący dym i upały przyczyniły się do znaczącego wzrostu liczby zgonów, m.in. w Moskwie.

Na obrazach satelitarnych MODIS-Terra/Aqua, dostępnych na stronie internetowej http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/ wyraźnie widoczny jest dym rozprzestrzeniający się na terenie zachodniej Rosji, m.in. w kierunku Finlandii, a także Ukrainy i Białorusi. Prawdopodobnie dym pochodzący z pożarów w Rosji dotarł również nad teren Polski, przypuszczalnie na przełomie sierpnia i września 2010 roku. Nad obszarem Polski dym ten był jednak zdecydowanie mniej gęsty, a pył zawieszony występował w dużo niższych stężeniach niż w obszarach ogniskowych pożarów. Analiza wyników pomiarów stężeń pyłu w Polsce podczas epizodu pożaru lasu w Rosji nie wykazała wpływu tego zjawiska na poziom stężeń zanieczyszczeń powietrza.

4.4. Ocena potencjalnych warunków występowania epizodów podwyższonych poziomów stężeń pyłu przy wykorzystaniu analizy wielowymiarowej

Jak wynika z przeprowadzonej wyżej analizy wyników, niezwykle trudno jest jednoznacznie ocenić wpływ poszczególnych czynników meteorologicznych na kształtowanie się epizodów pyłu, a tym samym jednoznacznego określenia potencjalnego źródła ich pochodzenia. W dalszym ciągu pracy postanowiono dokonać próby ich klasyfikacji, a także wyników pomiarów składu chemicznego i warunków meteorologicznych z analiz miesięcznych przy wykorzystaniu zaawansowanych metod statystycznych (klasyfikacji przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych i rzutowania Sammona). Celem analiz miała być próba odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób zespół czynników meteorologicznych wpływa na zmianę składu chemicznego pyłu i czy na tej podstawie można wnioskować o pochodzeniu źródeł zanieczyszczeń pyłowych. Dodatkowo dokonano klasyfikacji zespołu czynników meteorologicznych, które odpowiadają za powstałe epizody.

4.4.1. Charakterystyka składu chemicznego pyłu podczas wybranych epizodów

W załaczniku nr 1 przedstawiono wyniki analiz chemicznych składu pyłów zbadanych w trakcie trwania wybranych epizodów. Wyniki badań wykorzystano do oceny statystycznej zróżnicowania składu chemicznego pyłu w zależności od zespołu czynników meteorologicznych, których wyniki przedstawiono poniżej.

4.4.2. Badanie zróżnicowania składu chemicznego pyłu w zależności od zespołu czynników meteorologicznych

Podstawowe przekształcenie elementów

Odległość $dist^d$ między wektorami x, $y \in R^d$ d wymiarowej przestrzeni przedstawia się następująco:

$$dist^d(x,y) = \left(\sum_{i=1}^{d} |x_i - y_i|^k \right)^{\frac{1}{k}}, x, y \in R^d, k > 0.$$

Dla k=2 jest to odległość euklidesowa, dla k=1 jest to odległość Manhattan, $k \in (0,1)$ jest to odległość ułamkowa. W pracy posługujemy się przestrzeniami 16 (skład chemiczny), 21 (meteorologia) wymiarowymi [Beyer et al. 1999]. W większości przypadków zdecydowano przyjąć k=0,5.

Parametry składu chemicznego pyłu zawieszonego uwzględnione w obliczeniach zawiera poniższa tabela.

Tabela 4.4.2.1. Elementy składu chemicznego pyłu zawieszonego uwzględnione w obliczeniach

L.p.	Parametr (jednostka)
METALE ($ng \cdot m^{-3}$)	
1	Tytan (Ti)
2	Glin (Al)
3	Żelazo (Fe)
WWA ($ng \cdot m^{-3}$)	
4	Benzo(a)antracen
5	Benzo(b)fluoranten
6	Benzo(a)piren
JONY ($ng \cdot m^{-3}$)	
7	Na^+
8	K^+
9	Ca^{2+}
10	Mg^{2+}
11	NH_4^+
12	SO_4^{2-}
13	NO_3^-
14	Cl^-
WĘGIEL ($\mu g \cdot m^{-3}$)	
15	EC

16	OC

W poniższej tabeli znajduje się opis danych meteorologicznych uwzględnionych w opracowaniu.

Tabela 4.4.2.2. Elementy meteorologiczne uwzględnione w obliczeniach

L.p.	Parametr	Skrót	Jednostka
1	Zachmurzenie całkowite	ZC	Oktanty [0..8]
2	Prędkość wiatru	PW	[m/s]
3	Ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza	Cis	[hPa]
4	Temperatura powietrza	TS	[^{o}C]
5	Ciśnienie pary wodnej	CPW	[hPa]
6	Wilgotność względna	WW	[%]
7	Składowa południkowa kierunku wiatru	U	[-1..1]
8	Składowa równoleżnikowa kierunku wiatru	V	[-1..1]
9	Opad atmosferyczny	Opad	[mm]
10	Temperatura minimalna	Tmin	[^{o}C]
11	Temperatura maksymalna	Tmax	[^{o}C]
12	Wysokość pokrywy śnieżnej	Pokrywa	[cm]
13	Ilość cisz w dobie	Lcisz	[0..1]
14	Wahanie zachmurzenia całkowite	D_ZC	Oktanty [0..8]
15	Wahanie prędkości wiatru	D_PW	[m/s]
16	Wahanie ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza	D_Cis	[hPa]
17	Wahanie temperatury powietrza	D_TS	[^{o}C]
18	Wahanie ciśnienia pary wodnej	D_CPW	[hPa]
19	Wahanie wilgotności względnej	D_WW	[%]
20	Wahanie składowej południkowej kierunku wiatru	D_U	[-1..1]
21	Wahanie składowej równoleżnikowej kierunku wiatru	D_V	[-1..1]

Parametry meteorologiczne 1-8 oznaczają średnią dobową obliczoną z godzinowych pomiarów. Parametry 9-12 mierzone są raz na dobę. Parametr 13 to liczba terminów z prędkością wiatru równą zero (cisze), przekształcona do przedziału [0,1], 0 oznacza brak cisz, 1 to wszystkie godzinowe pomiary w dobie wykazywały ciszę. Wahanie oznacza sumę absolutnych wartości różnic danego parametru między poszczególnymi pomiarami godzinowymi. Wahania są parametrami opisującymi zmienność pogody w dobie.
Zarówno składowe danych chemicznych jak i meteorologicznych różnią się o kilka rzędów. Zatem dla uniknięcia dominacji pojedynczej składowej dane poddano wstępnej obróbce. Po pierwsze wszystkie współrzędne przeskalowano do przedziału [0,1]. Jeżeli p oznacza wartość zmierzoną parametru, min p to minimum po wszystkich wartościach tego parametru, max p to maksimum, każdą wartość przekształcano zgodnie ze wzorem:

$$\tilde{p} = \frac{p - \min\ p}{\max\ p - \min\ p}$$

Mając tak ujednolicone współrzędne wektorów w drugiej kolejności dokonano ich normalizacji, wykorzystując normę euklidesową, czyli

$$x_i = \frac{\tilde{p}_i}{c} \quad gdzie \quad c = \left(\sum_{i=1}^{d} \left| \tilde{p}_i \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad i = 1..d$$

Tak przygotowane dane poddano grupowaniu i wizualizacji.

Grupowanie

Danymi do grupowania jest zbiór wektorów $x^{(1)},...,x^{(N)}$ gdzie N jest pewną liczbą naturalną, $x^{(i)} \in R^d$, i=1..N. Zakładamy, że $\left\|x^{(i)}\right\|_2 = 1$, i=1..N.

Wynikiem jest podział tych wektorów na grupy wektorów podobnych. Wektory poddane grupowaniu są znormalizowane.

Jako narzędzia grupowania użyto sieci – warstwy Kohonene. Jest to zbiór M neuronów. Każdy z tych neuronów charakteryzowany jest wektorem wag $w^{(1)},...,w^{(M)}$, $w^{(i)} \in R^d$ i=1..M. Zauważmy, że wektory wag muszą należeć do tej samej przestrzeni co dane i też muszą być znormalizowane. Początkowo wektory wag są losowane. Dla każdego wektora danych $x^{(i)}$ i=1..N (ciąg wektorów danych nazywamy *ciągiem uczącym*) wykonuje się następujące czynności:

1. Obliczamy wartość $\alpha_j = dist^d(x^{(i)}, w^{(j)})$ z k=0,5, j=1..M
   czyli odległość ułamkową końca wektora wagi i końca wektora danych
2. Wyznaczamy minimum ciągu $\alpha_1,..,\alpha_M$. Przyjmijmy, że $\alpha_l = \min \alpha_j$. Zatem neuron o numerze l jest najbliższy wektorowi danych $x^{(i)}$.
3. Poprawiamy wagi tego neuronu, żeby był jeszcze bliższy. Używamy w tym celu wzoru: $\tilde{w}^{(l)} = x^{(i)} + \eta * (x^{(i)} - w^{(l)})$, gdzie η = 0,3 – 0,5 nazywany jest *współczynnikiem uczenia*. Czynność ta nosi nazwę *uczenie sieci*.

Sieć uczy się dotąd, gdy kolejna prezentacja wszystkich wektorów wejściowych niewiele zmienia wszystkie wagi. Elementy ciągu uczącego są podawane w tak zwanych epokach. W jednej epoce każdy wektor wejściowy jest jeden raz podawany na wejście sieci.

Wizualizacja (rzutowanie)

Wizualizacja danych wielowymiarowych polega na przekształceniu punktów z przestrzeni wielowymiarowej do płaszczyzny. Została wykorzystana metoda rzutowania Sammona.

Założenia:

- danych jest N wektorów h - wymiarowych $x^{(i)}$ (i= 1, 2,..., N) i odpowiednio do nich definiuje się N wektorów w przestrzeni l - wymiarowej (l= 2), oznaczonych przez $y^{(j)}$;
- odległości pomiędzy poszczególnymi wektorami w przestrzeni l - wymiarowej oznaczono

$$d_{ij} = dist^2(y^{(i)}, y^{(j)}),$$

ze względu na stosowane metody musi to być odległość euklidesowa;

- odległości w przestrzeni h- wymiarowej przez

$$d^*_{ij} = dist^h(x^{(i)}, x^{(j)}) \quad i,j=1,\ldots,N$$

do określenia odległości między wektorami w tej przestrzeni wykorzystano odległość ułamkową, gdzie k=0,5.

Zadanie nieliniowego odwzorowania Sammona polega na takim doborze wektorów $y^{(j)}$, aby minimalizować funkcję błędu E zdefiniowaną w postaci:

$$E = \frac{1}{c} \sum_{1 \le i < j \le N} \frac{(d^*_{ij} - d_{ij})^2}{d^*_{ij}}$$

przy czym

$$c = \sum_{1 \le i < j \le N} d^*_{ij}$$

Jej minimalizacja ma na celu zachowanie po rzutowaniu na płaszczyznę odległości między punktami w przestrzeni wielowymiarowej. W minimalizacji funkcji błędu E zastosowano metodę optymalizacji Newtona, uproszczoną do postaci:

$$y_k^{(i)}(t+1) = y_k^{(i)}(t) - \eta \cdot \Delta_k^{(i)}(t)$$

gdzie:

t – numer iteracji t = 0,1,2,….

i – numer wektora i = 1,…,N

k – numer współrzędnej wektora k = 1,..,l

$$\Delta_k^{(i)}(t) = \frac{\frac{\partial E}{\partial y_k^{(i)}}}{\frac{\partial^2 E}{\partial y_k^{(i)\,2}}}$$

reprezentuje iloraz odpowiedniej składowej gradientu i diagonalnego składnika hesjanu, określone w t- tej iteracji. Współczynnik uczenia η jest z przedziału [0.3,0.4].

Wyniki

Badanie składu chemicznego pyłu zawieszonego przeprowadzono w trzech etapach:

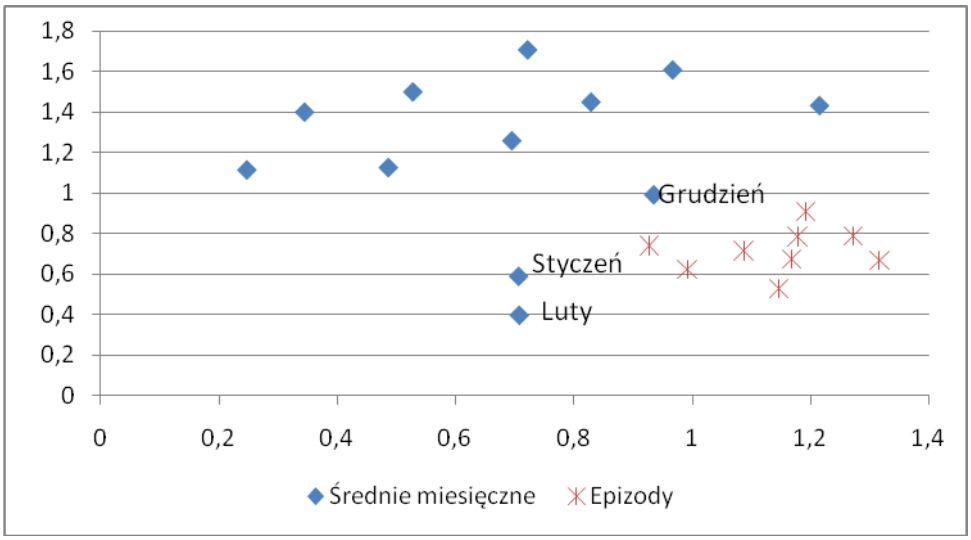
1. dla każdego miejsca i każdej frakcji osobno,
2. łącznie dla Gdańska i Katowic dla frakcji $PM_{2,5}$ i PM_{10},
3. łącznie dla trzech miejsc (Katowice, Gdańska, Diablej Góry) i frakcji $PM_{2,5}$ i PM_{10}.

We wszystkich przypadkach posługiwano się danymi dobowymi w tym w szczególności epizodami podwyższonych stężeń pyłowych powietrza, miesięcznymi oraz wynikami analizy chemicznej pyłu zawieszonego. Dla każdego zbioru danych poszczególnych etapów wykonano grupowanie i rzutowanie.

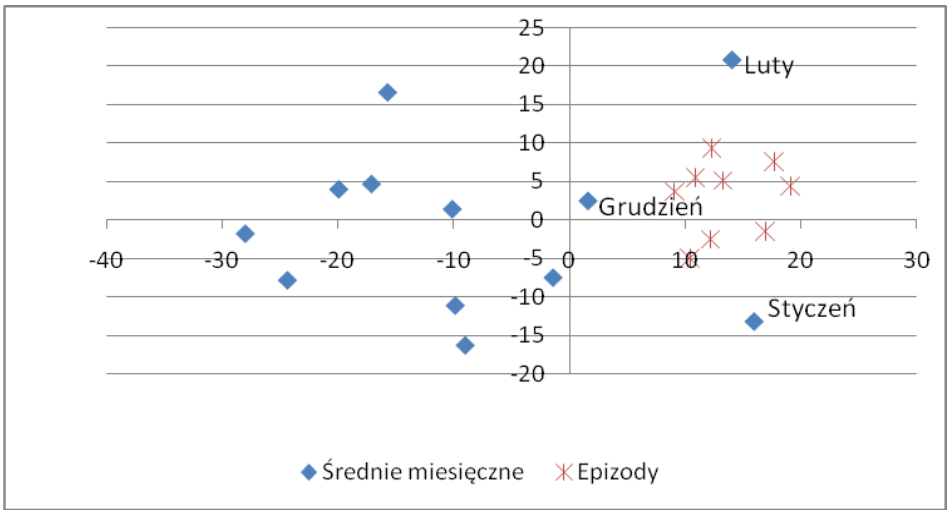
Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki rzutowania dla kolejnych etapów prac.

Na rysunkach 4.4.2.1. – 4.4.2.10. przedstawiono wyniki rzutowania Sammona wyróżniając epizody i miesiące chłodnej pory roku.

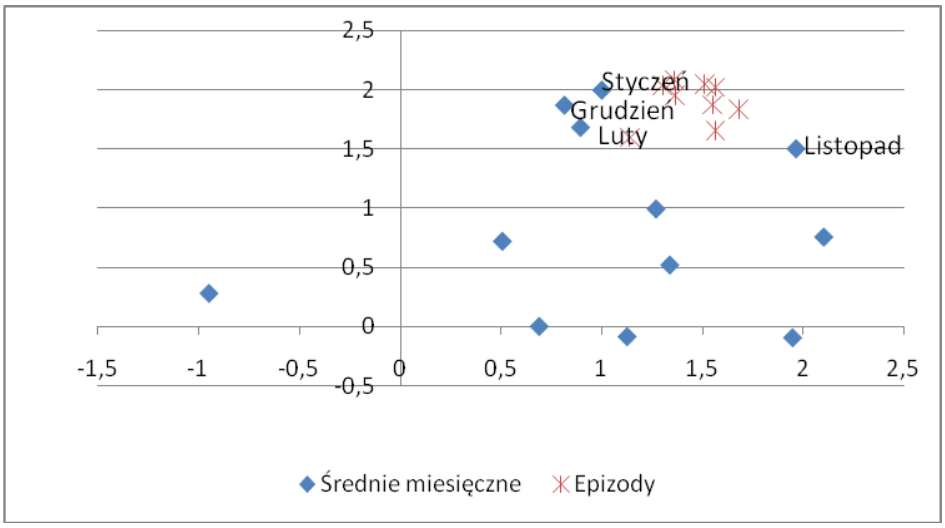
Etap 1



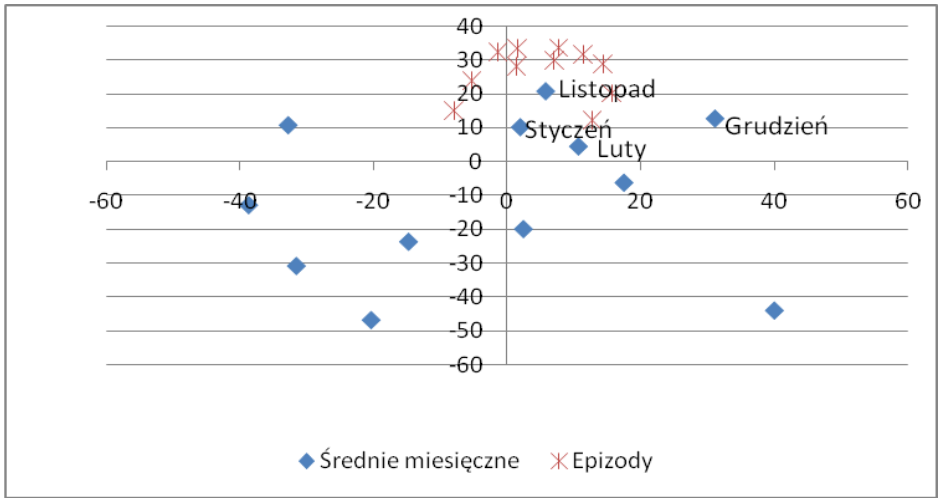
Rysunek 4.4.2.1. Wyniki rzutowania Sammona dla $PM_{2,5}$ dla stacji Diabla Góra (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



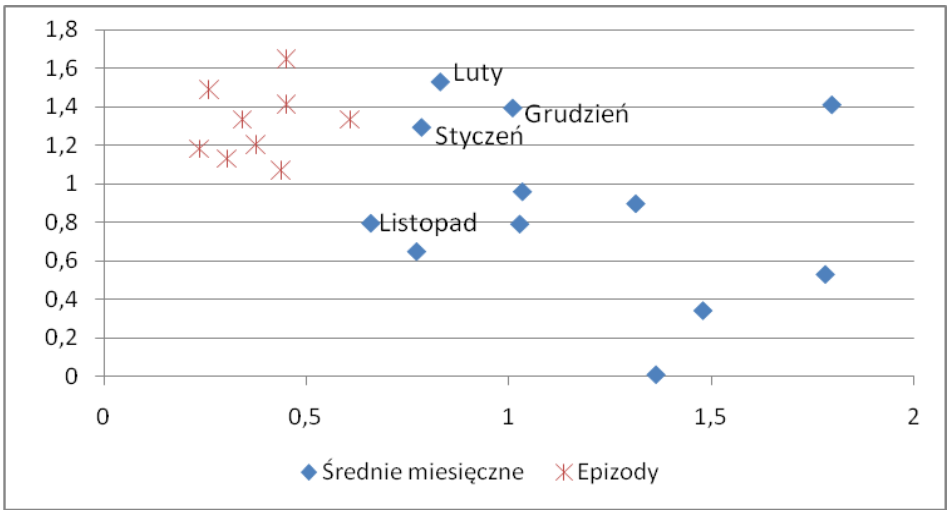
Rysunek 4.4.2.2. Wyniki rzutowania Sammona dla $PM_{2,5}$ dla stacji Diabla Góra (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



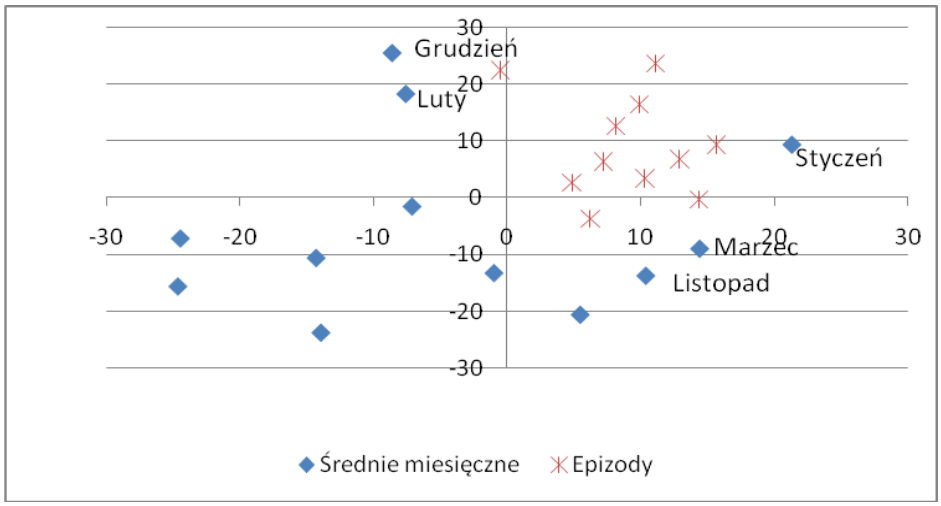
Rysunek 4.4.2.3. Wyniki rzutowania Sammona dla $PM_{2,5}$ dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



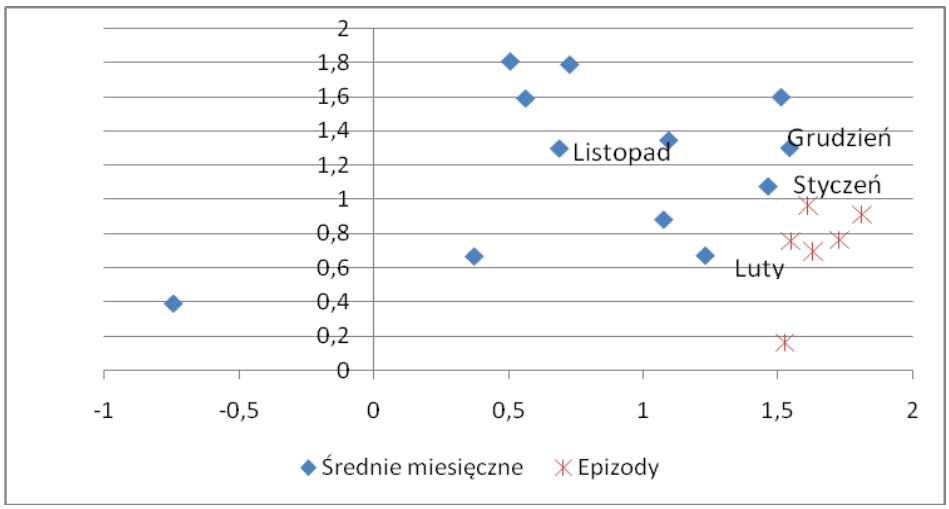
Rysunek 4.4.2.4. Wyniki rzutowania Sammona dla $PM_{2,5}$ dla stacji Gdańsk (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



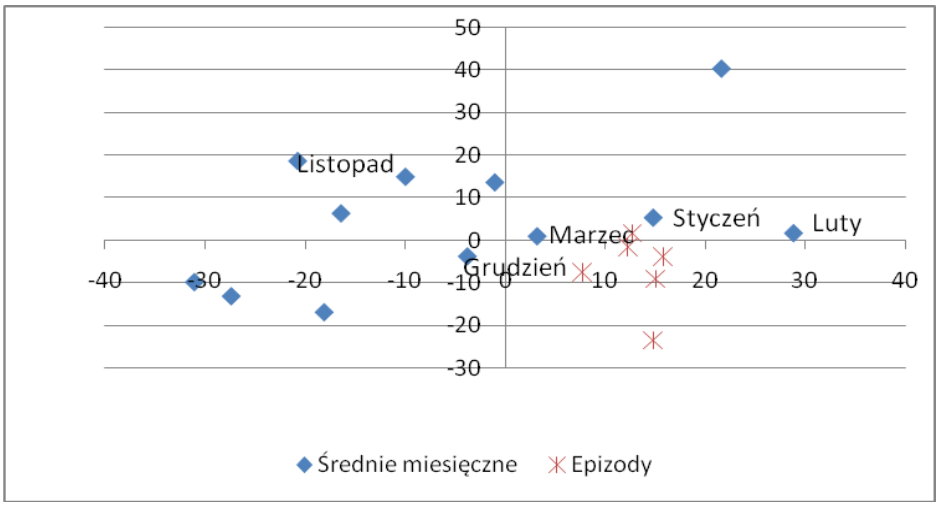
Rysunek 4.4.2.5. Wyniki rzutowania Sammona dla PM_{10} dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



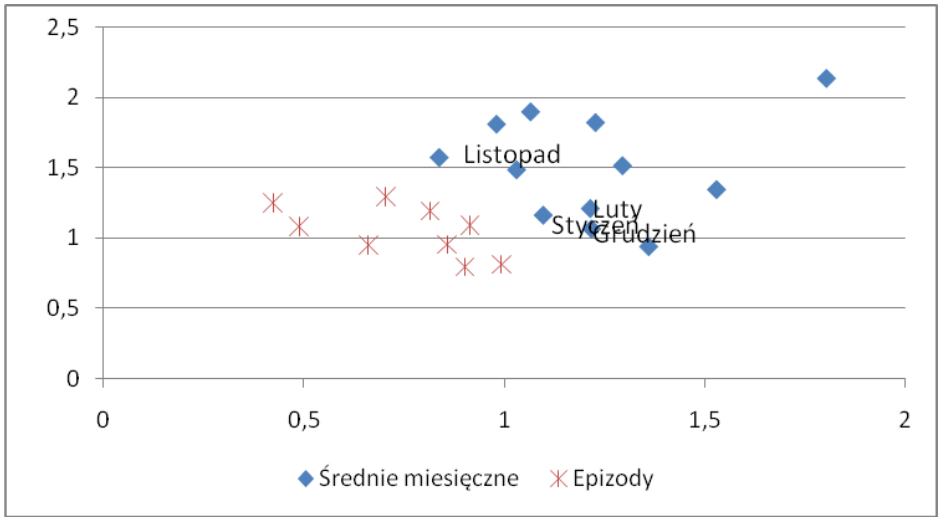
Rysunek 4.4.2.6.Wyniki rzutowania Sammona dla PM_{10} dla stacji Gdańsk (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



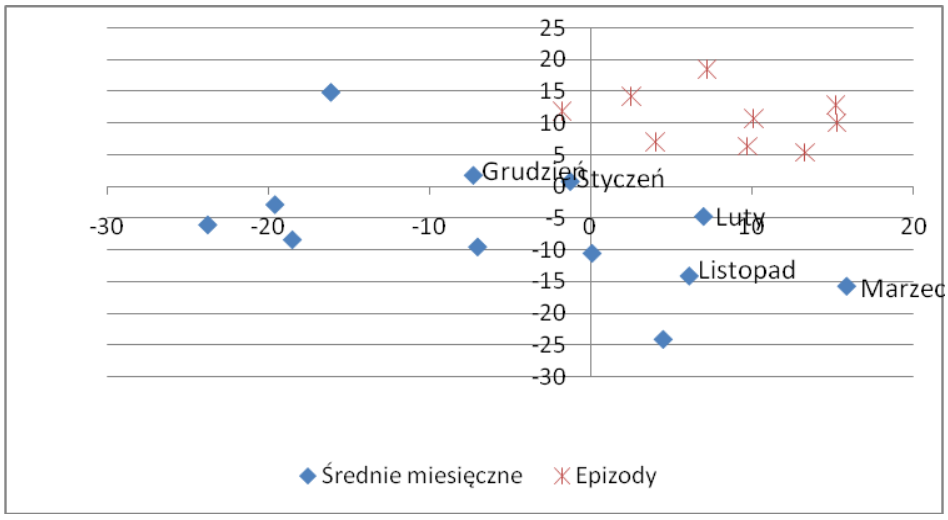
Rysunek 4.4.2.7. Wyniki rzutowania Sammona dla $PM_{2,5}$ dla stacji Katowice (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



Rysunek 4.4.2.8. Wyniki rzutowania Sammona dla $PM_{2,5}$ dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



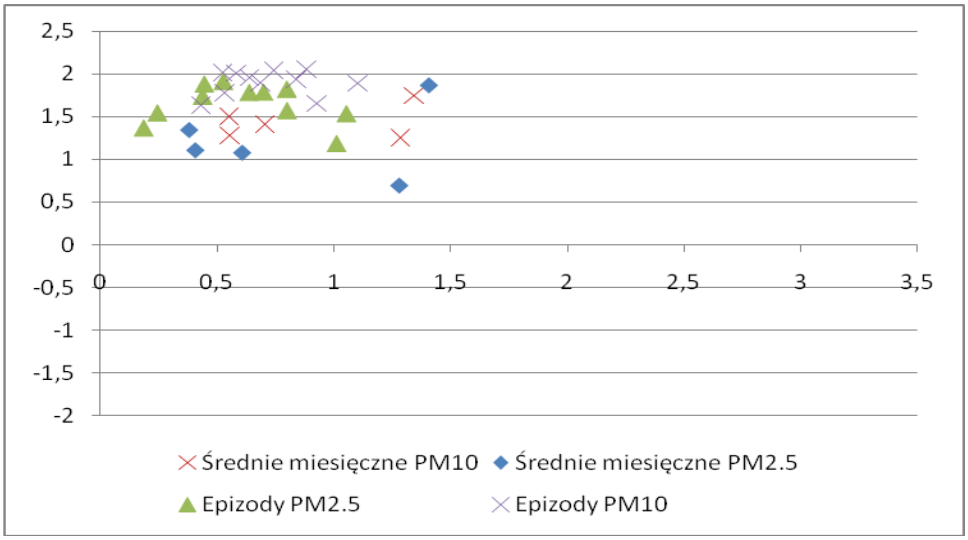
Rysunek 4.4.2.9. Wyniki rzutowania Sammona dla PM_{10} dla stacji Katowice (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



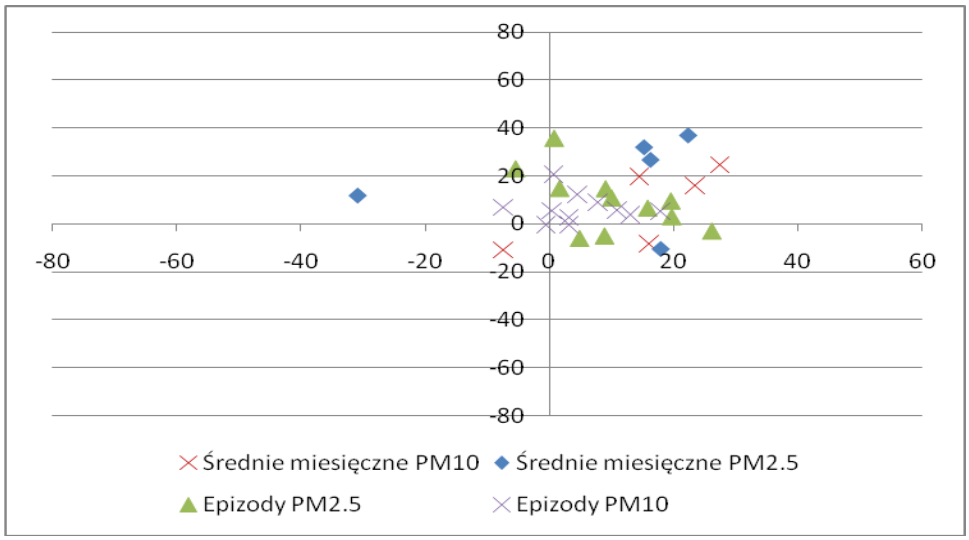
Rysunek 4.4.2.10. Wyniki rzutowania Sammona dla PM_{10} dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Analiza wyników wykazała, że punkty przedstawiające epizody leżą blisko siebie, co świadczy o bardzo podobnym składzie chemicznym pyłów w różnych miejscach. We wszystkich przypadkach epizody wyraźnie odróżniają się od punktów reprezentujących średnie miesięczne. Punkty średnie miesięczne zimowe leżą najbliżej epizodów. Nie zauważono większych różnic miedzy zastosowaniem w przestrzeni wielowymiarowej odległości ułamkowej oraz odległości euklidesowej, chociaż odległość ułamkowa daje większe zróżnicowanie punktów na płaszczyźnie.

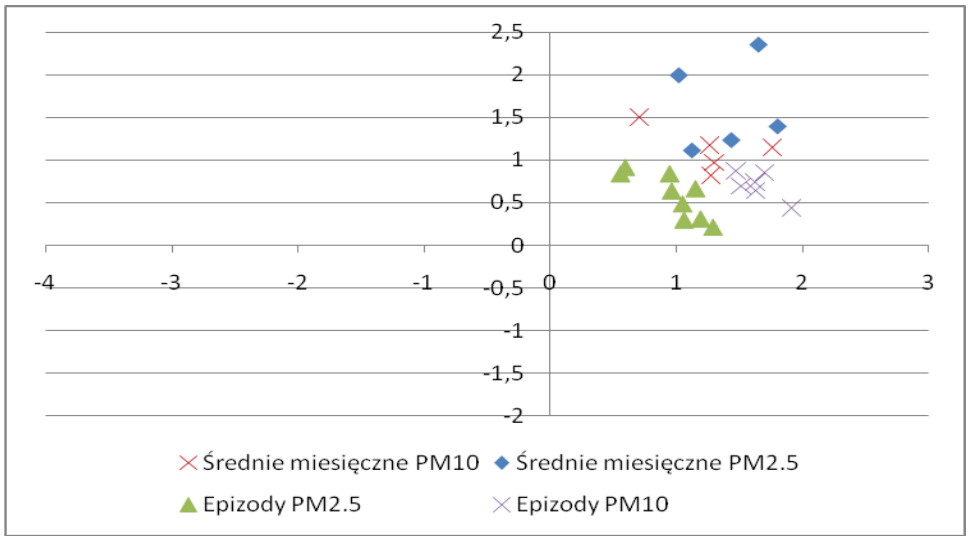
Etap 2



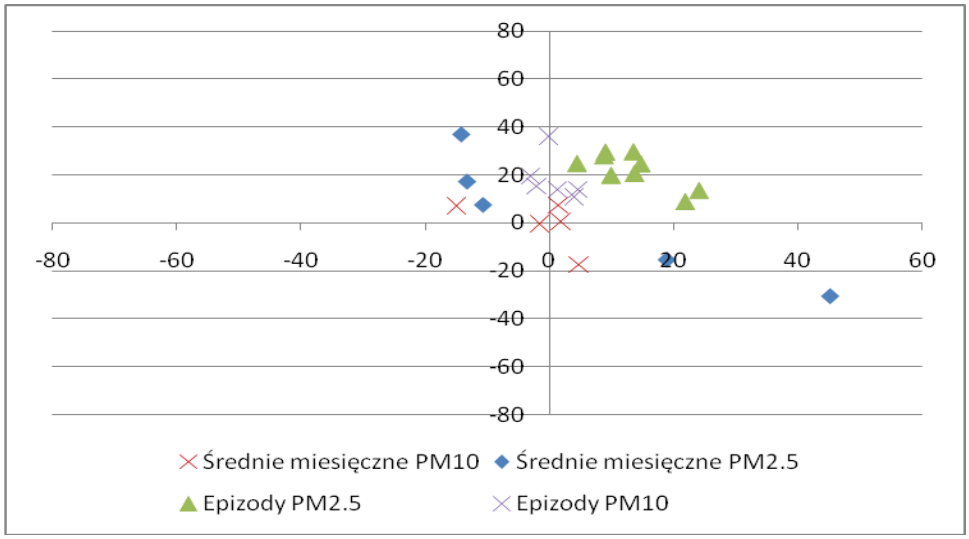
Rysunek 4.4.2.11. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



Rysunek 4.4.2.12. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



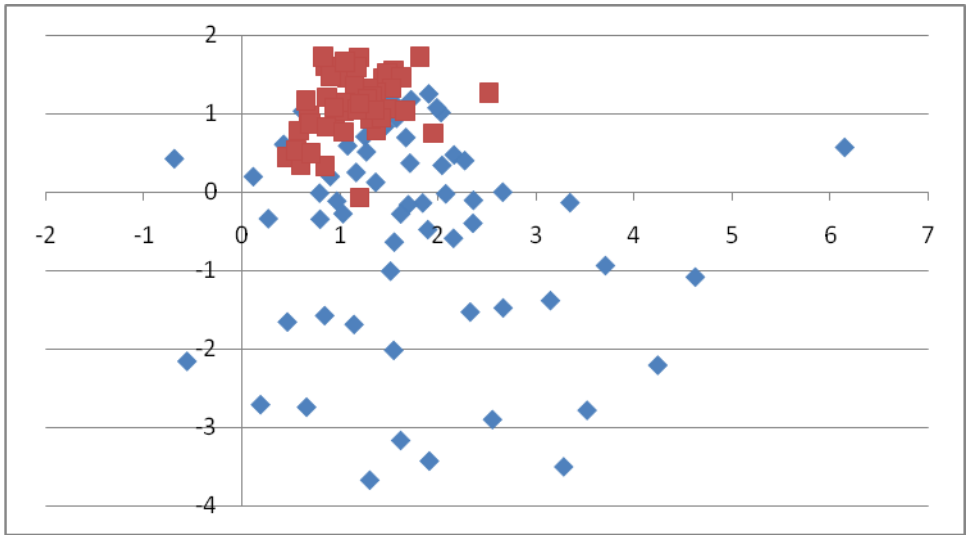
Rysunek 4.4.2.13. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Gdańsk (odległość euklidesowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej



Rysunek 4.4.2.14. Wyniki rzutowania Sammona dla epizodów obu frakcji oraz sezonu zimowego (styczeń – marzec, listopad, grudzień) dla stacji Katowice (odległość ułamkowa) – etykiety osi w skali bezwymiarowej

Analiza wspólna połączonych zbiorów danych dla Katowic i Gdańska wykazała, że:
- skład chemicznych pyłu zwieszonego zarówno PM_{10} jak i $PM_{2,5}$ dla Gdańska nie wiele różni w swojej strukturze,
- natomiast punkty na płaszczyźnie dla Katowic, po rzutowaniu niewiele ale istotnie różnią się, co wskazuje na wyraźniejsze zróżnicowanie składu chemicznego pyłu zawieszonego. Związane jest to prawdopodobnie z otoczeniem stacji jak i udziałem innych źródeł emisji.

Etap 3



Rysunek 4.4.2.15. Wyniki rzutowania Sammona dla wszystkich epizodów obu frakcji oraz miesięcy dla 3 stacji pomiarowych – etykiety osi w skali bezwymiarowej (kolorem czerwonym zaznaczono epizody obu frakcji pyłu, kolorem niebieskim dane średnie miesięczne 2010 r.).

Kolejna analiza potwierdziła, że ogólny skład chemiczny pyłu w trakcie epizodów i w miesiącach zimowych jest podobny. Pozostałe miesiące wyraźnie się odróżniają.

W celu weryfikacji spostrzeżeń wynikających z rzutowania metodą Sammona wykonano grupowanie danych dla poszczególnych stacji pomiarowych. Poniżej przedstawiono wyniki tych analiz. Utworzono grupy dla 6 neuronów grupujących. Analizy potwierdziły we wszystkich przypadkach wnioski sformułowane na podstawie rzutowania.

Diabla Góra $PM_{2,5}$

Analizowano zbiór 21 elementowy: 12 miesięcy + 9 epizodów.

Grupa nr 1	**Grupa nr 2**	**Grupa nr 3**	**Grupa nr 4**	**Grupa nr 5**	**Grupa nr 6**
luty 2010 r.	grudzień 2010 r.	maj 2010 r.	marzec 2010 r.	2010-02-02	styczeń 2010 r.
2010-01-08		czerwiec 2010 r.	kwiecień 2010r.		2010-01-05
2010-02-09		październik 2010 r.	lipiec 2010r.		2010-01-07
2010-02-19		listopad 2010 r.	sierpień 2010 r.		2010-01-25
			wrzesień 2010 r.		2010-01-26
					2010-01-27

Grupy 1 i 6 zawierają miesiące i epizody zimowe (styczeń, luty).
Grupy 3 i 4 zawierają pozostałe miesiące.
Ponieważ dwie grupy są jednoelementowe zmniejszono liczbę neuronów i otrzymano ciekawy podział na 3 grupy.

Grupa nr 1	Grupa nr 2	Grupa nr 3
styczeń 2010 r.	marzec 2010 r.	listopad 2010 r.
luty 2010 r.	kwiecień 2010 r.	grudzień 2010 r.
2010-01-05	maj 2010 r.	
2010-01-07	czerwiec 2010 r.	
2010-01-08	lipiec 2010 r.	
2010-01-25	sierpień 2010 r.	
2010-01-26	wrzesień 2010 r.	
2010-01-27	październik 2010 r.	
2010-02-02		
2010-02-09		
2010-02-19		

Zestawienie zawiera strukturę składu chemicznego dla poszczególnych 6 grup dla Diablej Góry.

Numer grupy	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Liczebność grupy	**4**	**1**	**4**	**5**	**1**	**6**
Wartość	***średnia ± odchylenie standardowe***					
Tytan (Ti)	**41,1±39,1**	**0,0±0,0**	**0,7±1,2**	**2,5±3,4**	**114,7±0,0**	**96,1±97,1**
Glin (Al)	156,5±161,9	0,0±0,0	107,8±64,7	65,4±54,9	0,0±0,0	227,5±163,7
Żelazo (Fe)	69,1±55,0	17,4±0,0	30,6±13,8	18,9±9,0	0,0±0,0	24,0±44,1
Benzo(a)antracen	**3,1±2,1**	**4,1±0,0**	**0,3±0,3**	**0,2±0,3**	**3,4±0,0**	**4,7±1,4**
Benzo(b)fluoranten	**3,9±2,3**	**3,7±0,0**	**0,5±0,4**	**0,3±0,3**	**5,1±0,0**	**5,0±1,7**
Benzo(a)piren	**3,0±1,2**	**3,7±0,0**	**0,5±0,4**	**0,2±0,25**	**4,0±0,0**	**3,5±1,1**
Na^+	965,8±482,9	3732,2±0,0	1607,6±694,6	727,3±410,4	711,5±0,0	1007,3±462,2
K^+	**309,8±118,6**	**224,3±0,0**	**90,8±50,2**	**98,9±31,3**	**152,5±0,0**	**300,3±85,2**
Ca^{2+}	123,1±120,5	180,1±0,0	147,2±48,7	165,4±34,9	221,6±0,0	15,6±34,8
Mg^{2+}	**0,0±0,0**	**71,4±0,0**	**36,7±7,3**	**47,0±9,0**	**0,0±0,0**	**0,0±0,0**
NH_4^+	**5191,9±1386,8**	**1972,4±0,0**	**615,0±269,3**	**802,5±443,4**	**5798,0±0,0**	**2785,0±481,1**
SO_4^{2-}	8285,8±2751,2	4785,0±0,0	1374,0±725,7	2296,8±114,0	7226,7±0,0	5921,8±1810,6
NO_3^-	**11153,6±3380,2**	**4397,7±0,0**	**1064,8±821,5**	**1330,4±1224,3**	**12486,9±0,0**	**5737,0±1359,9**
Cl^-	219,7±132,6	210,0±0,0	146,1±84,6	197,5±4,3	565,2±0,0	396,8±71,5
EC	**10,0±3,0**	**0,4±0,0**	**1,2±0,5**	**1,1±0,8**	**10,8±0,0**	**11,9±2,1**
OC	**6,7±2,4**	**2,0±0,0**	**1,1±0,5**	**0,8±0,3**	**3,1±0,0**	**4,8±2,2**

Elementy pogrubione najwyraźniej różnicują grupy 1 i 6 od 3 i 4. Analizując przypadek powstania grupy jednoelementowej nr 5 zawierającej epizod 2010-02-02 widać, że w porównaniu z grupą 6 największe różnice widać w zawartości glinu, żelaza i Ca^{2+}.

Gdańsk PM_{10} i $PM_{2,5}$

Analizowano zbiór 46 elementowy: 24 miesiące + 22 epizody.

Grupa nr 1	Grupa nr 2	Grupa nr 3	Grupa nr 4	Grupa nr 5	Grupa nr 6
PM_{10} 2010-01-07	PM_{10} luty 2010 r.	PM_{10} marzec 2010 r.	PM_{10} grudzień 2010 r.	PM_{10} kwiecień 2010 r.	PM_{10}styczeń 2010 r.
PM_{10} 2010-01-15	PM_{10} 2010-01-06 r.	PM_{10} listopad 2010 r.	$PM_{2,5}$ grudzień 2010r.	PM_{10} maj 2010 r.	PM_{10} 2010-02-09
PM_{10} 2010-01-19	PM_{10} 2010-02-19	PM_{10} 2010-03-11		PM_{10} czerwiec 2010 r.	PM_{10} 2010-02-10
PM_{10} 2010-01-25	$PM_{2,5}$ luty 2010 r.	PM_{10} 2010-03-31		PM_{10} lipiec 2010 r.	$PM_{2,5}$ styczeń 2010 r.
PM_{10} 2010-01-26		$PM_{2,5}$ marzec 2010 r.		PM_{10} sierpień 2010 r.	$PM_{2,5}$ 2010-02-08
$PM_{2,5}$ 2010-01-07		$PM_{2,5}$ kwiecień 2010 r.		PM_{10} wrzesień 2010 r.	$PM_{2,5}$ 2010-02-09
$PM_{2,5}$ 2010-01-15		$PM_{2,5}$ październik 2010 r.		PM_{10} październik 2010 r.	
$PM_{2,5}$ 2010-01-19		$PM_{2,5}$ listopad 2010 r.		$PM_{2,5}$ maj 2010 r.	
$PM_{2,5}$ 2010-01-25		$PM_{2,5}$ 2010-01-06		$PM_{2,5}$ czerwiec 2010 r.	
$PM_{2,5}$ 2010-01-26		$PM_{2,5}$ 2010-03-11		$PM_{2,5}$ lipiec 2010 r.	
		$PM_{2,5}$ 2010-03-31		$PM_{2,5}$ sierpień 2010 r.	
				$PM_{2,5}$ wrzesień 2010 r.	

Każda grupa zawiera zarówno przypadki z $PM_{2,5}$ jak i PM_{10}, co wskazuje na to, że skład chemicznych obu frakcji pyłu dla Gdańska istotnie nie różni się między sobą. W danej grupie jeżeli jest średnia miesięczna dla danego miesiąca dla $PM_{2,5}$ to w grupie tej jest również średnia dla tego samego miesiąca dla PM_{10}.
Grupa 1 – epizody z tych samych dni stycznia zarówno dla PM_{10} jak i $PM_{2,5}$.
Grupy 2 i 6 – epizody i średnie miesięczne dla $PM_{2,5}$ i PM_{10} dla stycznia i lutego.
Grupa 3 – przypadki zimowe, jesienne, wiosenne.
Grupa 5 – przypadki letnie.

Zestawienie struktury składu chemicznego dla poszczególnych 6 grup dla Gdańska.

Numer grupy	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Liczebność grupy	**10**	**4**	**11**	**2**	**12**	**7**
Wartość	***średnia ± odchylenie standardowe***					
Tytan (Ti)	83,7±34,0	112,4±104,8	23,9±33,1	6,2±2,1	8,7±4,9	15,8±30,4
Glin (Al)	476,2±264,2	270,9±203,8	226,1±148,9	0,0±0,0	170,1±96,3	172,3±183,3
Żelazo (Fe)	484,9±368,5	419,0±180,5	243,1±163,8	184,3±67,3	238,1±109,8	547,5±345,1
Benzo(a)antracen	27,2±16,9	8,5±0,8	4,4±2,6	17,9±2,0	0,4±0,4	26,1±8,6
Benzo(b)fluoranten	16,2±8,6	6,4±0,8	3,7±1,8	10,9±0,9	0,5±0,3	14,2±3,8
Benzo(a)piren	21,2±11,5	6,6±0,4	3,5±1,6	14,2±1,3	0,4±0,4	17,9±5,1
Na^+	973,1±492,6	1193,1±493,5	2045,0±1153,5	1266,5±41,7	881,8±628,4	882,9±141,8
K^+	586,6±211,6	221,2±71,5	191,7±201,6	270,7±19,8	90,4±63,4	536,6±82,9
Ca^{2+}	80,3±129,3	99,9±60,6	358,2±192,8	193,4±26,2	270,3±128,0	383,0±339,2
Mg^{2+}	0,0±0,0	72,1±52,9	93,0±79,1	49,9±9,5	54,6±32,6	147,9±101,0
NH_4^+	5534,1±1488,2	4989,4±1439,0	2367,8±1503,4	3169,2±180,7	739,5±430,6	6078,9±1975,2
SO_4^{2-}	8474,3±2077,4	7461,5±1526,8	3591,4±1899,5	3968,8±342,2	1804,2±796,1	7707,5±2733,3
NO_3^-	10393,9±3458,7	10450,3±3694,1	5367,0±2604,1	5088,3±353,8	1110,6±1135,9	11545,1±3827,0
Cl^-	2959,3±1964,3	1315,2±379,2	1145,0±705,4	1432,7±107,5	280,3±196,9	2422,6±715,0
EC	11,7±5,6	7,2±3,0	4,5±2,6	1,8±0,1	1,1±0,7	25,7±10,8
OC	0,8±0,7	11,9±10,3	1,0±1,0	2,6±0,6	1,1±0,5	19,8±8,4

Katowice PM_{10} i $PM_{2,5}$

Analizowano zbiór 36 elementowy – 24 miesięcy + 12 epizodów.

Grupa nr 1	**Grupa nr 2**	**Grupa nr 3**	**Grupa nr 4**	**Grupa nr 5**	**Grupa nr 6**
$PM_{2,5}$ 2010-01-07	PM_{10} maj 2010 r.	PM_{10} marzec 2010 r.	PM_{10} kwiecień2010 r.	PM_{10} luty 2010	PM_{10} styczeń 2010 r.
$PM_{2,5}$ 2010- 01-08	PM_{10} lipiec 2010 r.	PM_{10} październik 2010 r.	PM_{10} czerwiec 2010	$PM_{2,5}$ luty 2010	$PM_{2,5}$ styczeń 2010 r.
$PM_{2,5}$ 2010-01-19	PM_{10} sierpień 2010	PM_{10} listopad 2010 r.	$PM_{2,5}$ czerwiec 2010	PM_{10} 2010-01-19	$PM_{2,5}$ marzec 2010 r.
$PM_{2,5}$ 2010-01-26	PM_{10} wrzesień 2010 r.	PM_{10} grudzień 2010 r.	PM_{10} 2010-01-08	PM_{10} 2010-01-25	$PM_{2,5}$ kwiecień 2010 r.
$PM_{2,5}$ 2010-01-27	$PM_{2,5}$ maj 2010 r.	$PM_{2,5}$ październik 2010 r.		PM_{10} 2010-01-26	PM_{10} 2010-02-09
$PM_{2,5}$ 2010-02-01	$PM_{2,5}$ lipiec 2010 r.	$PM_{2,5}$ listopad 2010 r.		PM_{10} 2010-01-27	

	$PM_{2,5}$ sierpień 2010 r.	$PM_{2,5}$ grudzień 2010 r.			
	$PM_{2,5}$ wrzesień 2010 r.				

Jak to wynikało z rzutowania epizody $PM_{2,5}$ oraz PM_{10} nie należą do tych samych grup. Zatem skład chemiczny tych frakcji istotnie różni się między sobą.
Grupa 1 – wszystkie epizody $PM_{2,5}$.
Grupa 2 – średnie miesięczne, nie zimowe.
Grupa 3 – przypadki średnich miesięcznych z końca roku, zarówno $PM_{2,5}$ jak i PM_{10}.
Grupa 4 – najdziwniejsza, średnie z czerwca dla obu pyłów i epizod.
Grupa 5 – głównie epizody PM_{10} i średnie z lutego.
Grupa 6 – wymieszana, ale średnie dla $PM_{2,5}$ oraz PM_{10}.
Wyraźnie można stwierdzić, że średnie miesięczne składy chemiczne dla obu pyłów są podobne, osobno dla poszczególnych miesięcy. Natomiast składy chemiczne dla epizodów pyłów $PM_{2,5}$ i PM_{10} znacznie się różnią.
W następnym kroku przeprowadzono analizę stężeń dobowych i miesięcznych pyłu zawieszonego w roku 2010 i jego składu chemicznego ze szczególnym uwzględnieniem epizodów podwyższonych stężeń pyłu zawieszonego z trzech lokalizacji w Polsce: Katowice (PM_{10}, $PM_{2,5}$), Gdańsk (PM_{10}, $PM_{2,5}$) i Diabla Góra ($PM_{2,5}$), sumarycznie dla 103 przypadków obejmujących 60 wartości średnich miesięcznych plus 43 epizody. Utworzono grupy dla 12 neuronów grupujący.
Wyniki przedstawiono w tabeli 4.4.2.3.
Przyjęto następująca oznaczenia:
nazwa stacji GDA – Gdańsk, KCE – Katowice, DG – Diabla Góra, PM_{10} lub $PM_{2,5}$ nazwa miesiąca 2010 lub data 2010-mm-dd epizodu.

Tabela 4.4.2.3. Klasyfikacja wszystkich epizodów na tle miesięcy w 2010 r.

Grupa											
nr1	**nr 2**	**nr 3**	**nr 4**	**nr 5**	**nr 6**	**nr 7**	**nr 8**	**nr 9**	**nr 10**	**nr 11**	**nr 12**
GDA PM_{10} styczeń 2010	KCE $PM_{2,5}$ 2010-01-08	KCE PM_{10} maj 2010	KCE $PM_{2,5}$ lipiec 2010	KCE $PM_{2,5}$ czerwiec 2010	KCE PM_{10} styczeń 2010	GDA PM_{10} 2010-01-07	KCE PM_{10} marzec 2010	GDA PM_{10} marzec 2010	KCE PM_{10} czerwiec 2010	KCE PM_{10} grudzień 2010	KCE PM_{10} 2010-01-08
GDA PM_{10} luty 2010	KCE $PM_{2,5}$ 2010-01-26	KCE $PM_{2,5}$ maj 2010	KCE $PM_{2,5}$ sierpień 2010	KCE PM_{10} 2010-01-19	KCE PM_{10} luty 2010	GDA PM_{10} 2010-01-15	KCE PM_{10} kwiecień 2010	GDA PM_{10}l istopad 2010	KCE PM_{10} lipiec 2010	KCE $PM_{2,5}$ październik 2010	KCE $PM_{2,5}$ 2010-01-07
GDA PM_{10} 2010-02-09	KCE $PM_{2,5}$ 2010-01-27	GDA PM_{10} maj 2010	KCE $PM_{2,5}$ wrzesień 2010	KCE PM_{10} 2010-01-25	KCE $PM_{2,5}$ styczeń 2010	GDA PM_{10} 2010-01-19	KCE PM_{10} październik 2010	GDA PM_{10} 2010-03-11	KCE PM_{10} sierpień 2010	KCE $PM_{2,5}$ listopad 2010	KCE $PM_{2,5}$ 2010-01-19
GDA PM_{10} 2010-02-10	KCE $PM_{2,5}$ 2010-02-01	GDA $PM_{2,5}$ maj 2010	GDA $PM_{2,5}$ sierpień 2010	KCE PM_{10} 2010-01-26	KCE $PM_{2,5}$ luty 2010	GDA PM_{10} 2010-01-25	KCE PM_{10} listopad 2010	GDA $PM_{2,5}$ marzec 2010	KCE PM_{10} wrzesień 2010	KCE $PM_{2,5}$ grudzień 2010	DG $PM_{2,5}$ styczeń 2010
GDA $PM_{2,5}$ styczeń 2010	KCE PM_{10} 2010-02-09	DG $PM_{2,5}$ maj 2010	GDA $PM_{2,5}$ wrzesień 2010		KCE $PM_{2,5}$ marzec 2010	GDA PM_{10} 2010-01-26	KCE $PM_{2,5}$ kwiecień 2010	GDA $PM_{2,5}$ kwiecień 2010	GDA PM_{10} kwiecień 2010	GDA PM_{10} grudzień 2010	DG $PM_{2,5}$ luty 2010
GDA $PM_{2,5}$ luty 2010	GDA PM_{10} 2010-01-06		DG $PM_{2,5}$ sierpień 2010		KCE PM_{10} 2010-01-27	GDA $PM_{2,5}$ 2010-01-07		GDA $PM_{2,5}$ październik 2010	GDA PM_{10} czerwiec 2010	GDA $PM_{2,5}$ grudzień 2010	DG $PM_{2,5}$ 2010-01-05
GDA $PM_{2,5}$ 2010-02-08	GDA PM_{10} 2010-02-19		DG $PM_{2,5}$ wrzesień 2010			GDA $PM_{2,5}$ 2010-01-15		GDA $PM_{2,5}$ listopad 2010	GDA PM_{10} lipiec 2010		DG $PM_{2,5}$ 2010-01-07
GDA $PM_{2,5}$ 2010-02-09	GDA PM_{10} 2010-03-31					GDA $PM_{2,5}$ 2010-01-19		GDA $PM_{2,5}$ 2010-01-06	GDA PM_{10} sierpień 2010		DG $PM_{2,5}$ 2010-02-19
GDA $PM_{2,5}$ 2010-02-10	DG $PM_{2,5}$ 2010-01-08					GDA $PM_{2,5}$ 2010-01-25		GDA $PM_{2,5}$ 2010-03-11	GDA PM_{10} wrzesień 2010		
	DG $PM_{2,5}$ 2010-01-25					GDA $PM_{2,5}$ 2010-01-26		GDA $PM_{2,5}$ 2010-03-31	GDA PM_{10} październik 2010		
	DG $PM_{2,5}$ 2010-01-26							DG $PM_{2,5}$ marzec 2010	GDA $PM_{2,5}$ czerwiec 2010		
	DG $PM_{2,5}$ 2010-01-27							DG $PM_{2,5}$ kwiecień 2010	GDA $PM_{2,5}$ lipiec 2010		
	DG $PM_{2,5}$ 2010-02-02							DG $PM_{2,5}$ październik 2010	DG $PM_{2,5}$ czerwiec 2010		
	DG $PM_{2,5}$ 2010-02-09							DG $PM_{2,5}$ listopad 2010	DG $PM_{2,5}$ lipiec 2010		
								DG $PM_{2,5}$ grudzień 2010			

Objaśnienie: szare komórki – epizody Gdańsk, pomarańczowe – Katowice, niebieskie – Diabla Góra

Grupowanie pozwoliło wyodrębnić następujące grupy wspólne, specyficzne dla miejsc pomiarowych i frakcji pyłu zawieszonego w roku 2010 r. ze względu na stężenia średnie miesięczne jak i epizody.
Grupa 1 – sytuacje dla stycznia i lutego dla Gdańska zawierające epizody i średnie miesięczne dla PM_{10} i $PM_{2,5}$.
Grupa 2 – wyłącznie epizody dla okresu styczeń – marzec, z różnych miejsc Polski, dla Katowic PM_{10} i $PM_{2,5}$, dla Gdańska PM_{10} i dla Diablej Góry $PM_{2,5}$.
Grupa 3 – średnie miesięczne dla maja z wszystkich trzech stacji i dla obu frakcji pyłu zawieszonego.
Grupa 4 – średnie miesięczne $PM_{2,5}$ dla lipca, sierpnia i września, dla wszystkich miejsc pomiarowych.
Grupa 5 – epizody PM_{10} styczniowe i średnia z czerwca $PM_{2,5}$ dla Katowic.
Grupa 6 – średnia miesięczna dla stycznia, lutego i marca dla obu frakcji pyłu oraz epizod ze stycznia dla Katowic.
Grupa 7 – epizody styczniowe PM_{10}, $PM_{2,5}$ wyłącznie dla Gdańska.
Grupa 8 – średnie miesięczne PM_{10} i $PM_{2,5}$ dla marca, kwietnia (wiosna), oraz października i listopada (jesień) dla Katowic.
Grupa 9 – sytuacje wyłącznie dla północy Polski: Gdańska, Diablej Góry, średnie miesięczne dla marca, kwietnia, października, listopada i grudnia, epizody dla PM_{10} i $PM_{2,5}$ marcowe i styczniowy.
Grupa 10 – średnie miesięczne dla ciepłej połowy roku (kwiecień, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik), dla różnych frakcji pyłu oraz wszystkich miejsc pomiarowych.
Grupa 11 – średnie miesięczne końca roku (październik, listopad, grudzień), dla różnych frakcji PM_{10} i $PM_{2,5}$ dla Gdańska i Katowic.
Grupa 12 – epizody styczniowe i lutowe przeważnie dla $PM_{2,5}$ dla Katowic i Diablej Góry, oraz średnie miesięczne stycznia i lutego dla Diablej Góry.

Tabela 4.4.2.4. Charakterystyka grup ze względu na skład chemiczny pyłu zawieszonego w roku 2010 r.

Grupa	**nr 1**	**nr 2**	**nr 3**	**nr 4**	**nr 5**	**nr 6**	**nr 7**	**nr 8**	**nr 9**	**nr 10**	**nr 11**	**nr 12**
Liczebność grupy/ilość epizodów (stacja)	**9/5 (GDA)**	**14/14 (5KCE+3GDA+6DG)**	**5/0**	**7/0**	**4/3 (KCE)**	**6/1 (KCE)**	**10/10 (GDA)**	**5/0**	**15/4 (GDA)**	**14/0**	**6/0**	**8/6 (3KCE+3DG)**
Wartość	***średnia ± odchylenie standardowe***											
Tytan (Ti)	14,0±27,0	146,6±58,8	6,6±5,8	5,8±5,8	115,1±61,5	28,6±21,9	83,7±34,0	47,0±36,0	13,7±27,9	13,2±7,8	7,6±2,9	0,5±1,4
Glin (Al)	150,7±170,3	246,5±183,1	178,5±57,1	132,8±96,0	1176,4±798,4	1003,5±684,5	476,2±264,2	758,7±735,4	182,9±150,5	229,9±122,2	145,8±124,0	628,7±1354,9
Żelazo (Fe)	484,5±332,1	165,4±216,1	234,0±189,4	102,8±64,7	1343,8±740,2	415,9±266,4	484,9±368,5	873,3±369,5	144,1±135,1	376,3±253,1	233,6±153,6	6,1±11,5
Benzo(a)antracen	22,3±10,4	4,9±1,9	1,1±1,0	0,8±1,3	60,3±37,6	58,8±49,7	27,2±16,9	19,5±14,2	3,4±2,8	0,7±0,9	35,0±26,0	4,0±1,9
Benzo(b)fluoranten	12,3±4,9	5,2±1,6	1,2±1,1	1,1±1,6	33,9±20,1	28,4±20,5	16,2±8,6	12,2±6,8	2,9±2,0	0,9±1,0	18,6±10,0	4,3±2,3
Benzo(a)piren	15,4±6,5	4,0±1,3	0,9±0,8	0,9±1,5	38,6±22,7	36,8±27,9	21,2±11,5	13,9±9,8	2,8±1,9	0,7±0,9	24,6±14,5	3,4±1,4
Na^+	892,8±181,5	1057,1±699,4	2900,8±1540,4	382,1±169,3	5807,4±4626,1	2449,2±1225,8	973,1±492,6	1698,5±1232,3	1848,7±1171,1	738,5±392,8	1044,5±522,5	1060,5±553,7
K^+	453,8±171,5	283,1±95,2	288,0±168,2	139,1±46,7	0,0±0,0	220,5±265,1	586,6±211,6	253,7±236,9	167,6±177,7	89,7±79,8	367,6±106,1	286,7±135,0
Ca^{2+}	325,6±318,0	58,1±85,2	470,6±398,1	221,0±102,9	0,0±0,0	428,1±309,6	80,3±129,3	582,4±354,4	316,9±174,0	309,7±146,0	236,7±59,2	84,4±125,5
Mg^{2+}	135,1±94,6	7,2±26,9	204,5±159,8	74,2±29,8	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	131,9±200,8	84,8±68,1	53,7±41,2	42,2±34,7	0,0±0,0
NH_4^+	5636,6±1946,1	4495,4±1551,8	2439,6±1641,3	654,8±165,6	6353,6±3565,1	5519,8±3203,8	5534,1±1488,2	3400,4±2530,3	1823,8±1204,9	633,0±331,6	3574,4±1120,4	3557,1±1733,4
SO_4^{2-}	7351,8±2541,9	6714,9±2511,1	277,1±117,9	3504,5±1390,0	12267,1±6425,9	10143,6±5311,3	8474,3±2077,4	6415,6±4751,4	3214,5±1799,4	2873,0±1418,2	4514,1±1007,0	8121,1±1906,4
NO_3^-	10753,7±3724,6	10161,2±3706,4	178,3±48,6	633,6±320,7	8345,4±4461,5	7511,7±4112,7	10393,9±3458,7	5883,4±4039,4	4389,9±2549,7	1281,4±1017,1	4197,8±940,3	6309,3±2823,1
Cl^-	2148,5±817,5	625,4±465,4	60,0±47,6	421,7±258,6	15067,7±11835,7	6537,6±4905,4	2959,3±1964,3	4100,3±3047,8	805,8±733,2	471,4±291,7	2869,6±1809,0	862,5±1662,4
EC	22,0±11,7	10,7±3,5	2,3±1,0	1,6±1,1	52,3±35,0	33,7±14,0	11,7±5,6	15,9±18,5	3,3±2,6	1,6±1,3	2,7±1,0	13,3±7,6
OC	17,5±8,6	5,7±6,7	0,8±0,5	2,0±0,9	20,5±13,3	26,9±28,7	0,8±0,7	11,8±12,6	1,1±0,9	2,0±1,4	4,9±2,7	5,9±2,6

Tabela 4.4.2.5. Epizody wysokich stężeń pyłu zawieszonego obu frakcji po względem podobieństwa składu chemicznego (wartości zaokrąglone do 1 $\mu g/m^3$) – ten sam kolor epizodu oznacza podobieństwo składu chemicznego

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. [$\mu g/m^3$]				
	> 150	**> 50**	**> 50**	**> 30**	**> 30**
Analiza chemiczna epizodów	***6/10 przypadków***		***11/16 przypadków***		***9/9 przypadków***
05-01-2010	-	-	-	-	39
06-01-2010	-	-	50	41	-
07-01-2010	214	152	75	62	40
08-01-2010	152	147	-	-	**69**
15-01-2010	-	-	54	41	-
19-01-2010	170	108	50	36	-
25-01-2010	211	124	**144**	**114**	47
26-01-2010	206	199	116	93	37
27-01-2010	**319**	**229**	-	-	37
01-02-2010	140	87	-	-	-
02-02-2010	-	-	-	-	49
08-02-2010	-	-	105	82	-
09-02-2010	159	126	112	89	47
10-02-2010	-	-	113	92	-
16-02-2010	168	129	74	55	-
17-02-2010	-	-	60	46	-
18-02-2010	-	-	75	57	-
19-02-2010	-	-	77	54	58
25-02-2010	168	114	-	-	-
26-02-2010	-	-	89	61	-
11-03-2010	-	-	72	54	-
31-03-2010	-	-	58	42	-

Analiza właściwości chemicznych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków odnośnie składu chemicznego pyłu zawieszonego podczas epizodów oraz średnich miesięcznych profili pyłu zawieszonego, otrzymanych na podstawie zbioru danych z 2010 r. dla trzech lokalizacji w Polsce:

- w czasie sytuacji podwyższonych stężeń zanieczyszczeń pyłowych powietrza na południu Polski w obszarze tła miejskiego w strukturze chemicznej pyłu występują największe udziały związków OC/EC i WWA oraz siarczanów i azotanów
- struktura chemiczna pyłu dla południa Polski, reprezentowanego przez stację komunikacyjną i tła miejskiego w Katowicach, kiedy epizod ma charakter lokalny, występuję duża zawartość badanych form węgla OC/EC oraz siarczanów, chlorków.

Ze względu na niejednorodny czas uśredniania zebranych danych o strukturze składu chemicznego pyłu (dla wybranych epizodów dane średniodobowe, a dla pozostałych danych średniomiesięczne) nie było możliwym dokonanie głębszych analiz wyników.

Analiza meteorologiczna epizodów podwyższonych stężeń pyłu zawieszonego w roku 2010

Za pomocą rzutowania i grupowania przeprowadzono również klasyfikację poziomów stężeń pyłu zawieszonego dla okresu zimowego zdefiniowanego jako okres styczeń-marzec, listopad i grudzień 2010 roku na tle warunków meteorologicznych. Analizę przeprowadzono na podstawie danych ze stacji synoptycznych PSHM IMGW-PIB Gdańsk, Kętrzyn i Katowice reprezentatywnych odpowiednio dla miejsc pomiaru stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ na stacji monitoringowej Gdańsk, Diabla Góra i Katowice. Wykorzystano również dane meteorologiczne mierzone bezpośrednio na stacjach monitoringu jakości powietrza w Diablej Górze, Gdańsku i Katowicach (ul. Kossutha).

Na początku wykonano rzutowanie punktów epizodów pyłowych i pozostałych stężeń średniodobowych $PM_{2,5}$ i PM_{10}. Następnie kolejno różnicowano punkty dla charakterystycznych wartości stężeń. Uzyskano bardzo wyraźne zróżnicowanie dla PM_{10} i trochę mniejsze, ale znaczące dla $PM_{2,5}$. W następnej kolejności wykonano grupowanie danych meteorologicznych.

W rezultacie utworzono grupy dla kilkunastu neuronów grupujący dla każdej stacji. Poniższe tabele zawierają grupy z największymi stężeniami pyłu.

Tabela 4.4.2.6. Zakresy stężeń $PM_{2,5}$ i PM_{10} w Gdańsku w zależności od elementów meteorologicznych ze stacji Gdańsk (objaśnienie skrótów dla pierwszej kolumny zawiera tab. 4.4.2.2)

Element meteorologiczny	**Wartość średnia ± odchylenie standardowe**					
ZC	7,9±0,2	1,5±1,5	5,0±1,3	4,2±1,6	3,7±1,1	5,6±1,0
PW	4,4±1,7	3,5±0,6	5,3±1,4	4,4±1,6	2,8±0,7	3,4±0,8
Cis	1008,6±4,4	1040,1±1,2	1007,8±6,6	1018,1±10,7	1014,1±5,4	1022,5±12,0
TS	-1,2±1,3	-14,6±0,2	-5,2±1,7	-9,3±1,0	1,6±3,9	-9,3±1,6
CPW	5,3±0,6	1,6±0,0	3,6±0,7	2,6±0,3	6,3±1,9	2,9±0,4
WW	94,0±3,1	79,8±2,7	86,3±3,8	84,6±6,0	87,8±2,1	91,8±2,3
U	0,078±0,654	0,962±0,007	0,796±0,148	0,857±0,120	0,077±0,429	0,698±0,195
V	-0,308±0,490	-0,014±0,166	0,314±0,236	0,036±0,310	0,250±0,168	0,201±0,316
Opad	0,9±1,4	0,0±0,0	0,5±1,1	0,0±0,0	0,0±0,0	0,5±0,6
Tmin	-2,4±1,6	-17,3±0,5	-8,6±1,1	-12,6±1,9	-1,2±3,9	-14,4±2,5
Tmax	-0,2±1,4	-11,3±1,0	-1,5±2,1	-5,6±1,6	4,9±4,5	-3,5±1,7
Pokrywa	18,6±8,0	7,0±0,0	9,5±7,2	12,9±7,7	0,5±0,9	14,3±6,6
Lcisz	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,032±0,018	0,000±0,000
D_ZC	1,8±2,0	7,7±6,5	17,3±8,5	15,2±3,7	13,0±2,2	15,5±3,6
D_PW	7,5±2,6	5,0±1,4	8,9±2,0	7,2±1,5	13,3±3,3	11,2±3,6
D_Cis	5,4±2,5	3,0±0,6	11,3±7,8	6,6±4,7	10,5±2,9	11,7±12,0
D_TS	2,9±0,8	9,9±1,1	11,7±3,0	10,9±2,8	10,6±2,7	16,1±1,7
D_CPW	1,2±0,3	0,8±0,2	2,5±0,8	1,9±0,4	3,1±1,9	3,6±0,7
D_WW	16,8±6,7	45,0±3,6	47,1±17,9	30,6±11,9	37,0±10,2	17,7±6,3
D_U	1,303±0,611	0,343±0,152	1,158±0,592	0,730±0,573	3,825±1,075	1,777±1,127
D_V	1,573±1,221	1,972±0,340	1,456±0,440	1,607±0,651	3,559±0,808	2,499±0,667
$PM_{2,5}$	38,1±14,6	85,2±21,4	45,3±22,1	54,2±22,4	48,1±16,4	82,5±30,2
PM_{10}	46,6±19,4	108,2±27,0	52,2±27,6	62,8±26,2	65,1±18,3	98,4±34,2

Tabela 4.4.2.7. Zakresy stężeń $PM_{2,5}$ w Diablej Górze w zależności od elementów meteorologicznych ze stacji Kętrzyn (objaśnienie skrótów dla pierwszej kolumny zawiera tab. 4.4.2.2.)

Element meteorologiczny	**Wartość średnia ± odchylenie standardowe**					
ZC	6,8±1,4	7,8±0,2	4,9±1,2	2,7±1,5	4,8±1,1	7,9±0,1
PW	3,6±1,8	3,5±0,4	4,2±1,1	1,7±0,5	5,0±1,0	4,0±1,0
Cis	1012,1±7,1	997,5±3,4	1012,1±6,2	1030,9±9,2	1010,7±6,9	1012,3±4,2
TS	-7,3±1,6	0,6±1,9	-9,4±0,9	-14,3±3,4	11,2±2,6	-5,6±1,8
CPW	3,1±0,5	6,0±0,7	2,7±0,2	1,8±0,5	9,3±1,3	3,7±0,5
WW	85,9±5,3	93,0±3,6	87,2±2,9	81,8±5,2	70,4±3,8	90,5±1,6
U	0,329±0,436	0,158±0,288	0,785±0,102	0,179±0,174	0,702±0,128	-0,043±0,541
V	-0,432±0,293	-0,267±0,379	0,039±0,372	-0,496±0,502	-0,586±0,258	0,548±0,361
Opad	1,1±1,4	3,3±2,5	0,0±0,0	0,0±0,1	0,2±0,3	1,9±3,4
Tmin	-10,7±1,9	-1,6±2,1	-13,0±1,9	-19,2±3,6	6,3±3,5	-8,3±2,3
Tmax	-4,4±2,1	2,4±2,4	-6,2±1,6	-9,6±2,7	17,3±2,2	-3,6±2,0
Pokrywa	24,1±12,4	33,5±6,7	33,3±15,5	12,4±6,0	0,0±0,0	31,1±13,5
Lcisz	0,000±0,000	0,021±0,021	0,011±0,018	0,048±0,035	0,000±0,000	0,000±0,000
D_ZC	9,8±7,7	2,8±1,9	16,8±7,0	14,6±7,6	11,3±4,6	1,9±1,5
D_PW	7,9±2,0	11,0±2,0	9,0±2,8	6,9±1,6	11,3±4,0	7,5±2,5
D_Cis	13,7±5,4	10,6±2,3	7,5±3,0	4,6±1,1	9,1±3,5	7,7±3,7
D_TS	10,3±2,1	5,0±2,1	10,0±2,8	14,2±2,9	18,3±2,4	6,1±1,9
D_CPW	2,0±0,7	2,4±0,5	1,8±0,5	1,6±0,6	4,6±1,1	1,8±1,0
D_WW	29,3±12,3	19,8±15,4	18,9±7,7	43,0±12,9	62,0±6,7	16,1±5,6
D_U	2,091±0,776	2,475±0,553	1,757±1,051	3,481±1,445	1,173±0,211	1,574±0,955
D_V	2,269±0,473	2,321±0,608	2,212±1,044	3,476±1,258	1,470±0,776	1,410±0,860
$PM_{2,5}$	6,8±1,4	7,8±0,2	4,9±1,2	2,7±1,5	4,8±1,1	7,9±0,1
PM_{10}	35,3±16,8	34,7±16,5	34,5±10,0	24,8±11,6	32,7±15,4	23,1±11,7

Tabela 4.4.2.8. Zakresy stężeń $PM_{2,5}$ i PM_{10} w Katowicach w zależności od elementów meteorologicznych ze stacji Katowice (objaśnienie skrótów dla pierwszej kolumny zawiera tab. 4.4.2.2.)

Element meteorologiczny	**Wartość średnia ± odchylenie standardowe**					
ZC	7,7±0,2	6,2±1,0	6,9±0,4	5,2±1,6	2,3±1,5	4,1±1,2
PW	1,7±0,5	3,3±1,0	1,9±0,3	1,4±0,2	2,0±0,6	1,8±0,7
Cis	1015,9±7,4	1013,0±10,2	1006,2±5,1	1005,3±2,8	1036,8±1,9	1017,0±9,2
TS	-7,2±1,7	-5,9±1,9	-0,4±2,0	1,8±3,0	-14,7±0,9	-11,6±1,6
CPW	3,3±0,3	3,5±0,6	5,7±1,0	6,3±1,0	1,5±0,1	2,3±0,4
WW	91,0±5,1	87,5±3,4	93,9±3,3	89,4±4,7	76,1±4,1	88,7±5,6
U	-0,009±0,309	0,744±0,130	0,081±0,211	0,793±0,040	-0,224±0,144	0,800±0,067
V	-0,005±0,671	0,494±0,234	-0,474±0,273	0,043±0,224	-0,812±0,185	0,295±0,244
Opad	0,6±0,9	0,9±1,0	0,8±1,3	0,3±0,6	0,0±0,0	0,9±2,0
Tmin	-10,5±2,4	-10,7±2,7	-4,7±3,0	-2,9±3,3	-19,8±1,2	-17,6±2,9
Tmax	-4,6±2,1	-3,2±2,0	2,9±1,9	7,1±3,8	-8,7±1,0	-6,1±2,1

Element meteorologiczny	Wartość średnia ± odchylenie standardowe					
Pokrywa	19,9±6,1	20,3±5,6	20,3±8,9	21,0±11,5	16,8±0,4	22,1±5,3
Lcisz	0,030±0,019	0,000±0,000	0,012±0,019	0,092±0,031	0,021±0,021	0,042±0,031
D_ZC	4,0±2,7	11,1±5,2	12,3±4,9	12,0±7,2	10,0±3,5	12,9±5,8
D_PW	6,0±1,4	5,9±1,9	7,1±3,0	7,8±0,7	6,5±2,7	7,0±1,3
D_Cis	8,5±3,0	6,1±1,1	8,2±3,0	4,7±1,2	5,4±1,2	13,0±7,0
D_TS	8,6±4,2	10,5±2,7	10,9±2,0	16,1±4,5	19,4±2,4	19,1±4,4
D_CPW	1,9±1,0	2,1±0,6	3,5±1,5	4,0±1,6	1,7±0,2	2,7±1,0
D_WW	21,9±10,8	33,9±7,3	37,0±14,5	59,4±14,1	47,8±10,8	43,6±15,2
D_U	3,425±1,127	1,054±0,361	3,924±0,982	2,477±0,682	3,314±0,789	2,327±0,547
D_V	3,402±1,221	1,522±0,806	3,264±1,167	3,546±0,709	1,539±0,759	3,056±1,082
$PM_{2,5}$	108,4±23,3	73,1±25,6	134,3±51,8	126,0±34,7	122,6±47,1	146,6±60,3
PM_{10}	121,0±21,1	99,1±22,5	130,0±38,9	146,6±17,7	159,9±50,0	187,4±64,4

Przeprowadzona analiza pozwala wnioskować, że epizody wysokich stężeń pyłu w trzech lokalizacjach jakkolwiek generalnie dotyczą podobnych sytuacji meteorologicznych, to jednak prawdopodobnie różnią się genetycznie. Analiza wyników doprowadziła do wniosku, że wszystkie epizody pyłowe w Katowicach związane były z zespołem warunków meteorologicznych charakteryzujących pogodę stagnacyjną o małej prędkości wiatru, przy nisko położonej warstwie inwersyjnej. Jako że za najwyższe stężenia zanieczyszczeń niekoniecznie odpowiadały najniższe temperatury, wydaje się, że większe znaczenie ma tutaj czynnik wentylacyjny niż termiczny. W tym przypadku za wysokie stężenia pyłu odpowiadają zatem lokalne źródła emisji. W przypadku Gdańska i Diablej Góry stosunkowo wysokie stężenia notuje się także podczas umiarkowanych prędkości wiatru, co może przemawiać za dość dużym udziałem źródeł odległych, a w przypadku Gdańska być może także wpływem aerozolu morskiego.

4.5. Ekstrapolacja otrzymanych wyników na podobne sytuacje w Polsce

Analiza występowania epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń pyłowych wykazała, że dominują one w chłodnej porze roku. Ze względu na rozmiar przestrzenny, epizody takie można podzielić na globalne (obejmujące obszar prawie całego kraju), regionalne obejmujące kilka województw i lokalne występujące na terenie miasta lub aglomeracji. Za występowanie tych pierwszych odpowiadają stacjonarne układy baryczne o słabym zróżnicowaniu pola ciśnienia, związane głównie z typami cyrkulacji antycyklonalnymi i cyklonalnymi południowymi i wschodnimi. Choć częstość występowania takich sytuacji wynosi w roku aż 12,3 %, a w sezonie zimowym 10,8%, to jednak do powstania takiego globalnego epizodu dochodzi nie częściej niż kilka razy w roku (w 2010 r. 2 razy, w 2006 r. 3 razy). Epizody te charakteryzują się długotrwałością (od 2 do 4 dni) i są determinowane wpływami lokalnych, antropogenicznych źródeł zanieczyszczeń. Charakterystyczną ich cechą jest również zróżnicowany w czasie wpływ zanieczyszczeń z dalekiego transportu (patrz epizod 7 – 8 01.2010), z przeważającym udziałem dalekich i średnio oddalonych źródeł antropogenicznych. Udział źródeł naturalnych w stężeniach pyłu w takich epizodach jest pomijalny w dużych aglomeracjach i nieznaczny w obszarach „czystych".

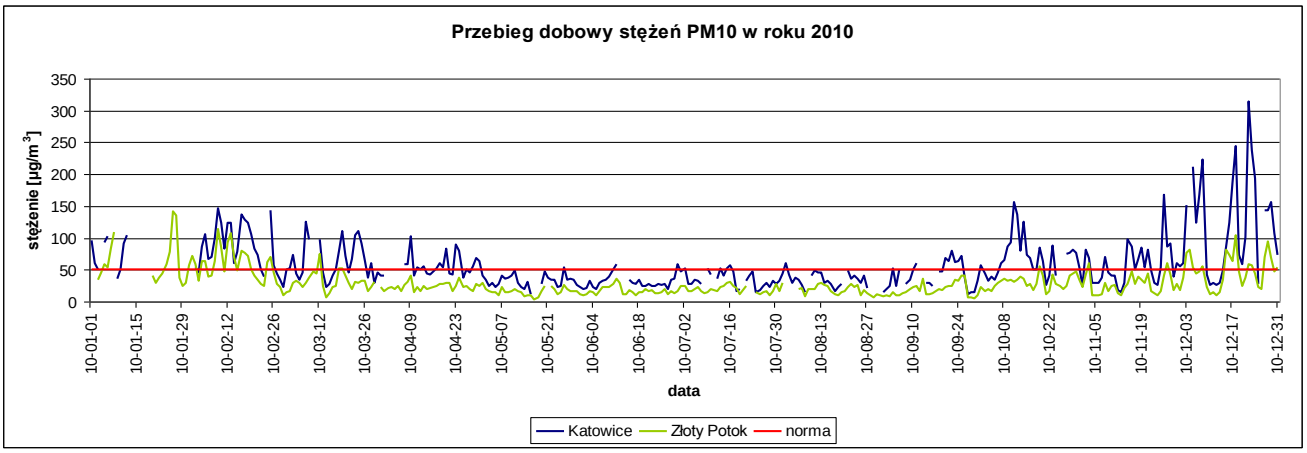
Epizody regionalne występują w sytuacjach zróżnicowanego pola barycznego nad obszarem Polski i dotyczą w większości przypadków obszarów zurbanizowanych. Ich częstość

występowania liczy kilka dni w roku. Zdarzają się w sytuacjach występowania skraju (klina) układu wyżowego lub w sytuacjach „zerowych". I w tych sytuacjach dominuje wpływ czynników lokalnych na kształtowanie się imisji zanieczyszczeń, choć napływ zanieczyszczeń dalekiego transportu bywa ukierunkowany (patrz epizod 11.03.2010). Udział źródeł naturalnych w stężeniach pyłu jest nieznaczny. W przypadku napływu znad morza istnieje prawdopodobieństwo identyfikacji aerozolu morskiego.

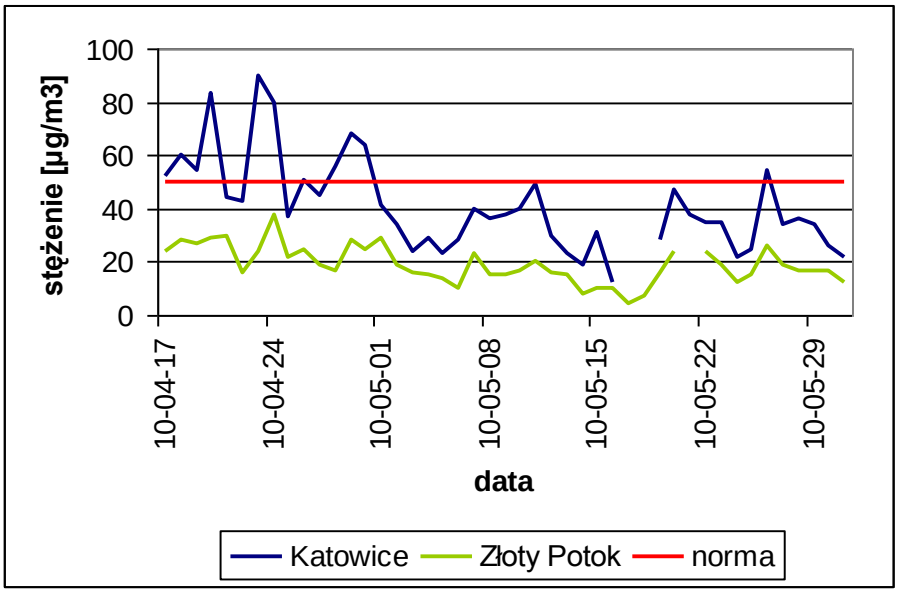
Epizody lokalne zdarzają się w sytuacjach zróżnicowanego pola barycznego nad obszarem Polski choć dominują w przypadku występowania słabego układu wyżowego zdarzają się także w sytuacjach cyklonalnych związanych z umiarkowanym poziomym gradientem barycznym. Epizody te są zazwyczaj krótkotrwałe a ich występowanie związane jest z oddziaływaniem lokalnych źródeł emisji. Częstość występowania takich sytuacji - kilka, kilkanaście razy w roku.

Opisane epizody są charakterystyczne dla chłodnej pory roku (98 % przypadków) i najczęściej dobrze udokumentowane zarówno na stacjach pomiaru imisji zanieczyszczeń (charakteryzują się przekroczeniami wartości dopuszczalnych) jak też przeprowadzona jest dla nich dogłębna analiza meteorologiczna [Blażek Z. et al. 2010; Ośródka et al. 2006].

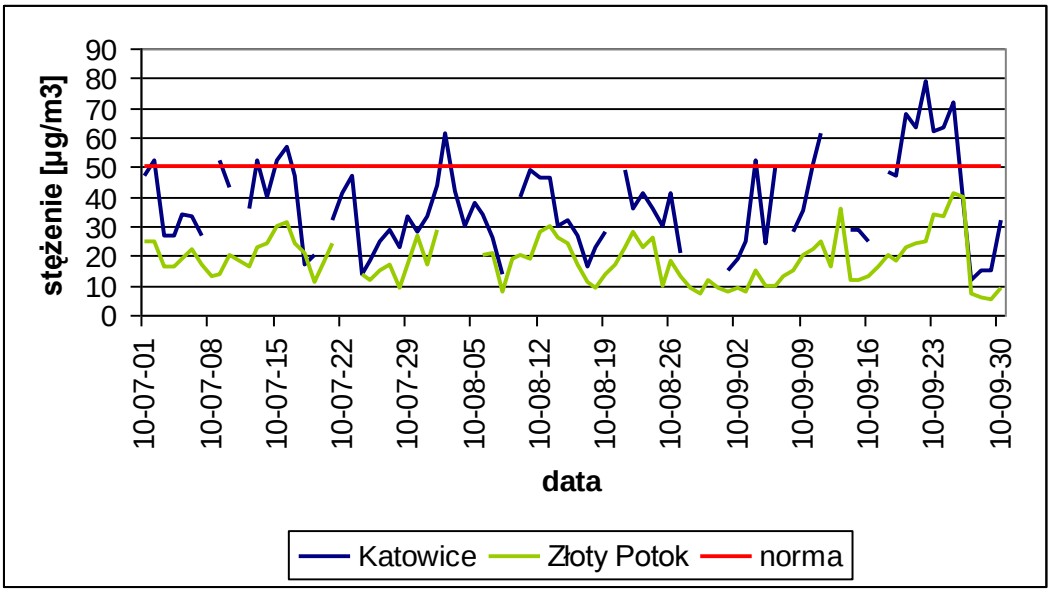
W przypadku epizodów związanych tylko z wpływami naturalnych źródeł emisji sytuacja jest dużo trudniejsza. Umykają one kontroli ze względu na nieznaczne wzrosty stężeń monitorowanych substancji pyłowych (PM_{10}, $PM_{2,5}$), bądź nakładanie się wpływów antropogenicznych i naturalnych. O trudnym, a może niemożliwym do wyodrębnienia, udziale takich sytuacji w trakcie analiz danych niech świadczy analiza przebiegu dobowych stężeń zanieczyszczeń na stacjach w Katowicach i Złotym Potoku w 2010 roku (rysunek 4.5.1. – 4.5.3.).



Rysunek 4.5.1. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu PM_{10} w 2010 r. na stacji PMŚ Katowice i Złoty Potok (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)



Rysunek 4.5.2. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu PM_{10} w kwietniu 2010 r. na stacji PMŚ Katowice i Złoty Potok (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)



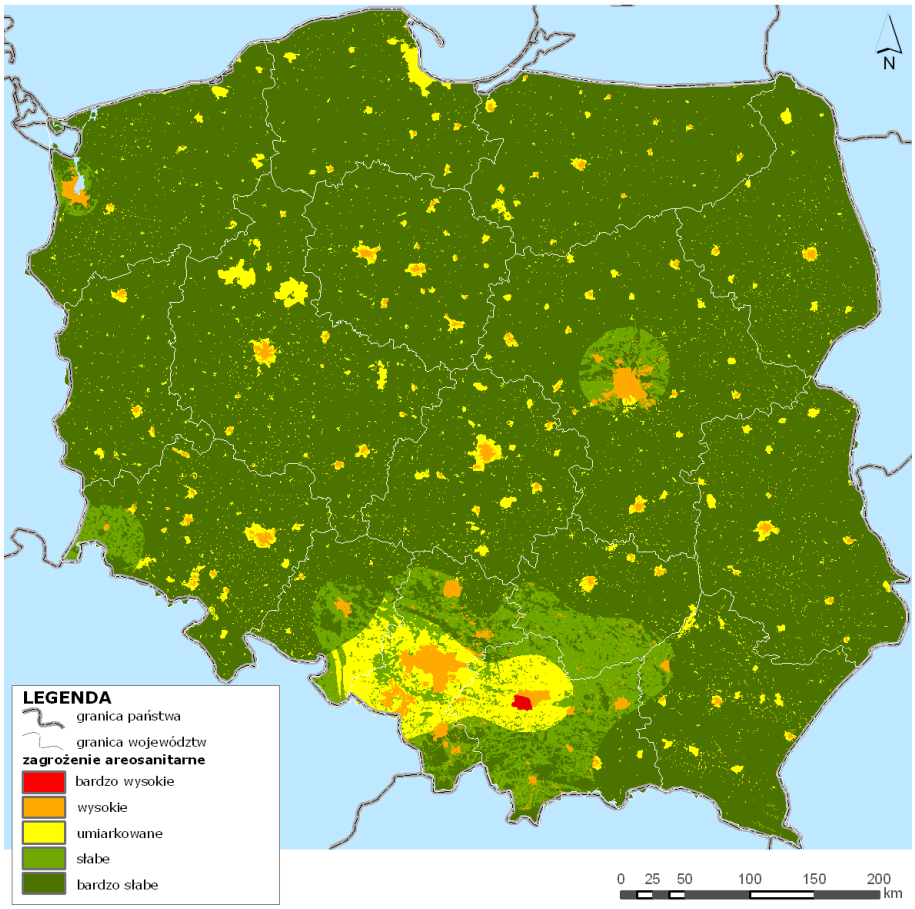
Rysunek 4.5.3. Przebieg średnich dobowych stężeń pyłu PM_{10} w okresie lipiec – wrzesień 2010 r na stacji PMŚ Katowice i Złoty Potok (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)

Dobowy przebieg zanieczyszczeń nie wskazuje na wpływ udokumentowanych zdarzeń emisji pyłu ze źródeł naturalnych (erupcja wulkanu na Islandii w kwietniu 2010 r., pożary lasów w Rosji – sierpień 2010). Również analiza stężeń średniomiesięcznych i liczby przekroczeń stężeń dopuszczalnych wskazuje, że istotne znaczenia mają tutaj tylko źródła antropogeniczne.

Tabela 4.5.1. Przebieg roczny liczby przekroczeń dobowej wartości dopuszczalnej i średniego miesięcznego stężenia pyłu PM_{10} na stacjach w Złotym Potoku (stacja tła regionalnego) i Katowicach (stacja tła miejskiego) w 2010 roku (dane niezweryfikowane ze strony http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/)

Rok 2010	**Złoty Potok**		**Katowice**	
miesiąc	**liczba przekroczeń wartości dopuszczalnej**	**średnie miesięczne stężenie** $\mu g/m^3$	**liczba przekroczeń wartości dopuszczalnej**	**średnie miesięczne stężenie** $\mu g/m^3$
I	9	61	6	76
II	15	58	21	88
III	3	30	15	62
IV	-	24	15	57
V	-	16	1	32
VI	-	17	2	31
VII	-	19	5	35
VIII	-	18	1	35
IX	-	18	9	41
X	1	30	20	69
XI	2	27	14	56
XII	14	48	22	120

Na zakończenie dywagacji o czasowym i przestrzennym występowaniu epizodów wysokich stężeń pyłu przedstawiono mapę takich sytuacji, która pokazuje najbardziej prawdopodobny rozkład częstości występowania ich w Polsce. Mapa ta pochodzi z prac badawczych prowadzonych w ramach projektu KLIMAT pn. *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)"* realizowanego przez IMGW-PIB w ramach POIG i współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i została przytoczona za zgodą Kierownika Projektu.



Rysunek 4.5.4. Potencjalne zagrożenie występowania epizodów pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ w Polsce

Mapa przedstawia zagrożenie występowania tzw. epizodów wysokich stężeń pyłu w oparciu o kryteria meteorologiczne i częstość występowania ponadnormatywnych stężeń pyłu.
Wynika z niej, że najbardziej zagrożone są obszary Śląska i Małopolski a także obszary dużych aglomeracji miejskich. Identyfikacja zatem w tych obszarach udziału źródeł naturalnych spowoduje niewielkie polepszenie wskaźników jakości powietrza. Niewielkie polepszenie tych wartości może być oczekiwane w pasie nadmorskim (ze względu na występujący tam sporadycznie aerozol morski). Z uwagi na efemeryczny udział zanieczyszczeń naturalnych związanych z aerozolem terygenicznym (piaski saharyjskie, aerozol eoliczny), a także pył wulkaniczny i pożary lasów, należy liczyć się tylko z epizodycznym wypływem tych substancji na sumaryczne stężenie pyłu.

Podziękowania

Autorzy pracy składają podziękowania NOAA ARL (National Oceanic and Atmospheric Administration Air Resources Laboratory) za możliwość wykorzystania modelu transportu i dyspersji HYSPLIT oraz innych produktów dostępnych na stronie internetowej http://www.arl.noaa.gov/ready.php w niniejszym opracowaniu.

Autorzy pracy składają podziękowania Kierownictwu Projektu nr POIG.01.03.01-14-011/08 pt. „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)", akronim: KLIMAT za możliwość wykorzystania w niniejszej pracy opracowanej dla potrzeb projektu KLIMAT mapy zagrożenia aerosanitarnego Polski.

4.6. Identyfikacja strumieni pyłu w trakcie wybranych epizodów

4.6.1. Metody identyfikacji napływu zanieczyszczeń

W zarządzaniu jakością powietrza, oprócz kontroli poziomu stężeń zanieczyszczeń, pojawia się konieczność ustalenia odpowiedzialności za rejestrowane stężenia zanieczyszczeń.

W Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (IETU) prace nad stworzeniem narzędzi umożliwiających określenie pochodzenia zanieczyszczeń mierzonych w trakcie rutynowego monitoringu jakości powietrza rozpoczęły się na początku lat 90', z chwilą uzyskania dostępu do danych z automatycznych systemów monitoringu stężeń zanieczyszczeń powietrza jak i danych o chwilowym stanie wektora wiatru.

W roku 1995, do analizy danych z automatycznego systemu monitoringu dla Zakładów Azotowych w Kędzierzynie-Koźlu, powstał zestaw narzędzi statystycznych o nazwie BASKI-95. System umożliwiał identyfikację strumieni napływu zanieczyszczeń, identyfikację dużych źródeł emisji, identyfikację oddziaływania źródeł obszarowych [Kliś, 2003].

Badania strumieni zanieczyszczeń pokazały, że zwiększenie częstości pomiarów stężeń oraz wykorzystanie trajektorii napływu tworzonych w oparciu o 3-wymiarowe pole wiatru, pozwala na selekcjonowanie stężeń powodowanych przez duże źródła emisji, lokalizację źródeł oraz wyselekcjonowanie sygnałów wolnozmiennych charakteryzujących stężenia powodowane przez odległe źródła emisji [Kliś, Żeglin, 2001].

W oparciu o tę obserwację powstała koncepcja Systemu Identyfikacji Napływu Zanieczyszczeń Powietrza (SINZaP), wspomagającego rutynowy monitoring jakości powietrza na wybranym terenie, a umożliwiającego kontrolę emisji i przemieszczania się zanieczyszczeń w monitorowanym obszarze.

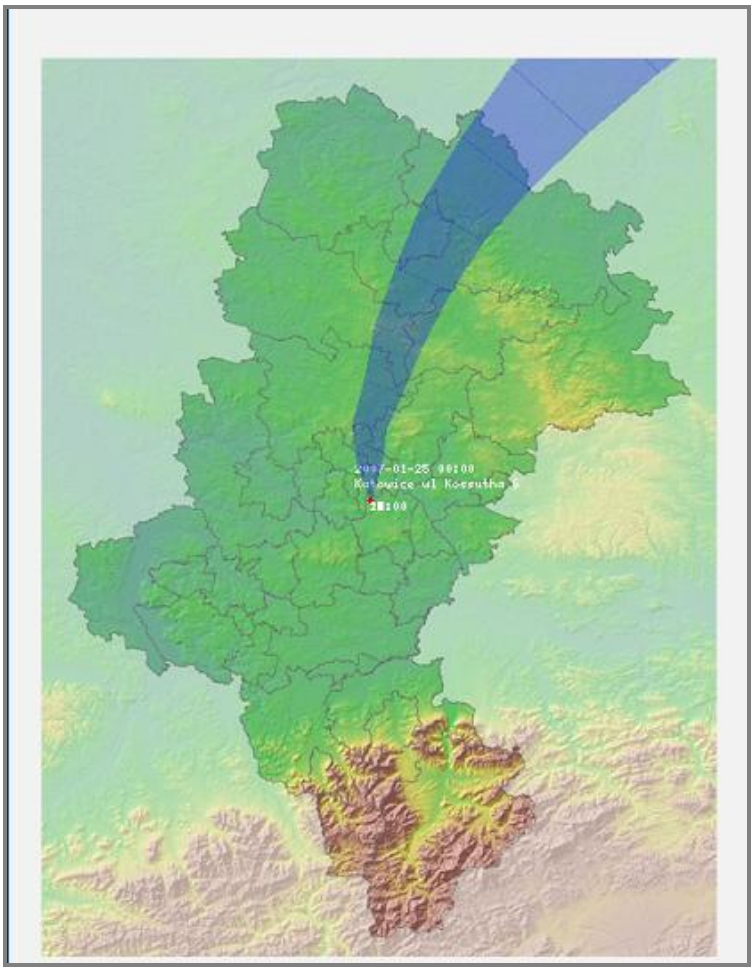
W latach 2003-2004, w ramach grantu badawczego [Kliś, 2004], powstał eksperymentalny system do kontroli przepływu zanieczyszczeń w strefie nadgranicznej w oparciu o stacje monitoringu w Pszczynie, Jastrzębiu i Cieszynie.

W latach 2006-2007 SINZaP działał na potrzeby projektu MARQUIS [Bronder, Kliś, 2008] jako system prognozujący stężenia zanieczyszczeń napływających spoza granic województwa i wspomagający prognozowanie stężeń zanieczyszczeń powietrza dla województwa śląskiego [Kliś, Bronder, 2007; Kliś, Bronder, 2008].

Na stronie internetowej systemu udostępniano m.in. trajektorie napływu zanieczyszczeń powietrza dla każdej stacji Śląskiego Monitoringu Powietrza i dla każdej godziny (rysunek 4.6.1.1.).

W roku 2008 SINZaP otrzymał Srebrny Medal na 57 Targach Wynalazczości, Badań i Nowych Technik BRUSSELS INNOVA 2008.

Funkcjonowanie systemu zostało zawieszone w 2009 wskutek braku środków na jego utrzymanie.



Rysunek 4.6.1.1. Przykład wiązki trajektorii wstecznych z serwisu internetowego SINZaP

4.6.2. Identyfikacja strumieni pyłu w atmosferze

Zbiór punktów, w których znajdowała się cząstka powietrza zanim dotarła do ustalonego receptora, tworzy krzywą zwaną trajektorią wsteczną. Styczna do trajektorii w dowolnym punkcie jest wektorem wiatru w tym punkcie. 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 wyznacza obszar zasilania receptora (obszar źródłowy receptora) [Schmid, Oke, 1990].

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 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 minimalnym 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 modelowany wektor 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 w tych warunkach 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 obciążone dużą niepewnością.

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

4.6.3. Modelowanie ruchu mas powietrza

Aby określić jak przemieszcza się powietrze w określonym fragmencie przyziemnej warstwy atmosfery, konieczny jest dostęp do 3-wymiarowego pola wiatru. Taki obraz można uzyskać jedynie za pomocą odpowiednich modeli meteorologicznych. Modele takie, wykorzystując dane z naziemnych pomiarów meteorologicznych, pionowego sondażu atmosfery, obserwacji satelitarnych i radarowych oraz rozwiązując równania wiążące te parametry, dają obraz stanu 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 dane pomiarowe. Do symulacji trajektorii wstecznych został zastosowany program, wykorzystujący dane meteorologiczne generowane przy pomocy modelu MM5, oraz program HYSPLIT udostępniony w Internecie.

Trajektorie wyznaczane 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° na 2,5°. Program jest dostępny interaktywnie na stronach internetowych Air Resources Laboratory (ARL). Trajektorie wyznaczane 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 wyznaczane przy pomocy modułu SINZaP

Druga metoda generowania trajektorii wstecznych została oparta na module trajektoryjnym systemu SINZaP. 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 meteorologicznego 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 domenie zawierającej obszar Polski oraz sąsiednich krajów, przetransformowanej odwzorowaniem Lamberta z punktem styczności 52^{o}N, 20^{o}E, równoleżnikami 50 i 54^{o}N, oraz przesunięciem 540 km, 540 km. Domena została opisana przy pomocy siatki 120 x 120 węzłów z rozmiarami komórki 9 km x 9 km.

Wejściowymi danymi metrologicznymi 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 przypowierzchniowej. Oznacza to wzrost stężeń pyłu emitowanego z niskich emitorów.

Należy zwrócić uwagę na to, że w całym okresie I kwartału 2010 roku wysokość warstwy mieszania w godzinach wieczornych, nocnych i porannych utrzymywała się poniżej 100 m (najczęściej 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.

4.6.4. Zakres przeprowadzonych analiz

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

Stacja	Długość geograficzna [^{o}E]	Szerokość geograficzna [^{o}N]
Diabla Góra	22.03799167	54.125125
Gdańsk	18.620278	54.380278
Katowice	18.97508333	50.26458333

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 (pomiary prowadzone przez IOŚ w ramach PMŚ - program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego),
  - dane z stacji AM8 w Gdańsku (pomiary prowadzone przez Fundację ARMAAG w ramach PMŚ),
  - dane ze stacji 12.009 w Katowicach (pomiary 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 (załącznik G),
  - stacje WIOŚ w Katowicach (załącznik K)

Na potrzeby analizy warunków meteorologicznych na stacjach pomiarowych, w załączniku M, w tabelach M1 (Diabla Góra), M2 (Gdańsk), M3 (Katowice) 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, w załączniku S, w tabeli S1 (Diabla Góra), tabeli S2 (Gdańsk) i tabeli S3 (Katowice) 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.

4.6.5. Analiza wybranych epizodów

4.6.5.1. Analiza epizodów wybranych na stacji w Diablej Górze

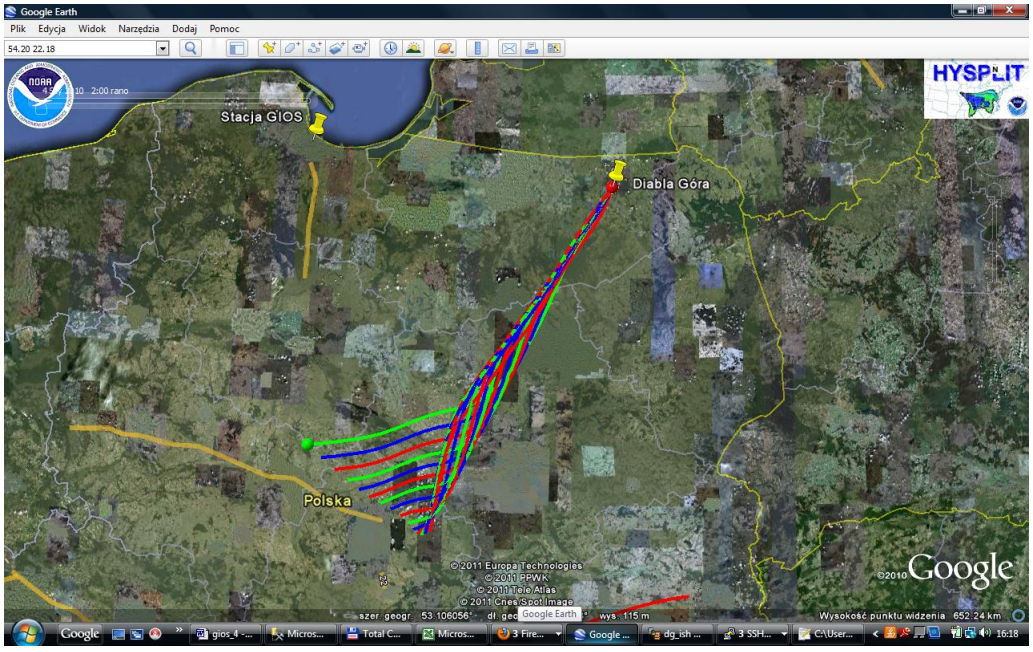
Sytuacja 5 stycznia na stacji w Diablej Górze

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
05-01-2010	39	-7,8	-6,1	72	72	0,31	0,56

Zidentyfikowana wiązka modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-05 01:00	2010-01-05 16:00	241	253	1,9	3,4	39	39

W godzinach od 01:00 do 16:00, stabilny, zbliżony do modelowanego przez HYSPLIT wiatr na stacjach meteorologicznych w Suwałkach, Mikołajkach i Kętrzynie (prędkość od 4.0 do 6.0 m/s) wyznaczył zwartą wiązkę 24-godzinnych trajektorii wstecznych, sięgającą w rejon Warszawy (rysunek 4.6.5.1.1.). Przy średniodobowym stężeniu pyłu $PM_{2,5}$ na poziomie 39 µg/m^3 otrzymujemy strumień $PM_{2,5}$ o natężeniu do 200 µg/m^2/s zbliżony do natężenia strumienia pyłu PM_{10} z dużych źródeł emisji.



Rysunek 4.6.5.1.1. Wiązka trajektorii wstecznych 5 stycznia od godz. 01:00 do godz. 16:00 na stacji w Diablej Górze

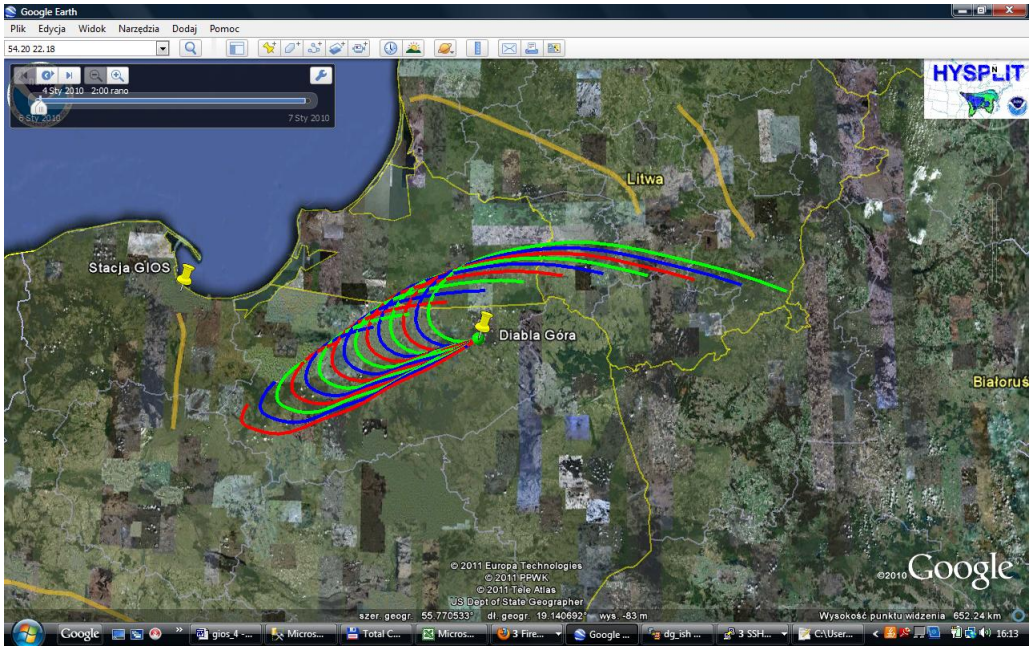
Sytuacja 7-8 stycznia na stacji w Diablej Górze

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
07-01-2010	40	-8,0	-6,0	72	226	0,11	0,38
08-01-2010	69	-8,0	-6,0	72	113	0,1	0,47

Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenie $PM_{2,5}$	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-07 00:00	2010-01-07 23:00	232	254	0,25	2,5	40	40
M2	2010-01-08 01:00	2010-01-09 00:00	235	252	0,25	2,7	69	69

W pierwszych godzinach 7 stycznia na stacjach meteorologicznych w Suwałkach, Mikołajkach i Kętrzynie wiatr wiał z północnego-zachodu i nieco różnił się od wiatru przewidywanego przez HYSPLIT. Od godzin południowych kierunek wiatru wyznaczonego przez HYSPLIT był zbliżony do wiatru na stacjach meteorologicznych.



Rysunek 4.6.5.1.2. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 7 stycznia na stacji w Diablej Górze

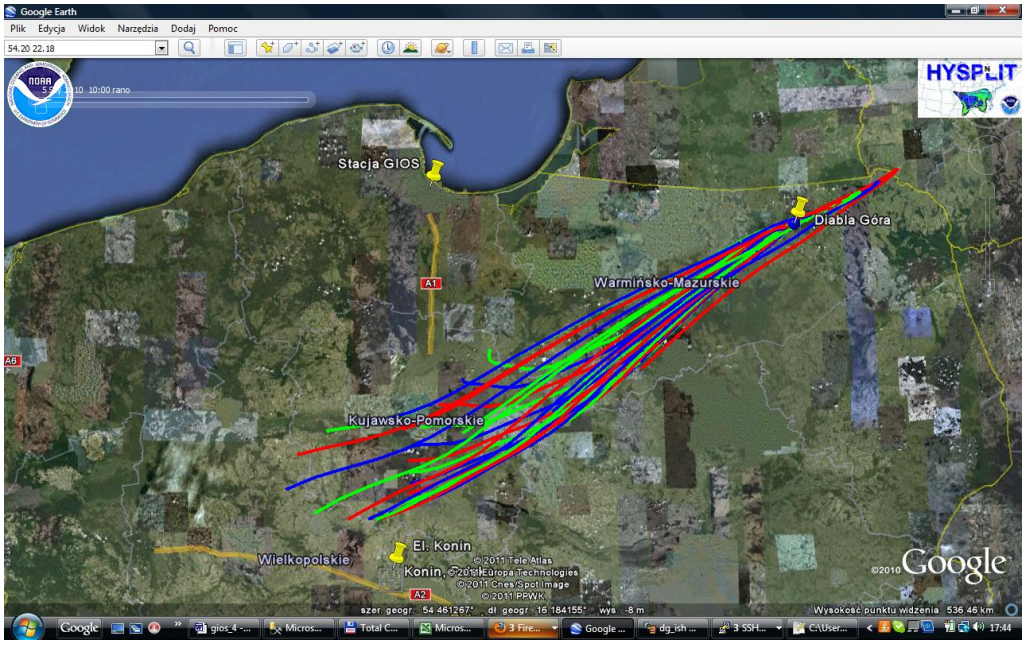
Wiązka trajektorii wstecznych M1 (rysunek 4.6.5.1.2.) wskazywała napływ mas powietrza z południowego-zachodu. Jednak, jak to wynika z rysunku, były to strumienie powietrza, które napływały z północnego-wschodu i w rejonie Olsztyna zawracały.

Przy takiej konfiguracji napływu w obszarze zasilania znajdowała się zarówno południowa część Litwy oraz sąsiadującego z Polską okręgu Kaliningradzkiego, jak i rejon Olsztyna.

Średni poziom stężeń pyłu $PM_{2,5}$ był porównywalny do tego jaki notowano w dniu 5 stycznia przy napływie mas powietrza z południa. Jednakże, z uwagi na znacznie niższą prędkość wiatru (na stacjach meteorologicznych) natężenie strumienia pyłu $PM_{2,5}$ było o połowę niższe niż 5 stycznia.

W dniu 8 stycznia ustabilizował się napływ mas powietrza z południowego-zachodu. Modelowany wiatr w warstwie przyziemnej był zgodny z wiatrem mierzonym w Diablej Górze i na stacji meteorologicznej w Suwałkach.

Pod koniec dnia wiatr zmienił kierunek na przeciwny, jednakże były to te same masy powietrza co w godzinach wcześniejszych. Stężenie pyłu $PM_{2,5}$ można więc w całości przypisać wiązce M2, którą ilustruje rysunek 4.6.5.1.3.



Rysunek 4.6.5.1.3. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 8 stycznia na stacji w Diablej Górze

Analizując rysunek 4.6.5.1.3. przedstawiający 24-godzinne trajektorie wsteczne w dniu 8 stycznia można zauważyć, że w obszarze zasilania tej wiązki znalazła się centralna część Polski. W niewielkiej odległości od wyznaczonego obszaru zasilania wiązki znalazł się Zespół Elektrowni Pątnów, Adamów, Konin.

Średni poziom stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w wiązce M2 wynosił 69 $\mu g/m^3$ i był prawie o 30 $\mu g/m^3$ wyższy niż stężenia pyłu w innych wiązkach. Biorąc pod uwagę prędkość wiatru na stacjach meteorologicznych (2 - 4.6 m/s) natężenie strumienia pyłu $PM_{2,5}$ w tej wiązce kształtowało się w zakresie od 150 – 220 $\mu g/m^2/s$, a więc było niewiele wyższe niż 5 stycznia.

Sytuacja 25-27 stycznia na stacji w Diablej Górze

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]	Zakres temperatury powietrza [^oC]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
25-01-2010	47	-26	-19	37	114	0,1	0,16
26-01-2010	37	-23	-11	72	226	0,1	0,35
27-01-2010	37	-16	-12	72	252	0,29	0,56

W dniach 25-26 stycznia wystąpiły:

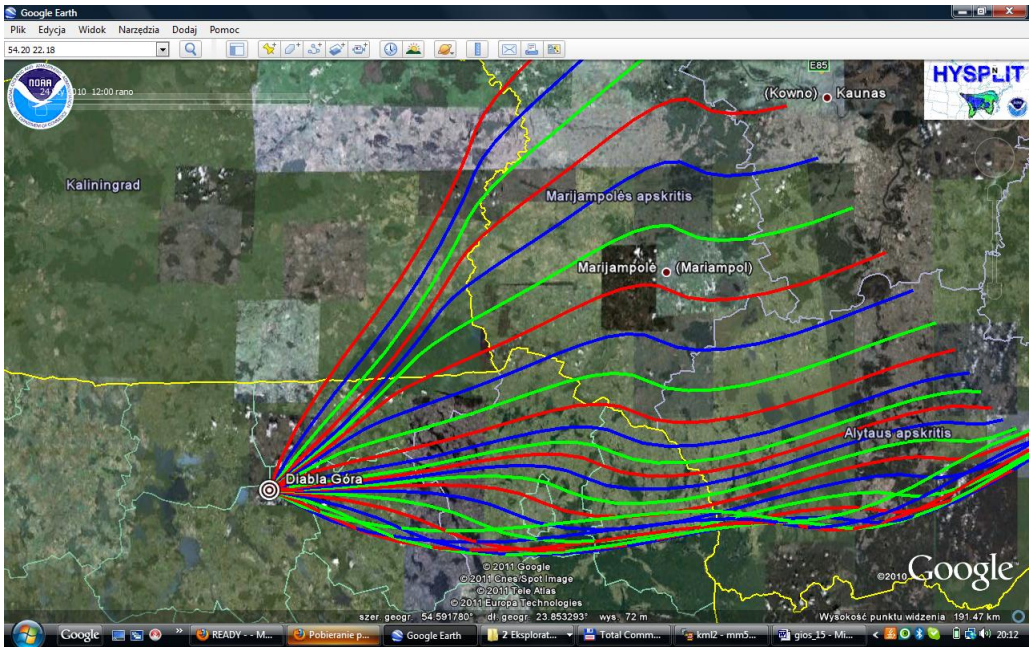
- bardzo niskie temperatury, wpływające na zwiększenie zużycia paliw i zwiększoną emisję pyłu do powietrza, co niewątpliwie miało wpływ na poziom stężeń pyłu $PM_{2,5}$ w powietrzu,
- mała wysokość warstwy mieszania w godzinach nocnych,
- małe prędkości dynamiczne.

Zidentyfikowano następujące wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

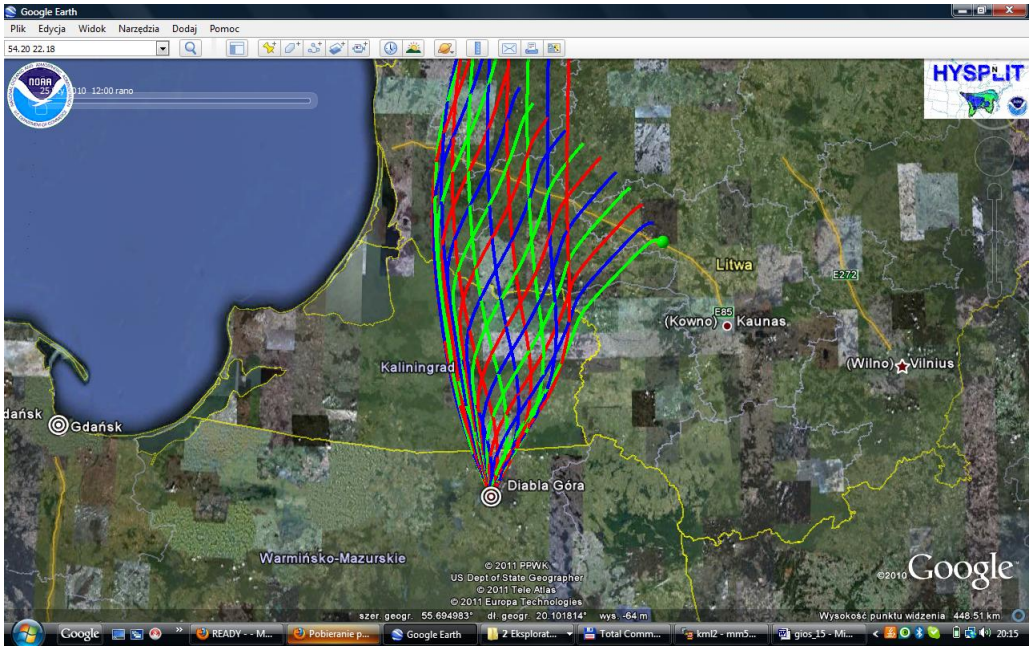
	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenie $PM_{2,5}$	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-25 01:00	2010-01-26 00:00	85	184	2,2	5,0	47	47
M2	2010-01-26 01:00	2010-01-27 00:00	148	170	3,4	5,7	37	37
M3	2010-01-27 01:00	2010-01-28 00:00	150	248	3,0	4,7	37	37

Wystąpiły istotne rozbieżności między wiatrem modelowanym przez Air Resources Laboratory na potrzeby HYSPLIT (rysunek 4.6.5.1.4.) a wiatrem rejestrowanym na stacjach meteorologicznych. Na stacji w Suwałkach leżącej na wschód od Diablej Góry wiał wiatr północny, podczas gdy na stacji w Kętrzynie i Mikołajkach występował wiatr wschodni.

W obszarze zasilania wiązki trajektorii wstecznych z dnia 25 stycznia pokazanej na rysunku 4.6.5.1.4., na obszarze Polski znalazły się m.in. Suwałki i Gołdap, a na terytorium Litwy m.in. Mariampol i Kowno. Stężenia pyłu $PM_{2,5}$ (49 µg/m^3) były porównywalne do stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w wiązkach trajektorii wstecznych z centralnej Polski. Jednakże natężenie strumienia pyłu $PM_{2,5}$ było znacznie mniejsze.



Rysunek 4.6.5.1.4. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 25 stycznia na stacji w Diablej Górze

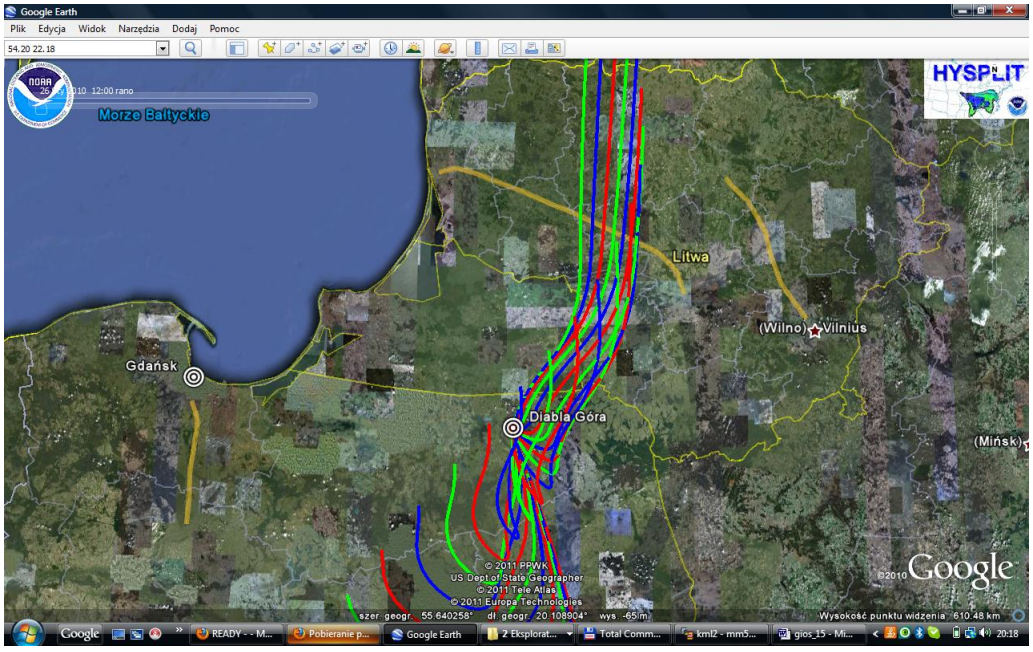


Rysunek 4.6.5.1.5. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 26 stycznia na stacji w Diablej Górze

Wiązka trajektorii wstecznych z dnia 26 stycznia modelowana przez HYSPLIT a pokazana na rysunku 4.6.5.1.5. wskazuje na napływ pyłu z północy. Tego dnia stacje meteorologiczne sąsiadujące z Diablą Górą w godzinach rannych notowały wiatr z kierunku północno-zachodniego. Kierunki wiatru uzgodniły się w godzinach południowych.

Stężenia pyłu $PM_{2,5}$ (37 $\mu g/m^3$) były porównywalne do stężenia pyłu $PM_{2,5}$ w wiązkach z dnia 5 stycznia.

W ciągu 27 stycznia wiatr zmieniał kierunek z północno-wschodniego na południowo-wschodni (rysunek 4.6.5.1.6.). Ponieważ stężenia pyłu zostały wyznaczone dla całego dnia, więc nie można ich przypisać konkretnemu kierunkowi napływu. Wobec tych rozbieżności nie ma podstaw do identyfikacji źródeł emisji pyłu.



Rysunek 4.6.5.1.6. Wiązki trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 27 stycznia na stacji w Diablej Górze

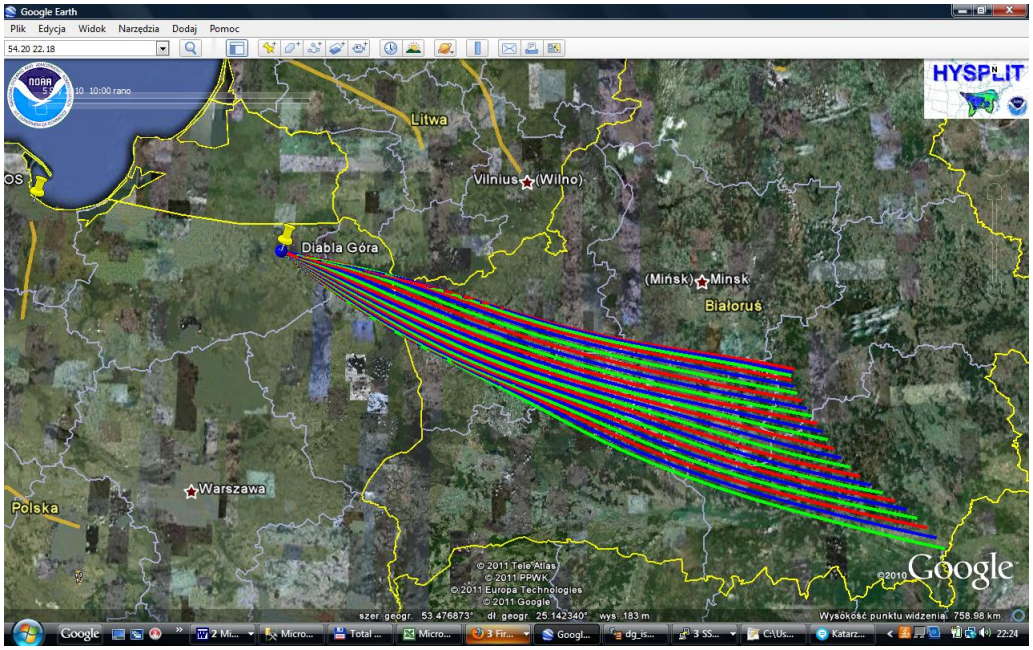
Sytuacja 2 lutego na stacji w Diablej Górze

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
02-02-2010	49	-5	-1	72	72	0,24	0,53

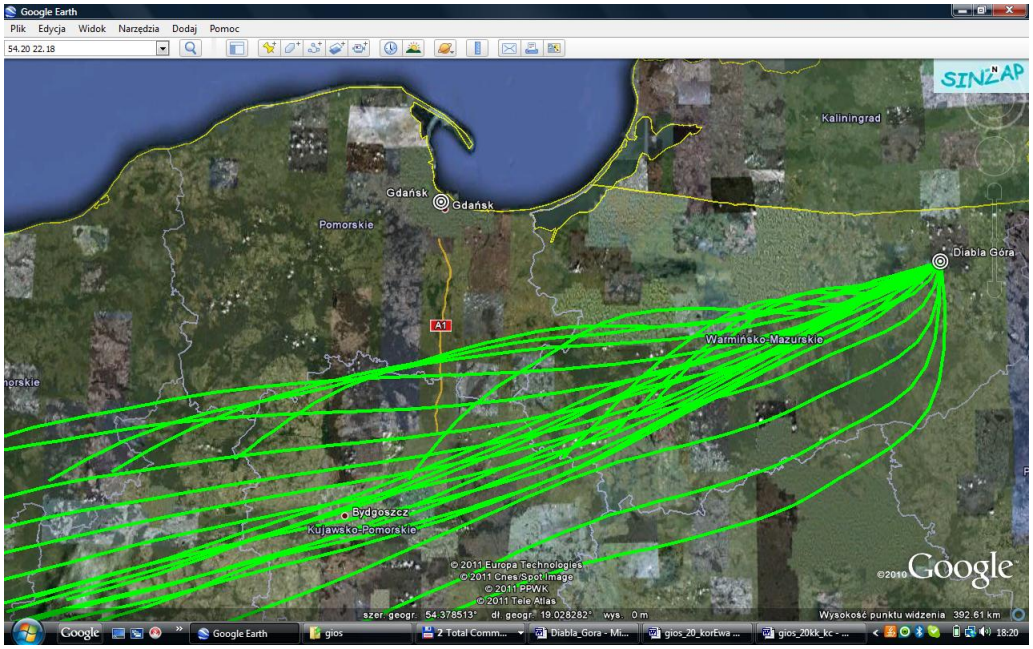
Wiązka trajektorii modelowana przy pomocy MM5:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenie $PM_{2,5}$	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-02 01:00	2010-02-02 23:00	174	254	2,6	5,8	49	49

Wiązka trajektorii modelowana przez HYSPLIT dla 2 lutego dla stacji w Diablej Górze pokazuje napływ mas powietrza z południowego-wschodu (rysunek 4.6.5.1.7), podczas gdy pomiary na stacjach meteorologicznych w Suwałkach, Mikołajkach i Kętrzynie wykazywały wiatr z południowego-zachodu (por. tabela S1 w załączniku S). Wobec tych rozbieżności nie można wykorzystać trajektorii generowanych przez HYSPLIT do identyfikacji źródeł emisji pyłu.



Rysunek 4.6.5.1.7. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 2 lutego na stacji w Diablej Górze modelowana przez HYSPLIT



Rysunek 4.6.5.1.8. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 2 lutego na stacji w Diablej Górze generowana przy pomocy SINZaP

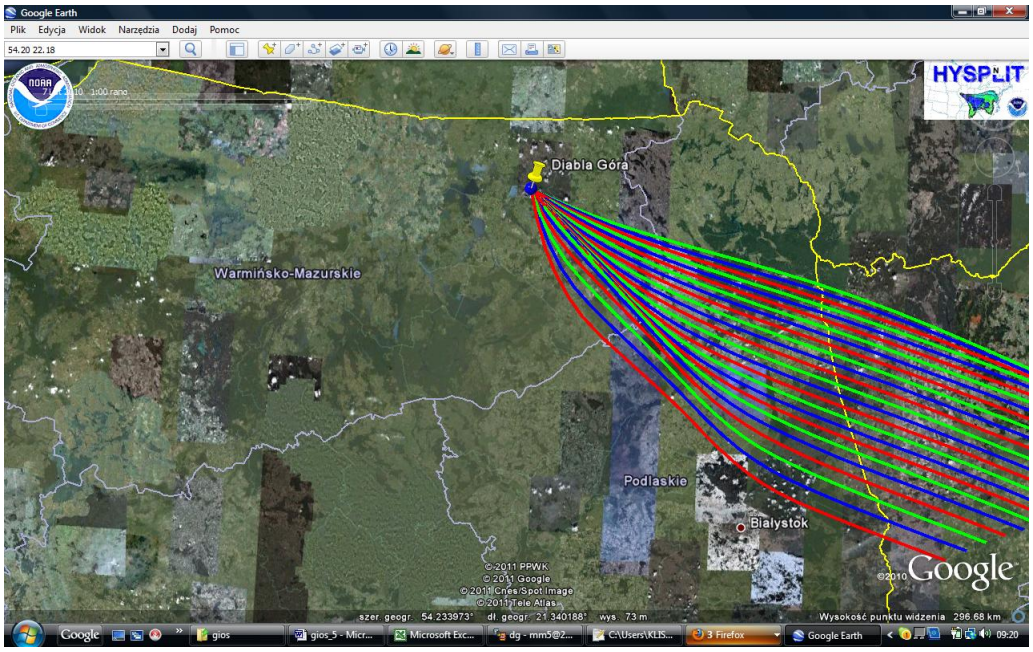
Trajektorie wsteczne wygenerowane przy pomocy modułu SINZaP pokazano na rysunku 4.6.5.1.8. Kierunki trajektorii wstecznych na stacji, w godzinach od 1:00 do 19:00 były zgodne z pomiarami wiatru na stacjach meteorologicznych w Suwałkach, Mikołajkach i Kętrzynie (por. tabela S1 w załączniku S). Trajektorie wsteczne pokazują napływ pyłu $PM_{2,5}$ z centralnej Polski. Przy średnim stężeniu pyłu $PM_{2,5}$ na poziomie 49 $\mu g/m^3$ i średniej prędkości wiatru 3.5 m/s, otrzymujemy natężenie strumienia pyłu 177 $\mu g/m^2/s$.

Sytuacja 9 lutego na stacji w Diablej Górze

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
09-02-2010	47	-12	-1	72	456	0,1	0,24

Zidentyfikowana wiązka modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenie $PM_{2,5}$	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-09 01:00	2010-02-10 00:00	136	167	0.5	1,6	47	47



Rysunek 4.6.5.1.9. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 9 lutego na stacji w Diablej Górze

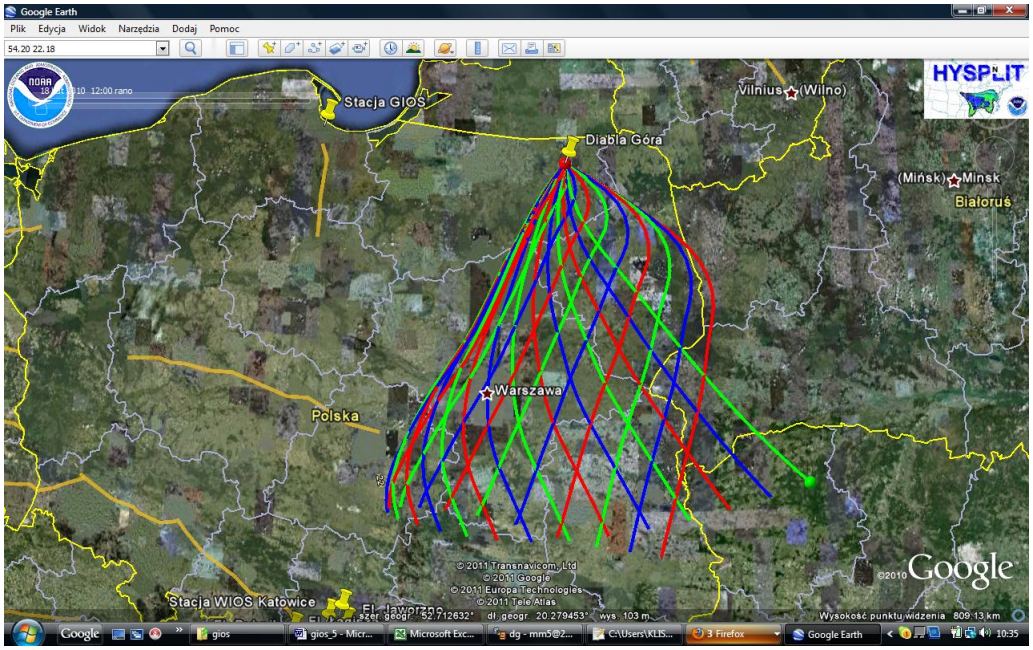
W dniu 9 lutego wiatr modelowany przy pomocy MM5 był zgodny z wiatrem mierzonym na stacji w Diablej Górze, a od godzin południowych zgodny z wiatrem na stacji w Suwałkach. Wiązka trajektorii wstecznych wygenerowana przy pomocy programu HYSPLIT w dniu 9 lutego została pokazana na rysunku 4.6.5.1.9. Obrazuje ona napływ pyłu z rejonu Białorusi zsumowany z emisjami ze źródeł w północno-wschodniej Polsce. Średniodobowe stężenie pyłu $PM_{2,5}$ na poziomie 47 µg/m^3, przy relatywnie niskim natężeniu strumienia tego pyłu z powodu małych prędkości wiatru, wskazuje na oddziaływanie źródeł obszarowych znajdujących się w odległości do 100 km od Diablej Góry.

Sytuacja 19 lutego na stacji w Diablej Górze

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
19-02-2010	58	-1	1	72	243	0,1	0,43

Zidentyfikowana wiązka modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenie $PM_{2,5}$	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-19 01:00	2010-02-19 23:00	125	250	1,2	4,3	58	58



Rysunek 4.6.5.1.10. Wiązka trajektorii pyłu $PM_{2,5}$ w dniu 19 lutego na stacji w Diablej Górze

Wiązkę trajektorii wstecznych z dnia 19 lutego wygenerowanych przy pomocy programu HYSPLIT pokazano na rysunku 4.6.5.1.10. Do południa wiatr wiał z południowego-zachodu. Około południa kierunek wiatru zmienił się na południowo-wschodni, ale obszar zasilania wiązki 24-godzinnych trajektorii wstecznych do godz. 12:00 jest podobny do obszaru zasilania trajektorii wstecznych po godz. 12:00.

4.6.5.2. Analiza epizodów wybranych na stacji w Gdańsku

Sytuacja 6-7 stycznia na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
06-01-2010	41	50	-8,1	-5,6	72	224	0,11	0,48
07-01-2010	62	75	-6,0	-3,9	72	113	0,1	0,29

W Trójmieście można zidentyfikować następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-01-06 01:00	2010-01-06 05:00	131	155	1,1	3,0	41	60	49	72
R2	2010-01-06 10:00	2010-01-06 19:00	134	141	1,9	3,4	29	44	35	56
R3	2010-01-07 09:00	2010-01-07 23:00	252	286	0,4	2,7	38	101	46	124

Równolegle zidentyfikowano następujące wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-06 01:00	2010-01-07 00:00	131	145	1,5	6,5	29	60	35	72
M2	2010-01-07 03:00	2010-01-07 23:00	240	268	1,3	4,1	38	101	46	124

Wiązka R1 charakteryzuje oddziaływanie lokalnych źródeł emisji w godzinach nocnych, w warunkach sprzyjających wzrostowi stężeń pyłu (przy małej wysokości warstwy mieszania i małej prędkości dynamicznej).

Obszar zasilania wiązki R1 obejmuje źródła punktowe i obszarowe na terenie Gdańska oraz napływ dalekodystansowy. Przyrost stężenia pyłu PM_{10} w wiązce R1 wynosił co najmniej 23 µg/m^3. W wiązce R1 natężenie strumienia pyłu PM_{10} przekraczało 200 µg/m^2/s.

Wiązka R2 charakteryzuje oddziaływanie podobnych źródeł emisji w ciągu dnia. W wiązce tej stężenia pyłu PM_{10} były znacznie niższe niż w wiązce R1. Można to przypisać korzystniejszym warunkom propagacji zanieczyszczeń (wyższa wysokość warstwy mieszania, wyższa prędkość wiatru, wyższa prędkość dynamiczna).

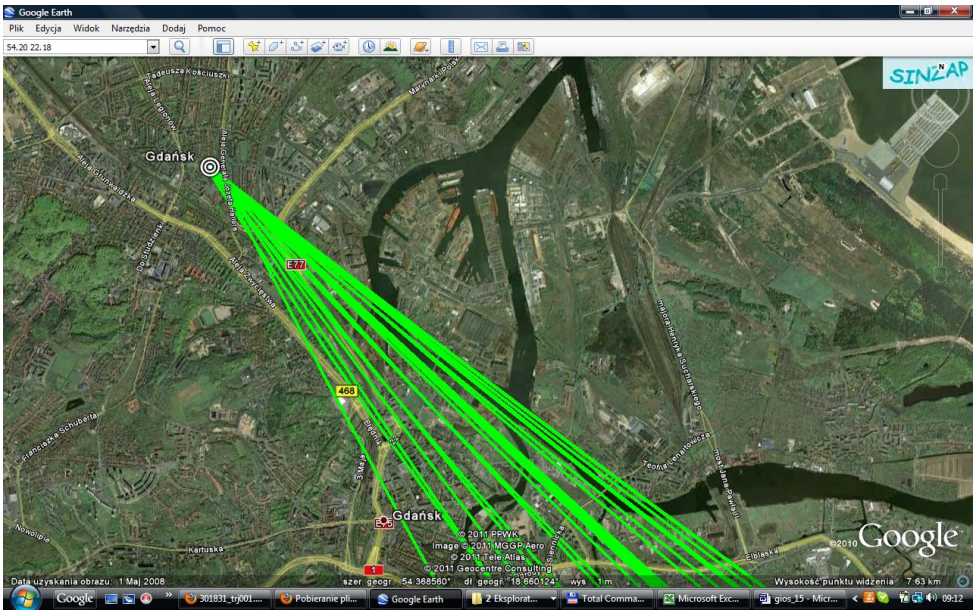
Stężenia pyłu PM_{10} w powietrzu napływające w rejon Gdańska z południowego-wschodu nie przekraczały 35 µg/m^3, na co wskazują najniższe stężenia PM_{10} w wiązkach R1 i R2.

Wiązka R3 identyfikuje napływ wysokich stężeń pyłu z południowego-zachodu.

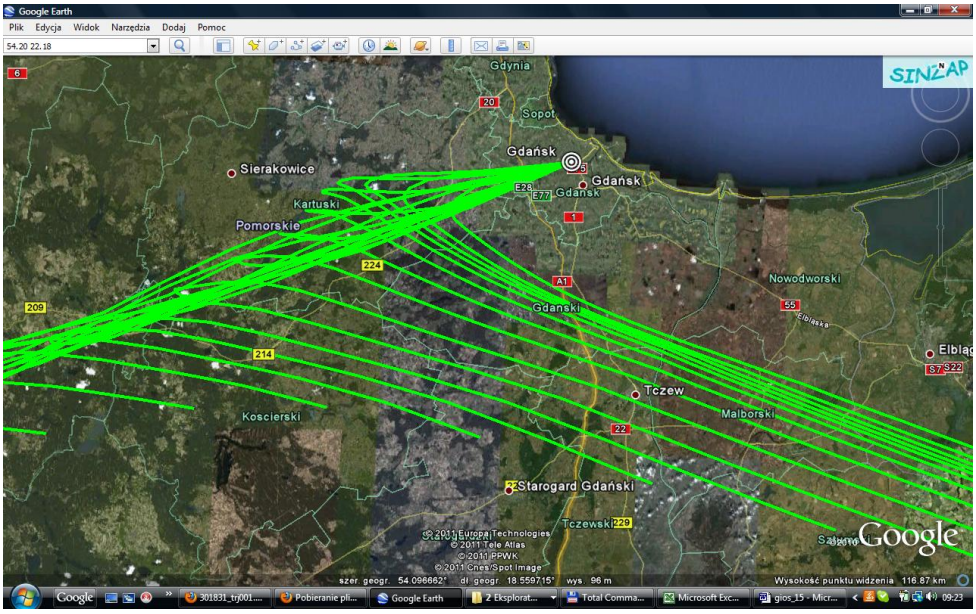
Wiązka modelowanych trajektorii M1 (rysunek 4.6.5.2.1.) składa się z modelowanych trajektorii zgodnych z trajektoriami wiązek R1 i R2. Skrajne trajektorie wiązki M1 na rysunku 4.6.5.2.1. wyznaczają źródła emisji pyłu na obszarze Gdańska. Stężenia pyłu PM_{10}

w powietrzu napływające w rejon Gdańska z południowego-wschodu nie przekraczały 35 $\mu g/m^3$, na co wskazują najniższe stężenia PM_{10} w wiązce M1.

Na rysunku 4.6.5.2.2. pokazano wiązkę M2 w dniu 7 stycznia. Wiązka była utworzona przez strumienie pyłu, które pierwotnie przepływały w kierunku północno-zachodnim, a następnie gwałtownie zostały skierowane na północny-wschód. Ukształtowanie wiązki wyjaśnia w jaki sposób utworzył się strumień z wysokimi stężeniami pyłu, napływający z południowego--zachodu. W obszarze zasilania wiązki M2 znalazły się miejscowości: Kartuzy, Nowy Dwór Gdański, Tczew, Malbork.



Rysunek 4.6.5.2.1. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} w dniu 6 stycznia nad Gdańskiem



Rysunek 4.6.5.2.2. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} w dniu 7 stycznia na stacji w Gdańsku

Sytuacja 15 stycznia na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
15-01-2010	41	54	-8,8	-6,4	72	110	0,19	0,27

W Trójmieście zidentyfikowano jedną zwartą wiązkę rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-01-15 00:00	2010-01-15 23:00	123	146	0,9	2,4	18	62	24	78

Zidentyfikowano też jedną wiązkę modelowanych trajektorii pyłu:

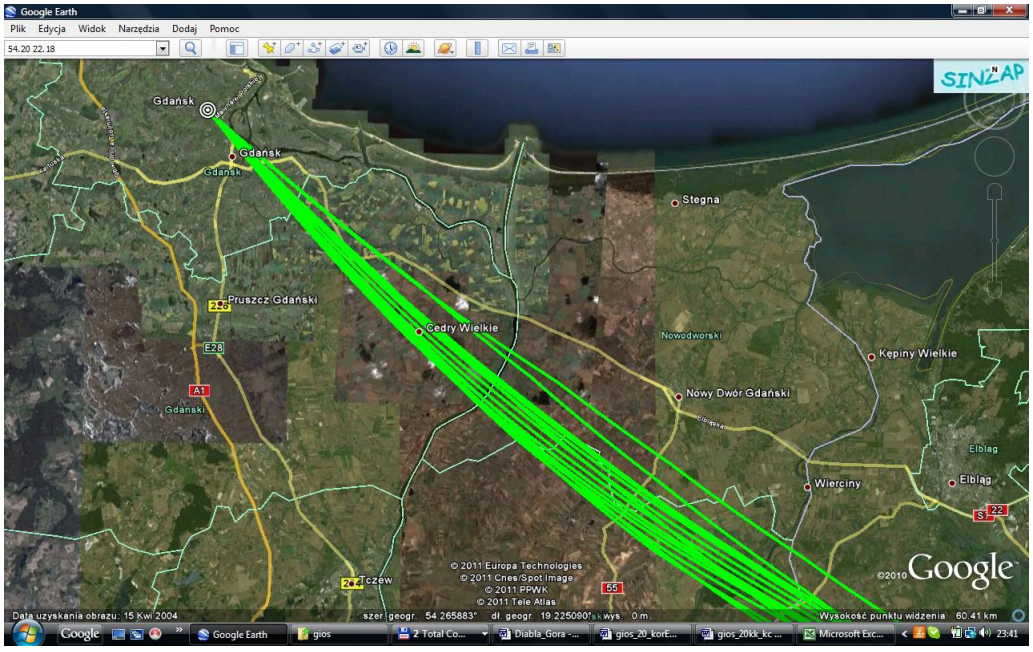
	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-15 00:00	2010-01-15 23:00	129	139	3.0	4,1	18	62	24	78

W obszarze zasilania wiązki R1 znajdowały się źródła punktowe i obszarowe na terenie Gdańska. Przyrost stężeń pyłu PM_{10} powodowany emisją lokalną można ocenić na ok. 50 µg/m^3, a stężenia pyłu napływającego w rejon Gdańska nie przekraczały 25 µg/m^3.

Stężenia pyłu powodowane emisjami lokalnymi były w tym dniu niższe niż w dniach 6-7 stycznia, co można wyjaśnić korzystniejszymi warunkami propagacji zanieczyszczeń.

Modelowe rozpoznanie napływu pyłu pokrywa się z bezpośrednimi obserwacjami strumieni pyłu na stacji pomiarowej.

Rysunek 4.6.5.2.3. ilustruje wiązkę modelowanych trajektorii wstecznych w dniu 15 stycznia.



Rysunek 4.6.5.2.3. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} w dniu 15 stycznia na stacji w Gdańsku

Sytuacja 19 stycznia na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [$\mu g/m^3$]	Zakres temperatury powietrza [^oC]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
19-01-2010	36	50	-7,1	-2,0	72	192	0,42	0,47

W Trójmieście można wyróżnić jedną zwartą wiązkę rzeczywistych trajektorii pyłu:

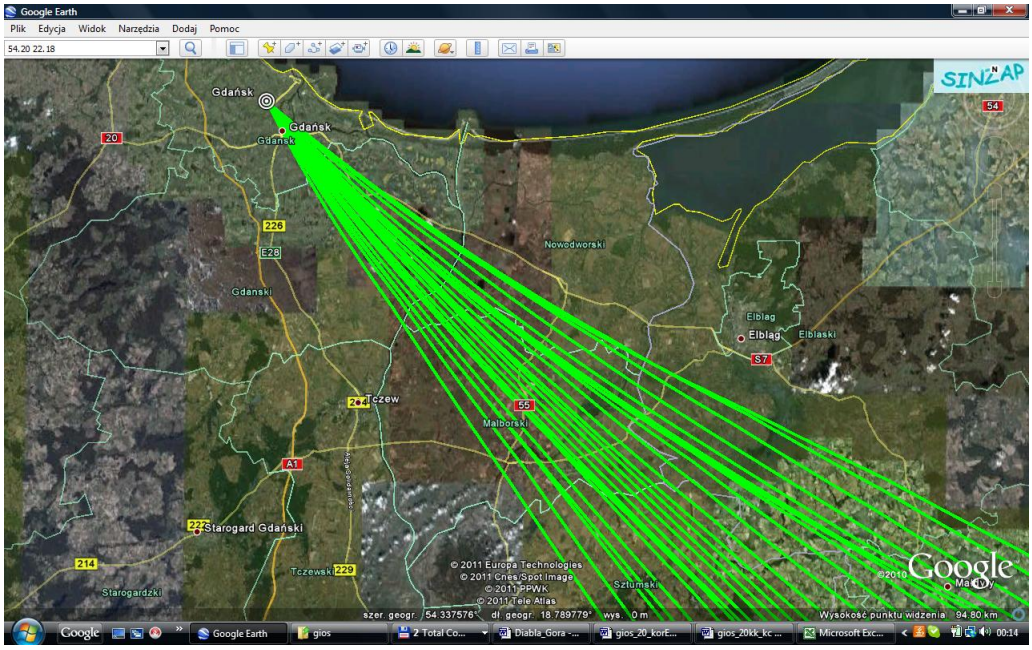
	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^oN]	[^oN]	[m/s]	[m/s]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]
R1	2010-01-19 00:00	2010-01-19 23:00	135	145	1,2	2,2	26	60	36	82

Zidentyfikowana wiązka modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^oN]	[^oN]	[m/s]	[m/s]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]
M1	2010-01-19 00:00	2010-01-19 23:00	127	151	5,7	6,1	26	60	36	82

Obszar zasilania wiązki R1 obejmuje źródła punktowe i obszarowe na terenie Gdańska oraz oddziaływanie źródeł odległych. Przyrost stężeń pyłu PM_{10} wywołany emisją lokalną można ocenić co najmniej na 46 $\mu g/m^3$. Stężenie pyłu PM_{10}, który napływa na rejon Gdańska, nie przekracza 36 $\mu g/m^3$.

Modelowana wiązka M1 ma bardzo podobne parametry do wiązki R1. Wiązkę M1 przedstawia rysunek 4.6.5.2.4.



Rysunek 4.6.5.2.4. Wiązka trajektorii wstecznych w dniu 19 stycznia na stacji w Gdańsku.

Analiza natężenia strumienia pyłu w wiązkach wskazuje na oddziaływanie źródła punktowego o dużym natężeniu emisji pyłu. W zasięgu wiązki znajduje się Malbork.

Sytuacja 25-26 stycznia na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
25-01-2010	114	144	-17,1	-10,8	45	115	0,1	0,31
26-01-2010	93	116	-16,8	-4,8	47	113	0,1	0,27

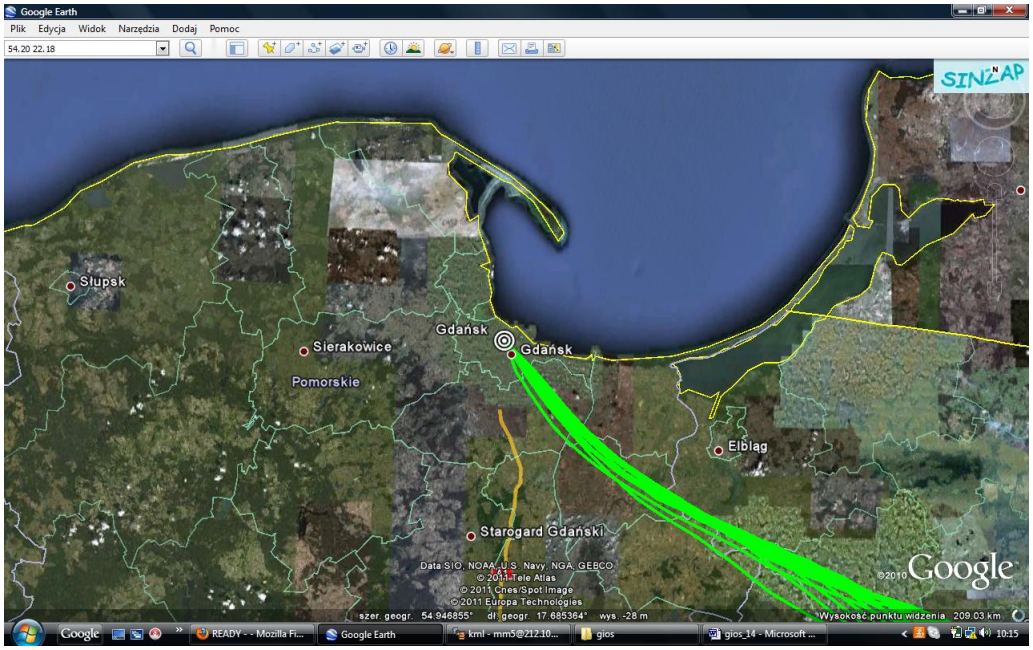
W dniach 25-26 stycznia w Gdańsku zidentyfikowano następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-01-25 03:00	2010-01-25 22:00	125	190	0,4	2,2	70	207	89	262
R2	2010-01-26 00:00	2010-01-26 05:00	269	291	0,7	0,7	100	133	124	165
R3	2010-01-26 07:00	2010-01-26 12:00	250	287	0,5	2,0	94	159	117	198
R4	2010-01-26 14:00	2010-01-26 15:00	126	294	1,5	2,0	128	131	160	163
R5	2010-01-26 17:00	2010-01-26 23:00	261	299	1,6	2,3	29	77	33	95

Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-25 09:00	2010-01-26 01:00	133	171	3,0	4,4	69	207	44	262
M2	2010-01-26 12:00	2010-01-26 22:00	277	322	2,7	5,4	47	131	32	163

W dniach 25-26 stycznia występowały warunki sprzyjające dużej emisji pyłu z instalacji grzewczych, w nocy występowały niekorzystne warunki propagacji zanieczyszczeń (mała wysokość warstwy mieszania, mała prędkość dynamiczna).



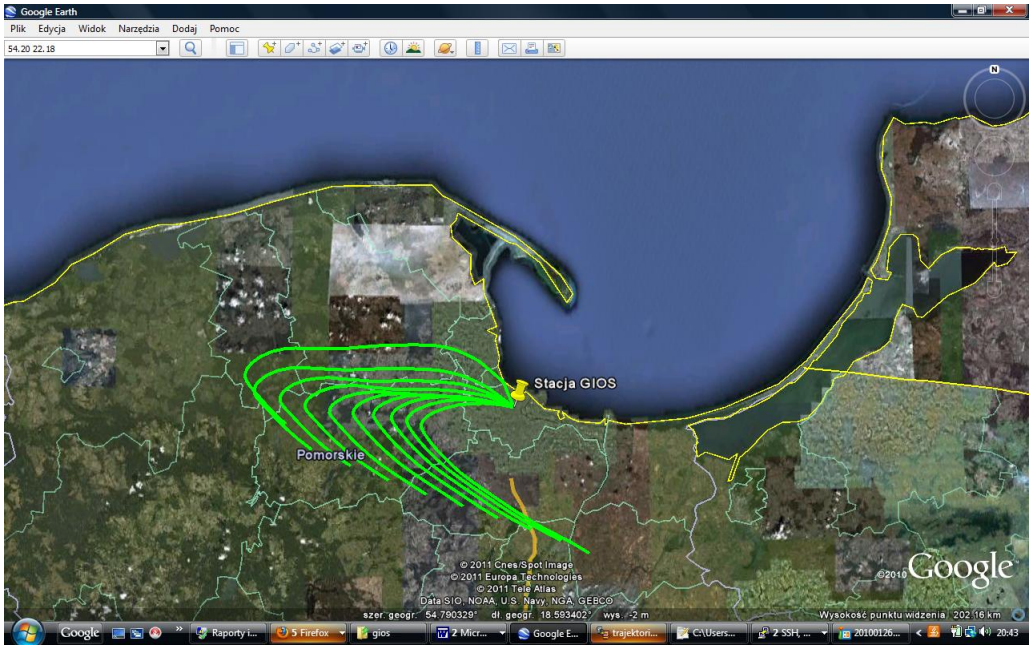
Rysunek 4.6.5.2.5. Wiązka M1 trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} od godz. 9:00 do 22:00 dnia 25 stycznia

Analiza rzeczywistych trajektorii identyfikuje rozpoznany już napływ pyłu z kierunku południowo-wschodniego. Ponadto zostały zidentyfikowane wiązki R2, R3, R5, wzdłuż których napływało powietrze o wysokim stężeniu pyłu z zachodu i południowego-zachodu.

Modelowana wiązka M1 jest bardziej zwarta niż rzeczywista wiązka R1. Świadczy to o występowaniu w tym rejonie zjawisk meteorologicznych małej skali, które powodują większe meandrowanie smug. Wiązka M1 jest bardzo podobna do wiązki modelowanych trajektorii z dnia 15 stycznia.

W obszarze zasilania wiązki M1 (rysunek 4.6.5.2.5.) znajduje się główna część Gdańska wraz z terenami przemysłowymi oraz miejscowości na południowy-wschód od Gdańska.

Mimo relatywnie korzystnych warunków propagacji zanieczyszczeń, źródła emisji pyłu znajdujące się w obszarze zasilania wiązki powodowały bardzo wysokie stężenia pyłu PM_{10}, przekraczające 220 µg/m^2. Stężenia pyłu PM_{10} w wiązce M1 powodowane napływem z większych odległości były relatywnie niskie (poniżej 44 µg/m^2).



Rysunek 4.6.5.2.6. Wiązka M2 trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} dnia 26 stycznia od godz. 12:00 do 22:00

Wiązka M2, pokazana na rysunku 4.6.5.2.6., jest podobna do wiązki modelowanych trajektorii z dnia 7 stycznia. Wiązka powstała w wyniku zawrócenia na wschód mas powietrza pierwotnie zmierzających z południowego-wschodu na północny-zachód.

W obszarze zasilania wiązki M2 znajdują się miejscowości znajdujące się na zachód i południe od Gdańska: Tczew, Żukowo, Kartuzy, Szemud. Stężenia pyłu w tym obszarze były bardzo wysokie. Przykładowo, na stacji ARMAAG w Tczewie 25 stycznia od godz. 16:00 rejestrowano stężenia pyłu PM_{10} przekraczające 140 $\mu g/m^3$. Najwyższe zanotowane stężenie wynosiło 214 $\mu g/m^3$.

Najniższe stężenie pyłu PM_{10} w wiązce M2 wynosiło 32 $\mu g/m^2$, co wskazuje na to, że stężenia pyłu PM_{10} w wiązce M2 powodowane napływem z większych odległości były relatywnie niskie.

Sytuacja 8-10 lutego na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [$\mu g/m^3$]	Zakres temperatury powietrza [^oC]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
08-02-2010	82	105	-9,3	-3,4	72	409	0,1	0,21
09-02-2010	89	112	-7,7	-0,6	72	408	0,1	0,28
10-02-2010	92	113	-7,7	-4,0	72	411	0,24	0,2

W okresie od 8 do 10 lutego zidentyfikowano następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu na stacji w Gdańsku:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-02-08 01:00	2010-02-08 08:00	199	293	0,8	1,2	43	78	51	100
R2	2010-02-08 09:00	2010-02-08 10:00	119	125	0,9	1,1	112	136	142	174
R3	2010-02-08 11:00	2010-02-08 19:00	77	137	0,3	1,1	40	94	51	120
R4	2010-02-08 20:00	2010-02-09 06:00	127	160	0,8	1,7	80	214	93	269
R5	2010-02-09 07:00	2010-02-09 14:00	156	229	0,4	1,2	11	86	14	108
R6	2010-02-09 15:00	2010-02-09 22:00	151	239	0,1	2,6	21	122	26	254
R7	2010-02-10 00:00	2010-02-10 02:00	113	122	0,2	0,5	181	241	222	301
R8	2010-02-10 03:00	2010-02-10 10:00	13	139	0,2	2,1	91	143	111	180
R9	2010-02-10 11:00	2010-02-10 13:00	131	139	1,3	2,1	61	85	83	104
R10	2010-02-10 14:00	2010-02-10 19:00	103	112	0,8	1,4	43	81	33	75
R11	2010-02-10 20:00	2010-02-10 23:00	132	246	0,2	1,4	52	69	64	85

Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-08 01:00	2010-02-08 23:00	186	213	0,8	3,1	40	152	51	174
M2	2010-02-09 00:00	2010-02-09 15:00	186	220	1,3	1,7	11	214	14	269
M3	2010-02-09 16:00	2010-02-10 01:00	111	159	1,3	3,9	92	241	94	301
M4	2010-02-10 02:00	2010-02-10 23:00	102	112	4,1	6,0	30	85	143	170

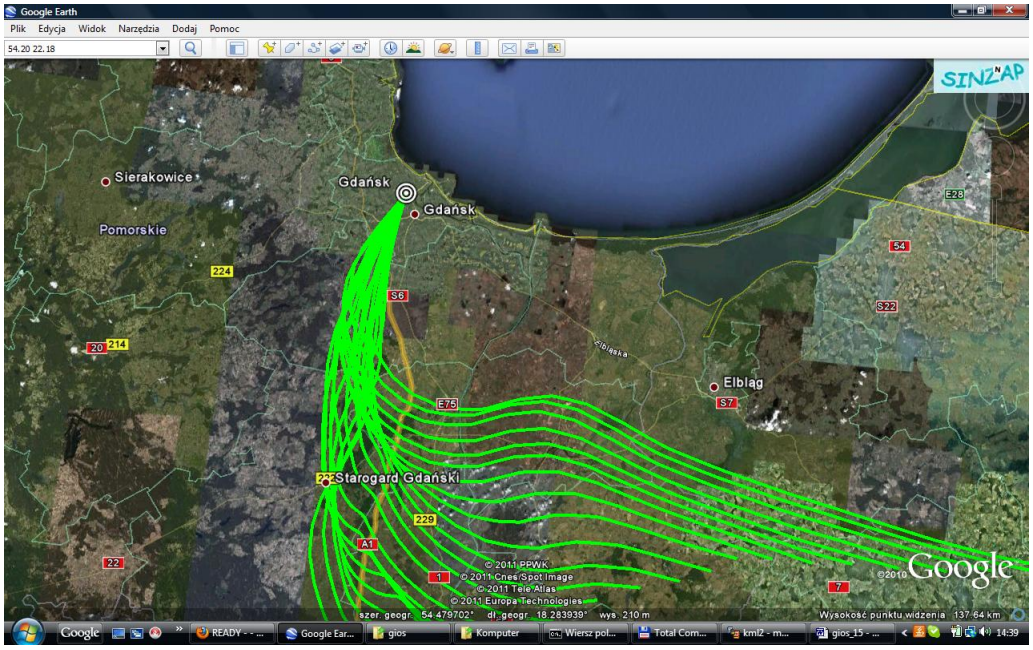
Najwyższe stężenie pyłu w tym okresie wystąpiło o północy 10 lutego. W wiązce R7 stężenie pyłu PM_{10} osiągnęło poziom 301 µg/m^3, przy natężeniu strumienia pyłu PM_{10} poniżej 150 µg/m^2/s. Sytuacja meteorologiczna od godzin popołudniowych 9 lutego do godzin porannych 10 lutego w rejonie Trójmiasta była niekorzystna (R6, R8). Niska temperatura powietrza powodowała zwiększenie zużycia ciepła do celów grzewczych i w konsekwencji zwiększenie emisji pyłu. Mała wysokość warstwy mieszania powodowała ograniczenie pionowej migracji pyłu z niskiej emisji i uwięzienie go przy powierzchni ziemi. Mała prędkość wiatru i raptowne zmiany kierunku wiatru z południowo-wschodniego na północno-zachodni, a nawet północny (od Zatoki Gdańskiej) powodowały, że do tych samych mas powietrza były dodawane systematycznie w ciągu nocy nowe ilości pyłu, co tworzyło nad całym Trójmiastem sytuację smogową.

Potwierdza to analiza stężeń rejestrowanych na stacjach monitoringu sieci ARMAAG tej nocy (tabela M2, załącznik M). Na wszystkich stacjach stężenia pyłu PM_{10} przekraczały 100 µg/m^3, a na wielu z nich nawet 200 µg/m^3.

Podobna sytuacja wystąpiła w nocy z 8 na 9 lutego. Analiza wiązki trajektorii R4 wykazuje, że w nocy nad Gdańskiem masy powietrza przemieszczały się z prędkością 0.8-1.7 m/s z południowego-wschodu, a stężenia pyłu PM_{10} w tych masach powietrza przekraczały 260 µg/m^3. W obszarze zasilania wiązki R4 były źródła obszarowe i punktowe w Gdańsku oraz miejscowości na południowy-wschód od miasta. Najniższe stężenie pyłu w wiązce R4

wynosiło 93 µg/m^3. Przyrost stężeń pyłu w wiązce R4 nad miastem należy oszacować na co najmniej 170 µg/m^3.

Prócz tego wysokie stężenia pyłu występowały w skoncentrowanej wiązce R2.



Rysunek 4.6.5.2.7 Wiązka M1 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} w dniu 8 lutego

W obszarze zasilania wiązki M1 modelowanych trajektorii wstecznych są miejscowości znajdujące się na południe i południowy-wschód Gdańska w tym: Starogard Gdański, Tczew, Malbork (rysunek 4.6.5.2.7.).

W analizowanej wiązce stężenia pyłu zmieniały się okresowo, co wskazuje na nakładanie się oddziaływań z istotnie różnych obszarów. Seria wysokich stężeń pyłu wystąpiła najpierw w godzinach południowych, a następnie w godzinach nocnych. Przyrost stężenia pyłu PM_{10} w wiązce wynosił ok. 120 µg/m^3.

Trajektorie modelowanych wiązek M1, M2, M3 i M4 różnią się bardzo istotnie od odpowiednich trajektorii rzeczywistych. Kierunki trajektorii modelowanych nie były zgodne z kierunkami wiatru na stacjach meteorologicznych w Rębiechowie i w Nowym Porcie. W tej sytuacji nie ma podstaw do wykorzystania wiązek M1, M2, M3 i M4 w celu wyznaczenia odległych źródeł emisji pyłu i ich wpływu na stężenia pyłu na terenie Gdańska.

Sytuacja 16 –19 lutego na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
16-02-2010	55	74	-2,6	0,2	61	430	0,2	0,27
17-02-2010	46	60	-3,7	-1,7	72	550	0,27	0,47
18-02-2010	57	75	-3,0	0,9	72	220	0,3	0,38
19-02-2010	54	77	0,8	4,3	72	268	0,18	0,42

Zidentyfikowane wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-02-16 01:00	2010-02-18 22:00	99	157	2,4	7,4	34	77	44	104
R2	2010-02-18 23:00	2010-02-19 02:00	130	141	1,5	2,1	85	126	112	179
R3	2010-02-19 04:00	2010-02-19 10:00	195	267	0,6	1,9	21	66	30	94
R4	2010-02-19 15:00	2010-02-19 23:00	120	142	0,2	2,3	31	73	44	104

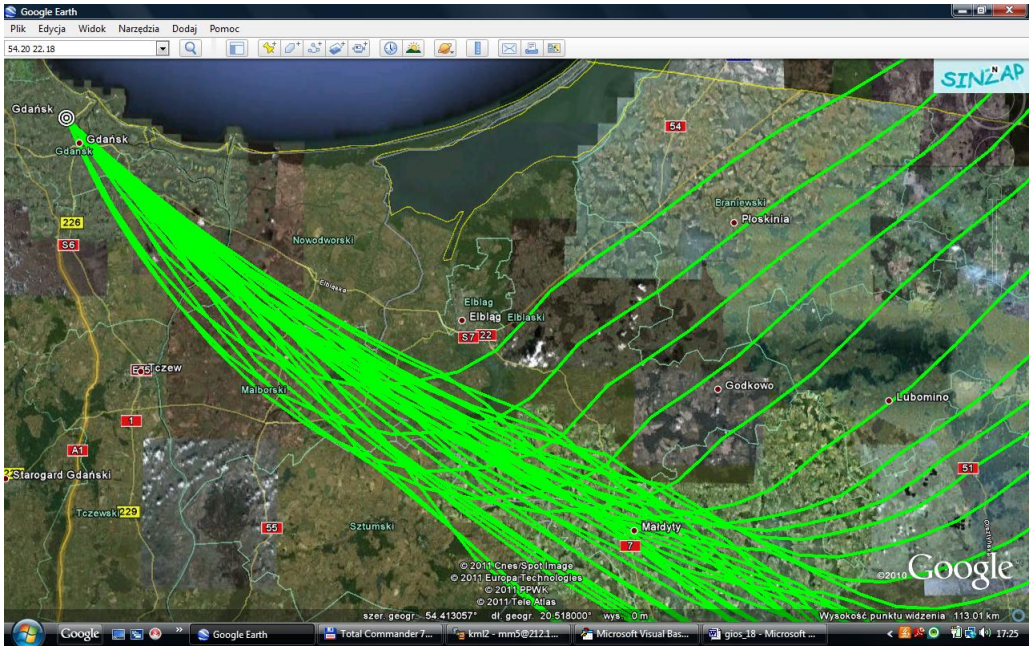
Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-16 01:00	2010-02-18 19:00	132	140	2,4	7,4	34	77	44	104
M2	2010-02-18 23:00	2010-02-19 03:00	234	253	1,5	2,1	85	126	112	179
M3	2010-02-19 04:00	2010-02-19 10:00	221	254	0,6	1,9	21	66	30	94
M4	2010-02-19 15:00	2010-02-19 23:00	101	160	0,2	2,3	31	73	44	104

Wiązka R1 charakteryzuje oddziaływanie lokalnych źródeł emisji pyłu w ciągu dwóch kolejnych dni. Zakres kierunków trajektorii w wiązce był duży. Jednakże kierunki większości trajektorii napływu mieściły się w przedziale 128-143°N. Pozostałe kierunki są efektem krótkookresowych wahań wiatru.

Obszar zasilania wiązki R1 obejmuje źródła punktowe i obszarowe na terenie Gdańska, źródła bliskie na południowy-wschód od miasta oraz napływ dalekodystansowy z tego kierunku. Przyrost stężenia pyłu PM_{10} w wiązce R1 powodowany przez źródła lokalne wynosił co najmniej 60 µg/m^3. W wiązce R1 natężenie strumienia pyłu PM_{10} przekraczało 200 µg/m^2/s.

Wiązka modelowanych trajektorii M1, pokazana na rysunku 4.6.5.2.8., jest zgodna z R1. Stężenia pyłu PM_{10} w wiązce M1 nie przekraczały 44 µg/m^3. W obszarze zasilania wiązki znalazła się Ostróda.

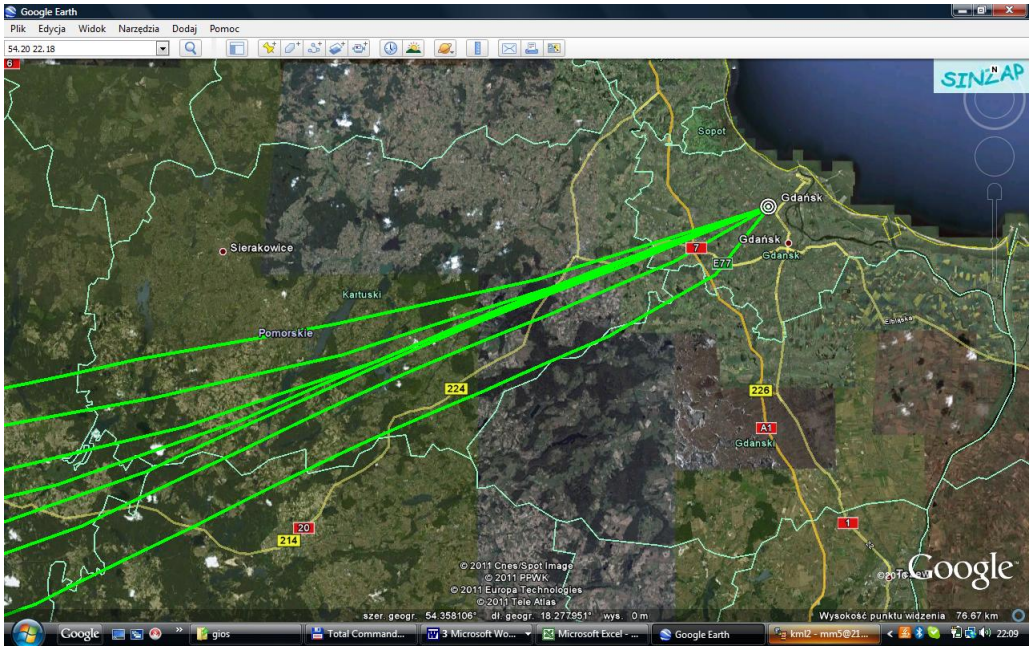


Rysunek 4.6.5.2.8. Wiązka M1 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} od godz. 01:00 dnia 16 lutego do godz. 19:00 dnia 18 lutego

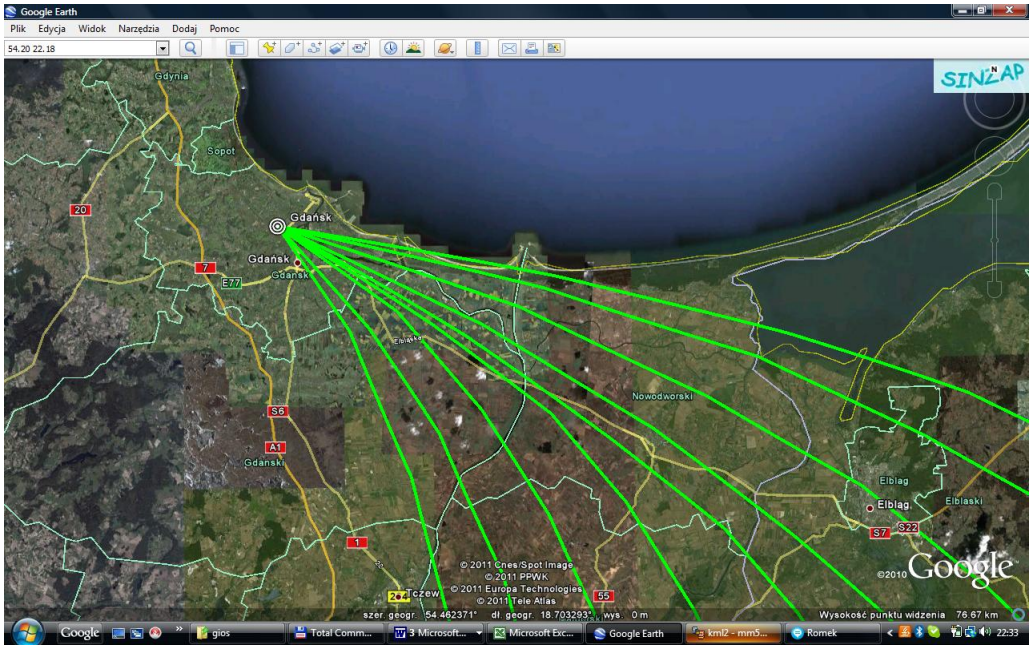
Trajektorie wiązki R2 są podobne do trajektorii wiązki R1, jednakże towarzyszące jej stężenie pyłu PM_{10} oraz natężenie strumienia pyłu było znacznie wyższe niż w wiązce R1. Można mieć wrażenie, że źródło zasilające R2 zostało włączone na kilka godzin, w tym czasie stężenia pyłu wzrosły przy podobnych trajektoriach, a po wyłączeniu źródła spadły do pierwotnego poziomu.

Modelowana dla tego samego okresu czasu wiązka M2 nie jest zgodna z wiązką R2 i dlatego nie może być wykorzystana do wyznaczenia oddziaływań dalekich.

Wiązka R3 identyfikuje napływ stężeń pyłu z południowego-zachodu. Wiązka R3 była zgodna z modelowaną wiązką M3 (rysunek 4.6.5.2.9.). Można więc rozszerzyć obszar zasilania. Mimo wysokich stężeń pyłu w wiązce M3 (94 $\mu g/m^3$), udało się zlokalizować tylko jedno większe potencjalne źródło pyłu w obszarze zasilania M3 – jest to SPEC w Kartuzach. Odległe źródła pyłu w obszarze zasilania wiązki pyłu M3 powodowały stężenia pyłu PM_{10} nie przekraczające 30 $\mu g/m^3$.



Rysunek 4.6.5.2.9. Wiązka M3 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} od godz. 4:00 do godz. 10:00 dnia 19 lutego



Rysunek 4.6.5.2.10. Wiązka M4 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} 19 lutego, od godz. 15:00 do godz. 23:00

Wiązka rzeczywistych trajektorii R4 wydaje się być bardzo podobna do wiązki R1. Nawet stężenia pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ były bardzo podobne w obu wiązkach. Jednakże analiza modelowanej wiązki M4 dla tego samego okresu czasu, o podobnym zakresie kierunków początkowych, pokazuje, że obszar zasilania wiązki M4 (rysunek 4.6.5.2.10.) tworzy szeroki wachlarz rozwijający się w kierunku południowo-wschodnim. W obszarze zasilania wiązki M4 znalazły się podobne, jak dla wiązki M1, bliskie źródła emisji pyłu.

Sytuacja 26 lutego na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
26-02-2010	61	89	0,9	6,2	72	72	0,28	0,46

Zidentyfikowana wiązka rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-02-26 01:00	2010-01-26 23:00	136	145	4,0	6,9	41	86	59	126

Zidentyfikowana wiązka modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-26 01:00	2010-01-26 23:00	157	173	4.0	6,9	41	86	59	126

Wiązkę R1 tworzą trajektorie o bardzo zbliżonych kierunkach. Wiązka rozwija się na południowy-wschód, obejmując Gdańsk wraz ze źródłami przemysłowymi na obszarze Gdańska.

Modelowane przy pomocy MM5 kierunki wiatru różniły się istotnie od kierunków wiatru zarejestrowanych na stacji w monitoringu, chociaż były zgodne z kierunkami wiatru na stacji meteorologicznej w Rębiechowie. Z drugiej strony, kierunki wiatru na stacji były podobne do kierunków mierzonych na stacji meteorologicznej w Nowym Porcie. Oznacza to skomplikowaną sytuację meteorologiczną. W takiej sytuacji wnioskowanie na temat obszarów zasilania stacji monitoringu w Gdańsku jest niepewne.

Sytuacja 11 marca na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
11-03-2010	54	72	-5,1	2,4	72	708	0,1	0,23

Zidentyfikowane wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-03-11 01:00	2010-03-11 10:00	124	213	0.2	0.6	48	76	64	102
R2	2010-03-11 11:00	2010-03-11 18:00	337	62	0.6	2.2	34	84	46	112
R3	2010-03-11 19:00	2010-03-11 23:00	268	8	0.6	1.8	33	54	44	72

Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-03-11 01:00	2010-03-11 10:00	178	192	1.1	2.6	48	76	64	102
M2	2010-03-11 11:00	2010-03-11 18:00	165	193	0.9	1.9	34	84	46	112
M3	2010-03-11 19:00	2010-03-11 23:00	200	240	1.8	2.5	33	54	44	72

W dniu 11 marca warunki meteorologiczne w Trójmieście były skomplikowane.

Wyselekcjonowana wiązka trajektorii R1 ilustruje powolny ruch powietrza w godzinach nocnych i porannych z południowego-wschodu i południa. W tym czasie warunki propagacji zanieczyszczeń, zwłaszcza emitowanych ze źródeł powierzchniowych, były niekorzystne. Niska wysokość warstwy mieszania, bardzo mała prędkość wiatru oraz bardzo niska prędkość dynamiczna, powodowały wzrost koncentracji pyłu w przyziemnej warstwie powietrza, głównie w wyniku emisji lokalnych. Jednakże stężenia pyłu PM_{10} zarejestrowane na stacji monitoringu nie były wysokie, co można wiązać z utrzymywaniem się temperatur w pobliżu 0^{o}C oraz faktem, że w obszarze zasilania wiązki nie znalazły się główne emitory przemysłowe. Wiązka modelowanych trajektorii M1, odpowiadająca wiązce R1, miała całkowicie odmienne parametry trajektorii. Ponadto kierunki wiatru rejestrowane na stacji meteorologicznej w Rębiechowie i w Nowym Porcie wskazują na dużą zmienność wiatru w całym Trójmieście. Nie ma więc podstaw do określania napływu pyłu przy wykorzystaniu wiązki M1.

W godzinach przedpołudniowych wiatr w rejonie stacji monitoringu zmienił kierunek na północny i północno-wschodni. Jego prędkość nieco wzrosła. Wzrosła też wysokość warstwy mieszania.

Mimo tego zaobserwowano pewien niewielki wzrost stężeń pyłu PM_{10}. Mogło to być spowodowane wprowadzaniem dodatkowych ładunków pyłu do powietrza już zanieczyszczonego w godzinach nocnych.

Kierunki trajektorii w modelowanej wiązce M2 były prawie przeciwne do kierunków trajektorii wiązce R2. W tej sytuacji wiązka M2 nie może być wykorzystana do określenia napływu pyłu ze źródeł odległych.

W godzinach wieczornych wiatr skręcił nieco na zachód, formując napływ mas powietrza z północnego-zachodu. Obszar zasilania wiązki R3, reprezentującej napływ pyłu w tym czasie, przesunął się na zachód. Stężenia pyłu PM_{10} w wiązce R3 były niższe niż w wiązce R2. Spadek stężeń pyłu można wyjaśnić wyłączeniem z obszaru zasilania wiązki R3 źródeł na terenie Gdyni.

W wiązce M3 modelowanych trajektorii dla tego okresu zaznaczył się napływ z południowego-zachodu, co nie jest zgodne z kierunkami trajektorii w R3. Wobec tego wiązki M3 nie można wykorzystać do identyfikacji odległych źródeł emisji pyłu, oddziałujących na stację monitoringu w okresie wieczornym.

Sytuacja 31 marca na stacji w Gdańsku

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
31-03-2010	42	58	4,2	18,6	72	1050	0,1	0,59

Wiązki rzeczywistych trajektorii zidentyfikowane 31 marca

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-03-31 02:00	2010-03-31 06:00	270	318	0,3	0,6	42	56	56	76
R2	2010-03-31 07:00	2010-03-31 18:00	131	165	0,2	4,2	21	65	29	95
R3	2010-03-31 19:00	2010-03-31 23:00	351	4	0,6	1,7	20	69	27	94

Wiązki modelowanych trajektorii zidentyfikowane 31 marca

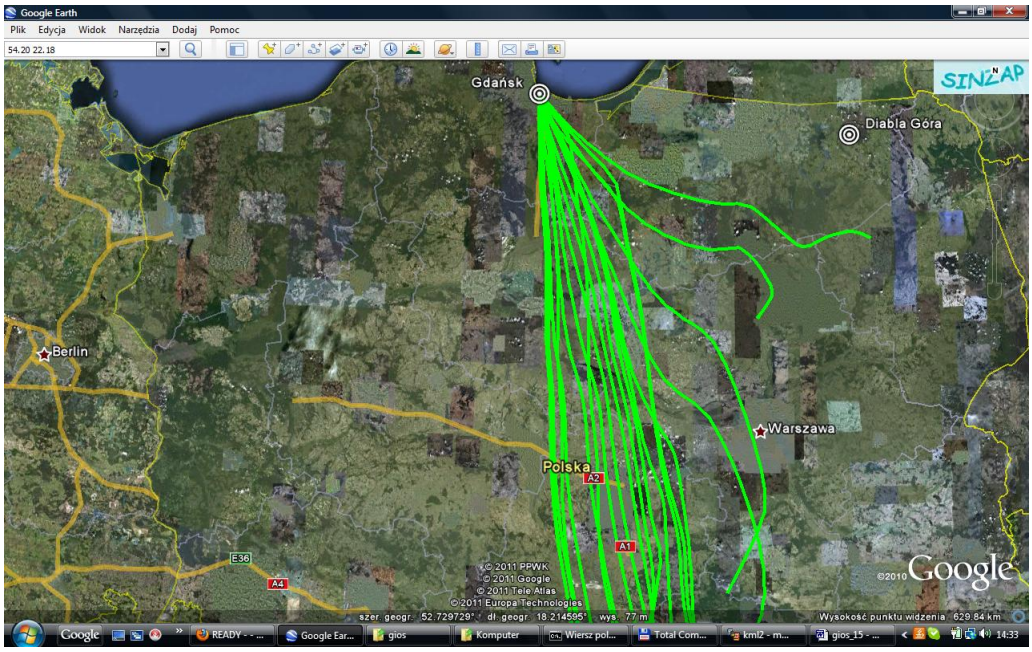
	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-03-31 02:00	2010-03-31 06:00	139	157	4,9	6,5	42	56	56	76
M2	2010-03-31 07:00	2010-03-31 18:00	158	185	1,3	7,5	21	65	29	95
M3	2010-03-31 19:00	2010-03-31 23:00	295	308	0,6	7,2	20	69	27	94

Wiązka rzeczywistych trajektorii wyselekcjonowanych dla godzin nocnych i porannych wykazuje napływ mas powietrza z północnego-zachodu. Przy niskiej prędkości wiatru i niekorzystnych warunkach propagacji zanieczyszczeń stężenia pyłu PM_{10} w wiązce dochodziły do 76 µg/m^3 przy małym natężeniu strumienia pyłu, co wskazuje na oddziaływanie niewielkich źródeł emisji pyłu. W obszarze zasilania wiązki były rejony na których nie zidentyfikowano żadnych większych źródeł pyłu.

Wiązka M1 odpowiadająca wiązce R1 wykazuje całkowicie odmienne przepływy mas powietrza, wobec czego nie może być podstawą do określenia napływu pyłu ze źródeł odległych.

W ciągu dnia nastąpiła zmiana kierunku wiatru. W godzinach dopołudniowych uformował się przepływ mas powietrza z południowego-wschodu. Stężenia pyłu PM_{10} w wiązce R2, reprezentującej przepływ pyłu w tym okresie czasu, były umiarkowane, jednakże ze względu na dużą prędkość w trajektoriach, natężenie strumienia pyłu było wysokie, co wskazuje na oddziaływanie znacznych źródeł emisji pyłu PM_{10}. Istotnie, w obszarze zasilania wiązki znalazły się źródła przemysłowe z terenu Gdańska.

Wiązka M2 modelowanych trajektorii dla tego okresu została pokazana na rysunku 4.6.5.2.11. Wiązka rozwija się wachlarzem na południe. Minimalne stężenia pyłu PM_{10} w wiązce M2, na poziomie 29 $\mu g/m^3$, wskazują na słabe oddziaływanie odległych źródeł emisji pyłu PM_{10} przy napływie z południa.



Rysunek 4.6.5.2.11. Wiązka M2 modelowanych trajektorii wstecznych pyłu PM_{10} 31 marca

Wiązka R3 rzeczywistych trajektorii pyłu w godzinach wieczornych i nocnych wskazuje napływ z północy. W jej obszarze zasilania znalazł się Sopot i Gdynia. Jednakże poziom stężeń pyłu PM_{10} na stacjach monitoringu jakości powietrza znajdujących się w obszarze zasilania wiązki R3 w tym czasie był istotnie niższy. Ponadto wysokość warstwy mieszania oraz prędkość dynamiczna były korzystniejsze niż w ciągu dnia. Jedynie znacznie spadła prędkość wiatru.

Wiązka M3 modelowanych trajektorii dla tego okresu wykazuje napływ z zachodu. Nie można więc na jej podstawie określać napływu ze źródeł odległych.

4.6.5.3. Analiza epizodów wybranych na stacji w Katowicach

Sytuacja 7-8 stycznia na stacji w Katowicach

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
07-01-2010	152	214	-10,8	-4,0	72	326	0,1	0,2
08-01-2010	147	152	-11,7	-4,5	72	72	01	0,8

W dniach 7 – 8 stycznia, w rejonie GOPu, masy powietrza przemieszczały się z niewielką prędkością ze wschodu na zachód. Kierunek wiatru modelowany przy pomocy MM5 i HYSPLIT różnił się od rzeczywistego kierunku wiatru.

Przewidywany przez model MM5 kierunek wiatru na wysokości 625 m był zgodny (z dokładnością do 30^o) z kierunkiem wiatru zarejestrowanym na stacji meteorologicznej 117870 (Lysa Hora, 49.550^{o}N, 18.45^{o}E, 1327 m n.p.m.).

W warstwie przyziemnej powietrze przemieszczało się prawie prostopadle w stosunku do wyższych warstw powietrza. Zsynchronizowanie ruchu mas powietrza nastąpiło dopiero 8 stycznia w godzinach popołudniowych.

W GOP można wyróżnić następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-01-07 01:00	2010-01-07 06:00	234	258	0,5	4,3	86	249	136	349
R2	2010-01-07 15:00	2010-01-08 02:00	206	253	0,3	1,2	119	238	188	334
R3	2010-01-08 04:00	2010-01-08 23:00	50	85	0,6	3,2	87	234	63	243

W obszarze zasilania wiązki R1 znajdują się emitory El. Rybnik, w obszarze zasilania wiązki R2 - emitory El. Łaziska i El. Rybnik, a w obszarze zasilania wiązki R3 – emitory El. Łagisza.

Najwyższy przyrost stężenia pyłu PM_{10} w wyniku emisji ze zidentyfikowanych źródeł przemysłowych przekraczał 180 µg/m^3.

Minimalne stężenia pyłu w wiązkach pyłu pozwalają na oszacowanie stężeń powodowanych przez pozostałe źródła emisji pyłu w obszarach zasilania oraz przez napływ. Należy zwrócić uwagę na bardzo wysoki poziom stężeń pyłu powodowany przez mniejsze źródła przemysłowe, emisję obszarową oraz napływ.

W dniach 7-8 stycznia napływ pyłu mógł mieć bardzo istotny wpływ na poziom stężeń pyłu w GOP. W dniach od 5 do 8 stycznia stężenia pyłu PM_{10} na stacji Małopolskiej Sieci Monitoringu w Trzebini wzrastały od ok. 40 µg/m^3 do 210 µg/m^{3}µg/m, a na stacji w Olkuszu od 35^3 do 210 µg/m^3. Bardzo wysokie stężenia pyłu PM_{10} występowały w tym czasie w Krakowie. Wysokie stężenia pyłu występowały również w rejonie Ostrawy, skąd zanieczyszczania przepływały w kierunku północno-zachodnim, ale nie docierały do GOP.

W ich zasięgu była jednak południowo-zachodnia część województwa śląskiego, np. stacja monitoringu Śląskiego WIOŚ w Wodzisławiu.

Zmiana kierunku ruchu mas powietrza na południowo-zachodni w godzinach popołudniowych 8 stycznia rozpoczęła przewietrzanie tego rejonu.

Sytuacja 19 stycznia na stacji w Katowicach

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
19-01-2010	108	170	-7,7	-3,8	72	228	0,2	0,4

W dniu 19 stycznia, w rejonie GOPu, masy powietrza przemieszczały się z niewielką prędkością (0,7-0,8 m/s) ze wschodu na zachód. Kierunek wiatru modelowany przy pomocy MM5 (110-125^{o}N) był zbliżony do rzeczywistego kierunku wiatru.

Można było wyróżnić następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-01-19 01:00	2010-01-19 14:00	72	142	0,5	1,2	101	147	158	257
R2	2010-01-19 15:00	2010-01-19 18:00	74	91	0,6	0,8	71	86	112	136
R3	2010-01-19 19:00	2010-01-19 23:00	53	68	1,1	2,7	40	71	50	112

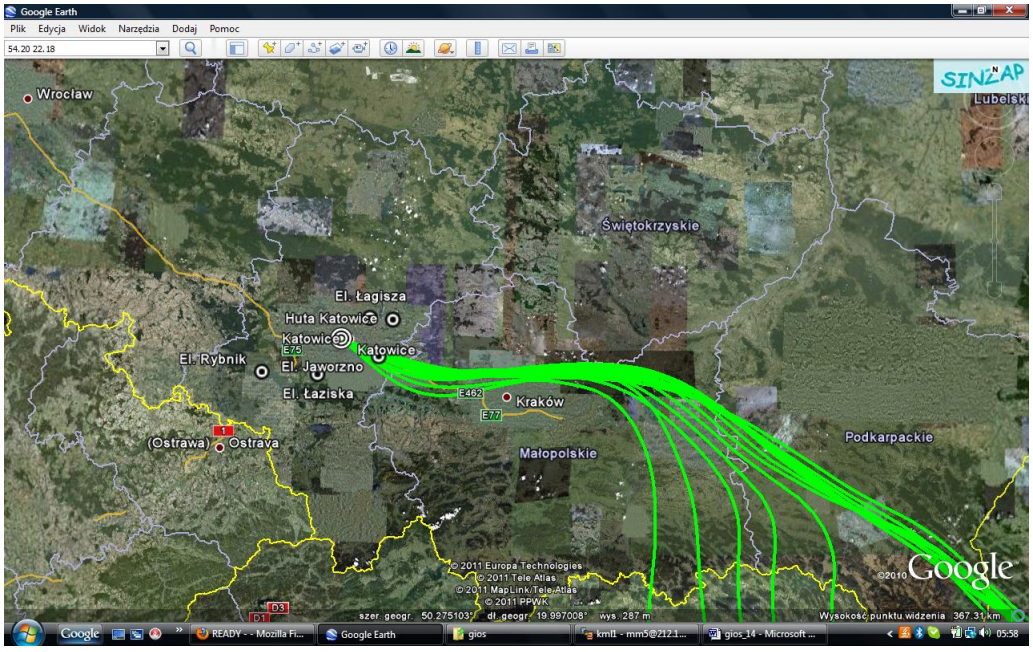
W obszarze zasilania wiązki R1 znajdowała się m.in. El. Jaworzno III. Przyrost stężeń pyłu w tym sektorze wynosił 117 µg/m^3.

W obszarze zasilania wiązki R3 znajdowała się Huta Katowice. Przyrost stężeń pyłu PM_{10} w wiązce wynosi 62 µg/m^3. Poziom minimalnych stężeń pyłu PM_{10} w wiązkach był bardzo wysoki – dochodził do 140 µg/m^3.

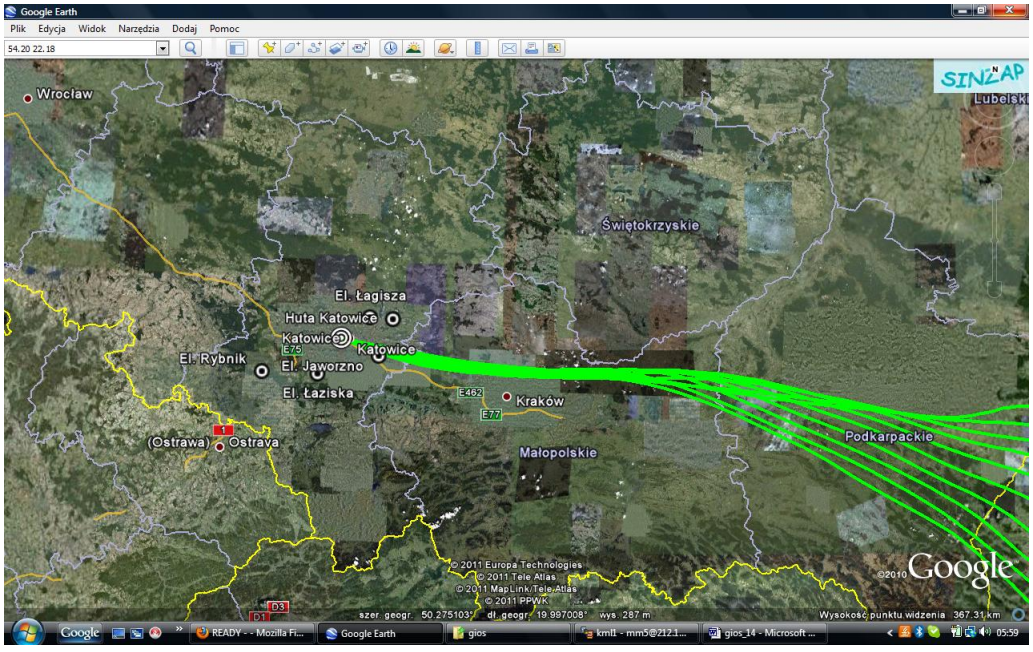
Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-19 01:00	2010-01-19 14:00	110	134	2,5	3,4	101	147	158	257
M2	2010-01-19 16:00	2010-01-19 23:00	103	111	2,5	4,8	60	71	95	125

Mimo dużego podobieństwa trajektorii w obu wiązkach modelowanych istnieje zasadnicza różnica ich obszarów zasilania. W obszarze zasilania wiązki M1 (rysunek 4.6.5.3.1.) znalazły się emitory o dużym natężeniu emisji oraz inne źródła emisji pyłu (prawdopodobnie źródła obszarowe) powodujące długotrwałe utrzymywanie się wysokich stężeń pyłu. Wiązka M2 (rysunek 4.6.5.3.2.) omija duże źródła emisji – stąd znacznie niższe stężenia pyłu.



Rysunek 4.6.5.3.1. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu 19 stycznia, w godz. od 01:00 do 14:00



Rysunek 4.6.5.3.2. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu 19 stycznia w godz. od 15:00 do 23:00

Sytuacja 25-27 stycznia na stacji w Katowicach

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
25-01-2010	124	211	-19,3	-9,2	67	80	0,2	0,4
26-01-2010	199	206	-19,5	-10,0	72	341	0,1	0,3
27-01-2010	229	319	-20,3	-10,9	72	255	01	0,8

Zidentyfikowano następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-01-25 01:00	2010-01-25 09:00	72	124	0,7	1,3	29	82	50	139
R2	2010-01-25 10:00	2010-01-25 20:00	91	160	0,5	1,2	81	282	138	480
R3	2010-01-26 00:00	2010-01-26 03:00	110	117	0,5	0,5	106	184	145	190
R4	2010-01-26 04:00	2010-01-26 20:00	355	136	0,2	1,4	85	208	89	251
R5	2010-01-26 21:00	2010-01-27 23:00	185	254	0,1	2,8	93	638	134	741

W całym analizowanym okresie czasu występowały warunki powodujące:

- dużą emisję pyłu z indywidualnych instalacji grzewczych (niska temperatura),
- utrudnioną migrację stężeń zanieczyszczeń (niska prędkość wiatru),
- utrudnione pionowe mieszanie powietrza (mała wysokość warstwy mieszania).

Z tych powodów w południowej i centralnej części województwa śląskiego w dniach 25-27 stycznia występowały wysokie stężenia pyłu. Ich średni poziom przekraczał 150 µg/m^3.

25 stycznia w godzinach popołudniowych w rejonach podgórskich stężenia pyłu PM_{10} wzrosły prawie dwukrotnie. Ekstremalnie wysokie stężenia pyłu PM_{10} zanotowano na stacjach monitoringu Śląskiego WIOŚ w Bielsku, Żywcu i Cieszynie (załącznik K).

Na emisję obszarową na terenie całego GOPu nałożyła się duża emisja przemysłowa.

Najwyższe stężenia pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ na stacji w Katowicach występowały w godzinach nocnych i dopołudniowych 27 stycznia.

Analiza wiązki R5 trajektorii wstecznych dla tego okresu wskazuje na potencjalne oddziaływanie El. Rybnik, El. Łaziska oraz ewentualnie napływ z rejonu Ostrawy.

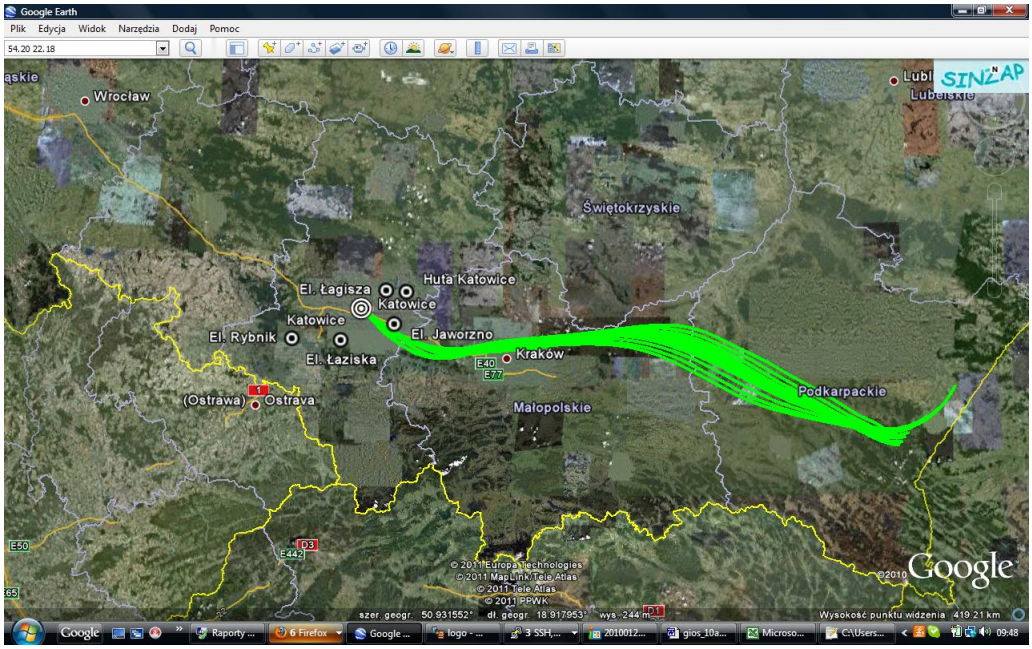
Dla zbadania ruchu powietrza w tym czasie, w całym rejonie przeprowadzona została analiza modelowanych warunków meteorologicznych.

W ciągu pierwszej doby modelowany wiatr był zgodny z wiatrem mierzonym. W nocy 26 stycznia pojawiła się różnica kierunku wiatru mierzonego (wiatr północno-wschodni) i modelowanego (wiatr południowo-wschodni) i utrzymywała się do końca dnia. W godzinach nocnych 27 stycznia kierunki wiatrów były takie same.

W przypadku wiązek R2 i R5 przeprowadzono analizę napływu pyłu z większych odległości, ze względu na bardzo wysokie stężenia pyłów związane z tymi wiązkami.

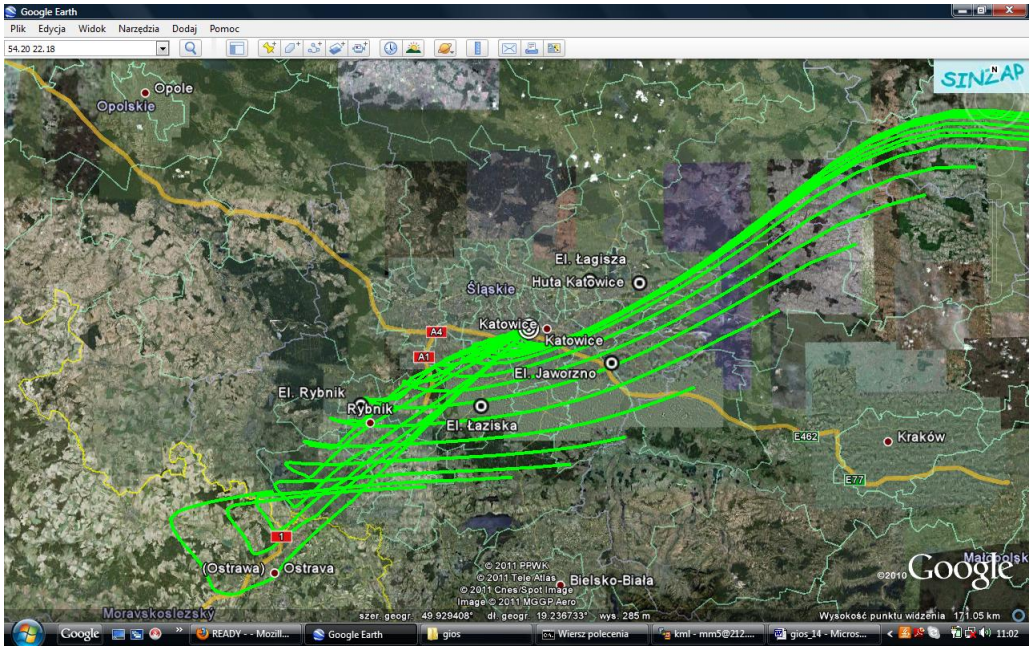
Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-01-25 01:00	2010-01-25 09:00	120	131	4,6	5,8	29	82	50	139
M2	2010-01-25 10:00	2010-01-25 23:00	127	132	3,1	4,5	99	283	167	480
M3	2010-01-26 00:00	2010-01-26 03:00	110	117	0,5	0,5	106	184	145	190
M4	2010-01-26 04:00	2010-01-26 22:00	68	127	0,8	3,0	85	208	89	251
M5	2010-01-26 23:00	2010-01-27 14:00	229	258	0,1	2,8	178	638	248	741
M6	2010-01-27 17:00	2010-01-27 23:00	229	233	6,3	11,9	19	132	26	184



Rysunek 4.6.5.3.3. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} 25 stycznia, w godzinach od 10:00 do 23:00

Rysunek 4.6.5.3.3. pokazuje wiązkę M2 utworzoną z modelowanych trajektorii odpowiadających trajektoriom wiązki R2. W sąsiedztwie obszaru zasilania wiązki M2 znajduje się El. Jaworzno III oraz inne duże źródła punktowe, co wyjaśnia przyrost stężenia pyłu PM_{10} w wiązce o prawie 300 µg/m^3.

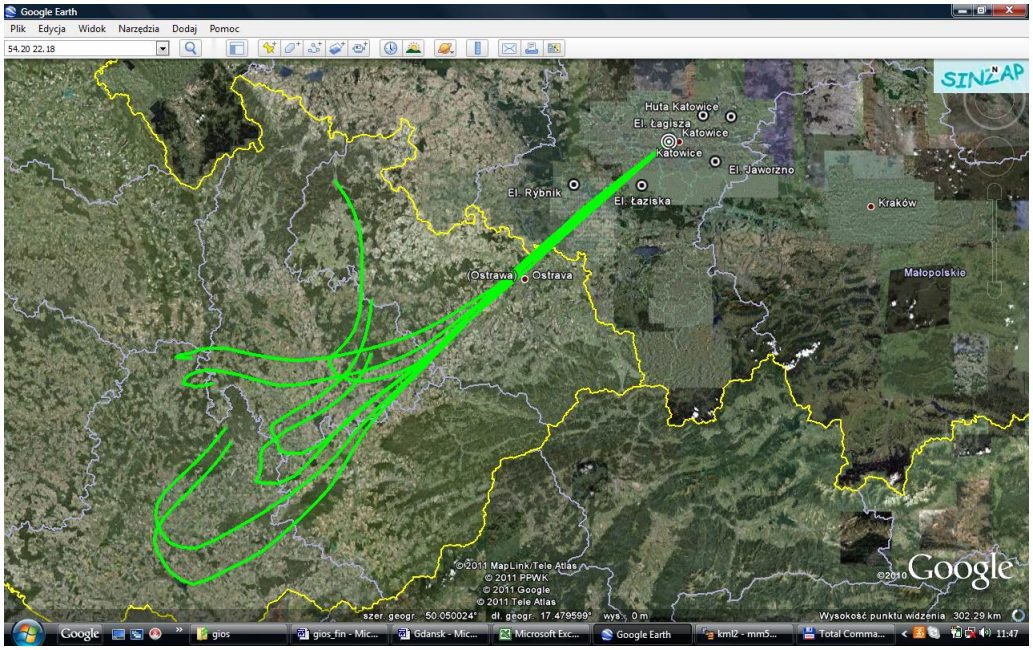


Rysunek 4.6.5.3.4. Wiązka M5 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} w czasie 2010-01-26, 23:00 - 2010-01-27, 14:00

Rysunek 4.6.5.3.4. przedstawia wiązkę modelowanych trajektorii M5. Masy powietrza, pierwotnie płynące w godzinach przedpołudniowych z północnego-wschodu, wskutek zmiany kierunku wiatru zawróciły w kierunku północno-zachodnim. W ten sposób do przepływającego powietrza był wprowadzany pył z południowo-wschodniej dużej części województwa śląskiego, w tym z El. Jaworzno III i pozostałych elektrowni w tym rejonie: El. Łaziska, El. Rybnik oraz źródeł przemysłowych i obszarowych z rejonu Ostrawy.

Natężenie strumienia pyłu w wiązce M5 wynosiło dla PM_{10} 140-1050 $\mu g/m^2/s$, a dla $PM_{2,5}$ 112-760 $\mu g/m^2/s$.

Taki scenariusz kształtowania stężeń pyłu wyjaśnia ekstremalnie wysokie stężenia pyłu zarejestrowane na stacji monitoringu w Katowicach.



Rysunek 4.6.5.3.5. Wiązka M6 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} 27 stycznia od godz. 17:00

Po godz. 16:00 uformował się strumień powietrza z południowego-zachodu. Na rysunku 4.6.5.3.5. pokazano wiązkę M6 przedstawiającą ten strumień. W jej obszarze zasilania był rejon Ostrawy. Stężenia pyłu PM_{10} w wiązce M6 dochodziły do 184 $\mu g/m^3$, a więc były znacznie niższe niż w wiązce M5. Jednakże natężenie strumienia pyłu PM_{10}, z uwagi na dużą prędkość wiatru, było duże i wynosiło dla PM_{10} 310-1447 $\mu g/m^2/s$, a dla pyłu $PM_{2,5}$ 223-1042 $\mu g/m^2/s$.

Sytuacja 1 lutego 2010 na stacji w Katowicach

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [$\mu g/m^3$]	Zakres temperatury powietrza [^oC]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
01-02-2010	87	140	-13,1	-3,6	72	450	0,2	0,6

Dnia 1 lutego zidentyfikowano następujące wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu:

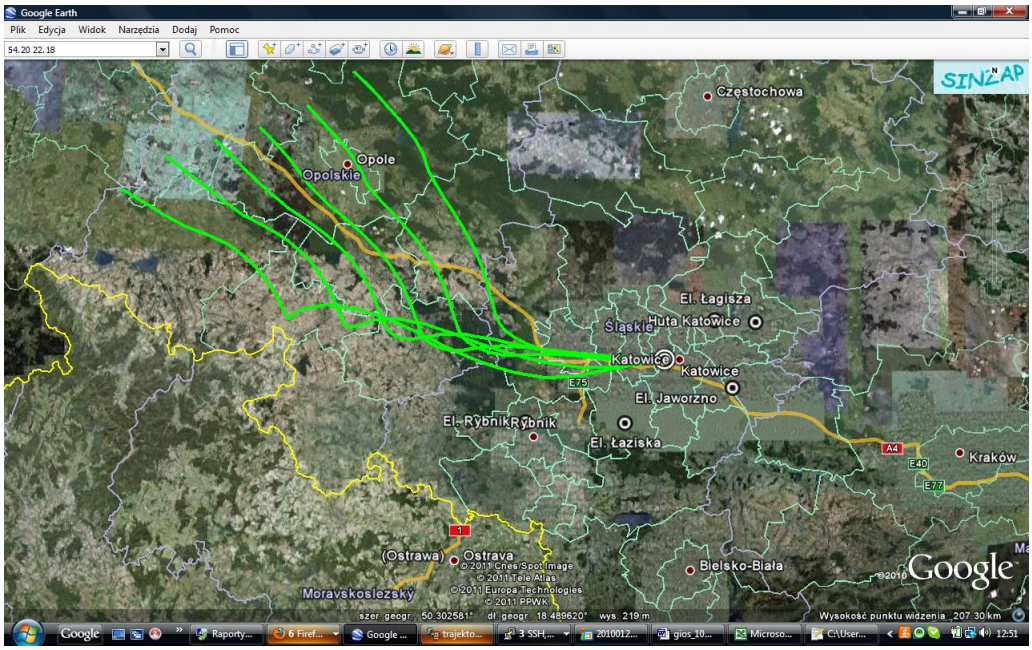
	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^oN]	[^oN]	[m/s]	[m/s]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]
R1	2010-02-01 01:00	2010-02-01 04:00	228	277	0,2	0,4	104	142	168	229
R2	2010-02-01 05:00	2010-02-01 06:00	264	278	0,4	0,8	133	167	215	269
R3	2010-02-01 07:00	2010-02-01 08:00	249	295	0,1	0,3	100	109	162	169
R4	2010-02-01 09:00	2010-02-01 23:00	210	243	0,9	2,0	51	94	83	137

Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-01 01:00	2010-02-01 06:00	228	277	0,2	0,4	104	142	168	229
M2	2010-02-01 07:00	2010-02-01 23:00	264	278	0,4	0,8	133	167	215	269

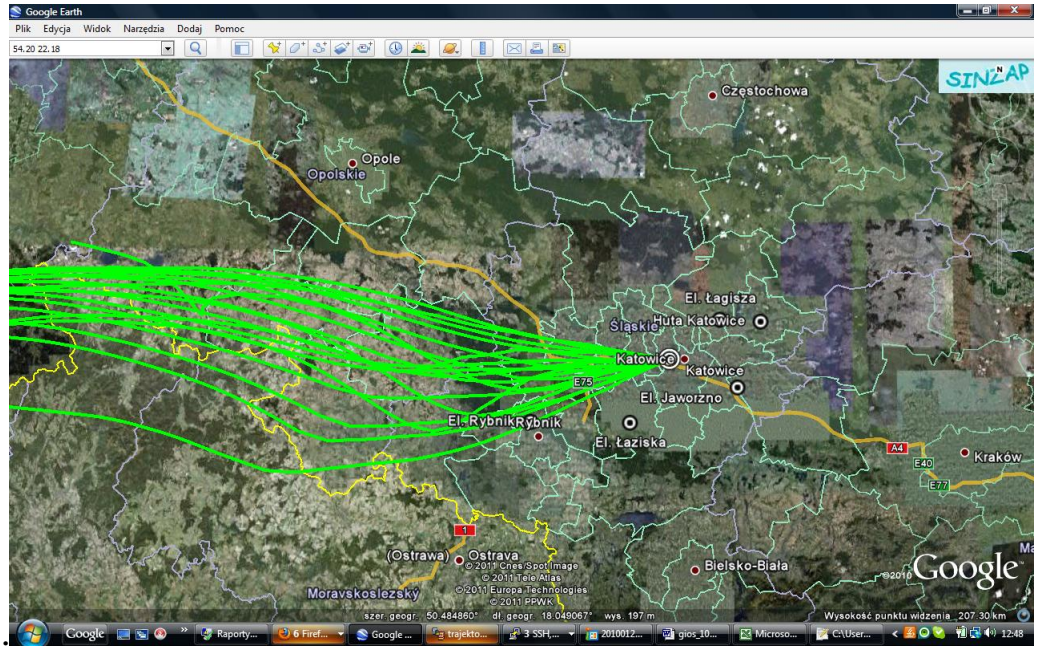
Wyselekcjonowane strumienie R1, R2, R3 i R4 są bardzo zbliżone. Przyrost stężenia pyłu PM_{10} w wiązkach wynosił od 60 do 100 µg/m^3.

Kierunki modelowanych trajektorii w wiązkach M1 i M2 są zgodne z kierunkami trajektorii rzeczywistych. Można na ich podstawie wyznaczyć obszary zasilania wiązek.



Rysunek 4.6.5.3.6. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu w godzinach 1:00-6:00 1 lutego 2010 roku

W obszarze zasilania wiązki M1 (rysunek 4.6.5.3.6.) są miasta Chorzów, Świętochłowice, Zabrze, Gliwice, Kędzierzyn-Koźle i Opole. Ze względu na dużą koncentrację mniejszych źródeł emisji pyłu na zachód od Katowic, ocena stężeń pyłu pochodzącego ze źródeł odległych może być orientacyjna. Będzie się ona kształtowała poniżej minimalnego stężenia pyłu w wiązce.



Rysunek 4.6.5.3.7. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu w godzinach 7- 23 1 lutego 2010 roku na stacji w Katowicach

W obszarze zasilania wiązki M2 (rysunek 4.6.5.3.7.) są miasta Chorzów, Świętochłowice, Zabrze, Gliwice, Kędzierzyn Koźle oraz obszar Kotliny Kłodzkiej.

Sytuacja 9 lutego na stacji w Katowicach

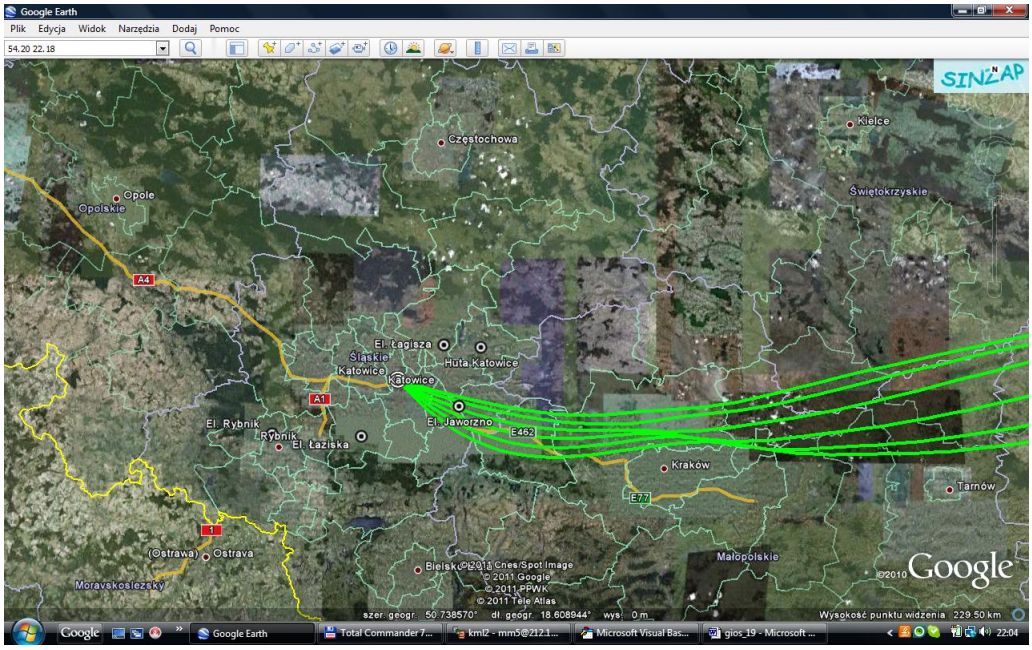
	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
09-02-2010	126	159	-10,6	-6,8	72	304	0,1	0,6

Zidentyfikowane wiązki rzeczywistych trajektorii pyłu w dniu 9 lutego w Katowicach:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-02-09 01:00	2010-02-09 03:00	127	165	0,3	1,7	74	214	93	269
R2	2010-02-09 04:00	2010-02-09 06:00	128	131	0,8	1,0	115	125	145	157
R3	2010-02-09 07:00	2010-02-09 15:00	130	229	0,4	2,5	11	86	14	108
R4	2010-02-09 16:00	2010-02-09 20:00	136	151	0,7	2,6	86	129	109	162
R5	2010-02-09 21:00	2010-02-09 23:00	13	239	0,1	0,4	92	104	115	130

Zidentyfikowane wiązki modelowanych trajektorii pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-09 01:00	2010-02-09 06:00	127	165	0,3	1,7	74	214	93	269
M2	2010-02-09 07:00	2010-02-09 19:00	138	229	0,8	1,0	11	129	14	162



Rysunek 4.6.5.3.8. Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} 9 lutego od godz. 1:00 do godz. 6:00

Wiązki R1, R2 były bardzo podobne. Stężenia pyłu w tych wiązkach przekraczały 150 µg/m^3, a najwyższe stężenie pyłu wystąpiło nocą w wiązce R1 (269 µg/m^3).

Obu wiązkom odpowiada jedna wiązka modelowana M1, pokazana na rysunku 4.6.5.3.8.

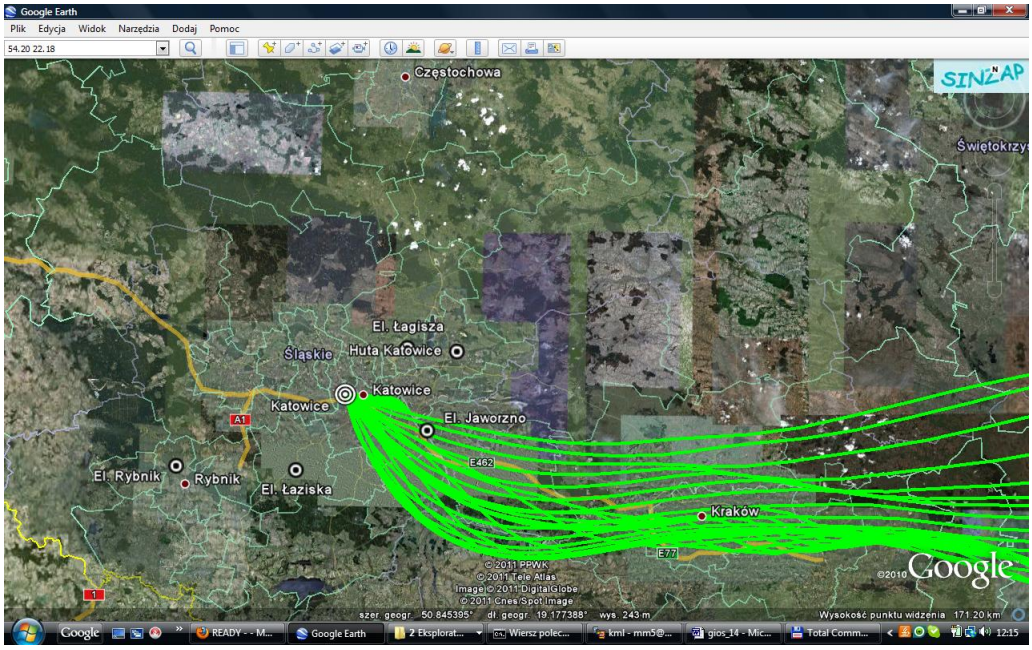
W obszarze zasilania wiązki M1 jest El. Jaworzno oraz inne źródła przemysłowe w tym rejonie. Wyjaśnia to duży przyrost stężeń pyłu PM_{10}, przekraczający 170 µg/m^3.

Równocześnie minimalne stężenie w tej wiązce osiągnęło 93 µg/m^3, co wskazuje na wysokie stężenia napływające z większych odległości.

Wiązka R3 również zawierała trajektorie ze wschodu, ale towarzyszące jej stężenia były znacznie niższe i najprawdopodobniej co najmniej jedna z nich omijała wszystkie większe lokalne źródła emisji pyłu. Wiązka R4 jest bardzo podobna do wiązki R2. Obie te wiązki można uzgodnić z modelowaną wiązką M2 (rysunek 4.6.5.3.9.) pokazującą dalekodystansowy napływ pyłu w ciągu dnia. Wiązka tworzy szeroki wachlarz trajektorii ze wschodu. W obszarze zasilania tej wiązki są źródła emisji pyłu wokół Mysłowic, Jaworzna, Trzebini, Oświęcimia, Chrzanowa, Krzeszowic i Krakowa. Jednakże, prawdopodobnie z powodu korzystnych warunków propagacji zanieczyszczeń, nie spowodowało to dużego wzrostu stężeń pyłu.

Napływ zarejestrowany w godzinach nocnych (wiązka R5) wskazuje na całkowitą zmianę kierunku oddziaływania w tym czasie. Stężenia towarzyszące tej wiązce były podobne do

stężeń w poprzedniej wiązce. Mogło więc dojść do zawrócenia kierunku przepływu mas powietrza. Wiązka R5 nie jest zgodna z trajektoriami modelowanymi.



Rysunek 4.6.5.3.9. Wiązka M2 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} 9 lutego

Sytuacja 16 lutego na stacji w Katowicach

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [^{o}C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
16-02-2010	129	168	-10,7	-0,9	72	806	0,1	0,4

Zidentyfikowane wiązki rzeczywistych trajektorii wstecznych pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[^{o}N]	[^{o}N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-02-16 01:00	2010-02-16 03:00	234	248	0,6	0,8	83	142	131	219
R2	2010-02-16 04:00	2010-02-16 09:00	79	224	0,1	0,3	128	180	167	235
R3	2010-02-16 10:00	2010-02-16 11:00	126	142	0,6	0,9	101	168	133	219
R4	2010-02-16 12:00	2010-02-16 13:00	173	174	0,7	0,7	94	97	123	127
R5	2010-02-16 14:00	2010-02-16 15:00	220	228	1,2	1,4	65	68	86	89
R6	2010-02-16 16:00	2010-02-16 18:00	172	226	0,3	1,3	46	81	60	106
R7	2010-02-16 19:00	2010-02-16 21:00	120	138	0,5	0,8	152	165	199	216
R8	2010-02-16 22:00	2010-02-16 23:00	85	86	0,3	0,3	192	195	251	255

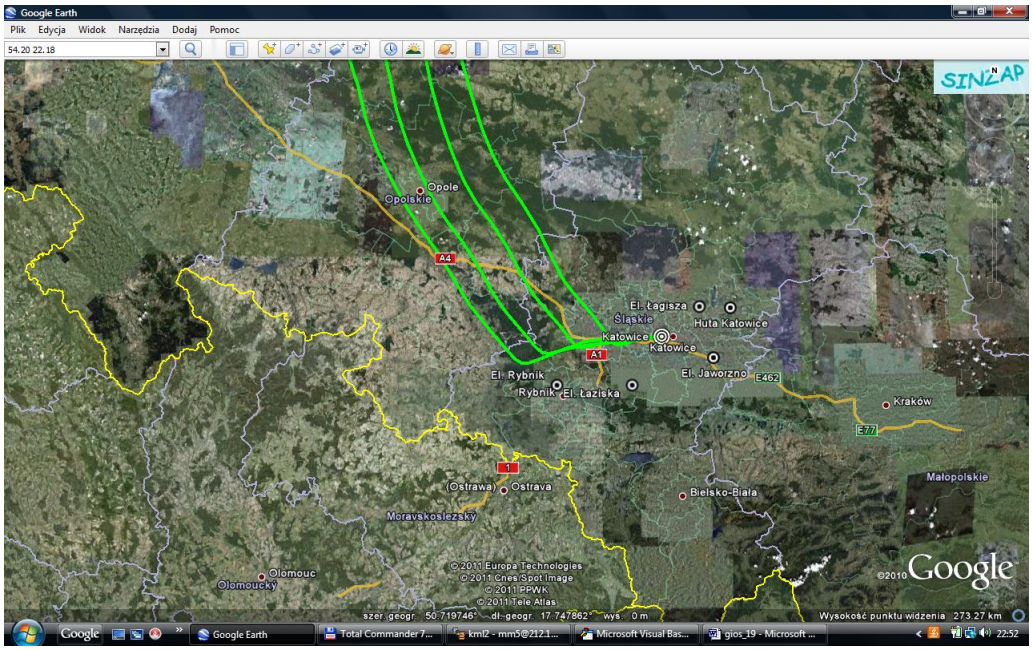
Zidentyfikowana wiązka modelowanych trajektorii wstecznych pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-16 01:00	2010-02-16 04:00	258	269	2,1	2,4	117	142	153	185

W dniu 16 lutego przepływ mas powietrza zmieniał się często. W ciągu całego dnia, przy małej prędkości, wiatr meandrował nad obszarem GOP. W pierwszej połowie dnia wyselekcjonowano bardzo podobne wiązki R1, R2, R3, R4 (również z punktu widzenia poziomów stężeń). Wiązka R5, o wyższych prędkościach wiatru (i jednocześnie znacznie niższych stężeniach) rozdzieliła tę serię od wiązek wyselekcjonowanych w godzinach popołudniowych.

W ciągu dnia jedynie wiązka R1 uzgodniła się z wiązką M1 (pokazaną na rysunku 4.6.5.3.10.).

Obszar zasilania wiązki M1 to rejon Zabrza, Gliwic, Kędzierzyna-Koźla, Zdzieszowic oraz centralna i północna część województwa opolskiego wraz z Opolem.



Rysunek 4.6.5.3.10 Wiązka M1 modelowanych trajektorii pyłu PM_{10} 16 lutego od godz.1:00 do godz. 4:00

Sytuacja 25 lutego 2010 na stacji w Katowicach

	Stężenie średniodobowe $PM_{2,5}$ [µg/m^3]	Stężenie średniodobowe PM_{10} [µg/m^3]	Zakres temperatury powietrza [°C]		Zakres wysokości warstwy mieszania [m]		Zakres prędkości dynamicznej [m/s]	
25-02-2010	114	168	0,3	9,3	72	412	0,1	0,3

Zidentyfikowane wiązki rzeczywistych trajektorii wstecznych pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
R1	2010-02-25 01:00	2010-02-25 04:00	100	250	0,2	0,3	97	194	143	284
R2	2010-02-25 05:00	2010-02-25 07:00	65	104	0,1	0,5	137	182	201	262
R3	2010-02-25 07:00	2010-02-25 12:00	91	168	0,5	0,7	90	215	133	315
R4	2010-02-25 13:00	2010-02-25 18:00	50	190	0,6	1,1	24	62	35	92
R5	2010-02-25 19:00	2010-02-25 23:00	102	132	0,4	0,8	87	121	154	175

Zidentyfikowana wiązka rzeczywistych trajektorii wstecznych pyłu:

	Czas trwania okresu napływu		Azymut (zakres)		Prędkość (zakres)		Zakres stężenia $PM_{2,5}$		Zakres stężenia PM_{10}	
	Początek okresu	Koniec okresu	[°N]	[°N]	[m/s]	[m/s]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]	[µg/m^3]
M1	2010-02-25 01:00	2010-02-25 04:00	100	250	0,2	0,3	97	194	143	284

Z wyjątkiem pierwszych godzin, w dniu 25 lutego napływały masy powietrza ze wschodu i południowego-wschodu. W godzinach dopołudniowych wyselekcjonowano trzy wiązki R1, R2, R3 z bardzo wysokimi stężeniami pyłu PM_{10}. Wiązkę R4 z godzin popołudniowych charakteryzowały już znacznie niższe stężenia, co może być wyjaśnione lepszymi warunkami propagacji. Ponowny wzrost stężeń towarzyszący wiązce R5 w godzinach nocnych był spowodowany ponownym pogorszeniem warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Żadnej z wiązek rzeczywistych w dniu 25 lutego nie można uzgodnić z wiązkami modelowanymi.

4.7. Podsumowanie i wnioski

Specyfika zanieczyszczeń pyłowych w Polsce powoduje, ze dominującym źródłem wpływającym na imisję są źródła antropogeniczne. Udowadnia to zarówno przestrzenne zróżnicowanie stężeń pyłu PM_{10} jak również jego przebieg roczny. Najwyższe jego stężenia, a także największą liczba 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 CAFE [WE, 2008] 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 $\mu g/m^3$ dla pyłu PM_{10} i do 25 $\mu g/m^3$ 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 głównie o oddziaływaniu podobnego zespołu czynników meteorologicznych, które odpowiadają 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 Wytycznych Komisji.

Według tego dokumentu najważniejszymi źródłami, których udziały kwalifikują się do odejmowania zgodnie z ustaleniami Dyrektywy CAFE, 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.

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 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 – 23 marca 2007 roku na obszarze Polski Południowej i spowodowane było depozycją pyłu pochodzącego z nieporośniętych roślinnością obszarów w rejonie Zbiornika Kachowskiego na Ukrainie. Przeprowadzona przez IOŚ analiza tego epizodu [Ocena …, 2008] 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 nie może stanowić podstawy do odliczenia udziału.

Aerozol morski

Występowanie w pyle 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 [2001], 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 4.7.1.

Tabela 4.7.1. 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 pyle 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 aerosolu morskiego na imisję zanieczyszczeń na obszarach lądowych przybrzeża stanowią ogółem około 15% czasu w roku. Faktyczna wielkość udziału aerosolu 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 z charakteru 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 Eyjafjoell 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 wpływu 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.

Przepływy pyłów w trakcie wybranych epizodów

Kontrola transportu zanieczyszczeń i ocena udziału poszczególnych źródeł emisji stają się głównym zadaniem w zarządzaniu jakością powietrza. Nadzór przepływu zanieczyszczeń może 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 zasięgu 24-godzinnych trajektorii wstecznych.
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 innych częściach kraju, (w szczególności dla rozpoznania przepływów transgranicznych).

4.7.1.1.1. Diabla Góra

Analiza strumieni pyłu zarejestrowanych na stacji w Diablej Górze w trakcie epizodów, nawet przy wykorzystaniu średniodobowych stężeń pyłu, pozwoliła zidentyfikować i rozróżnić napływ pyłu z całej północno-wschodniej części Polski oraz przepływów transgranicznych. Analiza tych napływów pokazała, że niezależnie od kierunku napływu i obszaru emisji pyłu, na stacji pojawiają się stężenia pyłu $PM_{2,5}$ przekraczające 35 $\mu g/m^3$, co w przeliczeniu na PM_{10} powoduje, że w dniach epizodów na stacji w Diablej Górze stężenia średniodobowe PM_{10} przekraczały 40 $\mu g/m^3$.

4.7.1.1.2. Gdańsk

Analiza przepływu pyłu w trakcie wybranych epizodów pokazała, że za wysokie stężenia pyłów na terenie Gdańska w zbliżonym stopniu odpowiadają:

- źródła przemysłowe na terenie samego miasta (powodujące znaczny przyrost stężeń pyłu w stosunku do przeciętnego poziomu stężeń),
- inne źródła emisji pyłu na terenie miasta,
- źródła emisji pyłu w kilkunastokilometrowym otoczeniu stacji:
  - źródła na terenie Sopotu i Gdyni
  - źródła w miejscowościach na południe od Gdańska.

Szacunkowa ocena stężeń pyłu PM_{10} powodowanych przez źródła odległe daje zakres poniżej 35 $\mu g/m^3$ w zależności od rejonu skąd pochodził pył.
Wszystkim epizodom w Gdańsku towarzyszyły niesprzyjające warunki propagacji zanieczyszczeń – mała prędkość wiatru, mała wysokość warstwy mieszania.

4.7.1.1.3. Katowice

Analiza strumieni pyłu w rejonie GOP pozwala zidentyfikować duże źródła emisji pyłu oraz określić szacunkowy udział, 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, 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.

4.7.1.1.4. 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.

Konkluzja

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, szczególnie tych dla warunków miejskich (Katowice, Gdańsk). Analiza warunków napływu zanieczyszczeń na stację Diabla Góra, a także analiza chemiczna składu pyłu w 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 na tę stację. Wyodrębnienie jednak wielkości takiego udziału jest bardzo trudne.

Potencjalny wpływ aerozolu naturalnego na zanieczyszczenie pyłowe w Polsce przedstawia poniższa tabela 4.7.2.

Tabela 4.7.2. 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 oraz Polska północno - wschodnia
pył wulkaniczny	bez istotnego znaczenia – występowanie sporadyczne	obszar oddziaływania pyłu – konieczne śledzenie obłoku.
pożary lasów	minimalny – występowanie sporadyczne	obszar oddziaływania pyłu – konieczne śledzenie obłoku.

Literatura do rozdziału 4 (wybór)

Beyer K.S., Goldstein J., Ramakrishnan R., Shaft U., 1999: When is ,,Nearest Neighbour" meaningful?, Proceeding of the 7th International Conference on Database Theory, 217 – 235

Bitar L., Duck T.J., Kristiansen N.I., Stohl A., Beauchamp S., 2010: Lidar observations of Kasatochi volcano aerosols in the troposphere and stratosphere. Journal of Geophysical Research, vol. 115

Blažek Z., Černikovský L., Ostrožlík T., Volný R., Krajny E., Ośródka L., 2010: Smogová situace v oblasti Ostrawsko-Karvinska ve dnech 23.-27. ledna 2010. Meteorologické Zprávy (Meteorological Bulletin), ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute), Ročník 63, čislo 2

Bronder, J., Kliś, C., 2008: MARQUIS jako przykład wdrożenia serwisu informacyjnego na temat jakości powietrza w województwie śląskim [w] Ochrona powietrza w teorii i praktyce, red. Jan Konieczyński, tom 1, s. 229-239, IPIŚ PAN Zabrze

Damoah R., Spichtinger N., Forster C., James P., Mattis I., Wandinger U., Beirle S., Wagner T, Stohl A., 2004: Around the world in 17 days – hemispheric-scale transport of forest fire smoke from Russia in May 2003. Atmos. Chem. Phys., 4, 1311–1321

Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2010: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD

Falkowska L., Lewandowska A.: Aerozole i gazy w atmosferze ziemskiej – zmiany globalne. Wyd. UG., Gdańsk 2009

Gelsomina Pappalardo: EARLINET revealed four-dimensional distribution of volcanic ash. SPIE Newsroom,10.1117/2.1201011.003289

Jaffe D., Bertschi I., Jaegle L., Novelli P., Jeffrey S. Reid J.S., Tanimoto H., Vingarzan R., Douglas L. Westphal D.L., 2004: Long-range transport of Siberian biomass burning emissions and impact on surface ozone in western North America. Geophysical Research Letters, vol. 31

Kalwas M., Stacewicz T., Zwoździak A. (red.): Badania aerozolu miejskiego. Wyd. UW, Warszawa 2007

Kliś Cz.**,** 2003: Metody analizy napływu zanieczyszczeń powietrza, *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów,* 1-2

Kliś Cz., Żeglin M., 2001: Identyfikacja kierunków napływu zanieczyszczeń powietrza z wykorzystaniem pomiarów o krótkim czasie uśredniania, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 2

Kliś Cz., 2004: System Identyfikacji Napływu Zanieczyszczeń Powietrza, grant 4 TO9D 011 24

Kliś Cz.**,** Bronder J., 2007: System identyfikacji napływu zanieczyszczeń powietrza, *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów,* 1-2

Kliś C., Bronder, J., 2008: SINZaP – *Intelligent Air Pollution Monitoring System. Archives of Environment Protection 5-21, 34*

Markowicz M.K., Zawadzka O., Stachlewska S.I., 2010: Obserwacje pyłu wulkanicznego nad Polską w kwietniu 2010 roku. Prz. Geof. LV, 3-4

Mather T.A., Pyle D.M.: Tropospheric Volcanic Aerosol ,Volcanism and the Earth's Atmosphere Geophysical. Monograph 139, Copyright 2003 by the American Geophysical Union

Mattis, I., Müller, D., Ansmann, A., Wandinger, U., Murayama, T., Damoah, R.: Siberian Forest-Fire Smoke Observed Over Central Europe in Spring/summer 2003: IN the Framework of Earlinet, 22nd Internation Laser Radar Conference (ILRC 2004), Proceedings of the Conference held 12-16 July, 2004 in Matera, Italy. Edited by

Gelsomina Pappalardo and Aldo Amodeo. ESA SP-561. Paris: European Space Agency, 2004, p. 857

Ocena zanieczyszczenia powietrza w Polsce w roku 2007 w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach PMŚ, IOŚ, Warszawa, 2008

Ośródka L., Krajny E., Wojtylak M., 2006: Analiza epizodów smogowych w sezonie zimowym na Górnym Śląsku. Ochrona powietrza w teorii i praktyce, IPIŚ PAN, Zabrze, Tom II, 197-206

Rolph, G.D., 2010: Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (http://ready.arl.noaa.gov). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD

Sammon J.W., 1969: A nonlinear mapping for data structure analysis, IEEE Transactions on Computers C 18, 401-409

Schmid H.P. and Oke T.R., 1990: A model to estimate the source area contributing to turbulent exchange in the surface layer over patchy terrain, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 116(494), p. 965–988, July 1990, Part A.

Trzeciak S., 2001: Wiatry sztormowe na polskim wybrzeżu Bałtyku, Studia / Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, 36, s. 3 – 78

Strona internetowa

http://icecap.us/images/uploads/HOW_VOLCANISM_AFFECTS_CLIMATE.pdf by Joe D'Aleo

5. Wskazówki metodyczne i organizacyjne do prowadzenia monitoringu składu pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10}

5.1. Wskazówki metodyczne i organizacyjne do prowadzenia monitoringu składu pyłu $PM_{2,5}$ na stacjach tła regionalnego zgodnie z dyrektywą 2008/50/WE

Dyrektywa 2008/50/WE wskazuje, że „dla zrozumienia wpływu drobnego pyłu zawieszonego i opracowania odpowiedniej polityki w tym zakresie należy przeprowadzić szczegółowe pomiary tego zanieczyszczenia na stacjach monitoringu tła pozamiejskiego. Pomiary te powinny być przeprowadzane zgodnie z programem współpracy w zakresie monitoringu i oceny przenoszenia na dalekie odległości zanieczyszczeń powietrza w Europie (EMEP) ustanowionym na mocy Konwencji z 1979 roku w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości zatwierdzonej decyzją Rady 81/462/EWG z dnia 11 czerwca 1981 r."

Wymagania jakim powinna odpowiadać stacja tła pozamiejskiego podaje Art. 6 Dyrektywy 2008/50/WE. Bardziej szczegółowo wymagania te omówiono w wytycznych Komisji Europejskiej, dotyczących utworzenia wspólnych stacji monitoringu jakości powietrza dla drobnego pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ (*COMMISSION STAFF WORKING PAPER establishing guidelines for the agreements on setting up common measuring stations for $PM_{2.5}$ under Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe* (Guidance, 2011)).

Przede wszystkim stanowisko tła pozamiejskiego powinno być zlokalizowane w oddaleniu od istotnych źródeł zanieczyszczenia powietrza, a dokładnie odległość ta powinna wynosić nie mniej niż 5 km od aglomeracji i obszarów przemysłowych[3]. Dodatkowo zgodnie z Art. 6 Dyrektywy CAFE na każde 100000 km^2 powierzchni przypada jeden punkt pomiarowy.

Stanowisko tłowe powinno być reprezentatywne dla dużych pozamiejskich obszarów[4]. Obszar reprezentatywny powinien w przybliżeniu pokrywać komórkę siatki z rozdzielczością przestrzenną 50 km. Ponadto w pracy (Nilu, 2001) wskazano, że rozmiar obszaru reprezentatywnego jest determinowany zmiennością jakości powietrza i opadu atmosferycznego oraz pożądaną rozdzielczością przestrzenną stężeń i pól depozycji. W ramach tego obszaru nie należy ujmować bezpośrednio sąsiadujących z nim terenów miejskich i przemysłowych.

Jak wskazują wytyczne Komisji Europejskiej (Guidance, 2011), na terytorium Polski powinny funkcjonować co najmniej trzy stacje tła pozamiejskiego (regionalnego), przeznaczone do badania stężenia i składu chemicznego pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$.

Definicja reprezentatywności obszaru tła pozamiejskiego, wg wytycznych Komisji Europejskiej (Guidance, 2011), obejmuje następujące kryteria:

→ Stężenie jest w ustalonym zakresie odnoszone do poszczególnego stanowiska pomiarowego;

[3] Załącznik III: *Ocena jakości powietrza i lokalizacja punktów pomiarowych dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i tlenków azotu oraz pyłu zawieszonego (PM_{10} i $PM_{2,5}$), ołowiu, benzenu i tlenku węgla w powietrzu* (WE, 2008)
[4] http://www.nilu.no/projects/CCC/manual/

→ Granice reprezentatywności obszaru są ustalone zgodnie z regionami klimatycznymi i makroregionami topograficznymi jak również wg różnych typów obszarów topograficznych w małej skali (np. równina, dolina, góry);
→ Wszystkie stanowiska zlokalizowane w obszarze reprezentatywnym znajdują się pod wpływem podobnych źródeł emisji, jakkolwiek emisja ta musi być „niska" dla wspólnych stanowisk monitoringu $PM_{2,5}$ [5];
→ Obszar reprezentatywny nie powinien być większy niż obszar w promieniu 100 km wokół stanowiska pomiarowego.

Należy zauważyć, że podobne wymagania sformułowano w dyrektywie 2004/107/WE dla stacji tła pozamiejskiego, na których bada się zawartość metali ciężkich i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w pyle PM_{10} oraz ich depozycję. Ulokowanie badań pyłu według wymagań obydwu dyrektyw na tych samych stacjach pomiarowych daje duże możliwości poznawania składu zarówno pyłu PM_{10}, jak i $PM_{2,5}$ (m.in. w miarę potrzeb istnieje możliwość rozszerzania programu pomiarowego w celu zbadania składu pyłu w szczególnych warunkach, jakie mogą zaistnieć w rejonach, dla których stacje są reprezentatywne) (Schaap i in. 2010).

Zasadniczym celem pomiarów na stanowiskach pomiarowych tła pozamiejskiego jest dostarczenie wiarygodnej informacji na temat poziomów w tle, która jest niezbędna dla oceny podwyższonych poziomów w bardziej zanieczyszczonych obszarach (w tym miasta, tereny przemysłowe, tereny wzdłuż szlaków komunikacyjnych). Ważny aspekt takich pomiarów stanowi również określenie wpływu zanieczyszczeń przenoszonych na znaczne odległości, czyli określenie roli transportu dalekiego zasięgu. Stanowiska tła pozamiejskiego są również niezbędne, biorąc pod uwagę szersze zastosowanie techniki modelowania także na obszarach miejskich[6].

Celem pomiarów prowadzonych na stanowisku tła pozamiejskiego jest uzyskanie średnich rocznych informacji, co najmniej na temat całkowitego stężenia wagowego i składu chemicznego drobnego pyłu zawieszonego ($PM_{2,5}$). W ramach analizy składu chemicznego uwzględnia się co najmniej następujący wykaz substancji:

– Jony: SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+};
– Materia organiczna: węgiel pierwiastkowy (EC), węgiel organiczny (OC).

Pomiarów należy dokonywać zgodnie z załącznikiem III Dyrektywy 2008/50/WE (*Ocena jakości powietrza i lokalizacja punktów pomiarowych dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i tlenków azotu oraz pyłu zawieszonego (PM_{10} i $PM_{2,5}$), ołowiu, benzenu i tlenku węgla w powietrzu*), sekcja A, B i C. Załącznik III szczegółowo określa wymagania dotyczące rozmieszczenia punktów pomiarowych, w skali makro i w skali mikro, w których mierzy się stężenie $PM_{2,5}$ (oraz innych zanieczyszczeń wymienionych w Dyrektywie). W makroskali należy brać pod uwagę przede wszystkim ochronę zdrowia ludzi. W skali mikro należy przestrzegać m.in. następujących zaleceń (WE, 2008):

– Aparatura pomiarowa powinna być umieszczona od 1.5 do 4 m powyżej poziomu gruntu (w niektórych przypadkach do 8 m);
– Przepływ powietrza wokół czerpni (w promieniu co najmniej 270°) nie może być ograniczany przez żadne przeszkody wokół punktu poboru prób; stąd punkt pomiarowy powinien być zlokalizowany w odległości kilku metrów od budynków, balkonów, drzew i innych przeszkód;

[5] Szczegółowo omówione w (Spangl i inni, 2007)
[6] Załącznik IV: *Pomiary w punktach pomiarowych tła pozamiejskiego niezależnie od stężenia* (WE, 2008)

– Nie umieszcza się czerpni w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł emisji (uniknięcie bezpośredniego zasysania substancji przed ich dostatecznym zmieszaniem z powietrzem).

Można również uwzględnić następujące czynniki: źródła zakłóceń, bezpieczeństwo, dostęp, dostępność energii elektrycznej i łączności telefonicznej, widoczność miejsca względem otoczenia, bezpieczeństwo publiczne oraz bezpieczeństwo pracowników obsługi, celowość wspólnego umieszczenia punktów poboru prób różnych substancji zanieczyszczających, wymagania planistyczne.

Jako metodę referencyjną pobierania próbek i pomiaru pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$ Dyrektywa 2008/50/WE wskazuje metodę opisaną w normie PN-EN 14907:2006 „Jakość powietrza atmosferycznego – znormalizowana metoda pomiaru grawimetrycznego do oznaczania frakcji masy pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$" (PN-EN 14907:2006).

Zakładając, że pomiary stężenia pyłu $PM_{2,5}$ na stacjach tła pozamiejskiego prowadzone będą w sposób ciągły, należy respektować następujące wymagania dotyczące jakości danych pomiarowych[7]:

– niepewność 25%,
– minimalny procent ważnych danych 90%.

Ewentualne ograniczenie programu do pomiarów okresowych wiąże się z koniecznością dotrzymania następujących wymagań:

– niepewność 50%,
– minimalny procent ważnych danych 90%,
– minimalne pokrycie czasu 14% (jeden pomiar tygodniowo rozłożony równomiernie w ciągu roku osiem cykli pomiarów tygodniowych rozłożonych równomiernie w ciągu roku).

Dla danych dotyczących składu pyłu nie określono wymagań odnośnie jakości. Wydaje się jednak wskazane przyjąć zasadę, w myśl której badania składu pyłu $PM_{2,5}$ będą prowadzone jako co najmniej jeden pomiar tygodniowo (pomiary rozłożone równomiernie w ciągu roku). Taka zasada umożliwi przeprowadzenie szczegółowych analiz dla dni objętych pomiarami, uwzględniających udział różnych źródeł (w tym źródeł naturalnych, napływu zanieczyszczeń z dalekich odległości, także spoza granic kraju) w kształtowaniu wielkości stężenia pyłu (na podstawie analizy wstecznych trajektorii i powiązania uzyskanych wyników z lokalizacją źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza). Wskazane jest również prowadzenie dodatkowych oznaczeń składników w pyle w sytuacjach nietypowych, wiążących się z możliwością występowania epizodów podwyższonych stężeń pyłu spowodowanych oddziaływaniem źródeł naturalnych (w tym np. wynikających z pożarów poza granicami kraju czy też napływu pyłu saharyjskiego). Te dodatkowe dni byłyby wybierane na podstawie informacji o aktywności danych źródeł i analizy sytuacji synoptycznej, która wskazywałaby na możliwość wystąpienia epizodów na stacjach tła pozamiejskiego. Należy w tym miejscu wspomnieć, że epizody tego rodzaju mogą przyczyniać się do zwiększenia stężenia pyłu także na obszarach miejskich.

[7] Załącznik VI: Metody referencyjne oceny stężenia dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i tlenków azotu, pyłu zawieszonego (PM_{10} i $PM_{2,5}$), ołowiu, benzenu, tlenku węgla i ozonu (WE, 2008)

5.1.1. Materiały źródłowe wykorzystane do przygotowania Podrozdziału 5.1.

- Guidance, 2011: COMMISSION STAFF WORKING PAPER establishing guidelines for the agreements on setting up common measuring stations for $PM_{2.5}$ under Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe. Brussels 14.01.2011, SEC(2011) 77 final;
- Nilu, 2001: EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis. EMEP/CCC Report 1/95 Revision November 2001. Norwegian Institute for Air Reserarch;
- PN-EN 14907:2006. Ambient air quality – Standard gravimetric measurement method for the determination of the $PM_{2,5}$ mass fraction of suspended particulate matter;
- Schaap, M., Weijers, E.P., Mooibroek, D., Nguyen, L., Hoogerbrugge, R. (2010): Composition and origin of Particulate Matter in the Netherlands. Results from the Dutch Research Programme on Particulate Matter", 2010;
- Spangl, W., Schneider, J., Moosmann, L., Nagl, C. (2007): Representativeness and classification of air quality monitoring stations – final report. Service contract to the European Commission – DG Environment Contract No. 07.0402/2005/419392/MAR/C1. Reports Bd. REP-0121. Umweltbundesamt Wien;
- Dyrektywa 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu (Dz. Urz. UE L 23 z 6.01.2005);
- Dyrektywa 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy (Dz. Urz. UE L 152/1 z dnia 11.06.2008).

5.2. Wskazówki do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału źródeł naturalnych

Jeżeli stężenia zanieczyszczeń objętych regulacjami przekraczają wartości dopuszczalne ustanowione prawem UE, przekroczenie to może być częściowo powodowane przez źródła naturalne, zwłaszcza w przypadku pyłu zawieszonego i dwutlenku siarki. Dyrektywa 2008/50/WE zezwala państwom członkowskim, w pewnych ustalonych warunkach, na odejmowanie udziału źródeł naturalnych[8] przed porównaniem zmierzonych stężeń atmosferycznych z ich wartościami dopuszczalnymi.
Podstawę prawną odliczania udziału pyłu zawieszonego ze źródeł naturalnych od całkowitego stężenia pyłu, w strefie, w której dokonywana jest ocena jakości powietrza, stanowi Art. 20 Dyrektywy 2008/50/WE, który wskazuje:

1. Państwa członkowskie przesyłają Komisji za dany rok wykazy stref lub aglomeracji, w których przekroczenie wartości dopuszczalnych dla danego zanieczyszczenia związane jest z udziałem zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł naturalnych. Państwa członkowskie przedstawiają informacje na temat stężeń i źródeł pochodzenia, a także dokumentację potwierdzającą związek zaistniałych przekroczeń ze źródłami naturalnymi.
2. Jeżeli Komisja zostanie poinformowana o przekroczeniu, które można przypisać źródłom naturalnym (zgodnie z ust. 1), nie powinno być ono traktowane jako przekroczenie w rozumieniu Dyrektywy;

Problem wyznaczania udziału źródeł naturalnych wyczerpująco omawiają wytyczne Komisji Europejskiej (zwane dalej Wytycznymi) przedstawione w dokumencie opublikowanym w maju 2010r. *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC* (Guidance, 2010a). Wytyczne wyjaśniają przepisy prawne i wskazują, które źródła powinny być rozpatrywane jako naturalne i jakie metody ilościowego oznaczenia i odejmowania udziału tych źródeł należy stosować.

5.2.1. „Zasady kluczowe”

W Wytycznych przedstawiono 6 kluczowych zasad, które wg zamierzeń Komisji Europejskiej powinny być stosowane przy określaniu zakresu przekroczeń spowodowanych źródłami naturalnymi.

1) Udziały naturalne muszą mieć pochodzenie naturalne i nie mogą być wynikiem bezpośredniej lub pośredniej działalności człowieka

Naturalny udział pyłu zawieszonego musi wynikać z naturalnego jego pochodzenia, nie powodowanego bezpośrednią lub pośrednią działalnością człowieka. Udział cząstek powstałych w wyniku interakcji składników naturalnych z antropogenicznymi jak również naturalna emisja, która w jakikolwiek sposób może być kontrolowana przez człowieka, nie mogą być podstawą do odliczania stężenia pyłu pochodzącego ze źródeł naturalnych.

[8] "udział zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł naturalnych" oznacza emisję zanieczyszczeń, która nie jest spowodowana bezpośrednio lub pośrednio działalnością człowieka, w tym zjawiska naturalne, takie jak wybuchy wulkanów, aktywność sejsmiczna, aktywność geotermalna, pożary nieużytków, gwałtowne wichury, aerozole morskie, resuspensja lub transport cząstek pochodzenia naturalnego z regionów suchych (WE, 2008)

2) Ocena ilościowa udziału naturalnego powinna być dostatecznie precyzyjna

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:

d) 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;
e) 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.
f) Niepewności związane z oceną ilościową udziałów naturalnych muszą być dostarczone w sprawozdaniu.

3) Ocena ilościowa udziału naturalnego musi być dostosowana do okresu uśredniania wartości dopuszczalnej

Każda wartość dopuszczalna posiada zdefiniowany okres uśredniania wyników pomiarów, określający przedział czasowy w obrębie którego uśredniane są zmierzone stężenia. Udziały naturalne można ogólnie podzielić na dwie grupy:

a) Pierwszy typ obejmuje epizody występujące okazjonalnie, których czas trwania jest stosunkowo krótki (np. kilka dni); udział tych epizodów należy rozpatrywać przede wszystkim na tle godzinowych i dobowych średnich wartości poziomu dopuszczalnego. Do tej grupy można zaliczyć transport cząstek naturalnych z regionów suchych (w tym pył z pustyni Sahara), erupcje wulkaniczne, aktywność sejsmiczną oraz pożary lasów[9];
b) Drugi typ obejmuje epizody naturalne, których czas trwania jest stosunkowo długi. Do grupy tej można zaliczyć m.in. aerozol morski, który występuje w powietrzu „stale", ale ze zmiennym natężeniem. Ten rodzaj udziału naturalnego może być również traktowany jako udział tła naturalnego i powinien być rozpatrywany odnośnie tak „krótkotrwałych" wartości dopuszczalnych jak również wartości dopuszczalnych dla roku kalendarzowego.

Zredukowane o udział źródeł naturalnych wartości stężeń średniodobowych można wykorzystać do obliczenia „zredukowanej" wartości stężenia uśrednionego w okresie roku kalendarzowego.

4) Ocena ilościowa źródeł naturalnych musi być opisana przestrzennie

Występowanie danego udziału naturalnego, w obszarze gdzie zarejestrowano przekroczenie poziomu dopuszczalnego, należy wykazać oddzielnie dla każdego poszczególnego stanowiska zlokalizowanego na obszarze przekroczeń. Jako że „udział naturalny" zawsze wykazuje znaczną zmienność przestrzenną, ocena ilościowa tego udziału w próbkach PM z jednego stanowiska, nie może być ekstrapolowana na próbki PM pobierane na innym stanowisku.

Wyznaczenie reprezentatywności stanowiska pomiarowego i modelowanie odgrywają istotną rolę w zastosowaniu tej zasady.

[9] Obrazy satelitarne i fotografie lotnicze umożliwiają wizualizację i identyfikację tego typu epizodów

5) Udział źródeł naturalnych należy wykazać w procesie systematycznej oceny

Udział pyłu ze źródeł naturalnych musi być odzwierciedlany poprzez systematyczne i ciągłe pomiary stężeń danego zanieczyszczenia. Wpływ danego źródła naturalnego powinien być wyrażony w wynikach procesu pomiarowego w porównaniu z pozostałymi seriami zmierzonych stężeń. Systematyczna ocena pomoże w wykazaniu zmienności czasowej danego udziału naturalnego.

6) Ocena ilościowa musi być przedstawiona dla każdego zanieczyszczenia oddzielnie

Wykazanie udziału źródeł naturalnych w poziomach stężeń danego zanieczyszczenia, niekoniecznie będzie oznaczać, że źródła te będą miały wpływ na stężenia innych zanieczyszczeń. A zatem wyniki oceny ilościowej udziału źródła naturalnego w stężeniach danego zanieczyszczenia nie mogą być ekstrapolowane na inne zanieczyszczenie[10]; czyli ocenę tą należy przeprowadzić dla każdego zanieczyszczenia oddzielnie.

5.2.2. Źródła naturalne spełniające warunki do odliczania udziału

Wg Wytycznych najważniejszymi źródłami, których udziały kwalifikują się do odejmowania 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 poza granicami kraju.

Lista ta nie jest wyczerpująca, a państwa członkowskie mają możliwość dostarczenia oceny ilościowej i związanych z tym dowodów dla innych udziałów, dopóki spełnione są zasady kluczowe.

TRANSPORT NATURALNYCH CZĄSTEK Z REGIONÓW SUCHYCH

Pył pustynny z wtórnego pylenia (resuspensji), transportowany często na znaczne odległości, może mieć istotny wpływ na widzialność atmosferyczną oraz skład chemiczny aerozolu jak również stężenie PM. Można wyróżnić dwa rodzaje epizodów pyłowych związanych ze źródłem tego typu, których udziały mogą być odliczane od stężenia pyłu zawieszonego:

a) Pył z pustyni Sahara – może stanowić ponad 60% całkowitego stężenia PM_{10} w krajach śródziemnomorskich podczas epizodów podwyższonego stężenia pyłu. Pył ten może przyczyniać się do występowania przekroczeń dobowej wartości dopuszczalnej 50 $\mu g \cdot m^{-3}$. Oddziaływanie pyłu saharyjskiego jest również zauważalne, choć z dużo mniejszą częstością, w krajach Europy Centralnej i Północnej. Zjawisko pojawiania się pyłu saharyjskiego nad Europą inicjowane jest procesami resuspensji zachodzącymi w suchych rejonach Afryki, a występowanie tych epizodów jest częstsze w okresie wiosennym/letnim. Należy wspomnieć, że cząstki pyłu saharyjskiego mogą wpływać zarówno na stężenia PM_{10} jak i $PM_{2,5}$;

b) Pył pochodzący z resuspensji z terenów suchych i z nieużytków – może być przenoszony na znaczne odległości. Ocenę wpływu tego źródła na całkowite stężenia pyłu zawieszonego utrudniają następujące elementy:

[10] Typowym przykładem może być stężenie PM_{10} i $PM_{2,5}$. Aerozol morski i pył z pustyni Sahara różnią się rozkładem wielkości cząstek, a ich wpływ na stężenia pyłu zawieszonego należy oceniać oddzielnie dla PM_{10} i $PM_{2,5}$.

– wieloletnie zmiany wprowadzane w krajach UE w sposobie użytkowania ziemi spowodowały, że właściwie większość terenów z których może być porywany pył jest „skażona" działalnością człowieka;
– procesy resuspensji same w sobie mogą być spowodowane działalnością człowieka.

Oceniając udział pyłu pochodzenia naturalnego, zaleca się zachowanie szczególnej ostrożności przy identyfikacji faktycznych naturalnych źródeł pylenia. Cząstki podrywane w wyniku bezpośredniej działalności rolniczej lub pochodzące z pól użytkowanych rolniczo powinny być klasyfikowane jako pochodzące ze współdziałania procesów naturalnych i antropogenicznych i jako takie nie mogą być odliczane jako udział naturalny. Źródłem pyłu eolicznego może być również suchy i nieurodzajny obszar, taki jak np. rozległe słono-piaszczyste obszary międzyrzecza Dunaj – Cisa czy Wielka Nizina Węgierska. Obszary te, pokryte grubymi warstwami piasku, znajdują się pod ochroną prawną, dzięki której ich naturalny sposób użytkowania jest ściśle przestrzegany.

AEROZOL MORSKI

Aerozol morski stanowi zespół rozpylonych w powietrzu kropel wody morskiej i/lub cząstek powstałych w procesach parowania wody morskiej pod wpływem działania wiatru. Aerozol morski jest charakteryzowany na podstawie jego pochodzenia i można wyróżnić dwa odmienne typy tego aerozolu:

c) aerozol pierwotny, głównie sól morska (frakcja pierwotnych organicznych cząstek siarkowych), oraz
d) aerozol wtórny, składający się głównie z siarczanów i materii organicznej, których źródłem nie jest sól morska, a przemiany gazowo-cząsteczkowe.

Ilościowo, sól morska posiada największy udział w masie aerozolu morskiego. Jej powstawanie jest szczególnie intensywne w czasie epizodów silnych wiatrów, zwłaszcza w krajach Europy Północnej. Przy odejmowaniu udziału soli morskiej w stężeniu PM_{10}, należy brać pod uwagę negatywną korelację występującą między stężeniem soli morskiej a stężeniem PM, powodowaną przez źródła antropogeniczne.

ERUPCJE WULKANICZNE. AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA I GEOTERMALNA

Erupcje wulkaniczne, działalność sejsmiczna i geotermalna mogą przyczyniać się do podwyższonych poziomów PM_{10} w państwach członkowskich. Sytuację tą można zaobserwować zwłaszcza w obszarze śródziemnomorskim, na niektórych wyspach, oraz na Islandii. Drobny popiół może stanowić ważne lokalne źródło zanieczyszczeń. Wulkany emitują również dwutlenek siarki, który bierze udział w procesach powstawania aerozolu wtórnego.

Ten typ udziału obejmuje epizody, które występują sporadycznie, a czas ich trwania jest ograniczony (np. tydzień). W konsekwencji ich wpływ będzie można zauważyć szczególnie dla stężeń średniodobowych i uśrednianych w okresie 1 godziny.

POŻARY LASÓW

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[11]. Bardzo trudno udowodnić, że pożar lasu wynika z przyczyn naturalnych, zwłaszcza że w wielu przypadkach można zapobiegać lub wpływać na przebieg pożarów poprzez odpowiednie działania. W konsekwencji często nie jest możliwe odliczenie udziału pożarów lasów od całkowitego stężenia PM.

[11] EMEP/EEA emission inventory guidebook. EMEP/EEA 2009 – 11. B Forest fires

Pożary lasów mogą wpływać na (podwyższać) stężenia pyłu zawieszonego, szczególnie w regionach suchych i w sezonie gorącym, które to czynniki sprzyjają rozprzestrzenianiu się pióropuszy dymów na dalekie odległości. Jeżeli dane państwo członkowskie cierpi na podwyższone stężenia pyłu zawieszonego pochodzącego z pożarów mających miejsce poza jego terytorium, istnieje możliwość odliczenia udziału tego pyłu w stężeniu całkowitym PM. W tej sytuacji powinny być również wzięte pod uwagę zapisy Art. 25 Dyrektywy 2008/50/WE (*Transgraniczne zanieczyszczenie powietrza*), szczególnie w przypadku częstych i powtarzających się epizodów pożarów.

5.2.3. Źródła naturalne nie spełniające warunków do odliczania udziału

Źródłami, które opisują wytyczne, a których udział nie powinien być brany pod uwagę, są:
- pylenie wtórne (resuspensja),
- pierwotny aerozol pochodzenia biologicznego (PBA – z ang. *Primary Biological Aerosol*),
- wtórny aerozol pochodzenia biologicznego (SOA – z ang. *Secondary Organic Aerosol*).

RESUSPENSJA

Różne procesy, zachodzące na twardych powierzchniach (ulice, drogi), powodują resuspensję pyłu, który może mieć istotny wkład w całkowity ładunek pyłu atmosferycznego w miastach i wzdłuż szlaków komunikacyjnych. Podrywane cząstki mogą mieć pochodzenie naturalne bądź antropogeniczne, podobnie jak procesy powodujące samo zjawisko resuspensji. Warto zaznaczyć, że na drogach turbulencje atmosferyczne powodujące podrywanie pyłu mogą być wywoływane przez wiatr, ale najczęściej wywoływane są przez przejeżdżające samochody. Kolejnym źródłem pyłu jest ścieranie nawierzchni dróg i zużycie opon w trakcie ruchu samochodowego.

Ocena udziału pyłu z tego typu źródeł nie jest możliwa do przeprowadzenia z dostateczną dokładnością. Ze względu na mieszany charakter pochodzenia powstających w trakcie resuspensji cząstek pyłu oraz ze względu na mieszany charakter sposobów podrywania tych cząstek w powietrze, nie ma dostatecznych przesłanek by uwzględniać ten wpływ w ogólnym udziale pyłu pochodzenia naturalnego.

PIERWOTNY AEROZOL POCHODZENIA BIOLOGICZNEGO

Pierwotne cząstki aerozolu biologicznego (*Primary Biological Aerosol Particles*, PBAPs) obejmują materiał pochodzący z procesów biologicznych i przedostający się do atmosfery bez zmieniania składu chemicznego. Cząstki te to najczęściej pyłki roślin, zarodniki, bakterie, wirusy a także materiał pochodzący z rozdrobnionych odpadów roślinnych. Rozkład przestrzenny PBAPs jest w znacznym stopniu zależny od warunków transportu atmosferycznego; na obszarach miejskich dominują drobniejsze cząstki (np. aerozol bakteryjny), natomiast w rejonach wiejskich występują znaczne ilości pyłków i zarodników.

Na ogół większość PBAPs nie wykazuje wyraźnej zmienności sezonowej, poza pyłkami roślinnymi (np. wiosenne pyłki pojawiają się jedynie w określonej porze roku). Udział PBAPs w pyle zawieszonym jest bardzo niewielki w okresie zimowym, natomiast może osiągać wartości do 5% masy pyłu zawieszonego w pełni sezonu wegetacyjnego (Winiwater i inni, 2006).

Poza oczywistym, biologicznym pochodzeniem PBAPs, niewiele jest wiadomo o samych procesach ich powstawania. Nie jest jasne czy takie procesy powinny być uwzględniane jako naturalne. Niewątpliwie dużą rolę w powstawaniu PBAPs może mieć działalność rolnicza. Nie można również wykluczyć, że obecność pewnej części PBAPs w powietrzu może wynikać z transportu dalekiego zasięgu. Stąd też w obecnej chwili przeważa pogląd, że wzrost stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu wynikający z obecności PBAPS nie może być uwzględniany w odliczeniach udziałów naturalnych w PM.

WTÓRNY AEROZOL ORGANICZNY

Wtórny aerozol organiczny (biogeniczny) (*Secondary Organic Aerosol*, SOA) stanowi organiczną frakcję aerozolu wtórnego, powstającą w atmosferze w wyniku reakcji łańcuchowych lotnych związków organicznych (VOCs), emitowanych przez pokrywę glebową i roślinność, i produkty ich rozkładu. Aerozole wtórne powstają w złożonych reakcjach chemicznych, w których biorą udział zarówno lotne związki organiczne pochodzenia biologicznego jak i antropogenicznego. VOCs mogą również oddziaływać z innymi składnikami powietrza, takimi jak NO_x i O_3.

Wtórny aerozol organiczny, powstały w wyniku utleniania VOC, stanowi ważną część masy pyłu zawieszonego, szczególnie w okresie letnim na obszarach pokrytych roślinnością. Przekroczenia wartości dopuszczalnych stężenia PM na takich terenach są rzadkie i występują zazwyczaj zimą, kiedy udział frakcji biogenicznej jest znacznie mniejszy niż antropogenicznej. Z tego powodu przekroczenia wartości dopuszczalnej nie powinny być przypisywane występowaniu SOA, a jego udział w całkowitym stężeniu PM nie powinien być uwzględniany w odliczeniach udziałów naturalnych w PM.

5.2.4. Metodyki odejmowania udziału od źródeł naturalnych

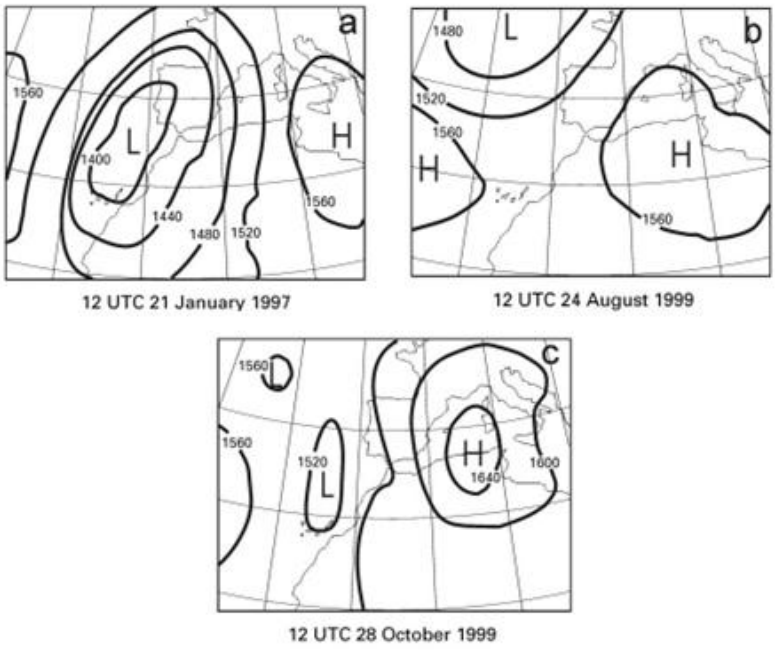
Poniżej opisano niektóre metodyki zalecane do identyfikacji i oceny ilościowej udziału źródeł naturalnych. Metodyki te spełniają wspomniane wyżej „zasady kluczowe" (podrozdział 5.2.1) i wywodzą się od metod już istniejących, stosowanych w niektórych państwach członkowskich.

5.2.4.1. Metodyka oznaczania epizodów wysokich stężeń, wynikających z udziału pyłu transportowanego z pustyni Sahara

Procedura oceny udziału pyłu saharyjskiego w przekroczeniach średniej dobowej wartości dopuszczalnej PM_{10} (50 $\mu g \cdot m^{-3}$) jest oparta na podejściu opracowanym w Hiszpanii i Portugalii (Querol i inni, 2006; Escudero i inni, 2007). Metoda skupia się na średniej dobowej wartości dopuszczalnej, jednakże skorygowane wartości dobowe można wykorzystać do obliczenia średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego pomniejszonego o udział pyłu wtórnego transportowanego z kontynentu afrykańskiego. Przykładowo ocenia się, że udział pyłu z pustyni Sahara w średnim rocznym stężeniu PM_{10} wynosił aż 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 (Querol i inni, 2009).

Dla oszacowania udziału pyłu saharyjskiego ważne są przede wszystkim informacje na temat poziomów PM zmierzonych w czasie rzeczywistym na stacjach tła regionalnego. Szybkie zwiększenie poziomów PM_{10} w sieci pomiarowej i w konkretnych stacjach tła regionalnego może wskazywać na wystąpienie epizodów napływu pyłu z pustyni Sahara. Dane ze stacji pomiarowych, które nie są wyposażone w przyrządy pracujące w czasie rzeczywistym, ale w próbniki filtracyjne, powinny być zastosowane na końcowym etapie analizy razem z danymi automatycznymi, co pozwoli na walidację epizodów pyłowych.

Istotna jest również interpretacja sytuacji meteorologicznej, ponieważ istnieją pewne układy synoptyczne, sprzyjające transportowi pyłu zawieszonego z Afryki (Rysunek 5.1.1) (Rodriguez i inni, 2001). Interpretacja ta, wykonana dla każdego dnia objętego pomiarami, umożliwia ocenę źródeł pochodzenia mas powietrza oddziaływujących na stacje monitoringu.



Rysunek 5.1.1. Synoptyczne układy ciśnienia, sprzyjające transportowi pyłu saharyjskiego na Płw. Iberyjski, (a) Układy niskiego ciśnienia nad zachodnią i/lub południowo zachodnią Portugalią. (b) Układ wysokiego ciśnienia nad wschodnią lub południowo zachodnią częścią Płw. Iberyjskiego. (c) Kombinacja obu systemów niskiego i wysokiego ciśnienia

Dodatkowo, w celu identyfikacji występowania i czasu trwania epizodów pyłu saharyjskiego, niezwykle pomocne są:

- Obliczenia wykonane w oparciu o model HYSPLIT (*Hybrid Single-Particles Lagrangian Integrated Trajectories*), a dokładnie analiza 5-dniowych wstecznych trajektorii mas powietrza (dla godziny 12:00, dla 750, 1500 i 2500 m n.p.m.);
- Mapy indeksu aerozolowego, otrzymane z pomiarów OMI (*Ozone Monitoring Instrument*)[12]; umożliwiają one wyznaczenie całkowitej kolumny ozonu. Ponieważ pomiary ozonu wykonywane OMI mogą być zakłócane obecnością aerozoli absorbujących promieniowanie UV, można wyznaczyć tzw. indeks aerozolowy. Metoda nie daje możliwości wykrycia pyłu saharyjskiego przy poziomie powierzchniowym; w tym celu wskazane jest sprawdzenie dobowych obrazów satelitarnych[13], gdzie ten typ epizodów jest wyraźnie widoczny;

[12] ftp://toms.gfsc.nasa.gov/pub/omi/images/aerosol
[13] http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/HTML/dust.html

- Analiza map dobowego modelu rozkładu aerozolu takiego jak SKIRON[14], BSC-DREAM[15] i NAAPs[16];
- Uruchomienie modelu HIRLAM w celu uzyskania pola wiatru (przy powierzchni i na wyższych wysokościach w celu identyfikacji możliwych udziałów pyłu saharyjskiego).

Pierwszym krokiem w oszacowaniu ilościowym wpływu pyłu saharyjskiego na poziomy PM_{10} zmierzone na stacjach tła regionalnego, jest wyznaczenie stężenia tłowego PM_{10} pomniejszonego o udział pyłu saharyjskiego. Aby odtworzyć stężenie tłowe w trakcie dni znajdujących się pod wpływem omawianego źródła, można stosować różne wskaźniki statystyczne. Ocenia się, że na Półwyspie Iberyjskim takim wskaźnikiem jest tzw. kroczący percentyl-40 z miesiąca (Escudero i inni, 2007). Zastosowanie tego wskaźnika dla innych krajów nie zostało zwalidowane i nie ma pewności co do jego dokładności. W takich przypadkach preferowane jest użycie bardziej zachowawczych wskaźników, takich jak średnie stężenie PM_{10} zarejestrowane w ciągu 15 dni przed i 15 dni po epizodzie pyłu saharyjskiego (przy czym kategorycznie pomija się dni, w których ten epizod wystąpił).

Otrzymana wartość stanowi stężenie tłowe przy braku wpływu pyłu saharyjskiego. Następnie wartość odpowiadającą tak obliczonej średniej kroczącej, odejmuje się od średniodobowej wartości PM_{10} na stacjach tła regionalnego dla każdego dnia będącego pod wpływem pyłu saharyjskiego. W ten sposób uzyskuje się „ładunek netto" PM_{10} przypisywany wpływowi epizodów napływu PM z pustyni Sahara.

W końcowym etapie, obliczone w ten sposób udziały pyłu saharyjskiego są z kolei odejmowane od stężeń PM_{10}, dla dni objętych analizowanym epizodem. Jeśli wynik jest niższy niż dobowa wartość dopuszczalna dla stężenia PM_{10} (50 $\mu g \cdot m^{-3}$), to przekroczenie może być przypisane udziałowi naturalnemu.

Ze względu na to, że pył mineralny pochodzący z pustyni Sahara składa się głównie z kwarcu, kalcytu, dolomitu i minerałów ilastych, bezpośrednia analiza Ca, Al_2O_3, Fe_2O_3, K, Mg, oraz pośrednie oznaczenie krzemu ($3 \times Al_2O_3 = SiO_2$) i jonów węglanowych CO_3^{2-} ($1.5 \times Ca + 2.5 \times Mg = CO_3^{2-}$) pozwala wyznaczyć udział tego pyłu mineralnego. Omawiana procedura jest stosunkowo droga i może być czuła na pył mineralny pochodzący ze źródeł antropogenicznych (Querol i inni, 2001, 2004a,b), jednakże jest bardzo prosta w przeprowadzeniu. Może być ona szczególnie przydatna w analizowaniu składu mineralnego pyłu (w trakcie epizodów pyłu saharyjskiego) dla stacji tła miejskiego mniej narażonych na lokalne pylenie wtórne i źródła antropogeniczne. Taka analiza będzie stosowana do walidacji metody i dla oszacowania jej niepewności.

Przykład: Na stacji tła miejskiego i stacji komunikacyjnej średnie dobowe stężenie PM_{10}, odpowiednio 55 $\mu g \cdot m^{-3}$ i 90 $\mu g \cdot m^{-3}$, zostało zarejestrowane w trakcie dni dla których badania wykazały, że ma miejsce napływ mas powietrza z pustyni Sahara. Na stacjach tła regionalnego stosowanych jako stacje odniesienia, zarejestrowano 41 $\mu g \cdot m^{-3}$ jako wartość stężenia średniodobowego. Kroczący percentyl-40 z miesiąca osiąga 15 $\mu g \cdot m^{-3}$. A zatem ładunek pyłu afrykańskiego na tej stacji tła regionalnego, czyli w obszarze dla którego jest reprezentatywny, wynosi 41-15 = 26 $\mu g \cdot m^{-3}$. W tym przypadku przekroczenie zarejestrowane na stanowisku tła miejskiego może być przypisane udziałowi naturalnemu (55-26 = $\mu g \cdot m^{-3}$ < 50 $\mu g \cdot m^{-3}$), natomiast przekroczenie na stacji komunikacyjnej (90-26 = 64 $\mu g \cdot m^{-3}$ > 50 $\mu g \cdot m^{-3}$) ma pochodzenie antropogeniczne.

[14] http://forecast.uoa.gr)
[15] (http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM/)
[16] http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/

5.2.4.2. Metodyka oznaczania udziału soli morskiej w PM

Sól morska jest ważnym źródłem naturalnym, które w znacznym stopniu może kształtować stężenia pyłu zawieszonego PM_{10}, zwłaszcza na terenach położonych wzdłuż pasa wybrzeży. Ocenia się, że odliczenie udziału soli morskiej może mieć istotny wpływ na obliczenie przekroczeń 24-godzinnej wartości dopuszczalnej dla PM_{10} (de Leeuw i inni, 2009).

Aby zidentyfikować i ocenić ilościowo udział soli morskiej, wymagana jest analiza przynajmniej jednego z głównych składników aerozolu morskiego, w dobowych próbkach PM_{10}. Ponadto konieczna jest także znajomość składu chemicznego soli morskiej (Tabela 5.2.1.). Dla uzupełnienia omawianej procedury, można użyć modelowania, jednak należy brać również pod uwagę epizodyczność udziału tego źródła naturalnego.

Tabela 5.2.1. Jony obecne w wodzie morskiej

Jon	Walencyjność	Stężenie ($mg \cdot kg^{-1}$)	% wagowy	Masa cząsteczkowa	Stężenie ($\mu mol \cdot kg^{-1}$)
Cl^-	-1	19345	55.03	35.453	546
Na^+	+1	10752	30.59	22.990	468
SO_4^{2-}	-2	2701	7.68	96.062	28.1
Mg^{2+}	+2	1295	3.68	24.305	53.3
Ca^{2+}	+2	416	1.18	40.078	10.4
K^+	+1	390	1.11	39.098	9.97
HCO_3^-	-1	145	0.41	61.016	2.34
Br-	-1	66	0.19	79.904	0.83
BO_3^-	-3	27	0.08	58.808	0.46
Sr^{2+}	+2	13	0.04	87.620	0.091
F^-	-1	1	0.003	18.998	0.068

Dominującymi jonami w próbkach aerozolu są jony: chlorkowe, sodowe, siarczanowe, magnezowe, wapniowe i potasowe, i mogą być one rutynowo analizowane za pomocą np. chromatografii jonowej. Biorąc pod uwagę sód jako całkowicie dominujący jon pierwotnego pochodzenia morskiego[17], frakcja aerozolu morskiego może być obliczona ze stosunku pomiędzy Na^+ i innymi jonami w wodzie morskiej, jak np. dla jonów siarczanowych związanych z solą morską ($ssSO_4^{2-}$):

$$[ssSO_4^{2-}] = [Na^+] \times \frac{7.68}{30.59},$$

gdzie: $[Na^+]$ – zmierzone stężenie sodu [ppm lub $\mu g \cdot m^{-3}$], $[ssSO_4^{2-}]$ – stężenie siarczanów spowodowane udziałem soli morskiej; liczby 7.68 i 30.59 – udziały procentowe jonów siarczanowych i sodowych w zasoleniu wody morskiej. Udział soli morskiej dla innych jonów może być obliczony zgodnie z udziałami procentowymi podanymi w Tabeli 5.2.1. Suma jonów związanych z solą morską [*ss-Ions*] jest udziałem soli morskiej w całkowitym stężeniu PM_{10}.

[17] Założenie to można potwierdzić analizując wsteczne trajektorie mas powietrza

Do obliczeń można również wykorzystać jony chlorkowe, jako jony referencyjne, jednak ich stosowanie może prowadzić do błędów, jako że sól morska nie jest jedynym źródłem chloru w atmosferze. Użycie chlorków jest dopuszczalne, pod warunkiem że uwzględniane są wszystkie potencjalne odchylenia.

Prostsze i powszechniej stosowane metody do obliczenia udziału soli morskiej uwzględniają tylko jeden współczynnik i pomnożenie go przez zmierzone stężenie jonów Na^+ i Cl^-. Współczynniki oblicza się, zakładając, że sól morska jest utworzona tylko przez NaCl i że cały Na^+ i cały Cl^- są związane jako chlorek sodu. A zatem zgodnie ze składem soli morskiej:

[Sól morska] = 100/55 × [Cl] = 1.8 × Cl lub
[Sól morska] = 100/30.6 × [Na] = 3.27 × [Na] lub
[Sól morska] = ([Na^+] + [Cl^-]) × 1.176

Stężenie soli morskiej obliczone tymi procedurami może być odjęte od średniodobowych próbek PM_{10} na danym stanowisku pomiarowym.

Aerozol morski jest stale obecny w powietrzu atmosferycznym, jednakże jego intensywność może zmieniać się w czasie. Dodatkowo, obliczając udział soli morskiej w stężeniach PM na danym obszarze, szczególnie ważne jest zapewnienie odpowiedniej reprezentatywności przestrzennej (spełnienie „4. zasady kluczowej"). Jakakolwiek ekstrapolacja wyników oceny punktowej na szerszy obszar wymaga szczegółowego uzasadnienia np. poprzez analizę reprezentatywności czy walidację wyników modelowania. Dla danego obszaru wskazane jest utworzenie map stężeń soli morskiej, wyznaczonej na podstawie stężeń jonów wskaźnikowych (takich jak jony chlorkowe czy sodowe).

Przy ocenianiu udziału soli morskiej w stężeniach PM_{10} na danym obszarze, należy mieć również na uwadze ewentualne przeszacowanie. Przykładem może być nakładanie się na siebie dwóch źródeł soli – aerozolu morskiego i zimowego utrzymania dróg. Udział soli drogowej, zgodnie z Art. 21 Dyrektywy 2008/50/WE również może być odejmowany, jednakże należy wyraźnie rozróżnić wpływ tych dwóch źródeł, co zapobiegnie podwójnemu zliczaniu pewnej ilości soli.

5.2.4.2. Metodyka obliczania udziału erupcji wulkanicznych

Ten typ udziału naturalnego obejmuje wydarzenia, które pojawiają się okazjonalnie i trwają przez ograniczony, raczej krótki okres czasu, np. tydzień. W konsekwencji ich wpływ powinien być analizowany przede wszystkim w odniesieniu do stężeń średniodobowych lub godzinowych. Co więcej epizody pyłu wulkanicznego często posiadają znaczny zasięg przestrzenny, stąd ich występowanie na terenie danego państwa członkowskiego jest często potwierdzone podobną obserwacją na terenie innego państwa. Wskazana jest wymiana informacji pomiędzy państwami członkowskimi.

Wykrycie tych zdarzeń ma miejsce głównie za pomocą danych satelitarnych, które razem z wsteczną trajektorią pióropusza pyłu oraz modelowaniem walidacyjnym, stanowią dobre uzupełnienie procedury opisanej w Wytycznych. Dodatkowo, pomoc w wyznaczaniu udziału pyłu z omawianych źródeł może stanowić obserwacja stężeń wskaźników gazowych na stacjach pomiarowych znajdujących się pod wpływem epizodów wulkanicznych. Należy pamiętać, że wysokie poziomy PM wynikające z omawianych źródeł naturalnych są praktycznie zawsze związane z wysokimi poziomami ditlenku siarki (SO_2).

Jak dotąd nie opracowano i nie przekazano Komisji żadnej kompletnej metodyki identyfikacji i oceny ilościowej wpływu erupcji wulkanicznych na stężenia PM. Aby oszacować udział pyłu wulkanicznego w stężeniach PM na danym stanowisku, zaproponowano wstępną metodykę, spełniającą opisane wyżej zasady kluczowe (podrozdział 5.2.1).

Metodologia wyznaczania udziału erupcji wulkanicznych opiera się na porównaniu poziomów stężeń w badanym punkcie/obszarze z poziomami zarejestrowanymi na stacjach pozamiejskich w innych obszarach, w trakcie okresów na które nie wpływają epizody pyłu wulkanicznego, a także na analizie możliwych trajektorii pióropuszu pyłu wulkanicznego (np. z wykorzystaniem danych satelitarnych i obliczeń modelowych). Przy wyznaczaniu wpływu pyłu wulkanicznego na stężenia PM_{10} można wykorzystać procedurę stosowaną dla obliczania udziału pyłu saharyjskiego, przy dodatkowym założeniu o znanej lokalizacji pochodzenia epizodu wulkanicznego i faktu, że dla takich epizodów wysokie poziomy PM są zazwyczaj związane z wysokimi poziomami SO_2 (Carn i inni, 2005).

Proponowana metodyka obejmuje następujące kroki:

a) Lokalizacja epizodów pyłu wulkanicznego w czasie i przestrzeni, na podstawie obrazów satelitarnych i wstecznych trajektorii mas powietrza;
b) Ocena relacji pomiędzy wysokimi poziomami PM_{10} i SO_2 na obszarach znajdujących się pod prawdopodobnym wpływem erupcji wulkanicznych, co pozwoli na ocenę rozprzestrzeniania się pióropusza pyłu wulkanicznego;
c) Identyfikacja wartości szczytowych w analizowanych seriach czasowych stężeń PM_{10} i SO_2;
d) Zestawienie danych z równoległych pomiarów prowadzonych na stacji tła regionalnego, odpowiedniej dla ocenianego stanowiska/obszaru;
e) Porównanie stężeń PM_{10} i SO_2 rejestrowanych w okresie występowania epizodu ze zidentyfikowanymi wcześniej wartościami szczytowymi tych zanieczyszczeń; identyfikacja współwystępowania wysokich stężeń PM_{10} i SO_2;
f) Zestawienie listy epizodów pyłu wulkanicznego występujących w trakcie analizowanych serii czasowych;
g) Porównanie rozkładu czasowego tych epizodów z okresami występowania wartości szczytowych stężenia PM_{10} (punkt e); przegląd informacji o wskaźnikach gazowych (SO_2) – potwierdzenie relacji pomiędzy wartościami szczytowymi stężenia PM_{10} a epizodami wulkanicznymi;
h) Wyznaczenie stężeń tłowych PM_{10} i SO_2 – średnich wartości stężenia PM_{10} i SO_2 zarejestrowanych 15 dni przed i 15 dni po epizodzie wulkanicznym (średnia z 30 dni), z wykluczeniem dni w których epizod wystąpił. Różnica pomiędzy stężeniami zmierzonymi w trakcie epizodu a ww. średnią kroczącą stężenia (30 dni) powinna być uwzględniana jako udział erupcji wulkanicznych (także aktywności geotermalnych czy sejsmicznych).
   W przypadku gdy czas trwania epizodu wulkanicznego jest porównywalny do 30 dni, wymagany jest bardziej złożony schemat obliczania stężeń tłowych. Należy wspomnieć, że podobnie jak dla epizodów pyłu saharyjskiego, można stosować inne wskaźniki statystyczne, jeżeli zostanie to odpowiednio uzasadnione.
i) Uzasadnienie zasięgu przestrzennego udziału erupcji wulkanicznych (modelowanie, wsteczne trajektorie).

5.2.4.3. Metodyka obliczania udziału pożarów lasów

Jak do tej pory nie opracowano i nie przedstawiono Komisji Europejskiej żadnej wyczerpującej metody służącej identyfikacji i ocenie ilościowej udziału PM z pożarów leśnych. Wyjątkiem są prace, w których podejmowano tematykę wpływu pożarów w gospodarstwach domowych i wielkich pożarów leśnych w UE na stan jakości powietrza i ich udział w przekroczeniach dobowego stężenia dopuszczalnego dla PM_{10} (Miranda, 2004; Air quality expert group, 2005; Hodzic, 2007; Witham i inni, 2007; Miranda i inni, 2008).

Metodyka zalecana do identyfikacji i oceny ilościowej udziału PM z pożarów leśnych jest bardzo podobna do tej dla erupcji wulkanicznych, z tym że w tym przypadku odpowiednimi zanieczyszczeniami, które należy rozważyć, są: PM, CO i NO_x. Oparta jest na porównaniu poziomów stężeń PM w danym punkcie/obszarze z poziomami stężeń zarejestrowanymi na stacjach pozamiejskich w innych obszarach, w trakcie okresów bez zidentyfikowanego wpływu pożarów leśnych, oraz na analizie możliwych trajektorii pióropuszu pyłu (np. z użyciem danych satelitarnych i obliczeń modelowych). Warto zwrócić uwagę, że pożary lasów mają często pochodzenie antropogeniczne i w dużym stopniu mogą być kontrolowane poprzez odpowiednie działania. Wytyczne zalecają, aby państwa członkowskie przekazywały sobie nawzajem informację o tych udziałach.

Proponowana metodyka obejmuje następujące kroki:

a) Lokalizacja pożarów leśnych w czasie i przestrzeni, na podstawie obrazów satelitarnych i wstecznych trajektorii mas powietrza;
b) Ocena relacji pomiędzy wysokimi poziomami PM_{10} na obszarach znajdujących się pod prawdopodobnym wpływem pożarów leśnych, co pozwoli na ocenę rozprzestrzeniania się pióropusza pyłu;
c) Identyfikacja wartości szczytowych w analizowanych seriach czasowych stężeń PM_{10};
d) Zestawienie danych z równoległych pomiarów prowadzonych na stacji tła regionalnego, odpowiedniej dla ocenianego stanowiska/obszaru;
e) Porównanie stężeń PM_{10} rejestrowanych w okresie występowania epizodu ze zidentyfikowanymi wcześniej wartościami szczytowymi tych zanieczyszczeń; identyfikacja współwystępowania wysokich stężeń PM_{10};
f) Zestawienie listy epizodów pożarów leśnych występujących w trakcie analizowanych serii czasowych;
g) Wyznaczenie stężeń tłowych PM_{10} – średnich wartości stężenia PM_{10} zarejestrowanych 15 dni przed i 15 dni po pożarze leśnym (średnia z 30 dni), z wykluczeniem dni w których epizod wystąpił. Różnica pomiędzy stężeniami zmierzonymi w trakcie epizodu a ww. średnią kroczącą stężenia (30 dni) powinna być uwzględniana jako udział pożarów leśnych. W przypadku gdy czas trwania epizodu jest porównywalny do 30 dni, wymagany jest bardziej złożony schemat obliczania stężeń tłowych. Należy wspomnieć, że podobnie jak dla epizodów pyłu saharyjskiego, można stosować inne wskaźniki statystyczne, jeżeli zostanie to odpowiednio uzasadnione.
h) Uzasadnienie zasięgu przestrzennego pożarów leśnych (modelowanie, wsteczne trajektorie).

5.2.5. Materiały źródłowe wykorzystane do przygotowania Podrozdziału 5.2.

- Air quality expert group "Particulate Matter in the United Kingdom" (2005): Prepared for Department for Environment, Food and Rural Affairs; Scottish Executive; Welsh Assembly Government; and Department of the Environment in Horthern Ireland – section 6.3.5., 209–213;
- Carn, S.A., Strow, L.L., de Souza-Machado, S., Edmonds, Y., Hannon, S. (2005): Quantifying tropospheric volcanic emissions with AIRS: The 2002 eruption of Mt. Etna (Italy). *Geophysical Research Letters* 32, 1–5;

- de Leeuw, F., Vixeseboxse, E. (2009): Reporting on ambient air quality assessment – Preliminary results for 2008. ETC/ACC Technical Paper 2009/10 December 2009. Available at: http://air climate.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2009_10_prelim_AQ Qanalysis_2008.pdf;
- Escudero, M., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Pérez, N., Ferreira, F., Alonso, S., Rodríguez, S., Cuevas, E. (2007): A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. Atmospheric Environment 41, 5516–5524;
- Guidance, 2010a: *Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC*. Draft version 2 (presented to AQ Committee in June 2010). European Commission, DG Environment. May 2010;
- Hodzic, A., Madronich, S., Bohn, B., Massie, S., Menut, L., Wiedinmyer, C. (2007): Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radioactive effects. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, 4705–4760;
- Miranda, A.I. (2004): An integrated numerical system to estimate air quality effects of forest fires. *International Journal of Wildland Fire* 13(2), 217–226;
- Miranda, A.I., Monteiro, A., Martins, V., Carvalho, A., Schaap, M., Builtjes, P., Borrego, C. (2008): Forest fires impact on air quality over Portugal. Air Pollution Modeling and Its Application XIX, 190–198. Eds. C. Borrego and A.I. Miranda. Springer Nederland;
- Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., Pandolfi, M., Cusack, M. Pérez, N., Viana, M., Moreno, T., Mihalopoulos, N., Kallos, G., Kleanthous, S. (2009): African dust contributions to mean ambient PM_{10} mass-levels across the Mediterranean Basin. *Atmospheric Environment* 43 (28), 4266–4277;
- Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., Escudero, M., Castillo, S., Gonzalez Ortiz, A., Pallarés, M., Jiménez, S., Cristóbal, A., Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. Cuevas, E., Alonso, S., Artiñano, B., Salvador, P., de la Rosa, J. (2006): Spain and Portugal Methodology for the identification of natural African dust episodes in PM_{10} and $PM_{2,5}$, and justification with regards to the exceedances of the PM_{10} daily value, 2006, modified version from November 2009. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO – SPAIN S.G. de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, DGCEA) and MINISTÉRIO DO AMBIENTE, ORDENMENTO DO TERRITÓRIO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL – PORTUGAL Agêncio Portuguesa do Ambiente, 32 pp;
- Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C.R., Artiñano, B., Hansson, H.C., Harrison, R.M., Buringh, E., ten Brink, H.M., Lutz, M., Bruckmann, P., Straehl, P., Schneider, J. (2004a): Speciation and origin of PM_{10} and $PM_{2,5}$ in selected European cities. *Atmospheric Environment* 38, 6547–6555;
- Querol, X., Alastuey, A., Viana, M.M., Rodríguez, S., Artiñano, B., Salvador, P., Garcia do Santos, S., Fernandez Partier R., Ruiz, R.C., de la Rosa, J., Sánchez de la Campa,, A., Menéndez, M., Gil, J.I. (2004b): Speciation and origin of PM_{10} and $PM_{2,5}$ in Spain. *Journal of Aerosol Science* 35, 1151–1172;
- Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Ruiz, C.R., Cots, N., Massague, G., Puig, O. (2001): PM_{10} and $PM_{2,5}$ source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment* 35: 6407–6419;
- Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliagou, O. (2001): Saharan dust contributions to PM_{10} and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment* 35: 2435–2439;
- WE, 2008: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy;

- Winiwarter, C., Bauer, H., Caseiro, A. (2006): Emission of primary biological aerosol particles (PBAP`S) in Europe – Quantitative estimated based on atmospheric measurements. Contribution of natural sources to PM in Europe Ispra, October 12.13.2008 available at:
- http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/fileadmin/Documentation/Reports/Emissions_and_Health/EUR_2006-2007/EUR_22601_EN.pdf;
- Witham, C., Manning, A. (2007): Impact of Russian biomass burning on UK air quality. *Atmospheric Environment* 41, 8075–8090.

5.2.6. Wskazówki do prowadzenia badań pyłu pod kątem udziału posypywania dróg piaskiem i/lub solą w okresie zimowym

Stężenia pyłu PM_{10} w powietrzu atmosferycznym często przekraczają wartości dopuszczalne ustanowione prawem UE. Zgodnie z Art. 21 Dyrektywy 2008/50/WE państwa członkowskie mogą wyznaczać strefy lub aglomeracje, w obrębie których znaczny wpływ na przekroczenia wartości dopuszczalnych dla pyłu zawieszonego PM_{10} ma resuspensja cząstek pyłu w wyniku posypywania dróg piaskiem i/lub solą w okresie zimowym.

Jeżeli jest możliwa ocena ilościowa ładunku PM pochodzącego z omawianych źródeł, Dyrektywa zezwala państwom członkowskim na jego odliczenie od całkowitego stężenia PM zarejestrowanego na danym stanowisku. Jednocześnie Art. 21(3) nakłada obowiązek przedstawienia Komisji Europejskiej niezbędnych dowodów wykazujących, że wszelkie przekroczenia stężeń spowodowane są wystąpieniem zjawiska resuspensji cząstek oraz że zostały podjęte niezbędne środki w celu obniżenia tych stężeń.

Państwa członkowskie mają obowiązek sporządzania raportów rocznych dotyczących jakości powietrza na ich obszarze, wg kwestionariuszu ustalonego w Decyzji 2004/461/EC; obejmuje on m.in. dane dotyczące udziału posypywania ulic piaskiem i/lub solą w przekroczeniach wartości dopuszczalnej PM_{10}.

Wg Art. 21(5) Dyrektywy 2008/50/WE, Komisja Europejska została zobowiązana do opublikowania wytycznych dotyczących określenia udziału zanieczyszczeń pochodzących z resuspensji cząstek w następstwie posypywania dróg piaskiem i/lub solą w okresie zimowym. W dokumencie *Guidance on assessing the contribution of winter-sanding or salting under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC* (zwanym dalej Wytycznymi), opublikowanym w maju 2010r. (Guidance, 2010b), zawarto m.in.:

– przegląd wpływu posypywania dróg piaskiem i/lub solą w okresie zimowym na poziomy stężeń PM_{10} i jego rozkład przestrzenny,
– identyfikacja (i jeżeli to możliwe ocena ilościowa) wpływu posypywania dróg piaskiem i/lub solą na poziomy stężeń PM_{10} i jego rozkład przestrzenny z wykorzystaniem przykładów z różnych państw członkowskich,
– metody zalecane do wyznaczania udziałów omawianej grupy źródeł w przekroczeniach wartości dopuszczalnych PM_{10}, w oparciu o doświadczenia uzyskane w różnych krajach (m.in. Finlandia, Litwa, Austria),

zastosowanie i dyskusja krytyczna zalecanych metod z wykorzystaniem przykładowych zbiorów danych.

5.2.7. „Zasady kluczowe”

W celu umożliwienia odejmowania udziałów od posypywania dróg piaskiem i/lub solą w okresie zimowym w przekroczeniach wartości dopuszczalnej PM_{10}, należy udowodnić i ocenić ilościowo rzeczywisty udział tych źródeł w stężeniach PM, przy spełnieniu następujących kryteriów (tzw. zasad kluczowych):

1) Udziały muszą być jednoznacznie przypisane posypywaniu ulic piaskiem lub solą w zimie

Należy wykazać, że udział posypywania ulic piaskiem lub solą w stężeniach PM_{10} jest rzeczywiście powodowany przez te źródła. Udziały innych źródeł PM_{10}, które mogą mieć podobny wpływ na (podwyższone) poziomy PM_{10} należy wykluczyć; takie źródła to m.in.:

- w przypadku metody opartej na analizie chlorków: sól morska lub sól ze źródeł przemysłowych,
- w przypadku metody opartej na ocenie ilościowej frakcji pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$): bezpośrednia emisja ze ścierania nawierzchni drogi, zwłaszcza powodowana przez opony z kolcami (np. Gustafsson i inni, 2008), zużycie opon i hamulców, prace konstrukcyjne, rolnictwo, źródła naturalne i resuspensja pyłu drogowego.

2) Ocena ilościowa musi być wystarczająco precyzyjna i dokładna oraz odpowiadać okresowi uśredniania wartości dopuszczalnej

Ocena ilościowa posypywania ulic piaskiem lub solą musi być bardzo precyzyjna. Obliczenie udziału tego źródła w wielkości stężenia pyłu PM_{10} wiąże się niepewnością, która powinna być oszacowana (i przekazana do bazy danych wraz z wynikami).

Metodyka oszacowania udziału od posypywania ulic piaskiem i solą w zimie musi być przeprowadzona, w pierwszym kroku, dla dni w których stężenie PM_{10} przekraczające wartość dopuszczalną 50 $\mu g \cdot m^{-3}$, wiąże się prawdopodobnie z wpływem posypywania ulic piaskiem i/lub solą. Jeśli celem zastosowania procedury odliczania jest redukcja wartości średniej rocznej stężenia pyłu PM_{10}, to odliczenie można zastosować także dla wartości 24-godzinnych w dniach, w których nie miało miejsca przekroczenie poziomu dopuszczalnego. Wówczas „zredukowana” wartość średnia roczna będzie obliczana na podstawie „zredukowanych” wartości średnich dobowych.

Warto wspomnieć w tym miejscu, że posypywanie dróg piaskiem i/lub solą w zimie może wpływać na stężenia PM_{10} przez stosunkowo krótki okres czasu po posypaniu dróg, wynoszący od kilku godzin do kilku dni. Stąd też jego udział powinien być wyznaczany dla próbek 24-godzinnych. Dodatkowo należy podkreślić, że poziom dopuszczalny dla wartości 24-godzinnych stężenia pyłu PM_{10} jest bardziej restrykcyjny niż dla wartości średniej rocznej i jego przekroczenia występują częściej.

3) Reprezentatywność stacji pomiarowych na których wyznaczany jest udział posypywania ulic piaskiem/solą w okresie zimowym

Wpływ piaskowania i solenia dróg w okresie zimowym na stężenia PM_{10} obserwuje się przede wszystkim wzdłuż sieci drogowej a także pobliskich chodników, a zatem udział tych źródeł powinien być „mierzony” na stanowiskach komunikacyjnych. Ogranicza to w znacznym stopniu możliwość ekstrapolacji wyników na całą strefę. Należy mieć na uwadze, że lokalizacja omawianych działań i krótkie przedziały (czasowe), w których są stosowane, w istotny sposób determinuje ich wpływ na rozkład przestrzenny stężenia PM_{10}.

4) 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

Odliczana wartość stężenia PM_{10}, będąca efektem posypywania dróg piaskiem lub solą, powinna być określona dla każdego dnia, dla którego stosuje się procedurę odliczania i wyrażona jako stężenie (w $\mu g \cdot m^{-3}$). Nie należy „usuwać" wartości stężenia średniodobowego ze statystyki przekroczeń po zidentyfikowaniu wpływu posypywania ulic piaskiem/solą w zimie dla tego dnia. W sprawozdaniu należy zamieścić stosowną informację na temat przekroczenia (i zastosowanego odliczenia).

Należy zauważyć, że nie zawsze odjęcie od zmierzonego stężenia części związanej z soleniem lub piaskowaniem pozwala na uzyskanie wartości niższej od poziomu dopuszczalnego. Tym samym, mimo zastosowanej redukcji stężenia, ten dzień pozostanie dniem, w którym odnotowano przekroczenie poziomu dopuszczalnego.

5) Metoda wyznaczania tego udziału musi być udokumentowana

Metoda musi być udokumentowana jako metoda referencyjna w raporcie lub publikacji, który podaje informacje na temat stosowanych danych wejściowych i założenia na bazie których oparte są oceny. Warto wspomnieć, że państwa członkowskie mogą stosować różne wartości odejmowanego udziału, pod warunkiem ich poparcia odpowiednimi badaniami i właściwego udokumentowania.

5.2.8. Metodyki zalecane do odejmowania udziału posypywania dróg piaskiem i/lub solą w zimie

Próby podejścia do zagadnienia odliczania udziału pyłu pochodzącego z zimowego utrzymania dróg podejmowano w kilku krajach członkowskich UE. Przeprowadzone prace wykazały, że:

- W krajach północnoeuropejskich, na stanowiskach komunikacyjnych, istotny wpływ na wysoki stosunek $PM_{2,5}/PM_{10}$ (w porównaniu ze stanowiskami miejskimi a zwłaszcza pozamiejskimi), ma posypywanie ulic piaskiem (ważne źródło frakcji pyłu grubego $PM_{2,5-10}$);
- Udział soli drogowej można identyfikować poprzez analizę chemiczną chlorków, jednak należy wykluczyć ewentualny wpływ chlorków z innych źródeł (takich jak sól morska, źródła przemysłowe).

Podsumowując, do oceny udziału posypywania dróg piaskiem i/lub solą, Komisja Europejska zaleca następujące metody:

- Analiza chemiczna chlorków – wyznaczenie wpływu soli stosowanej w okresie zimowym do utrzymania dróg;
- Uwzględnienie frakcji pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$) – wyznaczenie wpływu posypywania dróg piaskiem w okresie zimowym;
- Analiza chemiczna pyłu mineralnego – wyznaczenie wpływu posypywania dróg piaskiem w okresie zimowym.

Obecnie Komisja Europejska nie zaleca się stosowania techniki modelowania do oszacowania udziału pyłu pochodzącego z posypywania ulic piaskiem i/lub solą w zimie. Wymagane są najpierw dalsze prace, zwłaszcza opracowanie wiarygodnych wskaźników emisji oraz walidacja obliczeń modelowych.

5.2.8.1. Posypywanie dróg piaskiem w okresie zimowym – różnica pomiędzy $PM_{2,5}$ a PM_{10}

Do posypywania dróg piaskiem wykorzystywany jest materiał o dużych ziarnach, które są następnie rozdrabniane w wyniku ruchu pojazdów. Przyjmuje się, że na wzrost stężenia pyłu PM_{10} w wyniku posypywania dróg piaskiem ma wpływ głównie frakcja pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$). Zatem udział frakcji $PM_{2,5-10}$ w PM_{10} albo stosunek stężeń $PM_{2,5}/PM_{10}$ może być wykorzystywany jako wskaźnik wpływu posypywania ulic piaskiem na stężenia PM_{10}.

Wpływ posypywania ulic piaskiem w okresie zimowym na poziomy stężeń PM_{10} można oszacować na podstawie udziału frakcji pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$) w PM_{10} pod warunkiem spełnienia następujących kryteriów:

- omawiana czynność w rzeczywistości miała miejsce, a piasek drogowy bądź jego pozostałości utrzymywały się na drodze (ulicy) i przyległych chodnikach,
- nawierzchnia drogi była sucha,
- stosunek $PM_{2,5}/PM_{10}$ był mniejszy lub równy 0.5; to kryterium wyklucza wysoki udział PM z transportu dalekiego zasięgu i pozwala wybrać dni ze znaczącym udziałem frakcji pyłu grubego.

Należy zaznaczyć, że omawiana procedura wymaga równoległego monitoringu PM_{10} i $PM_{2,5}$:

- jeżeli to możliwe, pomiary $PM_{2,5}$ powinny być prowadzone na tym samym stanowisku, na którym obserwowano przekroczenia PM_{10},
- jeżeli pomiary te nie są dostępne, można wykorzystać stężenia $PM_{2,5}$ zarejestrowane na innej porównywalnej stacji komunikacyjnej w tym samym mieście,
- jeżeli pomiary te nie są dostępne, można wykorzystać stężenia $PM_{2,5}$ ze stacji tła miejskiego w tym samym mieście (udowadniając, że lokalny udział $PM_{2,5}$ z ruchu drogowego jest niewielki w porównaniu z PM_{10} w dniach ze zidentyfikowanym wysokim udziałem od piaskowania ulic);
- jeżeli pomiary te nie są dostępne, można użyć stężeń PM_{10} zmierzonych na stacji tła miejskiego w tym samym mieście.

Dane dotyczące stosowania piasku do utrzymania dróg w okresie zimowym jak również informacje o stanie nawierzchni drogi można uzyskać od odpowiednich władz miejskich lub na podstawie bezpośrednich obserwacji. W przypadku stanu nawierzchni drogi, przy braku tych informacji można wykorzystać dane meteorologiczne (opad atmosferyczny i pokrywa śnieżna), przy czym ogólnie warunki „suchej nawierzchni" będą reprezentowane przez dni bez opadu atmosferycznego i bez pokrywy śnieżnej.

Metoda jest oparta na założeniu, że podwyższone stężenia PM_{10} nie są spowodowane przez transport dalekiego zasięgu zarówno ze źródeł naturalnych jak i antropogenicznych. Kryterium to można sprawdzić poprzez:

- pomiary tła pozamiejskiego $PM_{2,5}$ lub poprzez
- analizę wstecznych trajektorii.

Dla oceny udziału od transportu dalekiego zasięgu można wykorzystać dane ze stacji tła regionalnego.

Omawiana metoda została opracowana w Finlandii i dobrze sprawdza się w warunkach charakterystycznych dla północnych regionów Europy (Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus, 2005; Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus i inni 2007; Kupiainen, 2007), tzn.:

- długie i surowe zimy, stosowanie piasku do utrzymania powierzchni drogi w zimie, brak oczyszczania dróg (oczyszczanie obejmuje tylko kilka tygodni w okresie wiosennym);
- stosunkowo niskie – pozamiejskie i miejskie – stężenia tłowe PM (oprócz wyjątkowych epizodów związanych z transgranicznym napływem PM),
- wysoki udział frakcji pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$), pochodzącej z posypywania ulic piaskiem w zimie jak również ścierania nawierzchni drogi, a co za tym idzie niski stosunek $PM_{2,5}/PM_{10}$ (znacznie niższy niż w krajach Europy Środkowej).

Proponowana metodyka zakłada, że udział od posypywania ulic piaskiem w zimie wynosi 50% frakcji pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$) dla każdego dnia przekroczeń ze zidentyfikowanym wpływem posypywania ulic piaskiem. Ten udział może być odejmowany od obserwowanego stężenia PM_{10} przy spełnieniu wyżej wymienionych kryteriów. Należy wspomnieć, że szacowany na 50% frakcji pyłu grubego udział przypisywany posypywaniu ulic piaskiem jest jedynie wstępnym przybliżeniem, przy czym w chwili obecnej jest to najlepsze dostępne oszacowanie. Ocenia się, że pozostałe 50% frakcji pyłu grubego można przypisać ścieraniu nawierzchni drogi, zużyciu opon i hamulców, a także resuspensji pyłu z innych źródeł.

Obecnie w krajach skandynawskich prowadzone są badania związane z oceną ilościową emisji cząstek PM z różnych źródeł komunikacyjnych. W tej części Europy stosowanie opon z kolcami w okresie zimowym jest dość powszechne, a ocena ilościowa emisji ze ścierania nawierzchni drogi przez opony z kolcami oraz przez zimowe piaskowanie a także rozróżnienie tych źródeł jest tematem obszernych badań, zwłaszcza w Szwecji i Finlandii (Gustafsson i inni, 2008; Kupiainen i inni, 2002, 2007; Tervahattu i inni, 2006). Oczekuje się, że te badania pozwolą udoskonalić metodę określania udziału frakcji pyłu grubego, który może być przypisany posypywaniu ulic piaskiem w zimie.

Przykład: Finlandia

Omawianą procedurę wykorzystano w 2005r. na dwóch stacjach pomiarowych w Finlandii. Zastosowane podejście opisano w raporcie dotyczącym przekroczeń średniodobowego stężenia dopuszczalnego PM_{10} (50 $\mu g \cdot m^{-3}$), spowodowanych posypywaniem ulic piaskiem w zimie (Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus i inni 2007).

Założono, że przekroczenie PM_{10} można przypisywać posypywaniu ulic piaskiem z zimie, jeśli spełnione są następujące warunki:

- „suche" warunki pogodowe,
- niskie poziomy $PM_{2,5}$ na tym samym stanowisku (lub na stanowisku tłowym),
- brak wpływu transportu dalekiego zasięgu,
- wysokie poziomy PM_{10} na kilku (różnych) stanowiskach.

W tej metodyce, średniodobowe wartości dla których zidentyfikowano wpływ od posypywania ulic piaskiem były całkowicie usuwane ze statystyki przekroczeń.

W badaniach stwierdzono, że najwyższe poziomy PM_{10} występowały w kwietniu i maju, kiedy to poziomy $PM_{2,5}$ były znacznie niższe. Przykładowo na stanowisku Helsinki Mannerheimintie średni udział $PM_{2,5}$ w PM_{10} wynosił jedynie 35%. Dla dni kiedy

przekroczenie było przypisywane posypywaniu ulic piaskiem w zimie, udział $PM_{2,5}$ stanowił tylko 18% PM_{10}. Dla porównania stosunek $PM_{2,5}/PM_{10}$ w Europie Środkowej waha się od 60 do 80%.

We wspomnianym wyżej raporcie (Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus i inni 2007) opisano także środki, które należy podjąć aby zmniejszyć emisję pyłu z posypywania ulic piaskiem. Obejmują one:

- zastosowanie „odpowiednio przygotowanego" piasku drogowego (mycie, przesiewanie),
- zmniejszenie stosowania piasku i zwiększenie użycia soli,
- intensyfikacja czyszczenia ulic.

Przykład: Skandynawia

Metoda opracowana i zastosowana w Finlandii była testowana z innymi zbiorami danych z północnej Europy i Austrii. Wykorzystano modyfikację oryginalnej metody opracowanej i stosowanej w Finlandii, nazywanej dalej „zmodyfikowaną metodą FEG", do zbioru danych PM_{10} z miast skandynawskich, gdzie wartość dopuszczalna (jako średnia dobowa) była przekraczana w ostatnich latach i gdzie dostępne są dane $PM_{2,5}$.

Kryteriami są:

- okres czasu: styczeń – maj i listopad – grudzień;
- różnica (PM_{10}-$PM_{2,5}$) wyższa niż 25 $\mu g \cdot m^{-3}$;
- $PM_{2,5}$ na tle pozamiejskim (stanowiskach tła pozamiejskiego) jest niższy niż 15 $\mu g \cdot m^{-3}$.]
- Jeżeli te warunki są spełnione, wartość PM_{10} jest zmniejszana o 50% frakcji pyłu grubego ($PM_{2,5-10}$)[18].

Zmodyfikowana metoda FEG zmniejsza liczbę dni, w których odnotowano przekroczenie stężenia dopuszczalnego 50 $\mu g \cdot m^{-3}$, na większości stanowisk pomiarowych w Finlandii i Norwegii o 40 – 60%. Zmniejszenie liczby dni przekraczających 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ jest znacznie mniejsze na stanowisku w København, a jedną z przyczyn tej różnicy jest stosunkowo wysokie stężenie tłowe $PM_{2,5}$ (ponad 15 $\mu g \cdot m^{-3}$ jako średnia roczna).

Przykład: Austria

W celu przetestowania możliwości stosowania zmodyfikowanej metody FEG w regionach Europy o całkowicie odmiennych warunkach klimatycznych, analizowano dane z Austrii. Poza stężeniami dobowymi PM_{10}, wykorzystano również dane dotyczące składu chemicznego PM_{10} i rozkładu wielkości cząstek. Większość danych dotyczących składu chemicznego zaczerpnięto z projektu *AQUELLA* (Bauer i inni, 2005, 2006, 2007; Jankowski i inni, 2007; Puxbaum, 2004).

Zastosowanie zmodyfikowanej metody FEG do danych z Austrii pozwoliło stwierdzić, że w krajach Europy Środkowej (takich jak Austria), relacja pomiędzy $PM_{2,5}$ i PM_{10} nie wykazuje istotnego wpływu posypywania ulic piaskiem w okresie zimowym. Przykładowo na stanowisku Klagenfurt Völkermarkstraße, uśredniony w ciągu całego sezonu zimowego stosunek $PM_{2,5}/PM_{10}$ wynosi 0.7 zarówno dla dni z poziomami stężeń poniżej jak i powyżej 50 $\mu g \cdot m^{-3}$; w Vienna Taborstraße stosunek $PM_{2,5}/PM_{10}$ wynosi 0.72 dla dni z poziomami stężeń poniżej 50 $\mu g \cdot m^{-3}$ oraz 0.76 dla dni z poziomami powyżej 50 $\mu g \cdot m^{-3}$.

[18] w pracach Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus (2005), Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus i inni (2007) dni, w których zidentyfikowano wpływ posypywania ulic piaskiem w zimie na przekroczenia wartości dopuszczalnej PM_{10}, były całkowicie usuwane ze statystyki przekroczeń

Podsumowując, znaczne różnice w porównaniu do krajów północnoeuropejskich, zwłaszcza wysokie stosunki $PM_{2,5}/PM_{10}$ nawet na stanowiskach komunikacyjnych oraz wysokie stężenia $PM_{2,5}$ na stacjach tła pozamiejskiego, nie pozwalają na prostą ekstrapolacje procedury stosowanej w Finlandii. Dlatego, odnośnie do krajów środkowoeuropejskich, niezbędne jest opracowanie bardziej precyzyjnych metod oceniania udziału posypywania ulic piaskiem w okresie zimowym w przekroczeniach wartości dopuszczalnych PM_{10}.

5.2.8.2. Posypywanie ulic solą w okresie zimowym – skład chemiczny (chlorki)

Należy zauważyć, że dla większości obszarów w Europie położonych poza pasem wybrzeży morskich, sól drogowa jest jedynym źródłem chlorków związanych z pyłem atmosferycznym. W regionach znajdujących się pod istotnym wpływem aerozolu morskiego, należy rozróżnić i oddzielnie rozpatrywać udziały od soli drogowej i soli morskiej aby zapobiec odejmowaniu pewnej ilości soli dwa razy. Jedną z metod jest analiza warunków meteorologicznych (prędkości i kierunku wiatru, wstecznych trajektorii mas powietrza) w okresie prowadzenia badań. Wskaźnikiem zawartości aerozolu morskiego może być również $NaNO_3$ (transformacja NaCl pochodzenia morskiego w $NaNO_3$ w czasie transportu w atmosferze). Warto wspomnieć, że udział aerozolu morskiego, jako ważnego źródła naturalnego cząstek PM, również może być odejmowany, zgodnie z Art. 20 Dyrektywy 2008/50/WE; Guidance, 2010a) (podrozdział 5.2.4.2).

Przykład: Austria

Metoda została zastosowana do analizy chemicznej próbek PM_{10} z kilku stanowisk pomiarowych w Austrii. Badania prowadzono w latach 2004 – 2006, zarówno w sezonach letnich jak i zimowych. Uznano, że posypywanie ulic solą w zimie jest jedynym źródłem chlorków w powietrzu atmosferycznym.

Średni udział chlorków w stężeniu PM_{10} w okresie zimowym mieścił się w zakresie od około 1% do 5%. Najwyższe stężenia chlorków odnotowano na stanowisku Klagenfurt Völkermarkterstraße, z wartością maksymalną wynoszącą około 18%.

Stężenie NaCl obliczono na podstawie mas atomowych chloru (35.5 $g \cdot mol^{-1}$) i sodu (23.0 $g \cdot mol^{-1}$). Tak określoną zawartość NaCl odejmowano od całkowitego stężenia PM_{10}. Stwierdzono, że w okresie zimowym 2004 (maj 2004r.), zastosowana procedura pozwala na zmniejszenie liczby dni, w których odnotowano przekroczenie dobowej wartości dopuszczalnej 50 $\mu g \cdot m^{-3}$, z 75 do 66 dni na stanowisku Klagenfurt Völkermarkterstraße, oraz z 82 do 76 dni i 53 do 52 dni na dwóch innych stanowiskach. Względne zmniejszenie liczby przekroczeń wynosiło w tych przypadkach odpowiednio 15, 7 i 2%.

Na stanowisku Klagenfurt Völkermarkterstraße stwierdzono, że w okresach z wysokimi stężeniami chlorków (udział > 15%), stężenie PM_{10} także było bardzo wysokie. Zastosowanie omawianej procedury pozwoliło na usunięcie 4 z 11 dni, w których przekroczona została dobowa wartość dopuszczalna PM_{10} (50 $\mu g \cdot m^{-3}$).

5.2.8.3. Posypywanie piaskiem ulic w okresie zimowym – pył mineralny

Posypywanie ulic piaskiem w okresie zimowym może wpływać na skład chemiczny PM_{10} poprzez zwiększenie udziału składników mineralnych (węglanów i krzemianów) w całkowitej

masie PM. Należy jednak zaznaczyć, że skład chemiczny pyłu emitowanego z piaskowania ulic jest bardzo zróżnicowany. Co więcej istnieją inne źródła związane z ruchem drogowym, emitujące pył zawieszony o podobnych właściwościach chemicznych, które mogą w znacznym stopniu wpływać na poziomy PM, zwłaszcza na stanowiskach komunikacyjnych (Gustafsson i inni, 2008).

Obecnie nie ma standardowej metody, opartej na analizie składu chemicznego PM pod kątem składników mineralnych, która pozwoliłaby wyznaczyć udział posypywania ulic piaskiem w okresie zimowym. W trakcie opracowywania Wytycznych, prowadzone były różne prace zajmujące się wyznaczaniem właściwości chemicznych pyłu drogowego (Bauer i inni, 2007; Johannsen, 2008), jednakże nie skupiały się one na resuspensji PM pochodzącego z posypywania ulic piaskiem. Aby właściwie ocenić wpływ omawianego źródła na skład chemiczny PM_{10}, zwłaszcza zawartość związków mineralnych w PM_{10}, konieczne są dalsze badania.

W Wytycznych przedstawiono ogólne wymagania dla metody wyznaczania wpływu posypywania ulic piaskiem w okresie zimowym na stężenia PM_{10}, opartej na analizie chemicznej materiału mineralnego. Obejmują one:

- identyfikację właściwości chemicznych piasku stosowanego do utrzymania dróg w okresie zimowym (a przynajmniej wyznaczenie zawartości krzemianów i węglanów),
- analiza chemiczna PM_{10} (np. z zastosowaniem techniki XRF),
- wykluczenie innych źródeł cząstek mineralnych o podobnych właściwościach chemicznych co piasek stosowany do utrzymania dróg w zimie, w tym m.in.: ścieranie nawierzchni drogi (zwłaszcza powodowane przez opony z kolcami), erozja konstrukcji budowlanych, pył wywiewany z różnego rodzaju nieużytków.

Dodatkowymi warunkami stosowania tej metody są:

- obecność piasku – zarówno na drogach jak i chodnikach, pochodzącego z utrzymania dróg w okresie zimowym (musi być udokumentowana),
- sucha powierzchnia drogi.

5.2.9. Materiały źródłowe wykorzystane do przygotowania Podrozdziału 5.3.

- Bauer, H., Marr, I., Puxbaum, H. (2005): Zwischenbericht für das Projekt "AQUELLA" Bestimmung von Immissionsbeiträgen in Feinstaubpropen, GZ: FA17C 72.002-2/03-59. Bericht UA/AQ Graz, 2005. Technische Universität Wien;
- Bauer, H., Marr, I., kasper-Giebl, A., Limbeck, A., Caseiro, A., Handler, M., Jankowski, N., Klatzer, B., Kotianova, P., Pouresmaeil, P., Schmidl, C., Sageder, H., Puxbaum, H. (2006): Endbericht für das Projekt "AQUELLA" Wien. Bestimmung von Immissionbeiträgen in Feinstaubproben. MA22-386/03. Technische Universität Wien;
- Bauer, H., Marr, I., kasper-Giebl, A., Limbeck, A., Caseiro, A., Handler, M., Jankowski, N., Klatzer, B., Kotianova, P., Pouresmaeil, P., Schmidl, C., Sageder, H., Puxbaum, H. (2007): Endbericht für das Projekt "AQUELLA" Steiermatk. Bestimmung von Immissionbeiträgen in Feinstaubproben. Technische Universität Wien;
- CD, 2004: Commision Desicion 2004/461/EC of 29 April 2004 laying down a questionnaire to be used for annual reporting on ambient air quality assessment under Council Directives 96/62/EC and 1999/30/EC and under Directives 2000/69/EC and 2002/3/EC of the European Parliament and the Council;

- Guidance, 2010a: Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC. Draft version 2 (presented to AQ Committee in June 2010). European Commission, DG Environment, May 2010;
- Guidance, 2010b: Guidance on assessing the contribution of winter-sanding or salting under the EU Air Quality Directive 2008/50/EC. Draft version 2 (presented to AQ Committee in June 2010). European Commission, DG Environment, May 2010;
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Gudmundsson, A., Dahl, A., Swietlicki, E., Bohgard, M., Lindbom, J., Ljungman, A. (2008): Properties and toxicological effects of particles from interaction between tyres, road pavement and winter traction materia. *Science of the Total Environment* 393(2-3), 226–40;
- Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus (2005): Selvitys hiekoittuksen aiheuttamasra raja-arvon ylittymisestä vuonna 2003;
- Helsingin Kaupungin Ympäristökeskus, Viinanen, J., Weckström, M. (2007): Selvitys hiekoittuksen aiheuttamasra hiukkasraja-arvon ylittymisestä Helsingissä vuonna 2006;
- Jankowski, N., Bauer, H., Marr, I., Kasper-Giebl, A., Limbeck, a., Caseiro, A., Handler, M., Klatzer, B., Kotianowa, P., Pourmesmaeil, P., Schmidl, C., Puxbaum, H. (2007): 3. Zwischenbericht für das Projekt "AQUELLE Linz – Oberösterreich!". Aerosolquellanalyse für Linz – Oberösterreich. Technische Uniwersität Wien;
- Johansson, C. (2008): How to handle wintertime road dust and resuspension. Presentation on the conference "Air Quality assessment strategies: addressing the new Air Quality Directive and CAFÉ Thematic Strategy"; http://ies.jrc.ec.europa.eu/the-institute/units/transport-and-air-quality-unit/action-13203/workshop-conferences/air-quality-assessment-strategies-workshop.html;
- Kupiainen, K., Tervahattu, H., Räisänen, M. (2002): Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition. *The Science of the Total Environment* 308, 175–184;
- Kupiainen, K. (2007): Road dust from pavement wear and traction sanding. *Monographs of the Boreal Environment Research*, Monograph No. 26. Finnish Environment Institute, Finland, 2007;
- Puxbaum, H. (2004): 2. Zwischenbericht 2004 über das Projekt "AQUELLA – Aerosolanalyse für Wien; Methodenenewicklung – Quellprofile – Aerosolimmissionanalyse – Aerosolbilanzmodell", MA22-3869/03. Technische Universität Wien;
- Tervahattu, H., Kupiainen, K.J., Räisänen, M., Mäkelä, T., Hillamo, R. (2006): Generation of urban dust from anti-skid and asphalt concrete aggregates. Journal of Hazardous Materials 132, 39–46;
- WE, 2008: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy.

5.3. Procedura zapewnienia jakości pomiarów i analiz chemicznych – metodyka wykonywania pomiarów stężenia pyłu $PM_{2,5}$ oraz oznaczania w nim wybranych składników na stacjach tła pozamiejskiego

Poniższa procedura została opracowana dla potrzeb prowadzenia badań składu chemicznego pyłu $PM_{2,5}$ na stacja tła w Polsce. Procedura powstała przy współpracy z GIOŚ i laboratoriami WIOŚ prowadzącymi badania w stacjach tła.

- ***Uwagi wstępne***
  - Do pobierania próbek pyłu $PM_{2,5}$ wykorzystywane są wysokoprzepływowe poborniki firmy Digitel, w których używa się filtrów kwarcowych (Whatman) o średnicy krążka 150 mm. Zasobnik takiego pobornika umożliwia załadowanie 15 filtrów, co pozwala automatycznie pobierać pył przez ponad dwa tygodnie (dla cyklu poboru 24 godziny);

W sieci stacji tła pozamiejskiego przyjmuje się, iż filtry są eksponowane w cyklach 24-godzinnych (00:01 – 00:00 UTC) i wymieniane co siedem dni. Dniem tygodnia, w którym następuje wymiana filtrów w zasobniku jest wtorek;

- Rejestracja wielkości przepływu powietrza przez filtry odbywa się w warunkach otoczenia;
- Prowadzone są dobowe pomiary stężenia pyłu $PM_{2,5}$ i oznaczenia zawartych w nim SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, węgla elementarnego (EC) i organicznego (OC).

Kondycjonowanie wstępne

Przed zważeniem filtrów przeznaczonych do ekspozycji i przekazaniem ich na stację należy poddać je kondycjonowaniu w pokoju wagowym. W tym celu:

- Należy wyjąć z opakowania właściwą liczbę filtrów i oznakować je wg przyjętego systemu;
- Następnie należy umieścić filtry na otwartym miejscu pokoju wagowego (np. na półce). Warunki klimatyczne w pokoju wagowym powinny być wcześniej ustalone i odpowiadać warunkom określonym w normie PN-EN 14907:2006 tzn. temperatura powietrza 20 ± 1^{o}C i wilgotność względna powietrza (50 ± 5)%;
- Warunki panujące w pokoju wagowym muszą być monitorowane (rejestracja temperatury i wilgotności względnej);
- Filtry należy kondycjonować w ustalonych warunkach przez 48 godzin;
- Po kondycjonowaniu każdy filtr należy zważyć i masę zanotować;
- Przed rozpoczęciem pomiaru grawimetrycznego (pomiaru masy) wagę należy skalibrować;
- Filtry należy ważyć dwukrotnie, z odstępem przynajmniej 12-godzinnym, w celu potwierdzenia stabilności ich masy. Jeżeli masy te różnią się od siebie o więcej niż 500 µg filtr należy odrzucić;
- Masa filtra wyrażona jest jako średnia z dwóch odrębnych pomiarów i stanowi masę początkową filtra;
- Nieobciążone (nie eksponowane) filtry przechowuje się w pokoju wagowym nie dłużej niż 28 dni przed pobraniem próbek.

Przygotowywanie filtrów do ekspozycji

- Oznakowane, kondycjonowane i zważone filtry pakuje się w ramki (pierścienie mocujące), ramki pakuje się do torby polietylenowej i w kasecie transportowej przewozi na stację;
- Na stacji do magazynka pobornika co drugi tydzień ładuje się osiem filtrów (siedem do pobrania próbek pyłu oraz ósmy filtr zerowy) a w pozostałe tygodnie siedem filtrów (bez filtra zerowego);
- Do zasobnika pobornika wkładane jest co drugi tydzień osiem filtrów, z których ostatni (umieszczony na górze magazynka) będzie pełnił rolę filtra zerowego i nie będzie eksponowany.

Transport filtrów

- Filtry po ekspozycji wyjmowane są z pobornika i po zapakowaniu do torby polietylenowej umieszczane w kasecie transportowej. Kaseta transportowa powinna być przenoszona w pojemniku izotermicznym z wkładami chłodzącymi;
- Po dostarczeniu filtrów do laboratorium należy je, po rozpakowaniu i wyjęciu z ramek (pierścieni mocujących), poddać procedurze kondycjonowania i ważenia.

Kondycjonowanie i ważenie eksponowanych filtrów

- Umieścić filtry na półce w pokoju wagowym;
- Warunki klimatyczne w pokoju wagowym muszą być wcześniej ustalone i odpowiadać warunkom określonym w normie PN-EN 14907:2006 tzn. temperatura $20 \pm 1^{o}C$ i wilgotność względna $(50 \pm 5)\%$;
- Warunki panujące w pokoju wagowym muszą być monitorowane (rejestracja temperatury i wilgotności);
- Należy kondycjonować filtry w ustalonych warunkach przez 48 godzin;
- Po kondycjonowaniu każdy filtr należy zważyć i masę zanotować.

Do ważenia i kondycjonowania filtrów stosuje się przepisy normy PN-EN 14907:2006 „Jakość powietrza atmosferycznego – Standardowa grawimetryczna metoda oznaczania frakcji masowej $PM_{2,5}$ pyłu zawieszonego" oraz „Ramowe procedury zapewnienia jakości w pomiarach pyłu PM_{10}" opracowane przez GIOŚ.

Przygotowywanie filtrów do oznaczania wybranych składników

Poza wyznaczaniem stężenia pyłu $PM_{2,5}$ (na podstawie masy zebranego pyłu $PM_{2,5}$ i objętości powietrza przeprowadzonego przez filtr) filtry posłużą do wyznaczania stężenia wybranych anionów (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-) i kationów (NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) oraz węgla organicznego (OC) i elementarnego (EC). Do oznaczania substancji w każdej z wyżej wymienionych grup należy przeznaczyć odrębną część filtra. Przyjmuje się zasadę, że:

- Masa badanych zanieczyszczeń wyznaczana będzie z co najmniej jednej dobowej próbki w tygodniu, z dnia (dni) wybranego (wybranych) losowo;
- Odpowiednie wycinki filtra kwarcowego, służące do oznaczania wybranych anionów (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-) i kationów (NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) oraz węgla, wykonywane będą za pomocą odpowiednich wykrojników;
- Laboratoria powinny stosować ten sam sposób podziału filtrów;
- Filtry (wycinki filtrów) do czasu wykonywania analiz powinny być przechowywane w odpowiednich warunkach:

- filtry do oznaczania węgla organicznego i elementarnego powinny być przechowywane w hermetycznych pojemnikach, bez dostępu światła, w temperaturze -20±2°C;
- filtry do oznaczania innych substancji powinny być przechowywane w hermetycznych pojemnikach, bez dostępu światła, w temperaturze 4±2°C.

Oznaczenia laboratoryjne wybranych składników

- Oznaczanie jonów w próbkach pyłu polega na wyekstrahowaniu z cząstek pyłu $PM_{2,5}$ anionów i kationów wodą dejonizowaną przy użyciu wytrząsarki (12 godzin) w chłodnym pokoju (≤18°C) przy 60 cyklach na minutę, po uprzednim poddaniu próbek działaniu ultradźwięków (1 godzina) w temperaturze łaźni nie przekraczającej 27°C, a następnie oczyszczeniu ekstraktów za pomocą filtrów polieterosulfonowych (PES) lub membranowych (*mixed cellulose ester*);
- Kationy w pyle $PM_{2,5}$ (poza NH_4^+) powinny być oznaczane jedną z dwóch metod: ICP lub ASA;
- Aniony w pyle $PM_{2,5}$ powinny być oznaczane metodą chromatografii jonowej;
- Jon amonowy powinien być oznaczany jedną z metod: spektrofotometryczną (CFA, FIA lub manualną) lub metodą chromatografii jonowej;
- Węgiel organiczny i elementarny powinien być oznaczany będzie metodą referencyjną – termo--optyczną.

Obliczenia wyników

- Obliczenie stężenia pyłu $PM_{2,5}$ wykonuje się w oparciu o masę pyłu zebranego na filtrach i objętość powietrza przeprowadzonego przez filtry (w warunkach otoczenia);
- Obliczenia stężenia badanych składników wykonuje się po odniesieniu wyników uzyskanych dla wycinków filtra do powierzchni czynnej całego filtra (średnica aktywnej części filtra 140 mm);
- Przy obliczaniu wyników należy uwzględniać wartości uzyskane dla filtrów zerowych;
- Wyniki związków azotowych podawane odpowiednio w jednostkach: $\mu gNH_4 \cdot m^{-3}$ i $\mu gNO_3 \cdot m^{-3}$.

5.4. Procedury laboratoryjne stosowane dla zapewnienia jakości analiz chemicznych pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ – dobra praktyka laboratoryjna

5.4.1. Oznaczanie pierwiastków i WWA w próbkach pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10}

Przechowywanie pyłów oraz gotowych mineralizatów i ekstraktów

1) Próbki pyłów osadzonych na filtrach podzielonych na wycinki koła o powierzchni stanowiącej ¼ powierzchni filtra o średnicy 47 mm, do czasu przygotowania ekstraktów (przed oznaczeniem WWA) lub mineralizatów (przed oznaczaniem pierwiastków), należy przechowywać w temp. 2-5 °C w szalkach Petriego;
2) Próbki należy chronić przed działaniem promieni słonecznych, zwłaszcza jeśli są przeznaczone do analizy na zawartość WWA;
3) Nie wyznaczono maksymalnego czasu przydatności próbek pyłów do badań na poszczególne parametry (wskazane jest wykonanie takich ocen);

4)Metale w mineralizowanych próbkach należy analizować na zawartość pierwiastków do miesiąca od czasu przygotowania, a pomiędzy analizami przechowywać w kolbach pomiarowych w temp. 2 – 5°C;

5)Gotowe ekstrakty należy analizować na zawartość WWA możliwie szybko po ich przygotowaniu, a pomiędzy oznaczeniami przechowywać w naczynkach z ciemnego szkła w temp. 2 – 5°C;

Przygotowanie próbek do analizy – oznaczanie WWA

1) Do przenoszenia ćwiartek filtrów z pyłem z szalki do celki naczynia ekstrakcyjnego należy używać metalowej pęsety;
2) Maksymalna liczba ćwiartek filtrów, jaką można ekstrahować w celce o pojemności 10 ml w aparacie do przyspieszonej ekstrakcji wynosi 16;
3) Gotowe ekstrakty powinny być przesączone przez strzykawkowy filtr membranowy o średnicy porów 0.45 μm, co zapobiega zatkaniu igły i kapilar chromatografu cieczowego HPLC.

Przygotowanie próbek do analizy – oznaczanie pierwiastków

1) Maksymalna liczba ćwiartek filtrów, jaką można mineralizować w mieszaninie kwasów fluorowodorowego i nadchlorowego wynosi 16. Mineralizacja większej ilości ćwiartek filtrów, wymaga dodatkowego czasu oraz użycia zwiększonej ilości kwasów, w tym we wstępnej fazie kwasu azotowego, aby próbka była zanurzona w kwasie całkowicie. Można także składać filtry w próbki tygodniowe, po 7 ćwiartek na próbkę;
2) W celu oznaczania Al, Ti i Fe (parametry do pośredniego wyznaczania zawartości krzemionki) nie należy do osadzania pyłu stosować filtrów kwarcowych, a tym bardziej szklanych, gdyż czyste filtry (próbki ślepe) zawierają znaczne ilości glinu oraz oznaczalne ilości żelaza i tytanu ($mg \cdot l^{-1}$). W przypadku oznaczania glinu w próbkach osadzonych na filtrach kwarcowych i mineralizowanych w mieszaninie kwasów fluorowodorowego i nadchlorowego, znaczenie ma liczba ćwiartek filtra w danej próbce. Z tego powodu zalecane byłoby użycie filtra teflonowego, którego kwas fluorowodorowy nie rozkłada;
3) Filtry kwarcowe zawierają również pewne ilości As, Ni, Pb, Cd ($\mu g \cdot l^{-1}$), w efekcie czego stężenie pochodzące od samego filtra (próbki ślepe) ma spory udział w odczytywanym stężeniu dla danego pierwiastka. Zalecane byłoby używanie do mineralizacji (zgodnie z normą PN-EN 14902) kwasu azotowego z nadtlenkiem wodoru, które nie roztwarzałyby samego filtra;
4) Aby zrealizować wszystkie cele analityczne, należy na przyszłość zastosować odrębne stanowiska pomiarowe zbierające pył na różne rodzaje filtrów, albo zrezygnować z oznaczania krzemionki metodą pośrednią.

Przygotowanie próbek do analizy – wzorce

Wzorce do analizy metali oraz WWA należy przechowywać w lodówkach. Zachowują one trwałość do roku. Jednakże, wzorce do oznaczania śladowych zawartości metali As, Ni, Cd a także Ti najlepiej przygotowywać bezpośrednio przed analizą.

5.4.2. Oznaczanie wybranych jonów (SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) w próbkach pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10}

Przechowywanie pyłów oraz gotowych ekstraktów

1)Próbki pyłów osadzonych na filtrach o średnicy 47 mm, do czasu przygotowania ekstraktów (przed oznaczeniem jonów) należy przechowywać w temp. 2-5°C w szalkach Petriego;
2)Próbki należy chronić przed działaniem promieni słonecznych;
3)Nie wyznaczono maksymalnego czasu przydatności próbek pyłów do badań na zawartość jonów;
4)Gotowe ekstrakty należy analizować na zawartość jonów możliwie szybko po ich przygotowaniu, a pomiędzy oznaczeniami przechowywać w zakręcanych pojemnikach w temperaturze 2 – 5°C.

Przygotowanie próbek do analizy – oznaczanie jonów

1) Przed rozpoczęciem analizy należy wyjąć filtry z lodówki i pozwolić im osiągnąć temperaturę pokojową;
2) Do przenoszenia filtrów z pyłem z szalki do pojemnika zakręcanego należy używać metalowej pęsety i rękawic;
3) Nie określono maksymalnej liczby filtrów, jaką można ekstrahować w wodzie dejonizowanej w zakręcanych pojemnikach;
4) Po umieszczeniu pojemników z filtrami zalanymi wodą w łaźni ultradźwiękowej należy upewnić się, że poziom wody w łaźni jest wyższy niż poziom roztworu ekstrakcyjnego, a niższy niż zakrętka;
5) W trakcie poddawania próbek działaniu ultradźwięków (przez 1 godzinę) temperatura łaźni nie powinna przekroczyć 27ºC. Właściwą temperaturę można uzyskać poprzez okresowe dodawanie do łaźni lodu lub ciągły przepływ zimnej wody z sieci wodociągowej. W tym celu wodę z kranu doprowadzamy przewodem do komory łaźni ultradźwiękowej. Właściwy poziom cieczy uzyskuje się przez regulację wypływu zaworkiem, z którego woda kierowana jest do kanalizacji poprzez wężyk;
6) Próbki należy wytrząsać przy użyciu wytrząsarki mechanicznej (12 godzin) w chłodnym pokoju (≤ 18ºC) przy 60 cyklach na minutę;
7) Gotowe ekstrakty powinny być przesączone przez strzykawkowy filtr z membraną PES (polieterosulfon) która nie uwalnia jonów, o średnicy 25 mm i wielkości porów 0.2 µm, co zapobiega zatkaniu elementów chromatografu jonowego IC.

Przygotowanie próbek do analizy – wzorce

1) Wzorce i roztwory kalibracyjne do analizy jonów (anionów i kationów) należy przechowywać w lodówce;
2) Roztwory kalibracyjne do analizy jonów należy przygotowywać nie rzadziej niż raz w miesiącu. Jeżeli do roztworów kalibracyjnych do analizy kationów jest dodawany roztwór zawierający jon amonowy (w celu analizy na zawartość jonu amonowego), to roztwory kalibracyjne muszą zostać przygotowane bezpośrednio przed każdą serią analityczną;

Roztwory kalibracyjne do analizy kationów należy zakwaszać roztworem HNO_3 o stężeniu 1 mol·dm^{-3} (odpowiednio 100 ml roztworu kalibracyjnego zakwasić 50 µl HNO_3, a 200 ml roztworu – 100 µl HNO_3).

5.4.3. Oznaczanie węgla elementarnego i organicznego w próbkach pyłu $PM_{2,5}$ i PM_{10}

I. Przechowywanie pyłów

Materiał analityczny przechowywany jest w chłodni, w szalkach Petrie'go.

II. Przygotowanie próbek do analizy

Próbki przed wykonaniem analizy są wyjmowane z chłodni. Następnie zostaje wykrojony wycinek (o powierzchni 1,5cm^2) filtra z pyłem przy użyciu wykrojnika.
Przygotowanie próbki jak i wykonanie analizy należy przeprowadzić w możliwie jak najlepszych warunkach. Przede wszystkim zadbać należy o czystość pomieszczenia, w którym odbywa się analiza oraz czystość wszelkich materiałów i sprzętu używanego podczas analizy. By uniknąć błędów na drodze analitycznej podczas przygotowania materiału analitycznego prace prowadzone były w rękawicach ochronnych, a wszelkie operacje wykonywane były za pomoc pęset, które każdorazowo czyszczono (operacje przeprowadzane bezdotykowo względem materiału analitycznego). Pomieszczenie powinno być klimatyzowane (temperatura 18-20^{0}C) i codziennie sprzątane (odkurzane). W pomieszczeniu tym powinien być przestrzegany całkowity zakaz przechowywania jak i spożywania żywności, odczynników chemicznych i wchodzenia osób bez fartucha i butów laboratoryjnych.

III. Wzorce

Zgodnie z metodyką analizatory węgla są wzorcowane oraz kalibrowane. W aparacie firmy Behr wykonywano krzywą wzorcową przez nastrzyknięcie danej objętości gazu z certyfikowaną zawartością CO_2, natomiast poprawność wykonania krzywej wzorcowej była poparta sprawdzeniem odzysku materiału certyfikowanego NIST (RM 8785 NIST oraz RM 8786 NIST). Analizator firmy Sunset nie wymaga wykonania krzywej wzorcowej ponieważ po każdej wykonanej analizie przeprowadzana jest wewnętrzna kalibracja mieszaniną gazów wzorcowych (operacja automatyczna). Sprawdzenie poprawności wykonania kalibracji przez aparat następuje przez nastrzyknięcie na filtr danej objętości roztworu fruktozy (o znanej zawartości węgla) na wycinek wyprażonego filtra kwarcowego i przeanalizowania go.

5.5. Uwagi wynikające z przeprowadzonych analiz dotyczących źródeł naturalnych

W oparciu o analizy przeprowadzone w ramach niniejszej pracy, poczynione spostrzeżenia oraz sformułowane w niej wnioski, opracowano zestaw wytycznych do prowadzenia monitoringu PM_{10} i $PM_{2,5}$ oraz do prowadzenia badań PM_{10} i $PM_{2,5}$ pod kątem udziału różnych źródeł. Opracowane wytyczne mają ułatwić prowadzenie analogicznych analiz w przyszłości oraz udoskonalić jakość tych analiz poprzez poprawę kompletności danych niezbędnych do analizy.

- Z analiz przeprowadzonych w ramach projektu wynika, że zadaniem stacji monitoringu tła regionalnego powinna być równoczesna kontrola poziomu stężeń pyłu PM_{10} i $PM_{2,5}$ w powietrzu oraz kontrola przepływów tych zanieczyszczeń a także ocena stężeń PM_{10} i $PM_{2,5}$ na stacji, wynikających z wpływu zidentyfikowanych źródeł emisji.
- Analiza danych ze stacji pomiarowej w Diablej Górze pokazała, że dla stacji, które nie są w zasięgu bezpośredniego oddziaływania lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń, możliwa jest ocena oddziaływania odległych źródeł emisji pyłów oraz ocena roli transportu dalekiego zasięgu, przy pomocy:
  - pomiarów stężeń,
  - pomiarów natężenia strumieni pyłów przy pomocy rzeczywistych pomiarów kierunku i prędkości wiatru na stacji monitoringu oraz modelowania lokalnych warunków meteorologicznych,
  - 24-godzinnych trajektorii wstecznych (zgodnych z lokalnymi warunkami meteorologicznymi).
- Dane ze stacji monitoringu Puszcza Borecka w Diablej Górze pozwalają na ocenę, w rejonie północno-wschodniej granicy Polski, ładunku $PM_{2,5}$ pochodzącego z transportu transgranicznego. W chwili obecnej informacje dotyczące przepływu pyłu w rejonie południowo-zachodniej granicy Polski są ograniczone. Spośród 3 wybranych już przez GIOŚ stacji tłowych, pomiary takie prowadzone są na stacji Osieczów (województwo dolnośląskie).
- 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. Główny cel tej analizy to identyfikacja sektorów napływu, w których występują podwyższone stężenia i natężenia zanieczyszczeń pyłowych. Postępowanie takie pozwoli na zwiększenie wiedzy na temat źródeł emisji odpowiedzialnych za notowane poziomy stężeń.
- Ocena oddziaływania odległych źródeł emisji pyłu przy pomocy danych pomiarowych ze stacji monitoringu, na stacjach znajdujących się pod wpływem lokalnych źródeł emisji (stacje komunikacyjne, stacje tła miejskiego), 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 strumienie napływu pyłu, przy pomocy rzeczywistych pomiarów kierunku i prędkości wiatru na stacji monitoringu oraz modelowania lokalnych warunków meteorologicznych skorygowanych o wartości danych ze stacji monitoringu (dane muszą zawierać minimalny zestaw parametrów umożliwiających 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.
- 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 pozwalająca na śledzenie szybkozmiennych parametrów imisji 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.
- Zakres analiz chemicznych dla stacji tłowej powinien obejmować szersze spektrum pierwiastków (np. oznaczenia metodą EDXRF), dla scharakteryzowania lokalnego profilu chemicznego pyłu powiązanego ze źródłami naturalnymi (gleby) i charakterystycznych profili związanych z napływem z określonych obszarów. Badania takie powinny być prowadzone okresowo w celu zgromadzenia, reprezentatywnej dla stacji tła regionalnego informacji, o zmienności czasowo-przestrzennej profilu chemicznego pyłu i śledzenia zmian w tym zakresie powiązanych ze zmianami zagospodarowania przestrzennego kraju.
- Wyniki pomiarów podstawowych składników jonowych i metali powinny być prowadzone w cyklu dobowym (próbki składane nie pozwalają na analizę epizodów i prowadzenie dokumentacji udziału składników naturalnych w sposób opisany w wytycznych UE).
- Należy rozważyć wariant prowadzenia monitoringu z wykorzystaniem filtrów teflonowych do pobierania pyłów do analiz składu chemicznego – filtry kwarcowe i szklane wprowadzają wysokie tło,
- Jednym z możliwych wariantów prowadzenia takich badań jest stosowanie na przemian filtrów kwarcowych i teflonowych (dotyczy to mierników niskoprzepływowych).
- Stosowanie mierników wysoko-przepływowych w kontekście analiz OC/EC, jonów i metali wymaga lepszego udokumentowania homogeniczności rozkładu ww. substancji na powierzchni filtrów.
- Lokalizacja czerpni na stanowiskach tła powinna gwarantować ograniczenie ryzyka pobierania pyłów z resuspensji z powierzchni terenu przyległego do stacji przy słabych porywach wiatru – poziom lokalizowania czerpni powinien być ujednolicony dla całego kraju.
- Prowadzenie osłony meteorologicznej epizodów napływu zanieczyszczeń ze źródeł naturalnych poprzez przystosowanie stacji synoptycznych w obszarach tła regionalnego do pomiarów profilu wiatru w warstwie granicznej atmosfery w znacznym stopniu pomoże w interpretacji epizodów napływu (możliwość włączenia trójwymiarowych trajektorii ruchu powietrza). Do oceny pionowej struktury warstwy granicznej, zwłaszcza wyznaczenia głębokości warstwy mieszania oraz warstw inwersyjnych dolnych i wzniesionych, powinny być zastosowane urządzenia teledetekcyjne (windprofiler, sodar dopplerowski). Z kolei wykorzystanie lidaru umożliwi pomiar pionowego profilu aerozolu. Stacje synoptyczne, wykorzystywane do charakterystyki epizodów napływu zanieczyszczeń naturalnych, należy zlokalizować m.in. w następujących obszarach:
  - w strefie brzegowej Bałtyku (Łeba) – ocena udziału aerozolu morskiego,
  - na obszarze napływu zanieczyszczeń z okolic Białorusi i Rosji (Włodawa, Legionowo) – ocena udziału pożarów lasów,

  - na obszarze napływu zanieczyszczeń przez obszar Bramy Morawskiej (Racibórz) – ocena udziału pyłu saharyjskiego.
- Do rutynowej analizy napływów pyłu ze źródeł naturalnych należy dołączyć dane meteorologiczne, teledetekcyjne, a w szczególności dane satelitarne, aerologiczne i radarowe. Aby ułatwić analizę warunków synoptycznych na kluczowych stacjach meteorologicznych, na których bada się napływ zanieczyszczeń transgranicznych, pomiary powinny być prowadzone z wykorzystaniem optymalnych klasyfikacji synoptycznych dedykowanych dla takich stacji. Dodatkowo dla potrzeb analiz napływu zanieczyszczeń ze źródeł naturalnych, należy rozpatrzeć użycie prognostycznych modeli mezoskalowych, wykorzystywanych rutynowo w polskiej służbie pogody (DWD COSMO LM, ALLADIN).

6. Podsumowanie i wnioski

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

W roku 2010 prowadzono pomiary $PM_{2,5}$ i PM_{10} w trzech lokalizacjach, charakteryzujących się odmienną strukturą emisyjną, warunkami klimatycznymi i otoczeniem.

Badania prowadzono $PM_{2,5}$:

- na stacji tła miejskiego w aglomeracji śląskiej, obszarze o wysokiej antropopresji, związanej z przemysłem, energetyką opartą na węglu, charakteryzujący się dużym zagęszczeniem populacji, jak również strefie narażonej na wpływ transgranicznego transportu zanieczyszczeń (rejon północnych Czech);
- stacji tła miejskiego w Gdańsku – duża aglomeracja miejska, w obszarze oddziaływania przemysłu, transportu drogowego i morskiego, w obszarze oddziaływania klimatu morskiego, narażona na adwekcję zanieczyszczeń z centralnej i południowej części kraju,
- stacji tła regionalnego w Diablej Górze, obszarze rolniczo-leśnym, o niskiej antropopresji, spełniającym kryteria stacji tłowej EMEP.

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

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

W okresie prowadzenia pomiarów 1.01. 2010 r. – 31.12.2010 r. pobrano następująca 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).

W raporcie zaprezentowano analizę statystyczną uzyskanych wyników stężeń oraz statystyki dobowych, miesięcznych i sezonowych zmienności stężeń $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz stężeń substancji oznaczanych w badanych próbkach PM.

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 $\mu g/m^3$.

W przypadku stężeń PM_{10}, w Gdańsku wystąpiło przekroczenie dopuszczalnej liczby dni, w których stężenia PM_{10} były wyższe niż dobowa wartość dopuszczalna 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 pyle PM_{10} w Gdańsku i 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 emisje 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 emitorów.

Maksymalne stężenia występują w obszarze aglomeracji śląskiej o największej emisji zanieczyszczeń, stężenia w aglomeracji gdańskiej są o połowę niższe – w stacji tła stanowią ok. ¼ stężeń notowanych na Śląsku. W obszarze Śląska odnotowano znaczące przekroczenie poziomu dopuszczalnego 25 $\mu g/m^3$.

O wysokości stężeń we wszystkich lokalizacjach decyduje sezon zimowy. Podobnie jak dla stężenia $PM_{2,5}$, 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 (rejony 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 uwidacznia się odwrotna zależność stężeń PM od temperatury, widoczne są też efekty depozycji mokrej PM w przypadku występowania opadów deszczu. Jak wspomniano wcześniej poziomy stężeń związane są z lokalizacją, a zatem z narażeniem na emisję niską i oddziaływanie wtórnych zanieczyszczeń (tło powodowane przez wtórny aerozol nieorganiczny).

Przeprowadzone badania składu chemicznego $PM_{2,5}$ i PM_{10}, wykazały że zróżnicowanie tego składu jest niewielkie. 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 w uznanych w świecie modelach receptorowych (do identyfikacji źródeł pochodzenia PM).

Stwierdzone różnice stężeń 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 wskazówka do podejmowania decyzji o potrzebie analiz dobowych. Chcąc sprostać wytycznym 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 sola 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 stężeń (w obszarze GOP - stężenia rzędu 10 $\mu g/m^3$), zatem odjęcie udziału aerozolu morskiego nie da spodziewanych efektów w zakresie ograniczenia stężenia średniorocznego, nie wpłynie też na ocenę i liczbę epizodów.

Wprowadzenie sytemu 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 badan składu chemicznego obu frakcji PM dla potrzeb identyfikacji składu chemicznego i określania udziału materii mineralnej,
- zwiększenia liczby stacji tłowych o obszary reprezentatywne:
    - dla napływy z obszarów morskich (w przypadku decyzji o odliczaniu średniorocznego stężenia aerozolu morskiego i epizodów 24h w danej strefie zlokalizowanej w strefie oddziaływania Bałtyku),
    - 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.

6.2. 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 morska, 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 Diablej 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 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 Diablej Góry średni udział soli morskiej (*SM*) w masie pyłu wynosił w granicach 8-9%.

W Diablej 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 pyle 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.

6.3. Analiza epizodów

Specyfika zanieczyszczeń pyłowych w Polsce powoduje, ze dominującym źródłem wpływającym na imisję są źródła antropogeniczne. Udowadnia to zarówno przestrzenne zróżnicowanie stężeń pyłu PM_{10} jak również jego przebieg roczny. Najwyższe jego stężenia a także największą liczba 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 CAFE (WE, 2008) 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:

g) 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;
h) 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;
i) 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:

- pierwsza 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 $\mu g/m^3$ dla pyłu PM_{10} i do 25 $\mu g/m^3$ 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 oddziaływaniu podobnego zespołu czynników meteorologicznych, które odpowiadają głownie 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.

Według tego dokumentu najważniejszymi źródłami, których udziały kwalifikują się do odejmowania zgodnie z ustaleniami Dyrektywy CAFE, 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.

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. Ocenia się, że udział pyłu z pustyni Sahara w średnim rocznym stężeniu

PM_{10} 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.

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

Aerozol morski

Występowanie w pyle aerozolu morskiego związane jest prawie wyłącznie z sytuacjami sztormowymi, wywołanych przemieszczaniem się układów niskiego ciśnienia z aktywnymi frontami. Na podstawie badań prowadzonych m.in. przez Trzeciaka, przyjęto za dzień sztormowy to taki, w którym średnia prędkość wiatru na stacji brzegowej przekraczała 10 m/s.

Tabela. 6.3.1. Liczba dni z potencjalnym oddziaływaniem aerozolu morskiego na obszary przybrzeżne 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 do 50 – 75km 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 pyle mogą być sytuacje związane z cyrkulacją lokalną (bryzą morską). Mechanizm powstawania bryzy związany jest z występowaniem sytuacji słabo-gradientowych, ograniczonych do okresu letniego (V – IX), 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. 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

Erupcje wulkaniczne oraz działalność sejsmiczna i geotermalna mogą przyczynić się do podwyższenia poziomów PM_{10}, choć najczęściej znaczące udziały w jego stężeniach będą

obserwowane w obszarze śródziemnomorskim oraz na Islandii. Należy także podkreślić, że ten typ oddziaływania będzie miał charakter wyjątkowo incydentalny. 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 Eyjafjoellna 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 pomiarowych w Polsce.

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 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 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 Wytycznych 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.

Potencjalny wpływ aerozolu naturalnego na zanieczyszczenie pyłowe w Polsce przedstawia tabela 6.3.2.

Tabela 6.3.2. 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, Polska północno - wschodnia
pył wulkaniczny	bez istotnego znaczenia – występowanie sporadyczne	obszar oddziaływania pyłu – konieczne śledzenie obłoku.
pożary lasów	minimalny – występowanie sporadyczne	obszar oddziaływania pyłu – konieczne śledzenie obłoku.

6.4. 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 $\mu g/m^3$. 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 $\mu g/m^3$.

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 stężeń notowane w trakcie epizodów na terenie Trójmiasta w zbliżonym stopniu odpowiadają:

- źródła przemysłowe na terenie Gdańska,
- inne źródła emisji pyłu na teranie 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 $\mu g/m^3$ 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 ŚWIOŚ 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.

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

W przypadku, gdy stężenia zanieczyszczeń objętych regulacjami przekraczają wartości dopuszczalne ustanowione prawem UE, przekroczenie to może 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 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 pisakiem 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 pyły PM_{10} w obecnej chwili są rekomendowane dwie metody postępowania:

- chemiczna – uwzględnienie zawartości chlorków w pyle (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. Należy zaznaczyć, że 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. 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 $PM_{2,5}$.

Stacje tła pozamiejskiego powinny spełniać kryteria lokalizacyjne ustalone przez program EMEP (EMEP Manual, 2001). Powinny być, 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.

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 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 Puszcza Borecka w Diablej Górze 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. 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 pozwalająca na śledzenie szybkozmiennych parametrów imisji 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 UE).
- 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 strumienie 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.

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

– stworzeniu 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 tłowych
– 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 PM,
– zwiększenia 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

sola 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 role 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.