



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Projekt: KLIMAT

**„Wpływ zmian klimatu na środowisko,
gospodarkę i społeczeństwo”**

*(zmiany, skutki i sposoby ich ograniczenia, wnioski dla nauki,
praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)*

*Tytuł Zadania Nr 2: Stan zanieczyszczeń powietrza w Polsce i jego wpływ na
jakość życia – możliwości ograniczenia skutków.*

Okres sprawozdawczy: styczeń - grudzień 2009 r.

Koordinator Zadania Nr 2

dr Leszek Ośródka

Katowice, styczeń 2010 r.

Wykonawcy pracy

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej

Oddział w Krakowie, Zakład Monitoringu i Modelowania Zanieczyszczeń Powietrza

dr Leszek Ośródka

dr Ewa Krajny

dr Marek Wojtylak

mgr Katarzyna Szeplińska

mgr Jerzy Skorczyński

mgr Jolanta Godłowska

mgr Anna M. Tomaszewska

mgr Monika Hajto

mgr Wiesław Kaszowski

mgr inż. Wojciech Rozwoda

Ośrodek Główny, Dział Numerycznych Prognoz Meteorologicznych COSMO

dr Andrzej Mazur

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze

Zakład Ochrony Powietrza

dr inż. Krzysztof Klejnowski + zespół

Spis rzeczy

1. Cel i zakres zadania.....	5
Etap I: Zad. 2.1 Identyfikacja głównych źródeł zanieczyszczeń z uwzględnieniem dalekiego transportu.....	6
2. Cel badań i zakres wykonywanych prac	6
3. Metodyka badań	7
4. Charakterystyka osiągniętych wyników.....	7
<i>Rola emisji zanieczyszczeń w kształtowaniu jakości powietrza.....</i>	<i>7</i>
<i>Wybór i charakterystyka obszaru badań</i>	<i>8</i>
<i>Monitoring pyłu zawieszonego i ocena jakości powietrza</i>	<i>9</i>
<i>Poziom stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu.....</i>	<i>9</i>
<i>Baza wiedzy</i>	<i>10</i>
<i>Przegląd metod identyfikacji głównych źródeł zanieczyszczeń metodą trajektorii wstecznych</i>	<i>11</i>
<i>Opis systemów modelowania transportu zanieczyszczeń powietrza</i>	<i>11</i>
<i>Identyfikacja potencjalnych odległych źródeł emisji wpływających na stężenie PM₁₀ w zimie na Śląsku i w Małopolsce metodą trajektorii wstecznych.....</i>	<i>12</i>
<i>Określenie tła lokalnego i regionalnego zanieczyszczeń dla potrzeb określenia stanu zanieczyszczenia powietrza w Polsce</i>	<i>13</i>
Etap II: Zad. 2.2 Identyfikacja zespołu czynników meteorologicznych odpowiedzialnych za groźne dla zdrowia stężenia zanieczyszczeń.....	14
5. Cel badań i zakres wykonywanych prac	14
6. Metodyka badań	14
7. Charakterystyka osiągniętych wyników.....	15
<i>Wybór kryteriów klasyfikacji zagrożenia epizodami wysokich stężeń zanieczyszczeń.....</i>	<i>15</i>
<i>Analiza zależności występowania wysokich stężeń PM₁₀ od typów cyrkulacji Lityńskiego</i>	<i>16</i>
<i>Analiza epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń pod kątem diagnozy sytuacji meteorologicznej.....</i>	<i>16</i>

<i>Wykorzystanie informacji z naziemnych stacji meteorologicznych do oceny warunków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji epizodów smogowych</i>	17
<i>Wykorzystanie informacji teledetekcyjnych do oceny warunków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w WGA</i>	17
<i>Scenariusze potencjalnego zagrożenia smogowego w przeszłości</i>	18
<i>Badanie wpływu zmienności klimatu na zmienność potencjalnego zagrożenia smogowego</i>	19
Etap III: Zad. 2.3 Analiza składu zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w celu identyfikacji ich miejsca powstawania i występowania, wpływu na społeczeństwo i gospodarkę. Ocena przestrzenna rozkładu na obszarze Polski i zmienności okresowej	21
8. Cel badań i zakres wykonywanych prac	21
9. Metodyka badań	21
10. Charakterystyka osiągniętych wyników	21
<i>Ocena udziału pierwotnych i wtórnych zanieczyszczeń w ocenie zagrożenia jakości powietrza w Polsce</i>	21
<i>Opracowanie koncepcji prowadzenia badań, pomiarów pyłu i nanocząstek</i>	22
<i>Badanie składu granulometrycznego pyłu w miejscach poboru próbek</i>	23
<i>Opracowanie rozkładu czasoprzestrzennego zanieczyszczeń powietrza w badanym obszarze przy wykorzystaniu wyników badań bieżących oraz historycznych</i>	25
<i>Próba określenia związków stężeń i składu chemicznego pyłu z warunkami topograficznymi, urbanizacją i meteorologią</i>	26
Podsumowanie	28
Propozycja praktycznego wykorzystania wyników badań.....	29
Literatura	29

Cel i zakres zadania

Celem prowadzonych badań jest określenie wzajemnych relacji pomiędzy zanieczyszczeniem powietrza, głównie pyłowym, w warstwie granicznej atmosfery (WGA) a zespołem czynników meteorologicznych, w sytuacji obserwowanych zmian klimatu i ich wpływ na społeczno-ekonomiczne uwarunkowania życia mieszkańców Polski, a przede wszystkim potencjalne skutki zdrowotne.

Pierwszy rok realizacji pracy, zgodnie z przyjętymi założeniami, upłynął głównie na zebraniu danych, przeglądzie literatury, wypracowaniu i weryfikacji metodyk, które zostaną zastosowane po zakończeniu części eksperymentalnej dla potrzeb analizy bazy danych. Każda z zaproponowanych dróg postępowania została przetestowana, a jej wyniki zamieszczone w części opisowej raportu.

Istotnym elementem zakresu prac w pierwszym roku realizacji zadania nr 2 był także zakup aparatury specjalnej, której uruchomienie rozpoczęło właściwy etap prac projektu.

Realizacja prac skupiała się w rozwiązywaniu trzech zadań cząstkowych, których zakres przedstawiono poniżej.

2.1. Identyfikacja głównych źródeł zanieczyszczeń z uwzględnieniem dalekiego transportu

- W oparciu o analizę trajektorii wstecznych (dla wybranych epizodów wysokich stężeń) oraz dane dotyczące inwentaryzacji emisji (krajowej i europejskiej), opracowana zostanie baza danych o głównych źródłach emisji mających potencjalnie wysoki udział w imisji na obszarze aglomeracji, szczególnie na przykładzie górnośląskiej i krakowskiej.
- Dla tej grupy źródeł zostaną określone macierze przejść umożliwiające ocenę tła lokalnego i regionalnego.

2.2. Identyfikacja zespołu czynników meteorologicznych odpowiedzialnych za groźne dla zdrowia stężenia zanieczyszczeń

- Identyfikacja zespołu czynników meteorologicznych odpowiadających za powstawanie tzw. epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń, które są zjawiskiem szczególnie niebezpiecznym dla zdrowia, w tym określenie związków tzw. wysokości warstwy mieszanania z wielkością stężeń zanieczyszczeń oraz wpływu typów cyrkulacji atmosfery na te zjawiska.

- Próby odtworzenia scenariuszy potencjalnego zagrożenia epizodami smogowymi w przeszłości (gdy dostępna była tylko informacja meteorologiczna i katalog sytuacji synoptycznych).
- Określenie zmienności czasowej potencjalnych zagrożeń aerosanitarnych w badanym regionie.
- Próba odpowiedzi na pytanie o ile zmienność klimatu może wpływać na zmienność potencjalnego zagrożenia smogowego.

2.3. Analiza składu zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w celu identyfikacji ich miejsca powstawania i występowania, wpływu na społeczeństwo i gospodarkę. Ocena przestrzenna rozkładu na obszarze Polski i zmienności okresowej

- Ocena udziału pierwotnych i wtórnych zanieczyszczeń w ocenie zagrożenia jakości powietrza w Polsce.
- Identyfikacja obszarów problemowych w zakresie imisji zanieczyszczeń i ich klasyfikacja w aspekcie narażenia na oddziaływanie źródeł lokalnych, regionalnych i kontynentalnych, z uwzględnieniem wagi czynników mikroklimatycznych i synoptycznych uwarunkowań imisji.

Wyniki realizacji Etapu I, II, III

Etap I: Zad. 2.1 Identyfikacja głównych źródeł zanieczyszczeń z uwzględnieniem dalekiego transportu

Cel badań i zakres wykonywanych prac

Celem niniejszego zadania było wypracowanie metodyki identyfikacji głównych źródeł zanieczyszczeń powietrza z uwzględnieniem dalekiego transportu. Dla osiągnięcia zamierzonego celu przeprowadzono następujące prace:

- określono rolę emisji zanieczyszczeń w kształtowaniu jakości powietrza,
- dokonano wyboru i przeprowadzono charakterystykę obszaru badań,
- określono cele w zakresie oceny jakości powietrza na podstawie wytycznych PMŚ,
- utworzono bazę wiedzy ze szczególnym uwzględnieniem bazy danych zanieczyszczenie-meteorologia,
- zaimplementowano metodykę trajektorii wstecznych do identyfikacji źródeł zanieczyszczeń:
 - dokonano przeglądu identyfikacji głównych źródeł zanieczyszczeń z uwzględnieniem dalekiego transportu,

- o opracowano metodykę określania tła lokalnego i regionalnego dla potrzeb określenia stanu zanieczyszczenia powietrza.

Metodyka badań

Zróznicowany charakter zadań cząstkowych niniejszego zadania wymagał stosowania różnych podejść metodycznych. W głównej mierze zdanie to skupiało się na tworzeniu koncepcji prowadzenia badań szczegółowych i wymagało przede wszystkim studiów literaturowych, przeglądu istniejącego prawodawstwa z zakresu ocen jakości powietrza, analizy możliwości wykorzystania istniejących baz danych o emisji zanieczyszczeń, warunkach meteorologicznych i stężeniach zanieczyszczeń. Rozproszone bazy danych emisyjnych, meteorologicznych, dostępnych systemów monitoringu oraz geograficznych połączono, tworząc tzw. bazę wiedzy przy wykorzystaniu metod stosowanych w teorii baz danych. Do identyfikacji źródeł zanieczyszczeń wykorzystywano zarówno ogólnodostępne w internecie programy obliczeniowe, jak też zaimplementowano własny model trajektorii wstecznych.

Charakterystyka osiągniętych wyników

Rola emisji zanieczyszczeń w kształtowaniu jakości powietrza

Pył zawieszony PM pochodzi zarówno ze źródeł antropogenicznych jak i naturalnych. Do tych ostatnich zalicza się między innymi: wybuchy wulkanów, pustynnienie, pożary lasów i stepów, sztormy, wietrzenie oraz erozja skał i gleb, pyłki kwiatowe i zarodniki roślin, bioaerazol, które wraz z pyłami pochodzenia kosmicznego stanowią naturalne tło zanieczyszczeń pyłowych Ziemi. Spośród antropogenicznych źródeł emisji pyłu najpowszechniejsze są: niektóre procesy przemysłowe w tym produkcja energii, spalanie paliw stałych, płynnych i gazowych, transport (samochodowy, kolejowy, morski, lotniczy), budownictwo, rolnictwo, hodowla zwierząt, bytowanie człowieka. Powyższy podział jest bardzo ogólny. Dla konkretnych celów można go uszczegóławiać między innymi stosując podział na przykład pod względem wielkości emitowanych cząstek z danego rodzaju źródła. W skali globalnej większość PM w atmosferze pochodzi ze źródeł naturalnych, stanowiąc zarazem tło dla cząstek pochodzenia antropogenicznego. Proporcje naturalnego i antropogenicznego PM są diametralnie różne dla różnych miejsc. Jak można przyjąć, że źródła naturalne są rozłożone równomiernie w skali globalnej Ziemi, tak źródła antropogeniczne umiejscowione w regionach przemysłowych mają charakter lokalny. W obszarach zurbanizowanych źródła naturalne mają mniejsze znaczenie w emisji pyłu niż

źródła antropogeniczne. Warto podkreślić, że dominacja źródeł antropogenicznych w różnych rejonach związana jest z emisją zwłaszcza drobnego pyłu, frakcji PM_{2,5}.

Problem emisji PM w tym drobnocząsteczkowego, z poszczególnych źródeł antropogenicznych został opisany w raporcie EMEP z 2009 r. Ogólnie stwierdzono, że w latach 2000-2007, biorąc pod uwagę kraje EU-27, emisja PM zmalała. Redukcja emisji została osiągnięta głównie poprzez użycie paliw o mniejszej zawartości siarki, zastąpienie paliwa węglowego i olejowego gazem naturalnym, wdrożeniem technologii ograniczających emisję oraz wzrastająca konkurencyjność rynkową pojazdów wyposażonych w katalizatory spalin (EEA, 2007). Ważnym wnioskiem jest również fakt, że zarówno w regionie wschodnim jak i zachodnim Europy, objętym badaniami, za główne źródło emisji uznaje się spalanie węgla w mieszkaniach. Ponadto duży udział ma również produkcja energii elektrycznej i ciepłej oraz spalanie stacjonarne w zakładach produkcyjnych (głównie w Europie Wschodniej). Transport drogowy także znacząco wpływa na emisję PM zarówno w regionach wschodnich jak i zachodnich.

Wybór i charakterystyka obszaru badań

Największe problemy dotyczące jakości powietrza we współczesnej Europie występują w aglomeracjach miejskich. Na obszarze takich aglomeracji żyje do 80% społeczeństwa UE, stąd troska o właściwą jakość powietrza w tych obszarach jest szczególnie duża. Przyjmując kryteria Unii Europejskiej w sprawie aglomeracji miejskiej za taką uznaje się zwarte skupisko miejskie zamieszkałe przez co najmniej 250 000 stałych mieszkańców. W mniejszej pracy jako obszar badawczy objęto tereny dwóch sąsiadujących województw Polski Południowej: śląskiego i małopolskiego. W obu aglomeracjach tego obszaru mieszka ogółem 1/3 ludności aglomeracji w Polsce i należą do jednych z najbardziej uprzemysłowionych obszarów kraju. Zarazem z względu na istniejące od wielu lat problemy ekologiczne w województwach tych jest też obecnie najlepiej rozwinięta sieć monitoringu jakości powietrza, a dane o stężeniach zanieczyszczeń stanowią długie ciągi obserwacyjne. Jeżeli dodatkowym argumentem może być stosunkowo bogata baza wiedzy o potencjalnych skutkach zdrowotnych zanieczyszczenia powietrza w przeszłości i duży potencjał badawczy tego regionu, to w tym momencie pojawia się odpowiedź na pytanie dlaczego dokonano wyboru tego obszaru jako miejsca szczegółowych badań „*Stanu zanieczyszczeń powietrza w Polsce i jego wpływ na jakość życia – możliwości ograniczenia skutków*”. Uzyskane rezultaty z tego terenu posłużą jako materiał wejściowy do uogólniania wniosków na obszar całego kraju.

Monitoring pyłu zawieszonego i ocena jakości powietrza

Duży postęp w monitorowaniu jakości powietrza wprowadziła automatyzacja pomiarów wybranych zanieczyszczeń w tym pyłu PM_{10} a obecnie na niektórych stacjach także pyłu respirabilnego ($PM_{2,5}$, PM_1). W aglomeracji krakowskiej jak i też w aglomeracji górnośląskiej powstały pierwsze w Polsce automatyczne systemy monitoringu jakości powietrza jeszcze w połowie lat 90. ubiegłego stulecia. Dopiero bowiem od 2005 roku automatyczny monitoring jakości powietrza stał się ustawowym obowiązkiem kontroli środowiska atmosferycznego w Polsce w ramach zadań Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). Monitoring ten funkcjonuje obecnie w strukturach Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ) jako sieci stacji podlegających Wojewódzkim Inspektoratom Ochrony Środowiska (WIOŚ).

Zgodnie z ustawą Prawo Ochrony Środowiska (Dz. U. z 2008 r., Nr 25, poz. 150 tekst jednolity z późn. zm., art. 89; art. 91, ust. 1) coroczną ocenę jakości powietrza wykonuje się dla tak zwanych stref, którą to strefę stanowi (art. 87, pkt 2):

- aglomeracja o liczbie mieszkańców większej niż 250 tysięcy, lub
- obszar jednego lub więcej powiatów położonych na obszarze tego samego województwa, nie wchodzący w skład aglomeracji, o której mowa powyżej.

Zgodnie z Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 marca 2008 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza, w województwie śląskim zdefiniowano dwie aglomeracje i osiem stref, a w województwie małopolskim – jedną aglomerację i dziesięć stref dla oceny pyłu zawieszonego. W niniejszym opracowaniu przyjęto podział na strefy obowiązujący w dniu sporządzania niniejszego raportu tj. zgodny z RMŚ w sprawie stref i aglomeracji, w których dokonuje się oceny jakości powietrza (Dz. U. z 2008 r. Nr 52, poz. 310) - pod kątem zawartości pyłu zawieszonego.

Poziom stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu

W RMŚ Dz. U. z 2008 r., Nr 52, poz. 310 norma PM_{10} obejmuje dwie wartości: stężenie średniodobowe $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wartość ta może być przekroczona przez nie więcej niż 35 dni w roku kalendarzowym, stężenie średnioroczne $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Obecnie nie ma regulacji prawnych odnośnie $PM_{2,5}$. Wyznaczenie wartości dopuszczalnej ma zostać poprzedzone w pierwszej fazie wartością docelową. Termin osiągnięcia wartości docelowej $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – wartość średnioroczna, ma zostać osiągnięty przez państwa członkowskie Unii Europejskiej 1 stycznia 2010 roku, a wartość dopuszczalna $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – 1 stycznia 2020 roku.

Z kolei Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) na bieżąco analizuje dane epidemiologiczne odnośnie poziomu zanieczyszczenia powietrza i związanych z tym skutków zdrowotnych. Wiadomo, że pył zawieszony PM o frakcji $\geq 2,5$ posiada zdolność przenikania do pęcherzyków płucnych i może stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzkiego. Wysoki poziom pyłu zawieszonego niekorzystnie wpływa na ludzi szczególnie z chorobami układu krążenia i oddechowego. Poziomy stężenie zanieczyszczeń jakie powinny być dotrzymane zalecane przez WHO są niższe od dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń zapisanych w Dyrektywie PE i Rady 2008/50/WE. Ostatnia aktualizacja wytycznych WHO proponuje następujące dopuszczalne poziomy dla pyłu zawieszonego (WHO AQGs, 2005):

- PM₁₀ stężenie średniodobowe 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, stężenie średnioroczne 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- PM_{2,5} stężenie średniodobowe 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, stężenie średnioroczne 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Baza wiedzy

Pod pojęciem bazy wiedzy gromadzonej dla potrzeb niniejszej pracy będzie się rozumieć wszelkie zgromadzone w celu rozwiązania zagadnień związanych z realizacją zadania informacje z dziedziny: meteorologii, ewidencji emisji zanieczyszczeń, stężeń zanieczyszczeń, warunków: ekonomicznych, topograficznych, demograficznych, ekologicznych, zdrowotnych i innych.

Baza wiedzy w tym przypadku stanowi zbiór otwarty co oznacza, że jest ona na bieżąco uzupełniania o nowe dane z wielu dziedzin przydatne do uzyskania pełniejszej wiedzy o rozwiązywanych zagadnieniach. Wykorzystanie bazy wiedzy obejmuje przede wszystkim zaawansowane matematyczne metody statystyczne, w tym analiza wielowymiarowa i tzw. metody eksploracji danych.

Ze względu na główny kierunek prac związany z określeniem wpływu warunków meteorologicznych na stan jakości powietrza w tej części pracy przede wszystkim korzystano z bazy wiedzy warunków meteorologicznych, bazy wiedzy warunków imisyjnych i ewidencji emisji zanieczyszczeń. Każda z tych baz powstała z przetworzenia zbiorów danych odpowiednich instytucji zajmujących się statutowo gromadzeniem informacji z danej dziedziny. Największe problemy logistyczne powstały przy tworzeniu bazy danych emisyjnych. Obszar Śląska i Małopolski zawiera wiele źródeł emisji, w tym znaczą część o charakterze emisji niezorganizowanej, zatem jej skompletowanie było zadaniem bardzo trudnym i czasochłonnym. W ramach tego zadania m.in. stworzono podstawy metodyczne, opracowano i zweryfikowano bazę wiedzy danych zanieczyszczenia-meteorologia.

Przegląd metod identyfikacji głównych źródeł zanieczyszczeń metodą trajektorii wstecznych

Przez ostatnie kilkadziesiąt lat zanieczyszczenia atmosferyczne stały się problemem międzynarodowym w Europie. Emisje w jednym z państw mogą powodować szkody w innym. Zanieczyszczenia atmosferyczne są istotnym elementem degradacji środowiska w całej Europie, w tym również w Polsce. Do poznania mechanizmów tej degradacji i jej zapobiegania niezbędne jest tworzenie narzędzi, pozwalających na ocenę aktualnego stanu środowiska naturalnego i prognozowanie proekologicznych działań gospodarczych i społecznych.

Początkowo sądzono, że zanieczyszczenia środowiska będą miały wpływ jedynie lokalny, głównie na obszary miejskie. Z tego powodu pierwsze badania jakości powietrza obejmowały duże miastach, zarówno w USA, jak i w Europie. Podobnie, pierwsze próby numerycznej symulacji transportu i transformacji zanieczyszczeń podejmowano w skali od lokalnej do regionalnej. W tym kontekście, przez długi czas postrzegano, że problemy skali miejskiej mogą być traktowane z pomocą mezoskalowych modeli zanieczyszczeń powietrza, gdzie rozważa się bądź wystarczająco duży obszar, lub ustalone są dokładne warunki graniczne. Poglądy te okazały się nieadekwatne do rzeczywistości, kiedy to zanieczyszczone powietrze – poprzez transport w wysokich warstwach atmosfery – staje się odczuwalne i realne również w skali regionalnej. Niezbędne zatem stało się przygotowanie narzędzi, które będą w stanie zwiększyć ogólną i szczegółową wiedzę o tym problemie – w skali całego świata. Takimi narzędziami, ogólnie rzecz ujmując, są modele i systemy modelowania dyspersji atmosferycznej zanieczyszczeń.

Opis systemów modelowania transportu zanieczyszczeń powietrza

W skład systemu, określanego jako „model transportu zanieczyszczeń powietrza” wchodzi następujące elementy:

- moduł terenowy (wysokość nad poziomem morza, rodzaj pokrycia itp.) do wykorzystania przez moduł meteorologiczny, emisji i dyspersji,
- moduł pozwalający na wyznaczenie pola wiatru i innych niezbędnych parametrów meteorologicznych, określane czasem jako preprocesor meteorologiczny,
- model emisji, wykorzystujący dane z preprocesora meteorologicznego i niekiedy informacje o terenie,
- właściwy model dyspersji (rozprzestrzeniania się skażeń).

W powyższym schemacie rolę preprocesora meteorologicznego odgrywa mezoskalowy model meteorologiczny COSMO-LM, działający operacyjnie w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Wykorzystując bieżące dane, uzyskiwane z modelu meteorologicznego, można w sposób operacyjny obliczać trajektorie wychodzące z zadanego punktu. Możliwości operacyjnego wykorzystania takiego modułu, zasilanego bieżącymi danymi prognostycznymi, ogniskują się przede wszystkim w sferze prognozy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza w wybranych punktach w domenie modelu. Można, bazując na wiarygodności prognozy - określić, w jakim kierunku rozprzestrzeniać się mogą zanieczyszczenia w ciągu najbliższych dni. Warto również pamiętać, że prognoza dyspersji danego zanieczyszczenia może być w warunkach tego wymagających odnawiana i korygowana co dwanaście godzin.

Procedura obliczania trajektorii wychodzących z zadanego punktu obejmuje:

1. Wyznaczenie współrzędnych x , y , z punktu startowego (poprzez wybór punktu z mapy, wprowadzenie współrzędnych lub wybór lokalizacji np. jednej z elektrowni atomowych).
2. Określenie wartości pól wiatru u , v , w dla danego punktu.
3. Określenie przesunięcia cząstki powietrza wychodzącej z danego punktu na bazie równań określających położenie w $n+1$ kroku czasowym z wykorzystaniem wartości pola wiatru w n -tym kroku.
4. Powtórzenie poprzedniego punktu odpowiednią ilość razy dla policzenia całej trajektorii.

W pracy przetestowano dla obszaru Śląska i Małopolski dwa podejścia do problemu transportu zanieczyszczeń tj. lagranżowskie i eulerowskie.

Identyfikacja potencjalnych odległych źródeł emisji wpływających na stężenie PM_{10} w zimie na Śląsku i w Małopolsce metodą trajektorii wstecznych

W pracy podjęto próbę identyfikacji odległych źródeł emisji wpływających na wielkość rejestrowanej imisji PM_{10} na Śląsku i w Małopolsce. Do tego celu wykorzystano trajektorie wsteczne obliczone modelem HYSPLIT. Każdej trajektorii przyporządkowano wartość imisji w miejscu jej inicjacji. Efekt występowania większego błędu położenia trajektorii przy większej zmienności przestrzennej pola wiatru uwzględniono poprzez jednoczesną analizę danych z 9 stacji monitoringu jakości powietrza z Małopolski i Śląska oraz trzech różnych wysokości trajektorii w miejscu inicjacji. Końcowa analiza uwzględniała informację o wysokości smugi a także o wysokości opadu wzdłuż obliczanych trajektorii. Do

identyfikacji potencjalnych źródłowych obszarów emisji wykorzystano program SURFER, umożliwiającą zaawansowaną analizę danych obszarowych. Interpoluje on, stosując różnorodne metody, dane z nierównomiernie rozłożonych punktów do równomiernej siatki gridowej. Porównano różne metody interpolacji (*kriging, inverse distance to power, naturalnych sąsiadów* oraz oparte o różne charakterystyki statystyczne), ostatecznie decydując się na zastosowanie metody interpolacji opartej o obliczenia wartości dolnego kwartyła. Wartości dolnego kwartyła obliczano dla obszaru elipsy, której rozmiary powiązano z wielkością szacowanego błędu wyznaczenia trajektorii. Wyznaczenie trajektorii wstecznych przeprowadzono dla okresu 1. XI. 2005 – 28. II. 2006. W ten sposób analiza objęła dni z najsilniejszymi epizodami smogowymi z lat 2005-2008, jednocześnie uwzględniając dni z niskimi stężeniami zanieczyszczeń. Przy obliczaniu trajektorii wstecznych porównano rezultaty uzyskane dla trzech różnych rodzajów globalnych danych meteorologicznych (GDAS, FNL i REANALYSIS). Ostatecznie analizę oparto o dane FNL obliczone dla hemisferycznej siatki gridowej 129 x 129 w projekcji polarnej stereograficznej. W celu określenia do jakiego momentu wstecz stężenia PM_{10} w miejscu docelowym mogą być powiązane z obszarami źródłowymi obliczono korelacje wysokości opadu rejestrowanego wzdłuż trajektorii z wysokością emisji osobno dla różnych opóźnień czasowych. Otrzymany rezultat może świadczyć o tym, że analiza powinna opierać się raczej na trajektoriach obliczanych wstecz do około 24 h. Dało to podstawy do ograniczenia ostatecznej wielkości obszaru identyfikacji źródeł do obszaru Europy.

Określenie tła lokalnego i regionalnego zanieczyszczeń dla potrzeb określenia stanu zanieczyszczenia powietrza w Polsce

Do oceny wielkości tła lokalnego i regionalnego posłużono się wynikami badania napływu zanieczyszczeń z różnych odległości, wykorzystując metodę trajektorii wstecznych. Metoda oceny została opracowana dla obszarów pilotowych to jest obszaru Polski Południowej – Śląska i Małopolski.

Pod pojęciem trajektorii wstecznych bliskiego transportu będziemy rozumieli trajektorie cząstek zanieczyszczeń o długości od 50 m do około 30 km. Kluczowym problemem dla obliczania trajektorii wstecznych jest jak najbardziej dokładne oszacowanie trójwymiarowego pola wiatru. Dla trajektorii wstecznych bliskiego transportu konieczne jest szacowanie wektora wiatru w drobnej siatce o oczkach rzędu setek metrów. Przy prędkościach wiatru 0-3 m/s w ciągu 3 godzin cząsteczka przebywa drogę od 0 - 30 km i tam

powinno się szukać emitorów lokalnych. W opracowaniu zaproponowano ciągle oszacowanie wektora wiatru zarówno jeżeli chodzi o przestrzeń jak i czas.

Dane do obliczania trajektorii wstecznych

Jedynymi danymi, w których opisywane jest trójwymiarowe pole wiatru, ze stałym krokiem czasowym, są dane z modelu numerycznej prognozy pogody COSMO-LM. Dwuwymiarowe pole wiatru obliczane jest w siatce prostokątnej na powierzchni Ziemi o boku około 14 km. Ponadto w tych samych punktach oblicza się pole wiatru na wysokości geopotencjalnej 950 hPa, co oznacza na terenie województwa śląskiego oraz małopolskiego (przynajmniej w tych rejonach w których mierzona jest imisja zanieczyszczeń) wysokość 300-500 m nad poziomem gruntu (n.p.gr.).

Wykorzystując te informacje opracowano własny algorytm obliczania trajektorii wstecznej, który następnie zastosowano w obliczeniach dla wybranych sytuacji epizodów wysokich stężeń pyłu w badanym obszarze modelowym.

Etap II: Zad. 2.2 Identyfikacja zespołu czynników meteorologicznych odpowiedzialnych za groźne dla zdrowia stężenia zanieczyszczeń

Cel badań i zakres wykonywanych prac

Celem niniejszego zadania było wypracowanie metodyki identyfikacji zespołu czynników meteorologicznych odpowiedzialnych za groźne dla zdrowia stężenia zanieczyszczeń. Dla jego realizacji zrealizowano następujące prace:

- dokonano wyboru kryteriów klasyfikacji zagrożenia epizodami wysokich stężeń zanieczyszczeń,
- stworzono podstawy metodyczne i dokonano wyboru modelowych epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń pod kątem diagnozy sytuacji meteorologicznej,
- opracowano metodykę odtworzenia scenariuszy potencjalnego zagrożenia smogowego w przeszłości,
- opracowano i przetestowano metodykę badania wpływu zmienności klimatu na zmienność potencjalnego zagrożenia smogowego.

Metodyka badań

W zależności od rodzaju zagadnień w tej części pracy posługiwano się metodami:

- statystyki opisowej,
- analizy regresji,

- zaawansowanych metod wnioskowania w tym m.in. metodę głównych składowych, analizę dyskryminacyjną, grupowanie metodą k – najbliższych sąsiadów, rzutowanie Samsona, samoorganizujące się mapy Kohonena, elementy tzw. logiki rozmytej.

Charakterystyka osiągniętych wyników

Wybór kryteriów klasyfikacji zagrożenia epizodami wysokich stężeń zanieczyszczeń

Ustawodawstwo polskie definiuje tzw. sytuacje alarmowe, które skutkować powinny wprowadzeniem działań krótkoterminowych (ustawa Poś, RMS) jednak powszechność występowania takich sytuacji powoduje, że wprowadzenie działań zaradczych w praktyce jest nieskuteczne ze względu na trudne do oszacowania skutki społeczne i ekonomiczne. Stąd istnieje pilna potrzeba określenia takich sytuacji, które szczególnie ze względu na związek z warunkami meteorologicznymi mogą faktycznie zagrażać zdrowiu i życiu społeczności obszarów, gdzie takie warunki sanitarne powietrza występują.

W niniejszej pracy zastosowano następujące podejścia :

- prawne: - związane z przekroczeniem normy dobowej stężenia $PM_{10} > 50 \mu g/m^3$, więcej niż 35 razy w roku kalendarzowym),
- związane z poziomem alarmowym wynoszącym $200 \mu g/m^3$ (stężenie średnie dobowe PM_{10}) tj. wartość progowa informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia przez trzy kolejne doby niekorzystnych skutków zdrowotnych;
- statystyczne: - oparte na lokalnych warunkach meteorologicznych i topograficznych w powiązaniu ze skutkami zdrowotnymi, związane z przekroczeniem dobowego stężenia zanieczyszczeń $PM_{10} > 150 \mu g/m^3$ i $PM_{2,5} > 40 \mu g/m^3$ („niezdrowa jakość powietrza”).

Analiza tych pierwszych przypadków polegała na badaniu zależności występowania takich sytuacji od warunków meteorologicznych identyfikowanych za pomocą tzw. typów cyrkulacji atmosfery. Metoda ta, przy zastosowaniu obiektywnej klasyfikacji typów cyrkulacji, pozwala na kompleksową ocenę wpływu czynników meteorologicznych na jakość powietrza. Z dużym przybliżeniem można bowiem typ cyrkulacji utożsamiać z określonym przebiegiem warunków meteorologicznych, a na pewno z typem napływu mas powietrza.

Do bardziej szczegółowej analizy przypadków o wyższych dobowych stężeniach pyłu PM_{10} wykorzystano charakterystykę zespołu elementów meteorologicznych, wiążąc je z zanieczyszczeniami powietrza przy wykorzystaniu zaawansowanych metod statystycznych. Obie metody znakomicie się uzupełniają.

Analiza zależności występowania wysokich stężeń PM_{10} od typów cyrkulacji Lityńskiego

Celem tego zadania było wyznaczenie typów cyrkulacji Lityńskiego, dla których najczęściej występują przekroczenie normy PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i wyznaczenie typów, dla których występują szczególnie wysokie stężenia PM_{10} .

Analizę wykonano dla dwóch okresów zimnej pory roku (październik – marzec, listopad – luty) w latach 2005-2007, dla dwóch obszarów oddzielnie (woj. śląskie – 15 stacji i woj. małopolskie – 12 stacji). Do analizy przyjęto klasyfikację typów cyrkulacji Lityńskiego.

Analizę wykonano oddzielnie dla następujących wybranych dni pomiarowych: 1 - przekroczenia normy PM_{10} minimum na 1 stacji, 2 - dni z pomiarami minimum na 50% stacji, 3 - dni z pomiarami minimum na 50% stacji i przekroczeniami normy minimum na 50% stacji z danymi, 4 - dni z pomiarami minimum na 50% stacji i przekroczeniami normy minimum na 75% stacjach z danymi. Uwzględniono podział na krotkość przekroczeń normy PM_{10} . Obliczono także, dla każdego typu cyrkulacji oddzielnie i dla każdego obszaru oddzielnie, występowanie ilości przekroczeń normy PM_{10} .

Analiza epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń pod kątem diagnozy sytuacji meteorologicznej

Zarówno warunki meteorologiczne jak i czynniki lokalne mają istotne znaczenie w kształtowaniu się stężeń zanieczyszczeń powietrza, w tym pyłu zwieszonego. Ocenia się, że te pierwsze mogą nawet w 70% determinować warunki rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Zjawisko to nabiera szczególnego znaczenia w chłodnej porze roku. W tym czasie jak wiadomo czynniki meteorologiczne mogą wpływać na imisję pyłu poprzez między innymi:

- termiczne sterowanie niską emisją komunalną (wzrost zapotrzebowania na ogrzewanie powoduje wzrost emisji),
- zwiększenie stężeń zanieczyszczeń pyłowych związanych z niekorzystnymi warunkami wentylacyjnymi atmosfery.

W rozdziale przeprowadzono analizę wpływu warunków meteorologicznych na poziom stężenia zanieczyszczeń pyłu i wyodrębniono zespół czynników meteorologicznych odpowiadający za powstawanie epizodów wysokich stężeń tego zanieczyszczenia. Wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że generalizując można wyodrębnić dwa główne typy epizodów wysokich stężeń zanieczyszczeń. Cechą wspólną obu jest występowanie sytuacji wyżowej o podobnych wartościach ciśnienia, przy czym pierwszy typ charakteryzujący się nieco większymi stężeniami średniodobowymi i jest powszechniejszy od typu drugiego.

Wykorzystanie informacji z naziemnych stacji meteorologicznych do oceny warunków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji epizodów smogowych

Najpowszechniejszą informacją o warunkach meteorologicznych rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń jest ta pochodząca ze stacji naziemnych. W praktyce monitoringu jakości powietrza źródłem takiej informacji są: stacje meteorologiczne IMGW a także oprzyrządowanie meteorologiczne stacji monitoringu jakości powietrza.

Ze względu na fakt, że stacje monitoringu jakości powietrza lokalizowane są przede wszystkim ze względu na kryterium prawidłowej oceny stężeń zanieczyszczeń często do celów identyfikacji wpływu warunków meteorologicznych na powstawanie tzw. epizodów smogowych wykorzystuje się dane ze stacji IMGW lokalizowanych zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO). Wynika to również z faktu, że stacje IMGW realizują większy zakres pomiarowy. Ma to szczególne znaczenie na przykład w przypadku oceny tzw. klasy stabilności atmosfery, której wyznaczenie jest niezwykle pomocne przy identyfikowaniu warunków dyspersji zanieczyszczeń. Z drugiej strony stosowanie na coraz szerszą skalę metod eksploracji danych wymaga dostępu do dużej liczby danych obserwacyjno-pomiarowych, które zapewniają tylko stacje IMGW. Wreszcie dane stacji meteorologicznych IMGW służą do weryfikacji pomiarów elementów meteorologicznych wykonywanych na sieci monitoringu jakości powietrza. Analizując warunki topoklimatyczne badanych obszarów można z pewnym przybliżeniem przyporządkować stacje meteorologiczne IMGW warunkom meteorologicznym występującym na stacjach monitoringu jakości powietrza. Szczególnym przykładem wykorzystania informacji meteorologicznej do oceny warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji epizodów smogowych jest zastosowana w niniejszej pracy metoda odwzorowanie Sammona do identyfikacji sytuacji meteorologicznych odpowiedzialnych za ich powstawanie.

Wykorzystanie informacji teledetekcyjnych do oceny warunków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w WGA

Zinterpretowano rejestrogramy sodarowe z miejskiej stacji meteorologicznej w Krakowie-Czyżynach, obejmujące lata 2005-2008, z jednogodzinną rozdzielczością czasową. Wyodrębniono trzy podstawowe typy równowagi atmosfery w obrębie WGA (warstwy granicznej atmosfery): stałą (obserwowaną porą nocną, charakteryzującą się obecnością tzw. inwersji dolnej, ograniczającej pionową dyspersję zanieczyszczeń powietrza), obojętną

(typową dla izotermii, podczas występowania której nie obserwuje się ech sodarowych; do tej grupy zaliczono również sytuacje ze znaczną, > 4 m/s prędkością wiatru, homogenizującego termiczne struktury WGA oraz występowanie opadów) oraz chwiejną (identyfikowaną występowaniem, wymuszanych gradientem temperatury pionowych ruchów konwekcyjnych, wydatnie sprzyjających wertykalnemu rozprzestrzenianiu zanieczyszczeń). Pozyskano ogółem zbiorów ponad 32000 jednostek pomiarowych umożliwiające wykazanie podstawowych zależności zasadniczych parametrów imisji od stanów równowagi atmosfery na drodze statystycznej. Uzyskane wyniki przeanalizowano pod kątem występowania wysokich stężeń zanieczyszczeń głównie pyłowych, uzyskując model statystyczny tych zależności.

Scenariusze potencjalnego zagrożenia smogowego w przeszłości

Celem tej części pracy było wyodrębnienie sytuacji meteorologicznych, które potencjalnie odpowiadają za wystąpienie zagrożenia smogowego w przeszłości, i które można zidentyfikować nawet w przypadku braku możliwości zweryfikowania uzyskanych danych poprzez dane pomiarowe stężeń zanieczyszczeń (np. w przypadku braku pomiarów). Stworzenie listy takich sytuacji ma posłużyć do klimatologicznej oceny zmienności warunków meteorologicznych odpowiedzialnych za epizody smogowe w dłuższym horyzoncie czasowym, bez odwoływania się do danych o zanieczyszczeniach. Wynika to z faktu, że historyczne bazy danych klimatologicznych są o wiele bardziej liczne niż historyczne dane o zanieczyszczeniach. Wykorzystując tylko dane o warunkach meteorologicznych potencjalnie sprzyjających niekorzystnym sytuacjom aerosanitarnym można przy użyciu modeli klimatycznych opracować scenariusze potencjalnych niebezpiecznych sytuacji smogowych w przyszłości. Nie ulega co prawda dyskusji, iż zagrożenia związane z emisją wysokich stężeń zanieczyszczeń, szczególnie pyłowych, przy zachowaniu obecnych technologii, a także przy stosowaniu zaleceń Dyrektywy 2008/50/WE w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy będą małe, jednak zagrożenia związane z koncentracją nawet śladowych ilości pyłu w warunkach meteorologicznie niekorzystnych pozostaną.

Jest wiele metod, które mogą posłużyć takiej ocenie, jednak autorom pracy szczególnie wartościowa wydała się metoda zmniejszania (zwijania) wymiarów znana pod nazwą odwzorowanie Sammona. Jej szczegółowy opis przedstawiono w rozdziale poprzednim. Metoda ta o tyle wydaje się atrakcyjna, iż z pierwotnie zdefiniowanych kilkudziesięciu czynników i elementów meteorologicznych odpowiedzialnych za niekorzystne warunki

aerosanitarne uzyskuje się bezwymiarowe wskaźniki, które w sposób hierarchiczny można przyporządkować na osi czasu.

Badanie wpływu zmienności klimatu na zmienność potencjalnego zagrożenia smogowego

Obserwowana obecnie zmienność klimatu jest faktem i różne gremia naukowców tego nie kwestionują. Przedmiotem otwartej dyskusji pozostają przyczyny tych zmian - naturalne czy antropogeniczne i w jakim stopniu poszczególne czynniki odpowiadają za ten stan rzeczy. Jednym z wymiernych efektów zmienności klimatu jest obserwowany wzrost temperatury powietrza, który spowodowany jest nie tylko efektem cieplarnianym, ale również wynikiem „czystszej” atmosfery. Konsekwencją rewolucji przemysłowej rozpoczętej w połowie lat 50. ubiegłego wieku była intensywna emisja różnych związków chemicznych w tym szczególnie pyłowych do atmosfery, tworzących w powietrzu aerozole, które powodowały osłabienie docierającego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi. Mimo, że zjawisko to do lat 70. było intensywne i choć równocześnie do powietrza trafiało coraz więcej gazów cieplarnianych, nie obserwowano bezpośrednich skutków ocieplania się klimatu. Efekt cieplarniany postępował „ale nie robiło się od tego cieplej”, ponieważ do powierzchni Ziemi docierało coraz mniej światła słonecznego. Współodkrywca tego zjawiska Atsumu Ohmura nazwał je w 1989 roku „zaciemnieniem”. Jednak hipoteza ta, oparta zresztą na wynikach badań radiometrycznych, że w okresie 30-lecia (1960-1990) zmniejszyła się o kilka procent ilość promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi, jak zwykle podzieliła badaczy na jej zwolenników i przeciwników. Wyniki badań zwolenników hipotezy „zaciemnienia” były przyjmowane z niedowierzaniem przez sceptyków. Zwracali oni uwagę na nieporównywalność wyników pomiarów wynikającą z różnej klasy stosowanych przyrządów (radiometrów), błędu pomiaru, zmianę sposobu wykonywania pomiarów, nierównomierność ich rozmieszczenia na kuli ziemskiej (głównie lokalizowane były na łąkach i obejmowały w większości tereny miejskie, gdzie atmosfera była najbardziej zanieczyszczona), tym samym podważając ich precyzję i wiarygodność. Natomiast kolejne badania zwolenników potwierdzały to zjawisko, chociaż otrzymywano wyniki różniące się, co do tempa zmniejszania docierającej energii słonecznej do atmosfery ziemskiej. Od lat 80. XX wieku na skutek zmian w sektorze gospodarki przemysłowej, szczególnie krajów europejskich, ulegała stopniowej redukcji emisja zanieczyszczeń i atmosfera stawała się coraz przejrzystsza. Jednak dopiero w latach 90. powstała pierwsza jednorodna globalna sieć pomiarów radiometrycznych *Baseline Surface Radiation Network* (BSRN). W analizach danych zaczęto także wykorzystywać wyniki pomiarów satelitarnych. Tak naprawdę termin „globalne

zaciemnienie” przyjął się „na dobre” dopiero w I. połowie lat 90. Obecnie powszechnie akceptowany jest pogląd, że część światła słonecznego zatrzymywana jest przez zanieczyszczone powietrze (sadzą, aerozolami). Z drugiej strony obecność aerozoli w powietrzu przyczynia się również do powstawania chmur składających się z kropelek zbyt małych, aby mogły powodować opad atmosferyczny i tym samym chmury ograniczają również dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi. Na skutek tego klimat w przyszłości może być ciemniejszy i bardziej suchy. W wyniku polepszenia się jakości powietrza od początku lat 90. i w związku z tym zwiększenia przezroczystości atmosfery zaobserwowano stosunkowo szybki wzrost temperatury powietrza. Czyli z jednej strony zanieczyszczone powietrze negatywnie wpływa na florę i faunę na Ziemi, z drugiej strony stanowi przeciwwagę dla efektu cieplarnianego. Na podstawie pomiarów grubości optycznej aerozoli oraz natężenia promieniowania słonecznego na kilku stanowiskach pomiarowych w Europie oszacowano, że za wzrost temperatury powietrza w około 50% odpowiada zmniejszenie się ilości aerozoli w powietrzu (Ruckstuhl C. i in., 2008). Według innych badaczy znaczenie tego zjawiska w ocieplaniu się klimatu jest znacznie mniejsze (Makowski K. i in., 2008). Jednym z przejawów rozjaśnienia się atmosfery jest stopniowe zwiększanie się dobowej amplitudy temperatur (Makowski K. i in., 2008).

Analiza wyników przeprowadzona dla wybranych stacji meteorologicznych zlokalizowanych w obszarze badań (województwo śląskie i małopolskie) wykazała, że w badanym wieloleciu różnica pomiędzy dobową temperaturą maksymalną wykazywała tendencję dodatnią, przy czym najbardziej zauważalną zmianę wykazały miesiące maj i listopad. Obserwuje się również zmniejszenie się ilości dni mgłą czy zamgleniem (Vautard R. i in., 2009) oraz zwiększył się udział obserwacji widzialności powyżej kilkudziesięciu kilometrów. Analiza danych ze stacji synoptycznych wykazała, że od roku 1991 obserwuje się sukcesywny wzrost udziału procentowego w całkowitej liczbie obserwacji widzialności powyżej 20 km, który obecnie stanowi około 40%.

Tak, więc zmniejszenie poziomu emisji zanieczyszczeń do atmosfery z jednej strony ujawniło rozmiary postępującego efektu zmian klimatu. Z drugiej strony, obecnie notowane poziomy stężenie zanieczyszczeń pyłowych, wciąż stanowią problem ekologiczny i niekorzystnie oddziałują na środowisko i zdrowie ludzi.

Etap III: Zad. 2.3 Analiza składu zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w celu identyfikacji ich miejsca powstawania i występowania, wpływu na społeczeństwo i gospodarkę. Ocena przestrzenna rozkładu na obszarze Polski i zmienności okresowej

Cel badań i zakres wykonywanych prac

Celem niniejszego zadania jest dokonanie analizy składu zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w celu identyfikacji ich miejsca powstawania i występowania, wpływu na społeczeństwo i gospodarkę, a także ocena przestrzenna rozkładu zanieczyszczeń na obszarze Polski i zmienności okresowej. Zakres prac obejmował:

- ocenę udziału pierwotnych i wtórnych zanieczyszczeń w ocenie zagrożenia jakości powietrza w Polsce,
- identyfikację obszarów problemowych w zakresie emisji zanieczyszczeń i ich klasyfikację w aspekcie narażenia na oddziaływanie źródeł lokalnych, regionalnych i kontynentalnych, z uwzględnieniem wagi czynników mikroklimatycznych i synoptycznych uwarunkowań emisji.

Cele te realizowano opracowując następujące zadania cząstkowe:

- określenie potencjalnych warunków meteorologicznych transportu transgranicznego pyłu drobnej frakcji przez Bramę Morawską z Czech do Polski i odwrotnie,
- opracowanie koncepcji prowadzenia badań i pomiarów pyłu i nanocząstek,
- badanie składu granulometrycznego pyłu w miejscach poboru próbek,
- opracowanie rozkładu czasoprzestrzennego zanieczyszczeń powietrza w badanym obszarze przy wykorzystaniu wyników badań bieżących oraz historycznych.

Metodyka badań

Ze względu na zróżnicowany charakter zadania, szczegółowa metodyka prac została podana przy omawianiu poszczególnych zadań cząstkowych.

Charakterystyka osiągniętych wyników

Ocena udziału pierwotnych i wtórnych zanieczyszczeń w ocenie zagrożenia jakości powietrza w Polsce

W ramach prac przy realizacji niniejszego zadania opracowano metodykę oceny udziału pierwotnych i wtórnych zanieczyszczeń powietrza wykorzystując utworzone w zadaniu 2.1 bazy danych emisji zanieczyszczeń i stosowane w literaturze wskaźniki udziału poszczególnych rodzajów emisji w emisji całkowitej. Na tej podstawie i przy wykorzystaniu

modelu CALPUFF dokonano próby modelowania udziału stężeń zanieczyszczeń pierwotnych i wtórnych na obszarze południowej części województwa śląskiego. Kolejnym etapem pracy było określenie potencjalnych warunków meteorologicznych transportu transgranicznego pyłu drobnej frakcji przez Bramę Morawską z Czech do Polski i odwrotnie, jako czynnika mającego znaczny wpływ na stężenie zanieczyszczeń w Raciborzu, gdzie zlokalizowano aparaturę do pomiaru pyłu, zakupioną dla potrzeb niniejszego projektu.

W zależności od rodzaju zagadnień w tej części pracy posługiwano się metodami:

- statystyki opisowej,
- analizy regresji,
- zaawansowanych metod wnioskowania,
- opracowaną w zadaniu 2.1 metodą trajektorii wstecznych,
- modelowaniem matematycznym przy wykorzystaniu modelu CALPUFF.

Opracowanie koncepcji prowadzenia badań, pomiarów pyłu i nanocząstek

Skład frakcyjny aerozolu jest pochodną zachodzących stale w atmosferze procesów: kondensacji, nukleacji, parowania, przemian chemicznych i osiadania na podłożu usuwania w wyniku wymywania przez opady itd. Poznanie własności fizykochemicznych aerozolu atmosferycznego umożliwia określenie jego pochodzenia, procesu powstawania, kierunku dalszych przemian, czy też ekotoksyczności. Z uwagi na specyfikę emisji pyłowo-gazowej w naszym kraju, zdominowanej przez emisje pochodzące ze spalania paliw kopalnych, oraz gwałtowny wzrost emisji komunikacyjnej, problem poznania i określenia profilu fizykochemicznego aerozoli atmosferycznych odgrywa kluczową rolę w ocenie zagrożenia populacji. W praktyce zarządzania jakością powietrza uwaga koncentrowała się na zagadnieniach pierwotnej emisji cząstek stałych. Z chwilą wprowadzenia norm na $PM_{2,5}$ pojawiła się konieczność rozważania udziału wtórnych aerozoli powstających w wyniku przemian chemicznych i fotochemicznych i ich roli w kształtowaniu zjawisk klimatycznych oraz ich wpływu na standard życia populacji.

Zatem celem niniejszego zadania jest opracowanie koncepcji prowadzenia kompleksowych badań aerozoli atmosferycznych, jako istotnego czynnika wpływającego na jakość życia mieszkańców obszarów zurbanizowanych i czynnika istotnego w bilansie radiacyjnym atmosfery. Zakres pracy obejmuje analizę dostępnych metod pomiaru aerozoli, dobór aparatury do badań, wybór lokalizacji i określenie założeń technicznych oraz organizacyjnych prowadzenia planowanych w projekcie kampanii pomiarowych.

Koncepcję prowadzenia pomiarów aerozoli opracowano w oparciu o analizę danych literaturowych dotyczących problematyki pomiaru składu fizykochemicznego wybranych frakcji aerozolu atmosferycznego, a także analizę możliwości wykorzystania posiadanej przez IMGW i IPIŚ PAN specjalistycznej aparatury pomiarowej oraz oprogramowania do analizy danych.

W raporcie podsumowującym realizację zadania przedstawiono zasady pomiaru oraz charakterystykę techniczną dostępną dla wykonawców projektu aparatury do badań składu fizykochemicznego aerozoli atmosferycznych. Wskazano lokalizację i określono warunki pomiarowe dwóch poletek badawczych: w Raciborzu - obszar monitorowania transgranicznego napływu zanieczyszczeń z rejonów południowo zachodnich państw UE i Zabrze - obszar o wysokiej antropopresji związany z dużą koncentracją przemysłu i gospodarką komunalną opartą na węglu, tło obszaru typowe dla warunków dużej aglomeracji miejsko-przemysłowej o potencjalnie znaczącym wpływie na klimat lokalny i regionalny. Zaproponowano program pomiarowy obejmujący następujące badania:

1. Badania równoległe:

- badanie liczebności cząstek w zakresie 0.03 nm - 1 μ m,
- badanie stężeń i liczebności cząstek w zakresie 1 - 40 μ m,
- badania współczynników rozpraszania i odbicia wstecznego w trzech zakresach długości fal promieniowania świetlnego (pasmo żółte, zielone i czerwone).

2. Pomiary dodatkowe:

- pomiary podstawowych parametrów meteorologicznych (prędkość, kierunek wiatru, temperatura, wilgotność, opad atmosferyczny).

3. Pomiary uzupełniające (okresowe):

- pomiar stężeń BC (ang. *black carbon*),
- pobór prób do badań składu chemicznego frakcji PM₁, PM_{2,5}.

Badanie składu granulometrycznego pyłu w miejscach poboru próbek

Celem zadania są następujące:

- poznanie własności fizycznych (składu frakcyjnego) aerozolu atmosferycznego,
- zgromadzenie danych dla potrzeb analiz w zakresie określenia źródeł jego pochodzenia,
- określenia profilu (składu frakcyjnego) aerozoli atmosferycznych dla potrzeb oceny zagrożenia populacji,

- zgromadzenie danych dla potrzeb modelowania statystycznego w zakresie zmienności składu frakcyjnego nanoaerozoli.

W raportowanym okresie zakres badań prac obejmował:

- przygotowanie stanowisk badawczych,
- instalację aparatury pomiarowej,
- wykonanie infrastruktury do transmisji danych,
- kalibrację aparatury,
- próbne testy pracy.

Dla potrzeb badań składu granulometrycznego pyłu w miejscach badań wytypowano trzy typy aparatów pracujących w różnym zakresie pomiarowym wielkości cząstek aerozoli.

W punkcie pomiarowym w Raciborzu zainstalowano:

- Miernik liczebności cząstek w zakresie 0.03 nm- 1 μm - Model 3031/3031-1 *Ultrafine Particle Monitors* (UPM). Zasada działania UPM oparta jest na dyfuzyjnym ładowaniu cząstek, za którym podąża segregacja rozmiarowa, w układzie *Differential Mobility Analyzer* (DMA) oraz detekcji aerozolu za pomocą czułego elektrometru. Przyrząd działa w trybie ciągłym;
- Urządzenie do badań stężeń i liczebności cząstek w zakresie 1 - 20 μm - APS Model 3321. APS, jest urządzeniem wykorzystującym działanie światła laserowego. Spektrometr cząsteczkowy umożliwia pomiar w czasie rzeczywistym, następujących parametrów aerozolu:
 - o średnica aerodynamiczna: zakres detekcji – cząstki o rozmiarach 0.5 – 20 μm ,
 - o względne natężenie rozpraszania światła: zakres detekcji – cząstki o rozmiarach 0.5 – 20 μm ;
- pomiar stężeń PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} i TSP Model 8533/8534 DUSTTRAK™ DRX Aerosol Monitor. Przyrząd wykorzystują działanie światła laserowego i pracuje w czasie rzeczywistym, umożliwiając pomiar aerozolu w szerokim zakresie stężeń (0.001 – 150 mg/m^3). Przyrząd posiada zdolność jednoczesnego pomiaru frakcji rozmiarowych pyłu zawieszonego w oparciu o detekcję pojedynczej cząstki, bez potrzeby stosowania selektywnego otworu wlotowego.

Wyniki pomiarów rejestrowane są w czasie rzeczywistym na komputerze klasy PC z możliwością zdalnego dostępu do zbiorów wyników i statusów aparatów przez Internet.

W punkcie pomiarowym w Zabrze do badań składu granulometrycznego aerozoli poletko pomiarowe wyposażono w:

- miernik liczebności cząstek w zakresie 0.03 nm - 1 µm - Model 3031/3031-1 *Ultrafine Particle Monitors* (UPM);
- *Electrical Low Pressure Impactor* ELPI™ (*Electrical Low Pressure Impactor*) - jest przyrządem stosowanym w badaniach składu ziarnowego i stężenia cząstek zawieszonych. Umożliwia pomiary w czasie rzeczywistym cząstek o rozmiarach od 30 nm do 10 µm, przy czym przedział ten może rozciągać się nawet od 7 nm, wykorzystując wersję ELPI ze stopniem filtracyjnym. Dane pomiarowe rejestrowane są w 12 kanałach rozmiarowych. Urządzenie umożliwia pomiar liczebności cząstek oraz pomiar stężeń, objętości i powierzchni zastępczej poszczególnych frakcji aerozoli.

W dniu 1 stycznia 2010 r. rozpoczęto kampanię pomiarową w dwóch lokalizacjach w Zabrze i w Raciborzu. Wyniki rocznej serii będą przedmiotem analizy po zakończeniu cyklu badań.

Opracowanie rozkładu czasoprzestrzennego zanieczyszczeń powietrza w badanym obszarze przy wykorzystaniu wyników badań bieżących oraz historycznych

Celem pracy jest analiza danych historycznych dotyczących stanu zanieczyszczenia powietrza w obszarze modelowym aglomeracja górnośląska, dla potrzeb określenia poziomu bazowego zanieczyszczeń atmosfery w kontekście planowanych działań strategicznych dotyczących ograniczenia emisji antropogenicznej wpływającej negatywnie na jakość życia populacji i klimat. Zakres przy obejmował:

- analizę danych dostępności danych o zanieczyszczeniu powietrza w aglomeracji górnośląskiej,
- analizę dostępnych danych dotyczących zanieczyszczenia powietrza w kraju,
- analizę statystyczną serii badań PM_{2,5} i PM₁₀ oraz stosunku PM_{2,5}/PM₁₀ dla potrzeb oceny wskaźników proponowanych do oceny stężeń historycznych PM_{2,5} na bazie pomiarów PM₁₀ (pomiarów PM_{2,5} na szeroką skalę rozpoczęto w kraju od 1 stycznia 2010 r.),
- ocenę wartości wskaźnika AQI (indeksu jakości powietrza), jako wskaźnika jakości życia populacji.

Analiza statystyczna z wykorzystaniem pakietu statystycznego Statistica i arkusza Excel. W pracy wykorzystano dostępne dane o zanieczyszczeniu powietrza – bazy danych IPIŚ PAN o stężeniach PM_{2,5}/PM₁₀ prowadzonych w ramach działalności własnej i w ramach PMŚ. W obliczeniach indeksu za lata 2006-2008 wykorzystano dane przekazane przez

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska do Europejskiej Agencji Środowiska, zawarte w bazie AirBase.

W wyniku przeprowadzonej analizy dostępnych danych wybrano 48 stacji pomiarowych zlokalizowanych w 38 miejscowościach, w 16 województwach. Spośród wybranych stacji pomiarowych 24 stanowią stacje tła miejskiego, 15 – tła pozamiejskiego, 8 – stacje komunikacyjne oraz 1 stacja tła podmiejskiego.

Do obliczeń wykorzystano zweryfikowane serie wyników pomiarów. Na potrzeby wyznaczenia indeksu dobowego wykorzystano dane, które zostały poddane odpowiedniemu przetworzeniu, zgodnie z obowiązującymi dla indeksu CAQI zasadami:

- dla SO_2 , NO_2 i O_3 – uwzględniono dobowe stężenia maksymalne ze stężeń średnich 1-godzinnych uzyskanych przy pomocy pomiarów automatycznych,
- CO – uwzględniono maksymalne dobowe stężenia średnie 8-godzinne obliczone jako średnia krocząca ze stężeń średnich 1-godzinnych uzyskanych przy pomocy pomiarów automatycznych,
- dla PM_{10} - uwzględniono średnie 24-godzinne pochodzące z pomiarów metodą manualną wagową lub obliczone ze stężeń średnich 1-godzinnych uzyskanych przy pomocy pomiarów automatycznych.

Dla potrzeb oceny udziału $\text{PM}_{2,5}$ w PM_{10} wykorzystano wyniki badań prowadzonych w Zabrze, Katowicach i Dąbrowie Górniczej. Przedstawiono zestawienia statystyczne i zmienność stosunku $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$. Wyniki oceny indeksu dla kraju przedstawiono w formie tabelarycznej i graficznie. Dla potrzeb dalszych analiz przygotowano arkusze danych w formacie Exel.

Próba określenia związków stężeń i składu chemicznego pyłu z warunkami topograficznymi, urbanizacją i meteorologią

W ramach zadania wykonano następujące prace:

- dokonano próby określenia związku stężeń i składu chemicznego pyłu z warunkami topograficznymi, urbanizacją i meteorologią (badania w dwóch lokalizacjach),
- wstępnie zbadano własności optycznych aerozolu atmosferycznego,
- zgromadzono dane dla potrzeb analiz w zakresie określenia źródeł jego pochodzenia,

- zbadano możliwości wykorzystania pomiarów parametrów optycznych atmosfery (badania z wykorzystaniem nefelometru) do oceny zasięgu i skali poziomu zanieczyszczenia atmosfery aerozolami.

W rozpatrywanym okresie badań zakres prac obejmował również:

- przygotowanie stanowisk badawczych,
- instalację aparatury pomiarowej,
- wykonanie infrastruktury do transmisji danych,
- kalibrację aparatury,
- próbne testy pracy.

Dla potrzeb pracy przygotowano dwa stanowiska pomiarowe wyposażone w zawansowaną aparaturę do badań zmienności stężeń i własności optycznych aerozoli – nefelometri pracujące w trzech zakresach długości fal. Ponieważ absorpcja i rozpraszanie są zależne od długości fali padającego światła a także rozmiaru, kształtu i składu chemicznego cząstek zawieszonych, możliwa jest szeroka i dogłębna analiza pyłu zawieszonego poprzez pomiar w danym zakresie widmowym:

- fala niebieska (450 nm): oddziałuje silnie z cząstkami drobnymi i ultradrobnymi (pożary lasów, samochody, spalanie),
- fala zielona (520 nm): oddziałuje silnie w całym ludzkim zakresie widzialności (widzenia) (smog, mgła, zamglenie);
- fala czerwona (700 nm) oddziałuje silnie z dużymi cząstkami zawieszonymi (pyłki, sól morską). Przewidziano prowadzenie ciągłych pomiarów współczynnika rozpraszania światła w połączeniu z badaniami wykonywanymi w ramach zadania (badanie składu granulometrycznego aerozoli) pozwoli na analizę statystyczną wpływu czynników topograficznych, urbanistycznych i klimatycznych na kształtowanie się poziomu stężeń i skład chemiczny aerozoli.

Dla potrzeb badań składu chemicznego przewidziano okresowy pobór PM_{10} , z wykorzystaniem głowic separacyjnych i impaktorów kaskadowych z oceną stężeń metodą grawimetryczną i analizą pierwiastków śladowych - metoda EDXRF.

W dniu 1 stycznia 2010 r. rozpoczęto kampanie pomiarowe w dwóch lokalizacjach w Zabrze i w Raciborzu. Wyniki rocznej serii będą przedmiotem analizy po zakończeniu cyklu badań.

Podsumowanie

Zagadnienie wpływu klimatu na jakość powietrza jak też i jakości powietrza na klimat jest niezwykle skomplikowane i często w badaniach naukowych dyskutowane. Różne są podejścia do tego problemu począwszy od zaniechania wpływu czynników naturalnych, przy jednoczesnym uwypuklaniu wpływu działalności człowieka na zanieczyszczenie powietrza po skrajne poglądy, że oto przyroda ma znaczenie decydujące w tej mierze. Prawda prawdopodobnie umiejscowiona jest zapewne pomiędzy tymi dwoma tezami. Dość stwierdzić, że system człowiek – środowisko – atmosfera jest systematycznie modyfikowany już to przez rozmaite czynniki naturalne, już to przez działalność antropogeniczną.

Niniejsze opracowanie, które stanowi raport z pierwszego roku realizacji zadania pn. „*Stan zanieczyszczeń powietrza w Polsce i jego wpływ na jakość życia – możliwości ograniczenia skutków*” wykonano zgodnie z harmonogramem.

Opracowanie to dotyczyło głównie obszaru najbardziej narażonego na oddziaływanie negatywnych skutków zanieczyszczenia powietrza w Polsce – Śląska i Małopolski. Na obszarze tym skupiającym ponad 30% mieszkańców dużych miast Polski występuje znaczna część emitorów i duża imisja zanieczyszczeń. Stąd wypracowane tu rozwiązania poprzez diagnozę sytuacji, prognozę zarówno krótkoterminową jak też i długofalową a w konsekwencji ocenę skutków, choć ukierunkowane na ten obszar, będą w konsekwencji zawierały narzędzia pozwalające na dokonanie takich działań na obszarze całej Polski.

W pracy skupiono się również na wybranych zanieczyszczeniach, które w ocenie naukowców stanowią największe realne zagrożenie, zwłaszcza dla Europy, w tym Europy Centralnej. W ostatnich latach Unia Europejska dopatruje się możliwości redukcji poziomu zanieczyszczeń, poprzez likwidację lokalnych ich źródeł. Takim celowi mają służyć tzw. plany ochrony powietrza. Aby jednak były one skuteczne należy dobrze zidentyfikować problem. A istniejący problem to nie tylko wzrastająca emisja pyłu i to małej frakcji, niezbadane skutki zdrowotne wnikania nanocząstek do organizmu, ale także niekorzystne warunki meteorologiczne. To właśnie pogoda determinuje w znacznej mierze jakość powietrza. Występowanie szczególnie warunków stagnacyjnych nad dużym obszarem powoduje z jednej strony daleki i wolny transport małych cząstek z nieraz odległych od miejsca depozycji miejsc, ale przede wszystkim w warunkach Polski, ogrzewanej ze źródeł niezorganizowanych, powoduje groźne dla zdrowia tzw. epizody smogowe. Identyfikacja ich przyczyn, analiza czasu trwania w zależności od warunków synoptycznych to także cel części pracy. W pracy starano się zwrócić również uwagę na ile wieloletnia zmienność klimatu może powodować warunki sprzyjające określonym niekorzystnym stanom jakości powietrza. W

tym przypadku zachodzi także sprzężenie zwrotne. Okazuje się bowiem, że zwiększona koncentracja pyłów przynieść może określone skutki klimatyczne i to nie tylko w skali lokalnej.

Częściowo odpowiedzi na te pytania zostały już zasygnalizowane, jednak podstawową wartością dodaną tej części pracy jest wypracowanie, przetestowanie i wdrożenie metodyk pracy, które w oparciu o zgromadzoną przez pierwszy etap pracy bazę wiedzy będą służyć rozwiązaniu postawionemu celowi pracy: określeniu wzajemnych relacji pomiędzy zanieczyszczeniem powietrza a zespołem warunków meteorologicznych w sytuacji obserwowanych zmian klimatu i ich wpływu na potencjalne skutki społeczno – ekonomiczne.

Propozycja praktycznego wykorzystania wyników badań

Wyniki badań pomiarowe jak i metodyczne otrzymane w ramach zadania 2 mogą być wykorzystane:

- przy opracowaniu strategii zarządzania jakością powietrza oraz przy ocenie antropogenicznych aspektów zanieczyszczenia powietrza w ramach planów i programów ochrony środowiska i działań naprawczych na rzecz ograniczenia skutków zmian klimatu, na poziomie krajowym i regionalnym;
- zakupiony system pomiarowy zanieczyszczeń pyłowych może być wykorzystany w kampaniach pomiarowych związanych z badaniami atmosfery dla potrzeb oceny emisji aerozoli ze specyficznych źródeł naturalnych lub antropogenicznych (system jest semi-mobilny) w celu wspomagania osłony meteorologicznej środowiska, może być wykorzystany również przy planowaniu zakupów wyposażenia dla potrzeb rozbudowanych systemów monitorowania aerozoli atmosferycznych w skali kraju oraz dla potrzeb oceny wpływu zanieczyszczeń na bilans radiacyjny atmosfery i ocenę wpływu aerozoli na własności optyczne atmosfery z punktu widzenia zmian klimatu.

Literatura

- Andreae, M.O.: Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels. In: Future Climates of the World: A Modelling Perspective. A. Henderson-Sellers (Ed), Elsevier, Amsterdam, 1995
- APS: Model 3321 Aerodynamic Particle Sizer® Spectrometer. Instruction Manual. P/N 1930092, Revision E. January 2004
- Chow J.C.: Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. Journal of Air and Waste Management Association, 1995, 45, 320–382
- CLRTAP: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, 1979

- DUSTTRAK: Model 8533/8534. DUSTTRAK™ DRX Aerosol Monitor. Operation and Service Manual. P/N 6001898, Revision C. May 2009
- EC: Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management
- EEA: EEA Report No 2/2007. Air Pollution in Europe 1990–2004
- ELPI: ELPI. User Manual, ver 3.20. Dekati Ltd., 2003
- ELPI: ELPI VI 3.1. Software Manual, ver 3.20. Dekati Ltd., 2003
- EMEP: EMEP. Transboundary Particulate Matter in Europe. Status report 4/2009
- Friedlander, S.K.: The characterization of aerosols distributed with respect to size and chemical composition – II. *Aerosol Science and Technology*, 1971, 2, 331–340
- Friedlander, S.K.: The characterization of aerosols distributed with respect to size and chemical composition – I. *Aerosol Science and Technology*, 1970, 1, 295–307
- Grosjean, D., Friedlander, S.K.: Gas-particle distribution factors for organic and other pollutants in the Los Angeles atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1975, 25, 1038
- Hinds, W.C.: *Aerosol technology. Properties, behaviour, and measurement of airborne particles. Second Edition.* John Wiley & Sons, Inc. New York, 1998
- Kobus D.: Wyznaczenie wartości indeksu jakości powietrza na podstawie wyników z wybranych stacji pomiarowych z Polski. IOŚ Warszawa, 2009, praca niepublikowana
- Makowski K., Wild M., Chmura A.: Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005. *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, 8, 6483–6498
- Neph 3000: ECOTECH Environmental Monitoring. Aurora-3000. 3-Wavelength Integrating Nephelometer. User Manual. Version 1:1. October, 2008
- Neph 3563: Model 3563 Integrating Nephelometer Operation and Service Manual. P/N 1933563, Revision F. December 2005
- Putaud, J.P., Raes, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M.C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hüglin, C., Laj, P., Lorbeer, G., Maenhaut, W., Mihalopoulos, N., Müller, K., Querol, X., Rodriguez, S., Schneider, J., Spindler, G., ten Brink, H., Tørseth, K., Wiedensohler, A.: A European aerosol phenomenology – 2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment* 2004, 38, 2579–2595
- Querol, X., Viana, M., Alastuey, A., Amato, F., Moreno, T., Castillo, S., Pey, J., Rosa, J., Campa, A.S., Artiñano, B., Salvador, P., Santos, S.G., Fernández-Patier, R., Moreno-Grau, S., Negral, L., Minguillón, M.C., Monfort, E., Gil, J.I., Inza, A., Ortega, L.A., Santamaría, J.M., Zabalza J.: Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmospheric Environment*, 2007, 41, 7219–7231
- Ruckstuhl C., Philipona R. i in.: Aerosol and Cloud effects on solar brightening and the recent rapid warming. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, 35

- Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Ruiz, C.R., Cots, N., Massague, G., Puig, O.: PM₁₀ and PM_{2,5} source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain. *Atmospheric Environment*, 2001, 35, 6407–6419
- Seinfeld, J.H., Pandit, S. N.: *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998
- SMIC: *Inadvertent climate modification. Report of the study of man`s impact on climate*, MIT Press, Cambridge, MA, 1971
- TSI: Particle Instruments. Model 3321 Aerodynamic Particle Sizer® Spectrometer. High-resolution aerodynamic sizing plus light-scattering intensity! TSI (2008): TSI Particle Technology. Particle Catalog, 2004
- UPM: Models 3031/3031-1 Ultrafine Particle Monitors. User`s Manual. P/N 6001716, Revision B. March 2009
- Vallius, M.: *Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air*. National Public Health Institute, Department of Environmental Health, Kuopio, Finland, 2005
- Vallius, M., Janssen, N.A.H., Heinrich, J., Hoek, G., Ruuskanen, J., Cyrus, J., Van Grieken, R., de Harto, J. J., Kreyling W.G., Pekkanen J.: *Sources and elemental composition of PM_{2,5} in three European cities*. *Science of Total Environment*, 2005, 337, 147–162
- Van Dingenen, R., Raes, F., Putaud, J.P., Baltensperger, U., Charron, A., Facchini M. C., Decesari, S., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hansson, H. C., Harrison, R.M., Hüglin, C., Jones, A.M., Laj, P., Lorbeer, G., Maenhaut, W., Palmgren, F., Querol, X., Rodriguez, S., Schneider, J., ten Brink, H., Tunved, P., Tørseth, K., Wehner, B., Weingartner, E., Wiedensohler, A., Wåhlin, P.: *A European aerosol phenomenology–1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe*. *Atmospheric Environment*, 2004, 38, 2561–2577
- Vautard R., Yiou P., Oldenborgh van G. J.: *Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years*. *Nature Geoscience*, 2009, 2, 115-119
- WMO: *Aerosol measurement procedures guidelines and recommendations*. September 2006 WMO GAW no 153