

SKŁAD PYŁU ZAWIESZONEGO NA STACJI PUSZCZA BORECKA Z UWZGLĘDNIENIEM ODDZIAŁYWANIA ANTROPOGENICZNYCH I NATURALNYCH ŹRÓDEŁ EMISJI

Anna Degórska, Tomasz Śnieżek

Degórska A., Śnieżek T., 2012: Skład pyłu zawieszonego na Stacji Puszcza Borecka z uwzględnieniem oddziaływania antropogenicznych i naturalnych źródeł emisji (*Particulate matter composition at Puszcza Borecka station taking into account anthropogenic and natural emission sources influence*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 13, s. 31–40.

Zarys treści: W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki analizy składu chemicznego pyłu PM_{2,5} i pyłu PM₁₀, pobieranego na Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, pod kątem zawartości węgla, anionów i kationów. Podjęto próbę powiązania zawartości składników pyłu ze źródłami ich pochodzenia – pyłu pierwotnego i wtórnego, pochodzącego ze źródeł antropogenicznych i naturalnych.

Słowa kluczowe: pył zawieszony, emisja, skład chemiczny, źródła pochodzenia.

Key words: *particulate matter, emission, chemical composition, origin sources.*

Anna Degórska, Tomasz Śnieżek, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kolektorska 4, 01-692 Warszawa, e-mail: anna.degorska@ios.edu.pl

1. Wprowadzenie

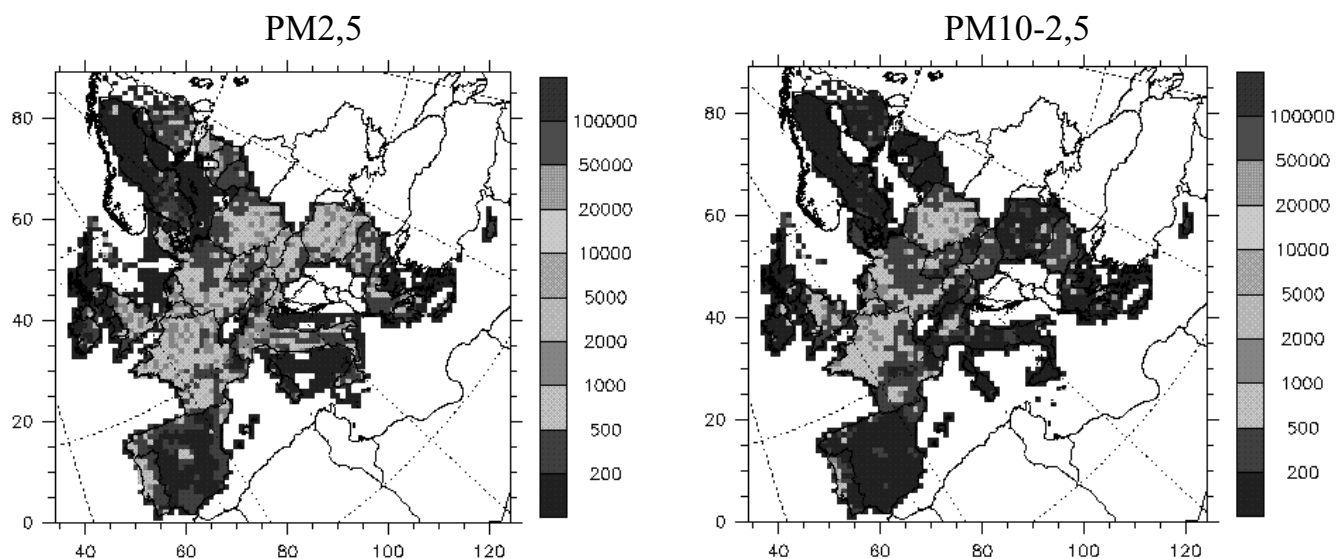
We współczesnych badaniach, ze względu na rozmiar cząstek, wyróżnia się pył zawieszony PM₁₀ – o średnicy aerodynamicznej ziaren poniżej 10 μm, pył PM_{2,5} – o średnicy poniżej 2,5 μm oraz PM₁ – o średnicy poniżej 1 μm. W artykule prezentowane są problemy dotyczące pyłu PM_{2,5}, PM₁₀ i frakcji pomiędzy 2,5 a 10 μm, określanej jako PM_{10-2,5} (frakcja ta jest nazywana w literaturze anglojęzycznej *PMcoarse*, czyli „gruba frakcja” pyłu).

Dla wybranych próbek pyłu pochodzącego ze Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka przeprowadzono analizy zanieczyszczeń frakcji pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} pod kątem oddziaływania źródeł naturalnych i antropogenicznych emisji pyłu. Badano zawartość anionów, kationów oraz węgla organicznego i elementarnego w poszczególnych frakcjach pyłu, a uzyskane wyniki poddano anali-

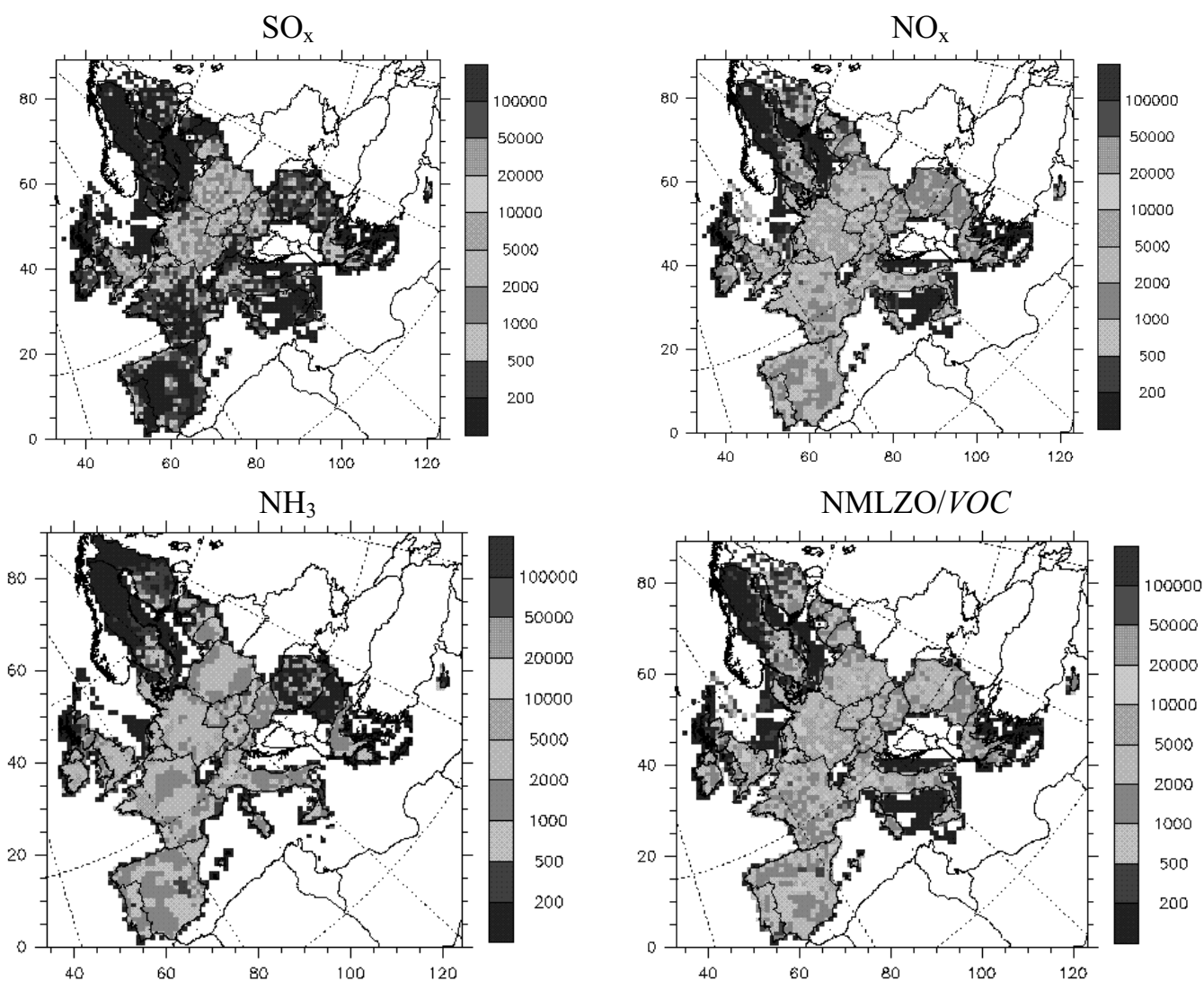
zie z uwzględnieniem napływu powietrza w rejon stacji i źródeł pochodzenia pyłu.

2. Źródła emisji pyłu

Pył jest zanieczyszczeniem powietrza, które pochodzi zarówno ze źródeł antropogenicznych, jak i naturalnych. Bezpośrednio do atmosfery emitowany jest pył pierwotny; natomiast pył tworzony w wyniku reakcji i przemian chemicznych jego prekursorów (związków siarki i azotu, lotnych związków organicznych) jest w powietrzu zanieczyszczeniem wtórnym. Drobnny pył wyemitowany lub tworzący się w atmosferze może być przenoszony na dalekie odległości – setki, a nawet tysiące kilometrów od źródła emisji (Transboundary..., 2012). Tym samym pył badany na stacjach tła regionalnego – takich jak Stacja KMS Puszcza Borecka – może pochodzić z różnych źródeł, często zlo-



Ryc. 1. Emisja pierwotna pyłu [Mg] w Unii Europejskiej (w kwadratach 50 x 50 km), 2010. Źródło: EMEP (www.ceip.at)
 Fig. 1. Primary particulate matter emission [Mg] in European Union (50 x 50 km grids), 2010. Source: EMEP (www.ceip.at)



Ryc. 2. Emisja prekursorów pyłu [Mg] w Unii Europejskiej (w kwadratach 50 x 50 km), 2010. Źródło: EMEP (www.ceip.at)
 Fig. 2. Emission of PM precursors [Mg] in European Union (50 x 50 km grids), 2010. Source: EMEP (www.ceip.at)

kalizowanych w znacznej odległości od niej (Gauss i wsp., 2012). Na stężenie i skład pyłu mają wpływ nie tylko polskie źródła emisji, ale także położone poza granicami kraju, szczególnie w krajach sąsiednich (De-górska, Bartnicki, 2011).

Na rycinie 1 pokazano rozkład emisji pyłu PM_{2,5} oraz frakcji PM_{10-2,5} w Unii Europejskiej w siatce kwadratów 50 x 50 km, a na rycinie 2 – rozkład emisji jego prekursorów (tlenków siarki i azotu, amoniaku, niemetanowych lotnych związków organicznych) w roku 2010. Dane te uzyskano w ramach realizacji zadań wynikających z Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości i działającego w jej ramach Programu Współpracy w Zakresie Monitoringu i Oceny Transportu Zanieczyszczeń na Dalekie Odległości w Europie (ang. *The Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe*, roboczo: *European Monitoring and Evaluation Programme* – EMEP).

Prezentowane na mapach wielkości emisji pochodzą z bazy danych EMEP, do której zostały oficjalnie przekazane przez poszczególne kraje, choć niektóre zostały skorygowane przez ekspertów. Dane te służą jako dane wejściowe w obliczeniach modelowych prowadzonych w ramach EMEP (Transboundary..., 2012).

Obszary o największych wielkościach emisji pyłu pierwotnego PM_{2,5} są zlokalizowane w: północnej Francji, krajach Beneluxu, południowej części Wielkiej Brytanii, zachodniej Portugalii, Słowacji, Rumunii i Polsce. Część obszarów o największej emisji pyłu PM_{10-2,5} pokrywa się z tymi, gdzie występuje największa emisja pyłu PM_{2,5}, ale nie wszystkie. Największą emisję pyłu PM_{10-2,5} obserwuje się w północnej Francji, zachodniej Portugalii, krajach Beneluxu i w Polsce.

Obszary charakteryzujące się największą emisją SO_x w Unii Europejskiej występują w zachodnich Niemczech, w Polsce, Czechach, Wielkiej Brytanii. Poza Unią Europejską kraje o znaczącej emisji SO_x to Turcja i Ukraina (jej uprzemysłowiona wschodnia część). Obszary, na których występuje największa emisja tlenków azotu zlokalizowane są w Wielkiej Brytanii, Niemczech (szczególnie w północno-zachodniej części), krajach Beneluxu, Czechach, Włoszech, Polsce i Francji. Obszary, na których ma miejsce największa emisja NH₃, to tereny rolnicze w: Holandii, Belgii, północno-zachodnich i południowych Niemczech, północnych Włoszech, północnej Francji, Wielkiej Brytanii oraz środkowej i południowej Polsce. Obszary o największej emisji niemetanowych lotnych związków organicznych położone są w Wielkiej Brytanii,

Niemczech, krajach Beneluxu, Włoszech, Czechach i Polsce. A zatem można się spodziewać, że stężenie pyłu w Polsce jest kształtowane nie tylko przez własne źródła emisji pierwotnej, ale także przez polskie i zagraniczne źródła emisji prekursorów, które docierają z masami powietrza nad terytorium kraju, po drodze przechodząc transformację i formując cząstki pyłu o różnych średnicach ziaren.

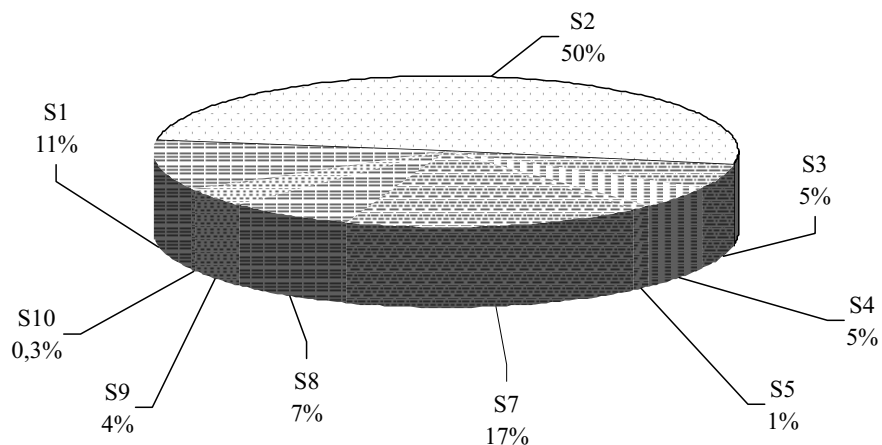
Całkowita emisja pierwotna cząstek zawierających węgiel stanowi ok. 42% pierwotnej emisji PM_{2,5} w Europie. Dla wszystkich sektorów, oprócz transportu, stosunek wielkości emisji węgla elementarnego do emisji węgla organicznego jest poniżej 1 (Analiza..., 2011).

Łączna emisja krajowa pyłu (TSP) wyniosła w 2010 roku 445,3 Gg, a emisja pierwotna poszczególnych frakcji odpowiednio: PM₁₀ – 279,5 Gg i PM_{2,5} – 137,1 Gg; tym samym emisja pierwotna frakcji pyłu pomiędzy 2,5 a 10 μm wyniosła 142,3 Gg (Raport: Krajowa inwentaryzacja..., 2012).

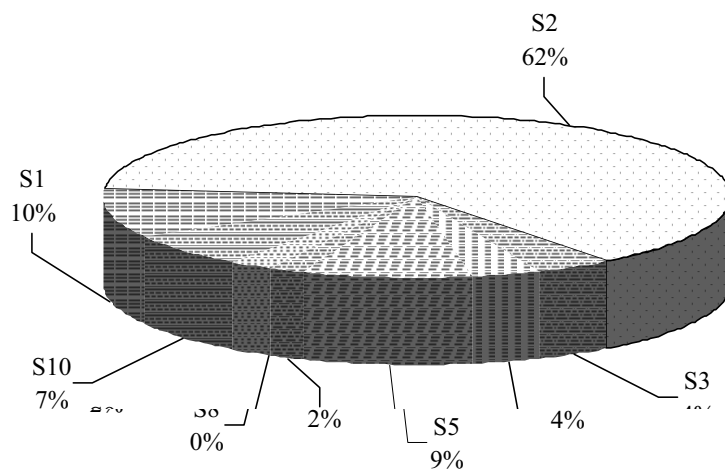
Udział emisji z poszczególnych sektorów w emisji dla frakcji PM_{2,5} i PM_{10-2,5} zaprezentowano na rycinie 3. Dominującym sektorem w krajowej emisji pierwotnej pyłu jest spalanie poza przemysłem (czyli w sektorze komunalnym i mieszkaniowym). W roku 2010 z tego sektora pochodziło 50% pyłu drobnego PM_{2,5} i 62% pyłu grubszego PM_{10-2,5}. W emisji pyłu drobnego drugie miejsce zajmował w 2010 roku transport drogowy (17% całkowitej emisji pyłu PM_{2,5}), a trzecie procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii (z udziałem na poziomie 11% krajowej emisji). W przypadku pyłu grubszego znaczenie transportu drogowego było mniejsze (udział w krajowej emisji pyłu PM_{10-2,5} na poziomie 2%). Drugie miejsce zajmowały procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii (10% całkowitej emisji); trzecie miejsce przypadło sektorowi wydobywania i dystrybucji paliw kopalnych (z tego sektora pochodziło 9% krajowej emisji).

Główne źródła prekursorów pyłu drobnego są różne dla poszczególnych związków. Dla tlenków siarki i azotu są to procesy spalania – szczególnie w sektorze produkcji i transformacji energii (duże źródła). Z sektora tego w 2010 roku pochodziło 52% tlenków siarki i 33% tlenków azotu wyemitowanych w Polsce. W przypadku tlenków azotu bardzo ważną rolę odgrywa też sektor transportu drogowego (31% całkowitej emisji NO_x). W 2010 roku 98% emisji całkowitej amoniaku pochodziło z rolnictwa. Niemetanowe lotne związki organiczne emitowane są głównie z procesów przyrodniczych (reprezentowanych przez sektor 11. Inne źródła emisji i pochłaniania zanieczyszczeń)

PM2,5



PM10-2,5



- S1 Procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii
- S2 Procesy spalania poza przemysłem
- S3 Procesy spalania w przemyśle
- S4 Procesy produkcyjne
- S5 Wydobycie i dystrybucja paliw kopalnych
- S7 Transport drogowy
- S8 Inne pojazdy i urządzenia
- S9 Zagospodarowanie odpadów
- S10 Rolnictwo

- S1 Combustion in energy and transformation industries*
- S2 Non-industrial combustion plants*
- S3 Combustion in manufacturing industry*
- S4 Production processes*
- S5 Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy*
- S7 Road transport*
- S8 Other mobile sources and machinery*
- S9 Waste treatment and disposal*
- S10 Agriculture*

Ryc. 3. Udział wskazanych sektorów w emisji pierwotnej poszczególnych frakcji pyłu w Polsce w 2010 roku
 Fig. 3. Percentage of given sectors in total primary PM emission for particular fractions in Poland, 2010

– 43% całkowitej emisji w 2010 roku; drugie co do wielkości źródło (najistotniejsze spośród antropogenicznych) stanowił w 2010 roku sektor Zastosowanie rozpuszczalników i innych produktów, z którego pochodziło 22% emisji całkowitej NMLZO i 33% ich emisji antropogenicznej.

Oprócz omówionych wcześniej źródeł antropogenicznych pyłu istnieją również źródła naturalne, dla których nie ma możliwości oszacowania wielkości emisji, a określenie ich wkładu ilościowego do stężenia pyłu w danym punkcie jest bardzo trudne i obciążone znaczną niepewnością. Do tego typu źródeł zalicza się:

- transport naturalnych cząstek pyłu pustynnego z regionów suchych,
- aerozol morski, stanowiący zespół rozpylonych w powietrzu kropeł wody morskiej oraz/lub cząstek uformowanych w wyniku procesów parowania wody morskiej, pod wpływem działania wiatru,
- wybuchy wulkanów,
- pożary, wynikające z przyczyn naturalnych lub antropogenicznych, obszarów naturalnych bądź lasów gospodarczych oraz innej roślinności (z wyjątkiem np. rolniczego wypalania ściernisk, wypalania traw itp.),
- pierwotne cząstki aerozolu biologicznego (ang. *Primary Biological Aerosol Particles* – PBAP), czyli zarodniki lub pyłek kwiatowy pochodzące z procesów biologicznych przedostające się do atmosfery bez zmian ich składu chemicznego,
- wtórny aerozol organiczny (biogeniczny) (ang. *Secondary Organic Aerosol* – SOA) – organiczna frakcja aerozolu wtórnego, tworząca się w atmosferze w wyniku reakcji łańcuchowych lotnych związków organicznych emitowanych przez pokrywę glebową i rośliny oraz produkty ich rozkładu (Guidance, 2010).

Poważną rolę we wprowadzaniu pyłu do powietrza stanowi także proces resuspensji, czyli ponownego porywania cząstek pyłu, które wcześniej osiadły na powierzchni. Również dla tego procesu oszacowanie emisji jest niezwykle trudne, gdyż zależy od wielu czynników, wśród których najistotniejszą rolę odgrywają warunki meteorologiczne i rodzaj podłoża (Analiza..., 2011).

3. Badania składu chemicznego pyłu PM_{2,5} i PM₁₀

Próbki pyłu PM_{2,5} i PM₁₀ pobrano na Stacji KMS Puszcza Borecka podczas realizacji zadania „Monitoring tła zanieczyszczenia atmosfery na Stacji Puszcza Borecka dla potrzeb EMEP, GAW/WMO i Komisji Europejskiej w latach 2010–2012”, wykonywanego

w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska i finansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. W ramach tego zadania pobierano próbki pyłu PM_{2,5} i PM₁₀ za pomocą wysokoobjętościowych poborników pyłu na Stacji, ważono filtry (przed i po ekspozycji) i określano masę zebranego pyłu w Laboratorium Monitoringu Środowiska IOŚ-PIB, a następnie określano stężenie pyłu PM_{2,5} i PM₁₀.

W wybranych 20 próbkach dobowych wykonano oznaczenia zawartości składników w obu frakcjach pyłu. W pyłe PM_{2,5} i PM₁₀ oznaczono następujące składniki:

- aniony: siarczany SO₄²⁻, azotany NO₃⁻, chlorki Cl⁻,
- kationy: jon amonowy NH₄⁺, sód Na⁺, potas K⁺, wapń Ca²⁺, magnez Mg²⁺,
- węgiel elementarny (EC) i organiczny (OC).

Oznaczenia anionów i kationów wykonano w Laboratorium Monitoringu Środowiska IOŚ-PIB następującymi metodami analitycznymi:

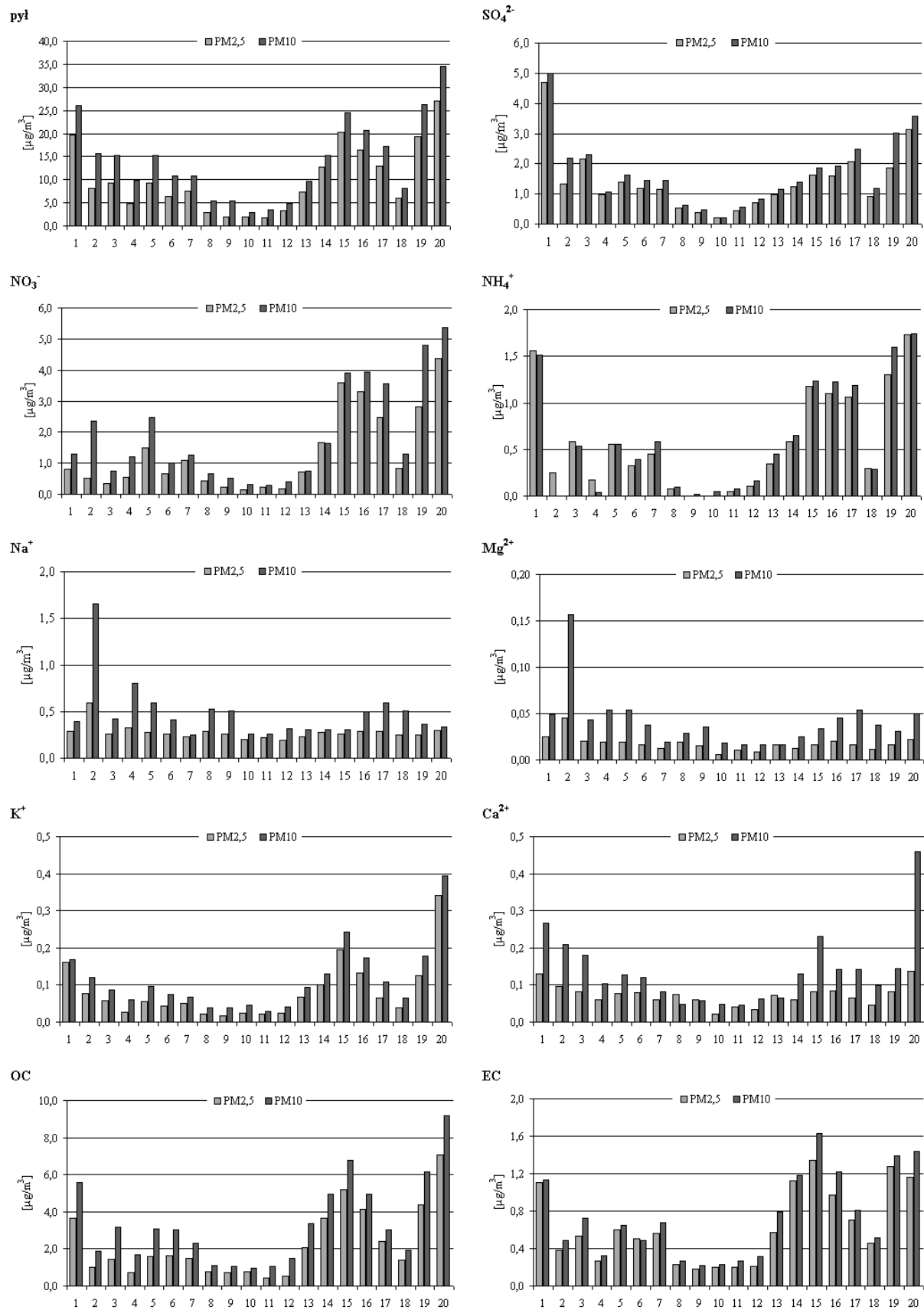
- aniony SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻: chromatografia jonowa,
- jon amonowy: kolorymetria,
- kationy Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺: ICP-OES.

Oznaczenia zawartości węgla wykonano w Instytucie Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrze, posługując się metodą termooptyczną.

4. Skład pyłu PM_{2,5} i PM₁₀

Interpretację graficzną uzyskanych wyników badania składu pyłu przedstawiono na rycinie 4. Pokazano na nim stężenie pyłu PM_{2,5} i PM₁₀ oraz stężenia poszczególnych składników we frakcji pyłu PM_{2,5} i PM₁₀. We wszystkich przypadkach stężenie pyłu PM₁₀ było większe niż odpowiadające mu stężenie pyłu PM_{2,5}, co było oczekiwane wobec faktu, że pył PM_{2,5} wchodzi w skład frakcji PM₁₀. Tę prawidłowość często wykorzystuje się przy kontroli i weryfikacji danych pomiarowych, gdy dysponuje się wynikami stężenia dla obydwu frakcji.

Dla obu frakcji zaobserwowano bardzo podobny przebieg stężeń. W dniach, w których odnotowano najmniejsze wartości stężenia pyłu miały miejsce opady deszczu, co spowodowało wymywanie pyłu zawieszzonego w powietrzu. Były to opady trwające kilka godzin w ciągu doby, a ich natężenie wynosiło od 0,6 do 1,7 mm/godzinę. Analizując związek stężenia pyłu z kierunkiem wiatru w rejonie stacji, można stwierdzić, że największe wartości stężenia pyłu występowały przy wietrze wschodnim i zachodnim, a najmniejsze przy wietrze południowo-wschodnim. Po-



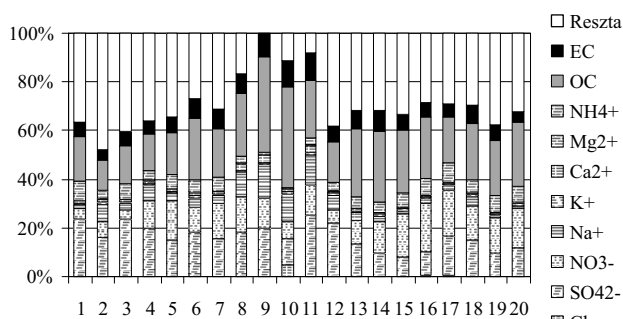
Ryc. 4. Stężenie pyłu PM_{2,5} i PM₁₀ oraz stężenia badanych składników w próbkach pyłu
 Fig. 4. PM_{2,5} and PM₁₀ concentrations and concentrations of measured compounds in PM samples

dobną zależność stwierdzono dla badanych składników pyłu – w większości przypadków w obu frakcjach pyłu największe stężenia występowały w dniach, gdy wiatr w rejonie Stacji wiał ze wschodu, a drugie w kolejności – przy wietrze zachodnim. Wyjątek stanowią stężenia azotanów i potasu, które osiągały największe wartości przy wietrze zachodnim, drugie w kolejności przy wschodnim (potas) i północno-zachodnim (azotany). W wielu przypadkach uzyskano stężenie chlorków – zarówno w pyłe PM10, jak i PM2,5 – poniżej granicy oznaczalności stosowanej metody analitycznej.

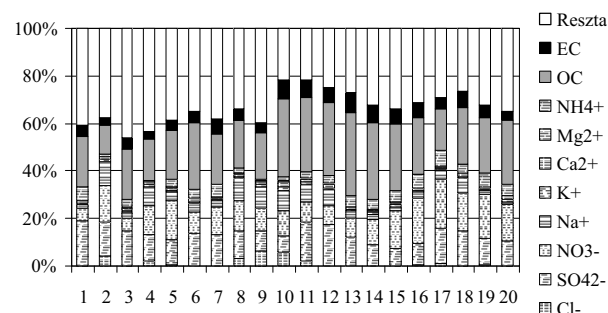
Najbardziej podobny przebieg do przebiegu stężenia pyłu można zaobserwować dla obu form węgla, siarczanów i azotanów, a także dla potasu. Najbardziej zbliżone wartości stężenia w pyłe PM2,5 i PM10 odnotowano dla węgla elementarnego, siarczanów, jonów amonowych i potasu. W najmniejszym stopniu stężenie jonów sodu i magnezu – zwłaszcza dla drobniejszej frakcji pyłu – odzwierciedlało stężenie pyłu. Należy zauważyć, że w przedstawionych rozważaniach nie uwzględniono niepewności uzyskanych wyników badań.

Porównując sumę mas oznaczonych składników dla poszczególnych próbek pyłu PM2,5 i PM10 z masą pyłu zebranego na filtrach, uzyskaną na podstawie ważenia filtrów przed ekspozycją i po ekspozycji, stwierdzono, że oznaczone składniki stanowiły około 70% masy pyłu zebranego w poszczególnych dniach. W większości przypadków dla próbek pyłu PM2,5 udział oznaczonych składników w całkowitej masie pyłu był większy niż w odpowiadających im próbkach pyłu PM10. Część, której nie udało się oznaczyć można przypisywać obecności pyłu mineralnego, składającego się głównie ze związków krzemu, glinu i żelaza (Denier van der Gon i in., 2010).

Na rycinie 5 przedstawiono w formie graficznej udział oznaczonych składników i części nieoznaczonej, określonej jako „Reszta”, w masie pyłu zebranego na filtrach w poszczególnych próbkach pyłu PM2,5, a na rycinie 6 – w próbkach pyłu PM10.



Ryc. 5. Udział poszczególnych składników w próbkach pyłu PM2,5
Fig. 5. Percentage of particular compounds in PM2,5 samples

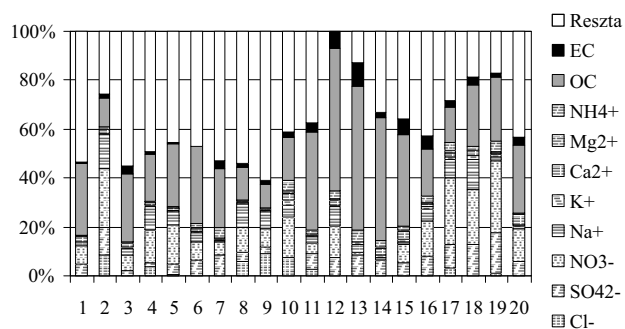


Ryc. 6. Udział poszczególnych składników w próbkach pyłu PM10
Fig. 6. Percentage of particular compounds in PM10 samples

W większości analizowanych próbek pyłu PM2,5 i PM10 na Stacji KMS Puszcz Borecka głównymi oznaczonymi składnikami były: węgiel organiczny, siarczany (w pierwszej połowie eksperymentu) i azotany (w drugiej połowie eksperymentu). Udział każdego z tych składników sięgał od kilkunastu do ponad 20%. Węgiel organiczny może pochodzić zarówno z procesów spalania, jak również z naturalnej emisji lotnych związków organicznych w pobliskiej puszczy. Siarczany i azotany stanowią produkty przemian pierwotnych zanieczyszczeń, jakimi są dwutlenek siarki i tlenki azotu. Są to zatem w większości składniki pyłu wtórnego (Matthijsen, Koelemeijer, 2010). W dniach, w których stężenie pyłu było najmniejsze i występowały opady atmosferyczne udział składników, które oznaczono był większy od 60–70%. W tych dniach znacząco wzrósł udział chlorków i sodu do kilku-kilkunastu procent, a także wapnia. Udział jonu amonowego w kształtowaniu składu pyłu wynosił na ogół kilka procent (akcja pomiarowa miała miejsce w październiku). Kilka procent masy pyłu przypadało również na węgiel elementarny, pochodzący głównie ze spalania paliw w silnikach wysokoprężnych (Ten Brink i in., 2010). Uzyskane wyniki i proporcje pomiędzy zawartością węgla elementarnego i organicznego w obu frakcjach pyłu są zbliżone do obserwowanych na innych stacjach pozamiejskich w Europie Środkowej w czasie eksperymentów pomiarowych prowadzonych w ramach EMEP (Transboundary..., 2012). Ogromne znaczenie ma jednak w tym przypadku zastosowanie odpowiedniej metody oznaczania zawartości węgla w próbkach pyłu i rozdzielenia EC i OC (Ten Brink i in., 2009). W najmniejszych ilościach w obydwu frakcjach pyłu występowały magnez i potas – w większości przypadków stanowiły one mniej niż 1% pyłu PM2,5 i PM10, sporadycznie było ich nieco ponad 1%.

Głównymi składnikami frakcji pyłu PM10-2,5 w większości przypadków były: węgiel organiczny, składniki nieoznaczone oraz azotany (ryc. 7). Pierwot-

ne składniki, w większości pochodzenia naturalnego – sód, chlorki w niektórych próbkach stanowiły od kilku do kilkunastu procent. Były to zatem składniki związane z grubszą frakcją pyłu, podczas gdy węgiel elementarny i znacząca część siarczanów były związane w frakcją drobną (poniżej 2,5 µm). Kilka procent przypadło na jony amonowe i wapń. Podobnie jak w przypadku PM_{2,5} i PM₁₀ w najmniejszych ilościach we frakcji pośredniej spotykany był potas i magnez.



Ryc. 7. Udział poszczególnych składników w próbkach pyłu PM_{10-2,5}

Fig. 7. Percentage of particular compounds in PM_{10-2,5} samples

Analizę składu pyłu uzupełniono o informacje dotyczące kierunków napływu mas powietrza w rejon stacji. Do tego celu wykorzystano wsteczne trajektorie wyznaczone na podstawie danych uzyskanych z modelu HYSPLIT, opracowanym przez National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA (USA). Poszukiwano zależności pomiędzy składem pyłu a kierunkiem napływu mas powietrza w rejon stacji, próbując wskazać źródła pochodzenia tego pyłu. Zakładano, że masy powietrza napływające z rejonów o znaczącej emisji pyłu pierwotnego przynosić będą pył składający się przede wszystkim z pierwotnych składników (głównie węgla), masy powietrza napływające z rejonów o dużej emisji prekursorów pyłu będą bogate w składniki wtórne (siarczany, azotany), będące produktami przemian chemicznych prekursorów, a masy powietrza napływające z obszarów morskich będą zawierały zwiększoną ilość aerozolu morskiego (chlorki, sód, magnez).

Na rycinie 8 zaprezentowano skład drobnej frakcji pyłu PM_{2,5} i grubszej PM_{10-2,5} w wybranych dniach, przy określonych kierunkach napływu mas powietrza. W 10. dniu eksperymentu zanotowano najmniejsze wartości stężenia pyłu PM₁₀ i PM_{2,5}. Powietrze w rejon stacji napływało wówczas z północnego zachodu, z nad Morza Północnego i Bałtyku, a źródło było nad Atlantykem. W składzie pyłu drobnego dominował węgiel organiczny, a po kilka procent składu przypadło

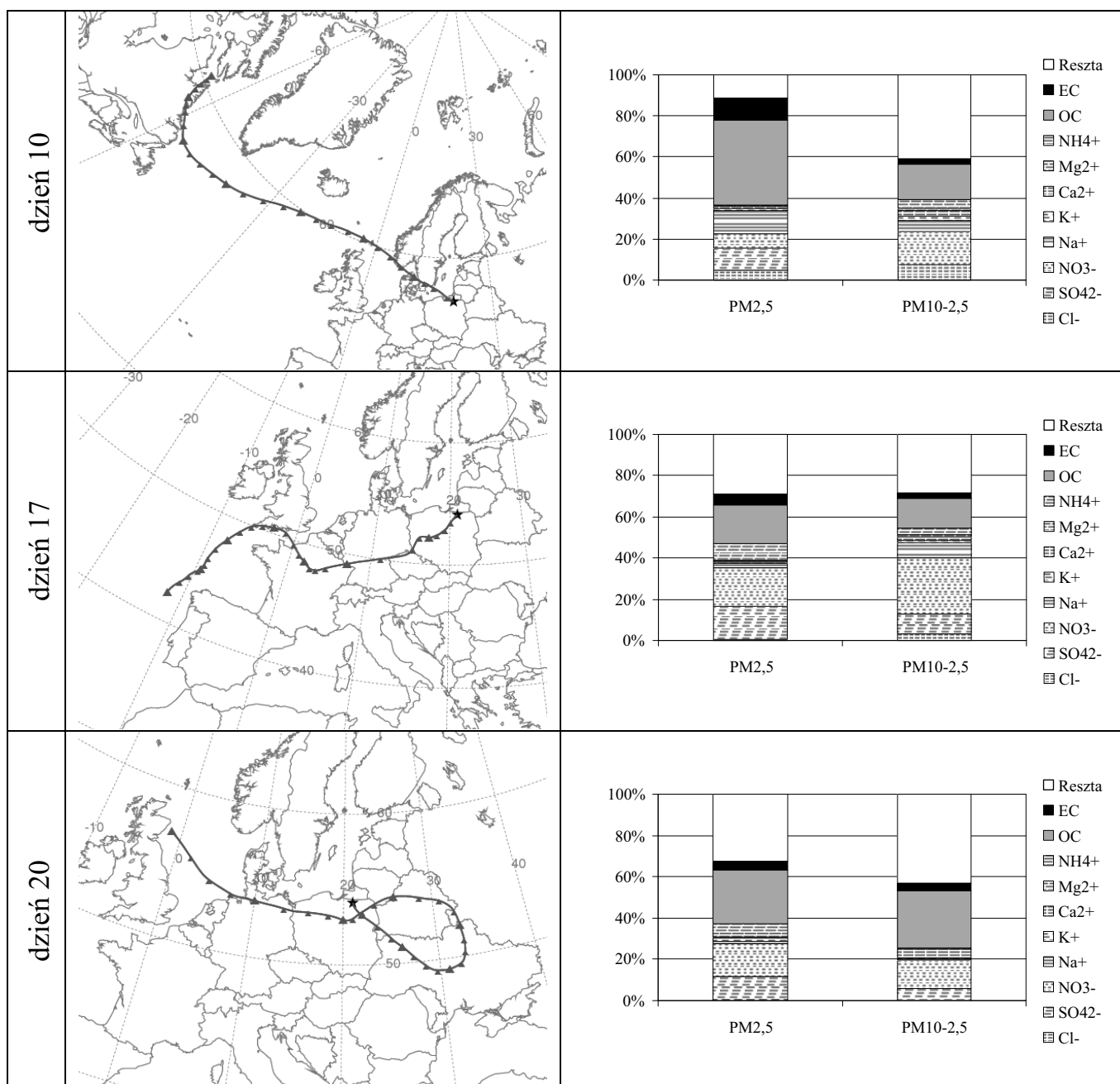
na siarczany, sód i węgiel elementarny. Grubszą frakcję charakteryzowała znacząca ilość składników nieoznaczonych (ponad 40%), a wśród oznaczonych najwięcej było węgla organicznego i azotanów. Składniki pochodzenia morskiego były widoczne zarówno w drobnej frakcji (Na⁺ i Cl⁻), jak i w grubszej (Cl⁻), a antropogenicznego szczególnie we frakcji drobnej (SO₄²⁻ i EC).

W 17. dniu eksperymentu, przy napływie mas powietrza z południowego zachodu, gdy wsteczne trajektorie wskazywały jako obszary źródłowe Atlantyk, Francję, Niemcy, w składzie pyłu drobnego odnotowano najwięcej składników nieoznaczonych (reszta), azotanów, siarczanów i węgla organicznego. Skład pyłu grubszego był zdominowany przez azotany oraz składniki, które nie zostały oznaczone.

W 20. dniu pomiarów stężenie pyłu PM_{2,5} i PM₁₀ osiągnęło największe wartości. W dniu tym odnotowano również największe stężenia węgla organicznego, azotanów, jonu amonowego, potasu. Głównymi składnikami obu frakcji pyłu w tym dniu były węgiel organiczny i składniki nieoznaczone. Z frakcją drobniejszą wiązał się także większy udział siarczanów i jonu amonowego, a z grubszą – jak przy żadnym innym kierunku napływu mas powietrza – zaznaczył się udział wapnia.

5. Podsumowanie

Skład pyłu zawieszony w rejonach pozamiejskich kształtowany jest zarówno przez źródła antropogeniczne, jak i naturalne. Istotną rolę w kształtowaniu stężenia pyłu odgrywa nie tylko jego emisja pierwotna, ale również emisja prekursorów (zwłaszcza dla frakcji drobnej). Stwierdzono, że w większości przypadków skład pyłu jest zdominowany przez węgiel organiczny, azotany i siarczany – składniki wtórne pyłu, które powstają w wyniku przemian chemicznych w atmosferze, jakim ulegają ich prekursorzy – tlenki siarki i azotu (pochodzenia antropogenicznego) oraz lotne związki organiczne (w rejonie stacji pochodzące głównie z pobliskiej puszczy). Spośród składników pochodzenia naturalnego wyodrębniono chlorki i sód jako składniki aerozolu morskiego. Chociaż w wielu przypadkach stężenie chlorków miało wartości poniżej granicy oznaczalności stosowanej metody analitycznej, to stężenie sodu w wielu przypadkach wydaje się dowodzić wpływu aerozolu morskiego na skład pyłu, zwłaszcza gdy w rejon stacji napływały masy powietrza pochodzenia morskiego. Analiza kierunków napływu mas powietrza w rejon stacji potwierdziła przypuszczenia dotyczące źródeł pochodzenia pyłu i jego składników.



Ryc. 8. Wsteczne trajektorie i skład frakcji pyłu PM_{2,5} i PM_{10-2,5} w wybranych dniach
 Fig. 8. Back trajectories together with PM_{2,5} and PM_{10-2,5} composition for chosen days

6. Literatura

Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 i PM2,5 z uwzględnieniem składu chemicznego pyłu oraz wpływu źródeł naturalnych, 2011 – Raport końcowy z realizacji zadania wykonanego przez konsorcjum w składzie: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy i Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Degórska A., Bartnicki J., 2011: *Udział Polski w atmosferycznym transporcie zanieczyszczeń powietrza na obszarze Europy*. Monografia. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.

Denier van der Gon H., Jozwicka M., Hendriks E., Gondwe M., Schaap M., 2010: *Mineral Dust as a component of Particulate Matter*.

Transboundary particulate matter in Europe, 2012. EMEP Status Report 4/2012.

Gauss M., Nyiri A., Steensen B.M., Klein H., 2012: *Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM*. Poland. Data Note MSC-W 1/2012.

Guidance on the quantification of the contribution of natural sources under the EU Air Quality Directive 2008/20/EC. Draft version 2. European Commission, DG Environment. May 2010.

Matthijsen J., Koelemeijer R., 2010: *Policy research programme on particulate matter. Main results and policy consequences*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Raport „Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2009–2010 w układzie klasyfikacji SNAP i NFR”, 2012; Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (IOŚ-PIB).

Ten Brink H.M., Weijers E.P., Van Arkel F. Th., de Jonge D., 2009: *Carbon (EC/OC) concentrations as derived from routine PM measurements in the Netherlands*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

PARTICULATE MATTER COMPOSITION AT PUSZCZA BORECKA STATION TAKING INTO ACCOUNT ANTHROPOGENIC AND NATURAL EMISSION SOURCES INFLUENCE

Summary

Particulate matter content is formed both by anthropogenic and natural sources. Important role plays not only primary emission but also precursors emission (especially for fine fraction). The article describes PM emission sources as well as spatial variability of primary emission and precursors emission in European Union. Chemical analysis was conducted for fine particles (diameter less than 2,5 μm) and coarse particles (diameter less than 10 μm), taken at Puszcza Borecka Integrated Monitoring Station (owned by Institute of Environmental Protection – National Research Institute). The difference between fine and coarse fraction composition has been investigated, showing the main components for each of them. Chemical composition was brought together with air masses direction and the authors tried to show PM origin sources.