



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

RAPORT Z MODELOWANIA STEŻEŃ PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(A)P W SKALI KRAJU. ROK 2015

Numer i data umowy: Nr 49/2015/F z dnia 9.11.2015 r.



Zleceniodawca:

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa



Praca wykonana na podstawie umowy nr 49/2015/F z dnia 9.11.2015 r. pomiędzy GIOŚ a ATMOTERM S.A. finansowanej ze środków NFOŚiGW na podstawie umowy nr 811/2014/Wn-50/MN-PO-CR/D o realizację zadania państwowej jednostki budżetowej zakwalifikowanego do dofinansowania z dnia 21.11.2014 r.

Opole, 2016 r.



ATMOTERM S. A.

45-031 Opole, ul. Łangowskiego 4

tel. 77 44 26 666, fax 77 44 26 695

Opracowanie wykonano przez ATMOTERM S. A. na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska w ramach pracy pt. „Wspomaganie ocen jakości powietrza z użyciem modelowania w zakresie PM10, PM2,5, SO₂, NO₂, B(a)P dla lat 2015, 2016 i 2017”

Zespół autorów: ATMOTERM S.A.

Kierownik projektu: mgr inż. Aneta Lochno

Zespół w składzie:

dr Agnieszka Placek

dr inż. Iwona Rackiewicz

dr hab. Maciej Kryza

dr Małgorzata Werner

mgr inż. Magdalena Załupka

mgr inż. Tomasz Przybyła

mgr inż. Agata Bechta

mgr Iwona Szatkowska

mgr inż. Agnieszka Bartocha

mgr inż. Ireneusz Sobecki

mgr inż. Wojciech Łata

mgr Wojciech Wahlig

mgr inż. Tomasz Kasjan

Opieka ze strony Zarządu:

PREZES ZARZĄDU

mgr inż. Ryszard Pazdan

Spis treści

1. Wstęp.....	7
1.1. Cel i zakres pracy	7
2. Analiza wyników modelowania krajowego dla roku 2015	11
2.1. Przeprowadzone procesy w ramach modelowania w skali kraju	11
2.2. Parametry modelu, przemiany fizykochemiczne.....	12
2.3. Przebieg modelowania w skali kraju	13
2.4. Przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń dla Polski	13
2.5. Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia	13
2.6. Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony roślin.....	22
3. Ocena jakości modelowania.....	23
3.1. Ocena sprawdzalności modelu w ramach DELTA TOOL	23
4. Transgraniczne przenoszenie zanieczyszczeń powietrza	28
4.1. Analiza transgranicznego transportu zanieczyszczeń według EMEP	29
4.2. Analiza transgranicznego transportu zanieczyszczeń w ramach krajowej oceny jakości powietrza.....	31
5. Analiza udziału poszczególnych źródeł emisji	36
5.1. Udziały źródeł emisji w punktach stacji pomiarowych systemu PMS.....	44
6. Wojewódzka ocena jakości powietrza za rok 2015 - podsumowanie.....	53
6.1. Przeprowadzone procesy w ramach wspomagania oceny wojewódzkiej.....	53
6.2. Analiza wyników wspomagania wojewódzkiej oceny jakości powietrza dla roku 2015	56
6.2.1. Wyniki wspomagania oceny jakości powietrza według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia.....	56
6.2.2. Wyniki wspomagania oceny jakości powietrza według kryteriów odniesionych do ochrony roślin.....	64
6.2.3. Zagadnienia techniczne analiz przestrzennych wpływające na rozkłady stężeń oraz określanie obszarów przekroczeń.....	65
7. Działania niezbędne do osiągnięcia standardów jakości powietrza.....	66
7.1. Podstawowe kierunki działań	67
7.2. Opis działań naprawczych	70
8. Podsumowanie	73
9. SPIS TABEL	75
10. SPIS RYSUNKÓW.....	75

1. Wstęp

Opracowany raport jest rezultatem realizacji II etapu pracy w ramach projektu „Wspomaganie systemu ocen jakości powietrza z użyciem modelowania w zakresie PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P dla lat 2015, 2016 i 2017” w ramach umowy nr 49/2015/F z dnia 9.11.2015 roku podpisanej pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska, a firmą ATMOTERM S.A. Zawiera on prezentację i analizę wyników modelowania dla roku 2015 do celów krajowej oceny jakości powietrza, a także załączniki dokumentujące realizację niektórych zadań cząstkowych, które są przedmiotem odbioru tego etapu. Szczegółowy zakres i zawartość raportu precyzuje rozdział 1.1.

Jedną z części II etapu projektu było przygotowanie danych do wojewódzkich ocen jakości powietrza, które zostały ujęte w raporcie cząstkowym "Wyniki modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza dla roku 2015". Podsumowanie wyników tego etapu prac zostało również ujęte w niniejszym raporcie.

1.1. Cel i zakres pracy

Realizacja projektu wynika z wymogów zawartych w Ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2013 r. poz. 1232, z późn. zm.) oraz z zapisów Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy zalecających stosowanie modelowania jako metody uzupełniającej pomiary jakości powietrza lub w szczególnych warunkach je zastępującej.

W dotychczas wykonywanych ocenach jakości powietrza, każdy z wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska wykorzystywał metody uzupełniające w różnym zakresie. Modelowanie matematyczne – jeśli było prowadzone – opierało się na lokalnych bazach emisyjnych o zróżnicowanej architekturze, w związku z czym system ten nie zapewniał jednolitości otrzymywanych wyników. Z kolei oceny roczne dokonywane wyłącznie w oparciu o pomiary jakości powietrza, nie dostarczały wystarczającej informacji o zróżnicowaniu stężeń normowanych substancji.

Wyniki realizowanego projektu mają wspomóc system corocznych ocen jakości powietrza w zakresie PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P w skali kraju oraz poszczególnych województw. System wspomagania zakłada wykorzystanie zarówno metod modelowania jak i wyników pomiarów wykonywanych przez wojewódzkie inspektoraty ochrony środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Wszystkie materiały będące efektem wykonanych prac sporządzane są dla dwóch wariantów:

- wariant I - z wykorzystaniem wyłącznie modelowania stężeń zanieczyszczeń,
- wariant II - z wykorzystaniem metody łączenia wyników modelowania stężeń zanieczyszczeń z wariantu I z wynikami pomiarów.

Podstawę modelowania stanowi spójna baza emisyjna zawierająca informacje o źródłach emisji dla całego kraju. Celem zastosowania metody modelowania jako uzupełniającej wyniki

pomiarów jest m. in. umożliwienie identyfikacji obszarów zagrożonych występowaniem przekroczeń stężeń dopuszczalnych lub docelowych normowanych substancji poza obszarami posiadającymi reprezentatywne stacje pomiarowe.

Wszystkie rozwiązania metodyczne systemu wspomagania oceny jakości powietrza z użyciem modelowania przyjęte m.in. w odniesieniu do: meteorologii, emisji, warunków brzegowych, obliczeń modelowych, sposobu oszacowania wielkości obszarów przekroczeń (km^2) i populacji (tys.) narażonej na ponadnormatywne stężenia dla całego kraju, zostały opisane w ramach budowy koncepcji systemu w opracowaniu p.t.: „Metoda modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P na potrzeby rocznych ocen jakości powietrza dla lat 2015, 2016 i 2017”, stanowiącym przedmiot odbioru I etapu realizacji niniejszego projektu. Na obecnym etapie rozwiązania te zostały wdrożone i wykorzystane do przygotowania materiałów wspomagających dla krajowej oceny jakości powietrza.

Założona rozdzielczość przestrzenna modelowania, która w wystarczającym stopniu spełnia potrzeby oceny na szczeblu wojewódzkim, jest wysoka: na terenie aglomeracji i miast stanowiących strefy oceny jakości powietrza według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 2 sierpnia 2012 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza (Dz. U. 2012 poz. 914), a także dla dodatkowo wyznaczonych w projekcie miast o liczbie ludności pomiędzy 50 a 100 tys. mieszkańców, siatka receptorów rozmieszczona jest co 0,5 km. Na terenie pozostałych stref modelowanie dostarcza informacji w siatce 1 km. Do modelowania w skali wojewódzkiej w niniejszym projekcie został wybrany wysokorozdzielczy model CALPUFF, którego parametry zostały omówione we wspomnianym wyżej opracowaniu oraz w raporcie cząstkowym z wyników modelowania na potrzeby oceny wojewódzkiej.

Modelowanie w skali wojewódzkiej wymaga jednocześnie zapewnienia szerokiej informacji wejściowej odnośnie meteorologii oraz warunków brzegowych, uwzględniających także emisję z terenu państw ościennych. Takie wsparcie zapewnia w niniejszym projekcie mezoskalowy model eulerowski WRF-Chem, który posiada szerszą domenę obliczeniową. Jego rozdzielczość przestrzenna jest niższa (domena obliczeniowa dla Europy ma rozdzielczość 12 km x 12 km, natomiast zagnieżdżona domena dla Polski 4x4 km), a wyniki, uwzględniające rozbudowany mechanizm przemian chemicznych, stanowią jednocześnie zgeneralizowany materiał posłkowy do sporządzenia oceny jakości powietrza w skali kraju. Wyniki modelowania dla kraju dla 2015 roku modelem WRF-Chem zostaną szczegółowo przedstawione w kolejnych rozdziałach.

Zakres II etapu projektu, którego podsumowanie stanowi niniejszy raport, obejmował następujące zadania:

1. aktualizacja bazy danych emisyjnych oraz udostępnienie bazy WIOŚ do celów weryfikacji;
2. wykonanie modelowania dyspersji zanieczyszczeń dla kraju i poszczególnych województw z uwzględnieniem podziału na strefy oceny jakości powietrza;
3. opracowanie wyników modelowania i ich analiza w II wariantach (z wykorzystaniem wyłącznie modelowania oraz z włączeniem danych ze stacji);

4. przekazanie raportu cząstkowego „Wyniki modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza dla roku 2015”;
5. przekazanie raportu końcowego etapu „Raport z modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P w skali kraju. Rok 2015”.

Cztery pierwsze zadania zostały zrealizowane zgodnie z zatwierdzonym harmonogramem, w terminie do 20 marca 2016 roku. Przedmioty odbioru cząstkowego stanowiły:

- zaktualizowane bazy emisyjne (wojewódzkie oraz baza krajowa);
- mapy rozkładu wielkości emisji (wraz z analizą i zestawieniami zawartymi w raporcie);
- wyniki modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P, dla wariantu I i II na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza dla roku 2015 zestawione w arkuszach Excel
- mapy rozkładu stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P, dla wariantu I i II według wymaganych prawem wartości średnich rocznych, godzinnych lub dobowych;
- warstwy rastrowe rozkładów stężeń dla województw;
- pliki w formacie shapefile zawierające poligony z wyznaczonymi obszarami przekroczeń wraz z oszacowaną liczbą narażonej ludności (w tys.) i obliczoną powierzchnią (w km²)
- podsumowanie otrzymanych wyników w formie raportu w raz z analizą sprawdzalności modelu CALPUFF.

Niniejszy raport zawiera:

- prezentację i analizę wyników modelowania w skali kraju (w tym mapy rozkładu stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P, dla wariantu I i II według wymaganych prawem wartości średnich rocznych, godzinnych lub dobowych);
- ocenę i analizę sprawdzalności modelu WRF-Chem;
- omówienie wpływu transportu transgranicznego na kształtowanie się stężeń modelowanych substancji;
- analizę udziału poszczególnych źródeł emisji w zanieczyszczeniu PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P;
- analizę przyczyn modelowanych przekroczeń;
- propozycje działań zmierzających do poprawy jakości powietrza w kontekście zdiagnozowanych przyczyn przekroczeń;

W formie załączników dołączone są:

- sprawozdanie z przeprowadzonej weryfikacji bazy emisyjnej na poziomie wojewódzkim przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska,
- opis zmian w bazie emisyjnej wykonanych na potrzeby wojewódzkich ocen jakości powietrza za 2015 rok oraz wskazanie rekomendacji do dalszego rozwoju bazy emisyjnej w kolejnych etapach realizacji projektu,
- sprawozdanie z przeprowadzonych konsultacji dla Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska, dotyczących poprawności i możliwości oraz sposobu

wykorzystania wyników, analiz i danych wejściowych i wyjściowych uzyskanych w ramach etapu.

Ponadto przedmioty odbioru przekazane wraz z raportem stanowią:

- wyniki modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P, dla wariantu I i II na potrzeby krajowej oceny jakości powietrza dla roku 2015 zestawione w arkuszu Excel
- mapy rozkładu stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P, dla wariantu I i II według wymaganych prawem wartości średnich rocznych, godzinnych lub dobowych;
- warstwy rastrowe rozkładów stężeń dla województw;
- pliki w formacie shapefile zawierające poligony z wyznaczonymi obszarami przekroczeń wraz z oszacowaną liczbą narażonej ludności (w tys.) i obliczoną powierzchnią (w km²)

2. Analiza wyników modelowania krajowego dla roku 2015

2.1. Przeprowadzone procesy w ramach modelowania w skali kraju

W celu wykonania krajowej oceny jakości powietrza wykorzystano model WRF-Chem (Weather Research and Forecasting with Chemistry), będący mezoskalowym siatkowym modelem transportu zanieczyszczeń.

Jest to model typu eulerowskiego, zintegrowany w tzw. sposób „online” z meteorologicznym modelem WRF, dzięki czemu procesy meteorologiczne i chemiczne liczone są symultanicznie i mogą nawzajem na siebie oddziaływać. Szczegółowy opis modelu znajduje się w pracach m.in. Grell et al. (2005) i Fast et al. (2006).

WRF-Chem jest szeroko stosowany na świecie, w tym w Europie, zarówno do modelowania warunków meteorologicznych, które w dalszym etapie są wykorzystywane m.in. jako informacja wejściowa do modeli transportu zanieczyszczeń, jak również do zintegrowanego modelowania meteorologii i jakości powietrza (Forkel et al., 2012; De Meij et al., 2015; Tuccella et al., 2012; Zhang et al., 2012; Werner et al., 2015a). Dla obszaru Polski wyniki modelu były prezentowane przez M. Kryżę et al. (2013), Wałszek et al. (2015), Werner et al. (2015b).

Z otrzymanych serii czasowych dla każdego punktu modelowania obliczono niezbędne parametry statystyczne odpowiadające wartościom normowanym rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu¹ dla każdej z modelowanych substancji - PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂ i BaP.

Następnie opracowano wizualizację wyników modelowania. W wariancie I wykonano interpolację danych punktowych z wykorzystaniem metody IDW, przy zachowaniu rozdzielczości rastra 4 km, zgodnej z rozdzielczością siatki modelowania.

Wariant II obejmował korektę wyników modelu do wyników pomiarów otrzymanych ze stacji Państwowego Monitoringu Środowiska z wykorzystaniem analiz przestrzennych w środowisku GIS. Kalibracja wyników dla kraju obejmowała zastosowanie regresji liniowej (OLS) oraz krigingu reszt regresji (Empirical Bayesian Kriging). Analizę prowadzono w dwóch podzbiorach, z uwzględnieniem stacji miejskich i podmiejskich (łącznie) oraz stacji pozamiejskich. Warunkiem włączenia stacji do kalibracji było minimum 75% pokrycia roku danymi. Narzędzie wspomagające analizę stanowiły rastry referencyjne tła miejskiego i pozamiejskiego interpolowane na podstawie wyników pomiarów, z których pozyskiwano uzupełniające punkty reperowe, reprezentatywne odpowiednio dla obszarów o określonej gęstości zaludnienia. Każdy z punktów modelowania był klasyfikowany do jednego z trzech przedziałów gęstości zaludnienia (powyżej 500 osób/km², poniżej 50 osób/km² oraz obszary pośrednie) i podlegał kalibracji zgodnie z przyjętym schematem. Finalnym efektem wariantu II był ponownie zestaw wartości przeliczonych dla wszystkich punktów modelowania oraz raster o rozdzielczości 4 km, będący wynikiem interpolacji danych w punktach węzłowych siatki.

¹ Dz. U. z 2012 r. poz.1031

Na podstawie sporządzonych rastrów, dla każdego z wariantów opracowano pliki w formacie shapefile reprezentujące poligony, stanowiące obszary przekroczeń wartości dopuszczalnych lub docelowych stężeń analizowanych substancji. Tabela atrybutów każdego pliku zawiera podstawowe informacje o strefie oceny jakości powietrza, wielkości danego obszaru oraz liczbie ludności narażonej na ponadnormatywne stężenia substancji w powietrzu, oszacowanej na podstawie rastra gęstości zaludnienia o rozdzielczości 100 m, opracowanego przez F.J Gallego², dostępnego na stronie Europejskiej Agencji Środowiska³. Raster został zaktualizowany z uwzględnieniem zmian liczby ludności dla powiatów na podstawie danych GUS wg stanu na dzień 31.12.2014 (najnowszych, jakie były dostępne w chwili opracowywania danych dla obszarów przekroczeń). Poligony z obszarami przekroczeń przygotowane zostały w wersji szczegółowej (z wyodrębnieniem wszystkich obszarów częściowych jako osobnych obiektów) oraz zagregowanej do multipolygonów dla każdej strefy oceny jakości powietrza.

2.2. Parametry modelu, przemiany fizykochemiczne

W modelu WRF-Chem zaimplementowanych jest kilkanaście schematów: mikrofizyki, promieniowania krótko i długofalowego, warstwy granicznej, parametryzacji konwekcji oraz przemian chemicznych dla gazów oraz aerozoli. Podstawowe ustawienia oraz zastosowane rozwiązania fizyczne i chemiczne znajdują się w tabeli poniżej.

Tabela 1. Ustawienia modelu WRF-Chem

Kategoria	Ustawienia WRF-Chem
Domeny, liczba gridów	Europa 285x332, Polska 250x232
Rozdzielczość przestrzenna	12km x 12km, 4km x 4km
Rozdzielczość pionowa	35 warstw
Rozdzielczość czasowa zapisu wyników	1 godzina
Promieniowanie krótko i długo falowe	RRTMG
Schemat warstwy granicznej	YSU
Parametryzacja konwekcji	Grell and Devenyi (2002)
Mikrofizyka	Morrison double-moment
Schematy chemiczne dla gazów i aerozoli	RADM2&MADE/SORGAM z uwzględnieniem reakcji w fazie ciekłej

² Gallego F.J., 2010, A population density grid of the European Union, Population and Environment. 31: 460-473

³ <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2#tab-gis-data>

2.3. Przebieg modelowania w skali kraju

Symulacje z modelem WRF-Chem zostały wykonane dla dwóch domen obliczeniowych, zagnieżdżonych jednokierunkowo. Domena pierwsza (d01) obejmowała obszar Europy w rozdzielczości przestrzennej 12 km x 12 km, natomiast domena druga objęła obszar Polski w rozdzielczości przestrzennej 4 km x 4 km. Wyniki zapisywane są z rozdzielczością czasową 1 h.

2.4. Przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń dla Polski

Przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń dla obszaru kraju został wyznaczony dla dwóch wariantów z wykorzystaniem wyników modelowania matematycznego. Dla obu wariantów zostały również obliczone obszary występowania przekroczeń oraz liczba narażonej ludności w odniesieniu do wartości dopuszczalnych i docelowych substancji w powietrzu.

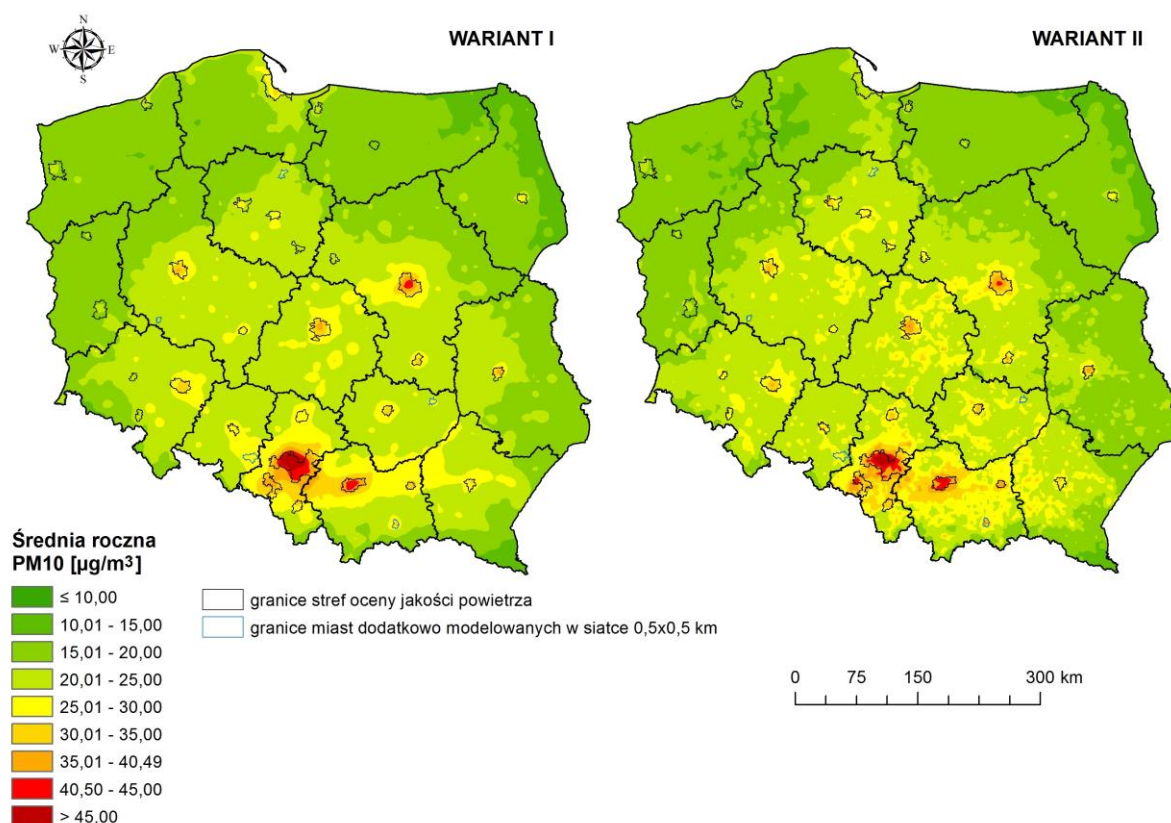
2.5. Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia

Pył zawieszony PM10

Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM10, będący wynikiem modelowania krajowego modelem WRF-Chem, przedstawia Rysunek 1. Na przeważającym obszarze kraju w obu wariantach stężenia pyłu PM10 osiągają między 15 a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Różnice między wariantem I i II zaznaczają się głównie lokalnie. Wariant II prezentuje obraz bardziej mozaikowy, nawiązujący w większym stopniu do zróżnicowania gęstości zaludnienia a także odzwierciedla bardziej prawidłowo wartości stężeń rejestrowane na stacjach pomiarowych.

Obszary przekroczeń w obu wariantach zestawiono w Tabeli 2. Ich powierzchnia oraz liczba ludności w obu wariantach jest zbliżona, jednak rozkład przestrzenny ulega zmianie. W wariantcie I obszary przekroczeń obejmują 3 aglomeracje (górnąśląską, krakowską i warszawską) oraz peryferyjne obszary sąsiadujących z nimi stref. W wyniku kalibracji zmniejsza się zasięg obszarów przekroczeń w aglomeracji warszawskiej i górnośląskiej, pojawiają się jednocześnie nowe obszary przekroczeń w aglomeracji łódzkiej i rybnicko-jastrzębskiej oraz w rejonie Nowego Sącza.

Rozkład 36-tych maksymalnych stężeń dobowych pyłu PM10 ulega większym przekształceniom w wyniku kalibracji. Zestawienie map dla wariantu I i II (Rysunek 2) wskazuje, że wariant I wykazywał lekkie niedoszacowanie stężeń tła pozamiejskiego w województwach północnej części kraju (średnio 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Istotnym zmianom podlega zasięg i kształt obszarów przekroczeń (por. Tabela 2). Zwarte powierzchnie w wyniku kalibracji ulegają rozczłonkowaniu. Ich łączna powierzchnia zwiększa się z 15834 km² do 25735 km², a liczba zagrożonej ludności wzrasta o ponad 20%. Liczne nowe obszary przekroczeń pojawiają się głównie w południowej i środkowej Polsce. Eliminacji podlega natomiast obszar przekroczeń w rejonie aglomeracji trójmiejskiej.



Rysunek 1 Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM10 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariantach I i II.

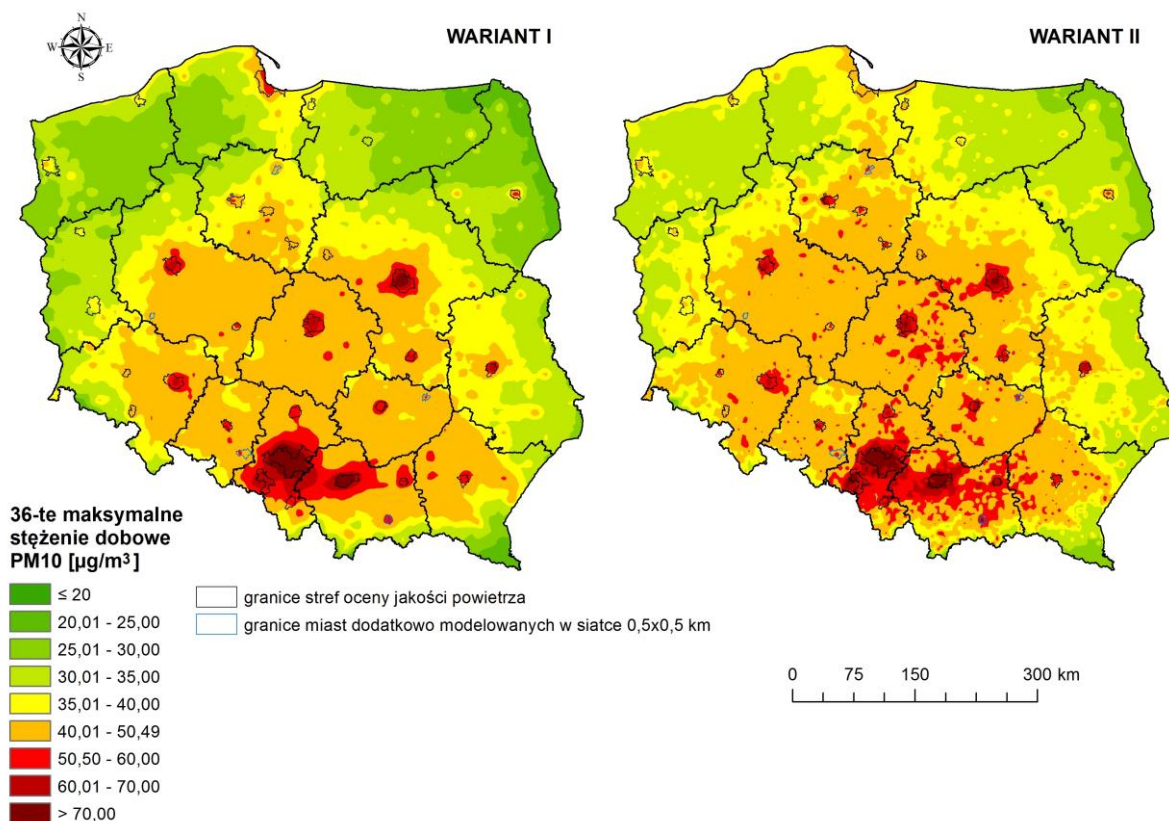
Tabela 2. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.⁴

względem na ochronę środowia, dla wariantu I i II.			
Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys.]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	1184	2836,1
2	stężenie 24-godzinne	15834	12498,4
WARIANT II			
1	stężenie średnioroczne	1072	2717,6
2	stężenie 24-godzinne	25735	15990,7

Rozkłady stężeń dla pyłu PM10 w skali kraju przedstawiono również na mapach zamieszczonych w załączniku elektronicznym nr 1 do raportu oznaczonych symbolami:

- KRAJ_PM10_A_W1_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM10 dla skali kraju dla wariantu I,
- KRAJ_PM10_36D_W1_2015.jpg - rozkład stężeń wyrażonych jako percentyl 90,4 ze stężeń 24-godzinnych pyłu PM10 dla wariantu I.

⁴ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem WRF-Chem w wariantach I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMS z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariantach I i II



Rysunek 2. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu PM10 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.

Załącznik elektroniczny nr 2 do raportu zawiera warstwy wektorowe z granicami obszarów przekroczeń oznaczone symbolami:

- KRAJ_PM10_A_W1.shp - plik z granicami obszarów przekroczeń stężeń średniorocznych pyłu PM10 dla wariantu I dla obszaru kraju,
- KRAJ_PM10_36D_W1.shp - plik z granicami obszarów przekroczeń percentyla 90,4 ze stężeń 24-godzinnych pyłu PM10 dla wariantu I dla obszaru kraju.

Analogiczne załączniki dotyczą wariantu II z oznaczeniem W2 w nazwie plików.

Pył zawieszony PM2,5

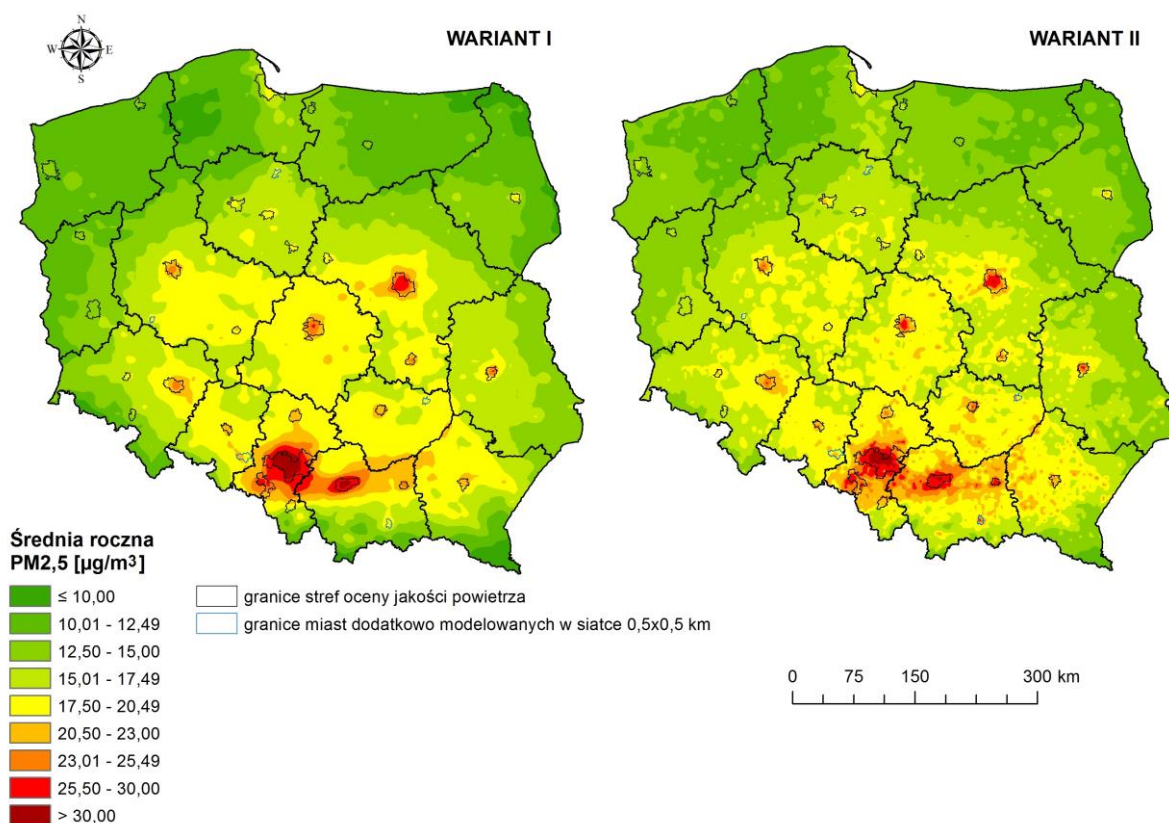
Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM2,5 wykazuje podobieństw przestrzenne do rozkładu stężeń średniorocznych pyłu PM10 (Rysunek 3). Obszar wysokich stężeń występuje głównie w Polsce południowej (woj. śląskie i małopolskie). Obszary, dla których przekroczone jest stężenie dopuszczalne, według wariantu I występują również w obrębie aglomeracji warszawskiej, łódzkiej i lubelskiej. Kalibracja ponownie powoduje rozczłonkowanie obszaru przekroczeń. Zmniejsza się powierzchnia przekroczeń w skali kraju (w tym obszary przekroczeń w strefie śląskiej), pojawiają się jednak nowe obszary w centrach miast, takich jak Wrocław, Poznań, Tarnów, Radom i Kielce, w związku z czym wzrasta liczba ludności narażonej na niekorzystne oddziaływanie zanieczyszczonego powietrza (Tabela 3).

W przypadku braku poprawy jakości powietrza, obszary narażone w odniesieniu do normy ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), która będzie obowiązywała od roku 2020, mogą kilkukrotnie zwiększyć swój

zasięg, wobec czego działania naprawcze omówione w dalszej części raportu należy uznać za niezbędne.

Tabela 3. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych pyłu zawieszonego PM_{2,5} w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.⁵

Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys.]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	3376	4669,5
WARIANT II			
1	stężenie średnioroczne	3024	5639,8



Rysunek 3. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariantcie I i II.

Rozkłady stężeń dla pyłu PM_{2,5} w skali kraju przedstawiono również na mapach zamieszczonych w załączniku elektronicznym nr 1 do raportu oznaczonych symbolami:

- KRAJ_PM25_A_W1_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} dla skali kraju dla wariantu I,

⁵ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem WRF-Chem w wariantcie I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMS z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariantcie II

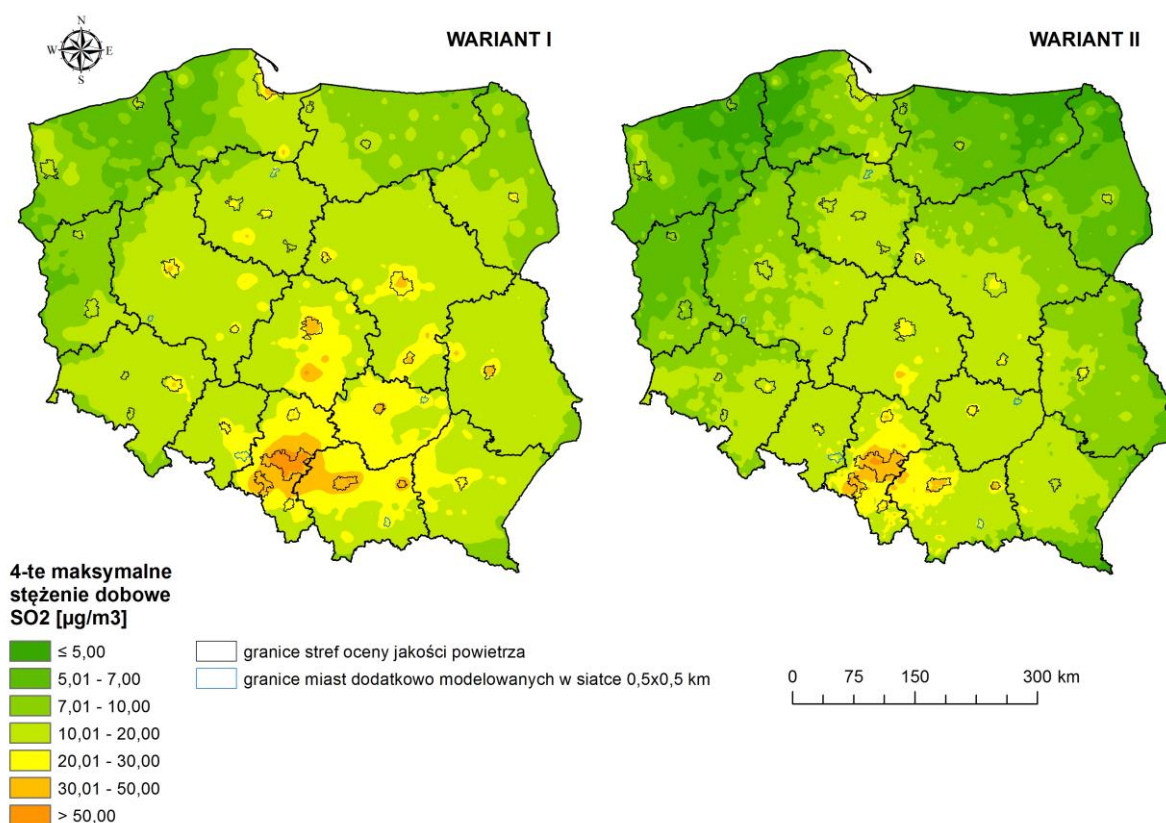
- KRAJ_PM25_A_W2_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} dla skali kraju dla wariantu II,

Załącznik elektroniczny nr 2 do raportu zawiera warstwy wektorowe z granicami obszarów przekroczeń oznaczone symbolami:

- KRAJ_PM25_A_W1.shp - plik z granicami obszarów przekroczeń stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} dla wariantu I dla obszaru kraju.
- KRAJ_PM25_A_W2.shp - plik z granicami obszarów przekroczeń stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} dla wariantu II dla obszaru kraju.

Dwutlenek siarki

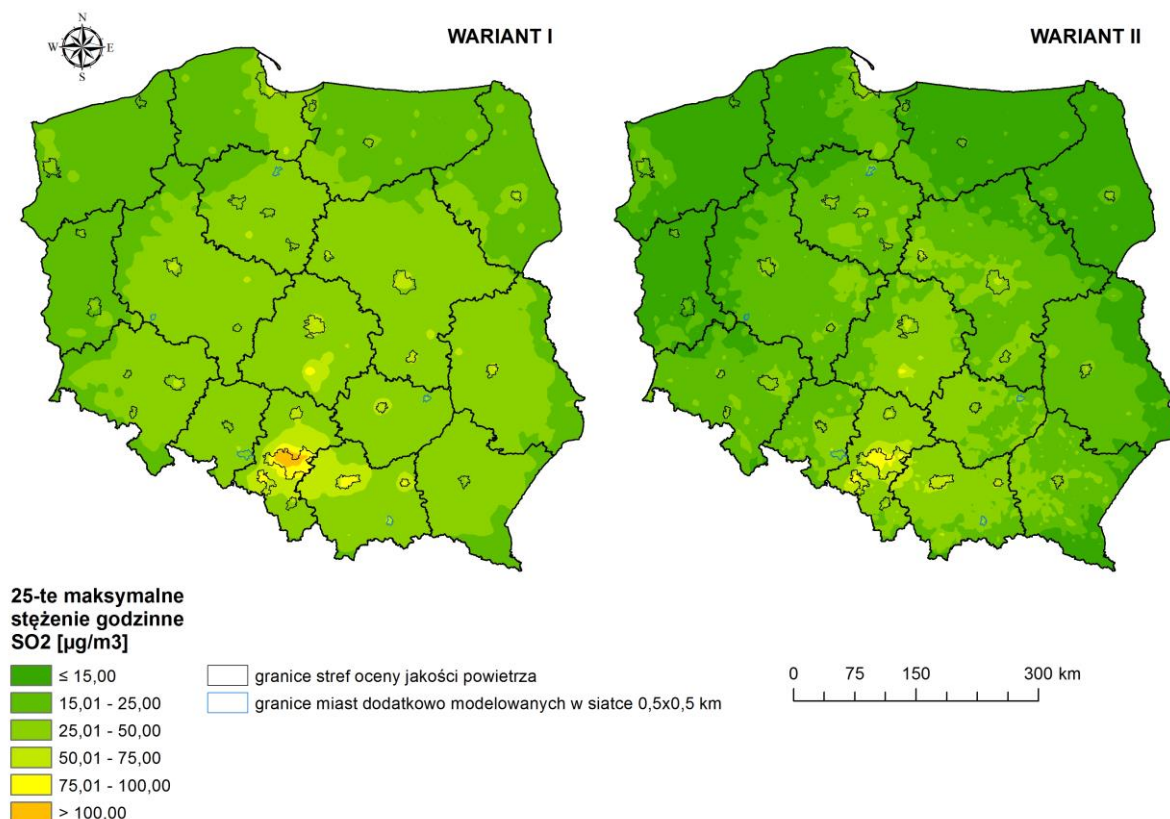
Rozkład stężeń dwutlenku siarki na obszarze kraju nie wskazuje na występowanie obszarów przekroczeń wartości normatywnych zarówno stężeń 1-godzinnych jak i stężeń 24-godzinnych (wyrażonych jako percentyl 99,7 dla rocznej serii stężeń 1-godzinnych, oraz percentyl 99,2 dla rocznej serii stężeń 24-godzinnych) (Rysunek 4 i 5). Średni poziom czwartych maksymalnych stężeń dobowych utrzymuje się na poziomie 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 4. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,2 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.

Wyższe niż przeciętne stężenia dobowe według modelowania w wariancie I występują głównie w rejonie aglomeracji górnośląskiej, rybnicko-jastrzębskiej, krakowskiej, łódzkiej, lubelskiej i warszawskiej a także w okolicach Bełchatowa, są to jednak wartości odległe od stężenia dopuszczalnego określonego jako 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a kalibracja do wyników stacji

w wariancie II skutkuje generalnie obniżeniem stężeń względem wartości modelowanych. Podobna jest sytuacja w przypadku stężeń godzinnych (Rysunek 5).



Rysunek 5. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,7 ze stężeń w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.

Graficzne zobrazowanie rozkładu stężeń dla dwutlenku siarki dla skali kraju stanowią mapy umieszczone w załączniku elektronicznym nr 1 do raportu oznaczone symbolami:

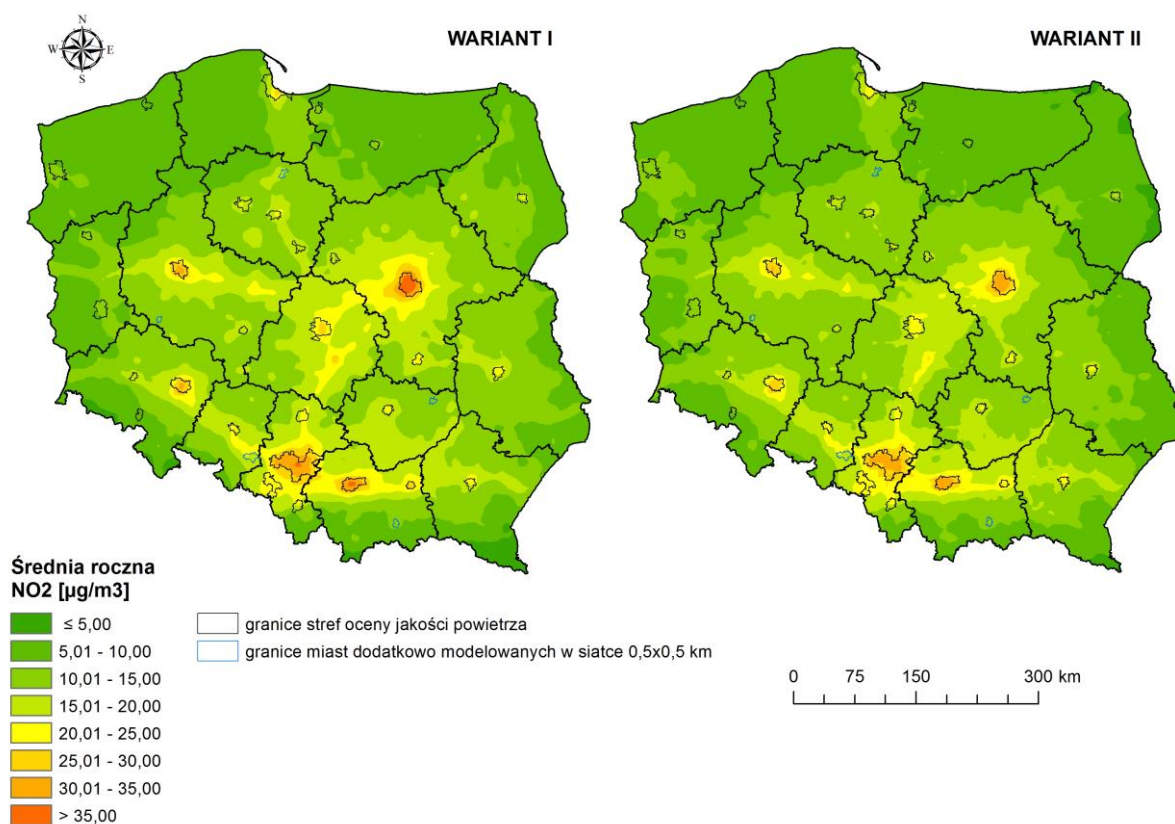
- KRAJ_SO2_4d_W1_2015.jpg - rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażony jako percentyl 99,2 ze stężeń w podziale na strefy województwa dla wariantu I,
- KRAJ_SO2_25h_W1_2015.jpg - rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażony jako percentyl 99,7 ze stężeń w podziale na strefy województwa dla wariantu I.

Analogiczne załączniki dotyczą wariantu II z oznaczeniem W2 w nazwie plików.

Dwutlenek azotu

Wyniki modelowania oraz wyniki analiz przestrzennych pozwoliły na określenie rozkładu średniorocznych (Rysunek 6) i 1-godzinnych stężeń dwutlenku azotu na obszarze kraju (Rysunek 7). Podwyższone stężenia dla obu tych parametrów nawiązują do przebiegu głównych ciągów komunikacyjnych. Najwyższe średnie roczne wartości modelowane są w rejonie aglomeracji warszawskiej, górnośląskiej i krakowskiej, w żadnym z węzłów siatki

nie osiągają one jednak wartości ponadnormatywnych rejestrowanych na stacjach komunikacyjnych. Również kalibracja w skali 4-kilometrowej siatki nie powoduje podniesienia modelowanych stężeń.



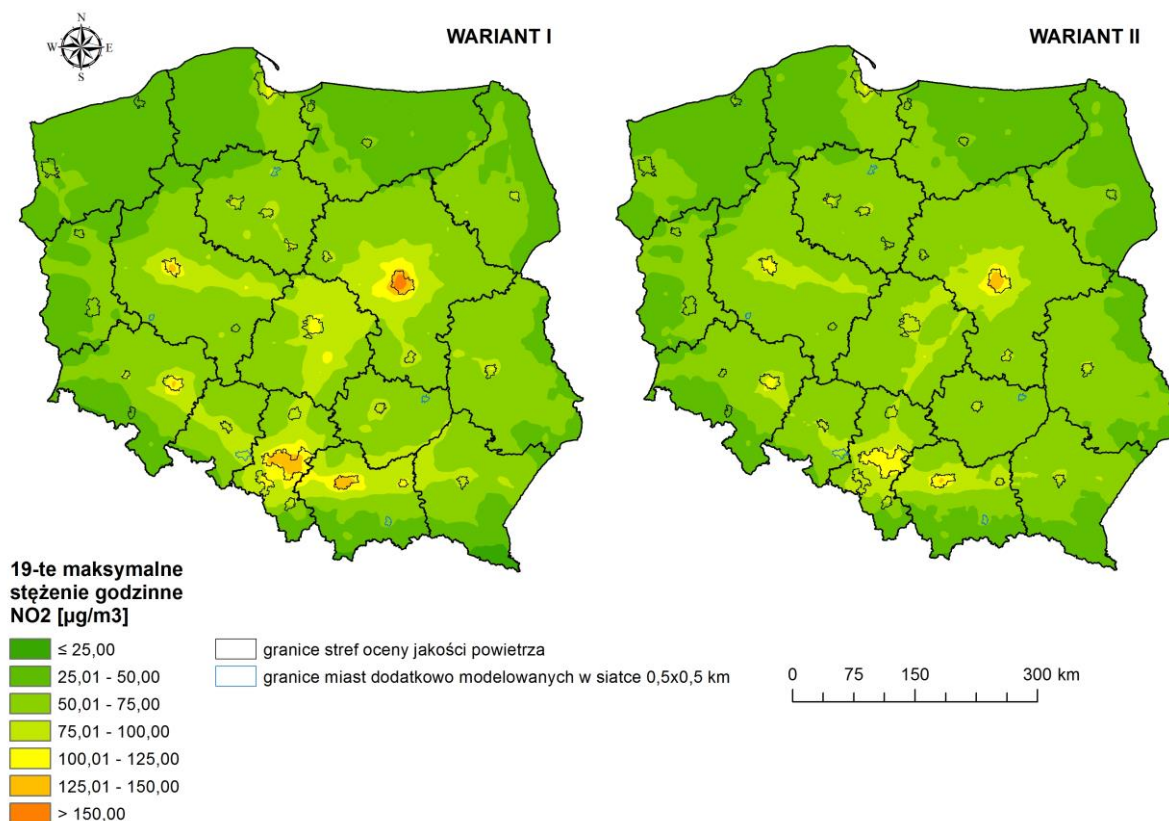
Rysunek 6. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariantach I i II.

Maksymalne 19-te stężenia godzinne także nie osiągają wartości dopuszczalnej według modelowania, a ni też w wariantcie skalibrowanym. Podobnie jak dla wartości pomiarowych, najwyższe stężenia godzinne dwutlenku azotu modelowane są w Warszawie.

Rozkłady stężeń dwutlenku azotu na obszarze kraju w obu wariantach przedstawiają mapy umieszczone w załączniku elektronicznym nr 1 do raportu oznaczone symbolami:

- KRAJ_NO2_A_W1_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w skali kraju dla wariantu I,
- KRAJ_NO2_19h_W1_2015.jpg - rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażony jako percentyl 99,8 ze stężeń w skali kraju dla wariantu I,

Analogiczne załączniki dotyczą wariantu II z oznaczeniem W2 w nazwie plików.



Rysunek 7. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako percentyl 99,8 ze stężeń w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariantcie I i II.

Benzo(a)piren

Ze względu na to, że model WRF-Chem nie modeluje bezpośrednio stężeń benzo(a)pirenu, wielkość ta została wyznaczona na podstawie stężeń pyłu PM₁₀ z zastosowaniem równania regresji na bazie wielkości pomiarowych ze stacji monitoringu⁶.

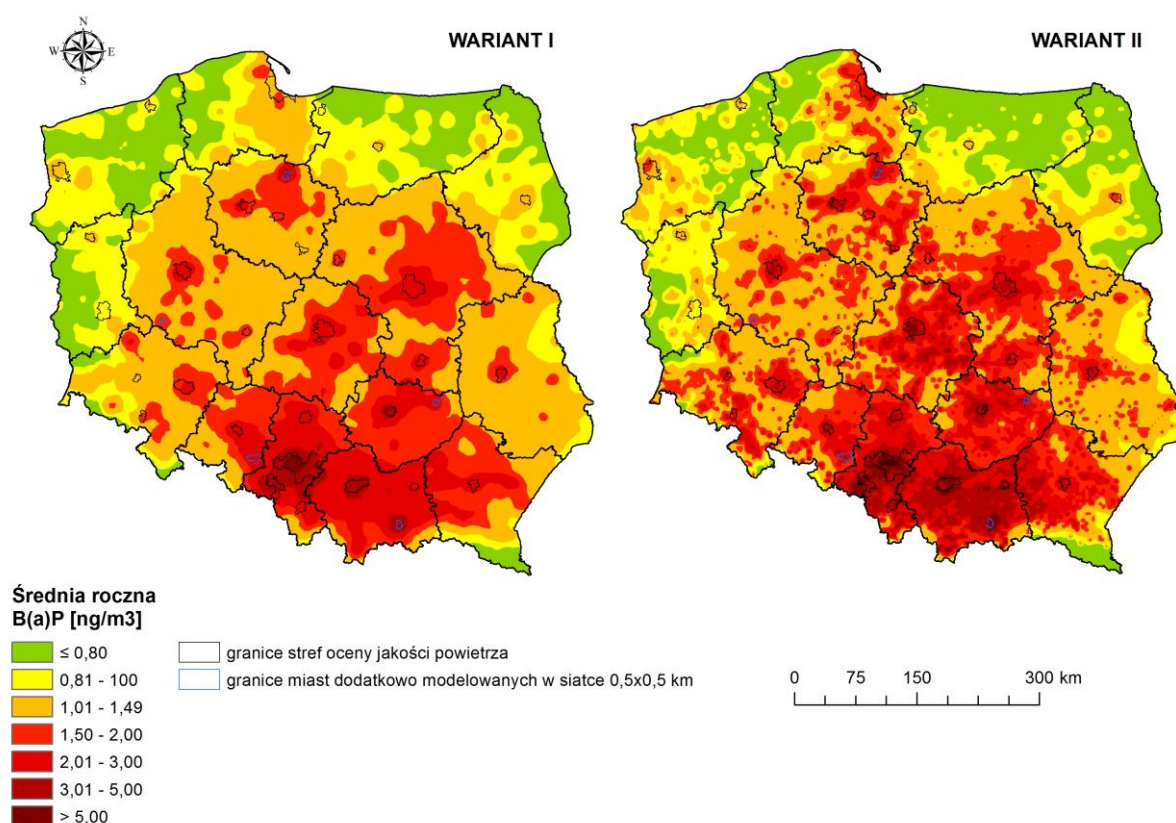
Wysokość stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w pyłe PM₁₀ wskazuje na znaczny obszar występowania przekroczeń w skali kraju zarówno w wariantcie I jak i wariantcie II (Rysunek 8, Tabela 4). Przekroczenia poziomu docelowego według wariantu I występują głównie w południowej i środkowej części kraju i obejmują blisko 31% jego powierzchni, w związku z czym na negatywne oddziaływanie benzo(a)pirenu narażone jest 60% populacji Polski. Kalibracja do wyników stacji zwiększa jeszcze te liczby. W wariantcie II obszar przekroczeń osiąga 37,5% powierzchni kraju i powoduje zagrożenie dla 70% mieszkańców. Benzo(a)piren jest tym samym największym problemem ochrony powietrza w Polsce. Według pomiarów poziom dopuszczalny tego zanieczyszczenia jest lokalnie przekraczany aż 10-krotnie.

⁶ Wyznaczone równanie regresji potęgowej dla zbioru 125 stacji wykazuje współczynnik korelacji na poziomie $R^2=0,7396$

Tabela 4. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych benzo(a)pirenu w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.⁷

ochronę środowia, dla wariantu P.11.

Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	98078	23 280,4
WARIANT II			
2	stężenie średnioroczne	117352	27 316,6



Rysunek 8. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariantach I i II.

Rozkład stężeń średniorocznych B(a)P w 2015 roku został przedstawiony graficznie w postaci map stanowiących załącznik nr 1 do raportu oznaczony symbolami:

- KRAJ_BAP_A_W1_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w skali kraju dla wariantu I,
- KRAJ_BAP_A_W2_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w skali kraju dla wariantu II,

⁷ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem WRF-Chem w wariantach I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMS z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariantach II

Załącznik elektroniczny nr 2 do raportu zawiera warstwy wektorowe z granicami obszarów przekroczeń oznaczone symbolami:

- KRAJ15_BAP_A_W1.shp - plik z granicą obszaru przekroczeń normy dla stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu dla wariantu I.
- KRAJ15_BAP_A_W2.shp - plik z granicą obszaru przekroczeń normy dla stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu dla wariantu II.

2.6. Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony roślin

Dwutlenek siarki

Wysokość stężeń średniorocznych dwutlenku siarki na przeważającym obszarze kraju utrzymuje się na niskim poziomie – poniżej 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rysunek 9). Wyższe stężenia modelowane są głównie w województwie śląskim. Ze względu na wyłączenie obszarów stref-miast i aglomeracji z oceny pod względem kryteriów odniesionych do ochrony roślin, w wariantie I jedynie dla obszaru peryferyjnego aglomeracji górnośląskiej jest modelowane nieznaczne przekroczenie poziomu dopuszczalnego (Tabela 5). Wyniki pomiarów na stacjach oraz wyniki wariantu II nie wskazują na występowanie obszarów przekroczeń w skali kraju.

Tabela 5. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych dwutlenku siarki w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę roślin, dla wariantu I.⁸

Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń
		Obszar [km ²]
WARIANT I		
1	stężenie średnioroczne	39,8

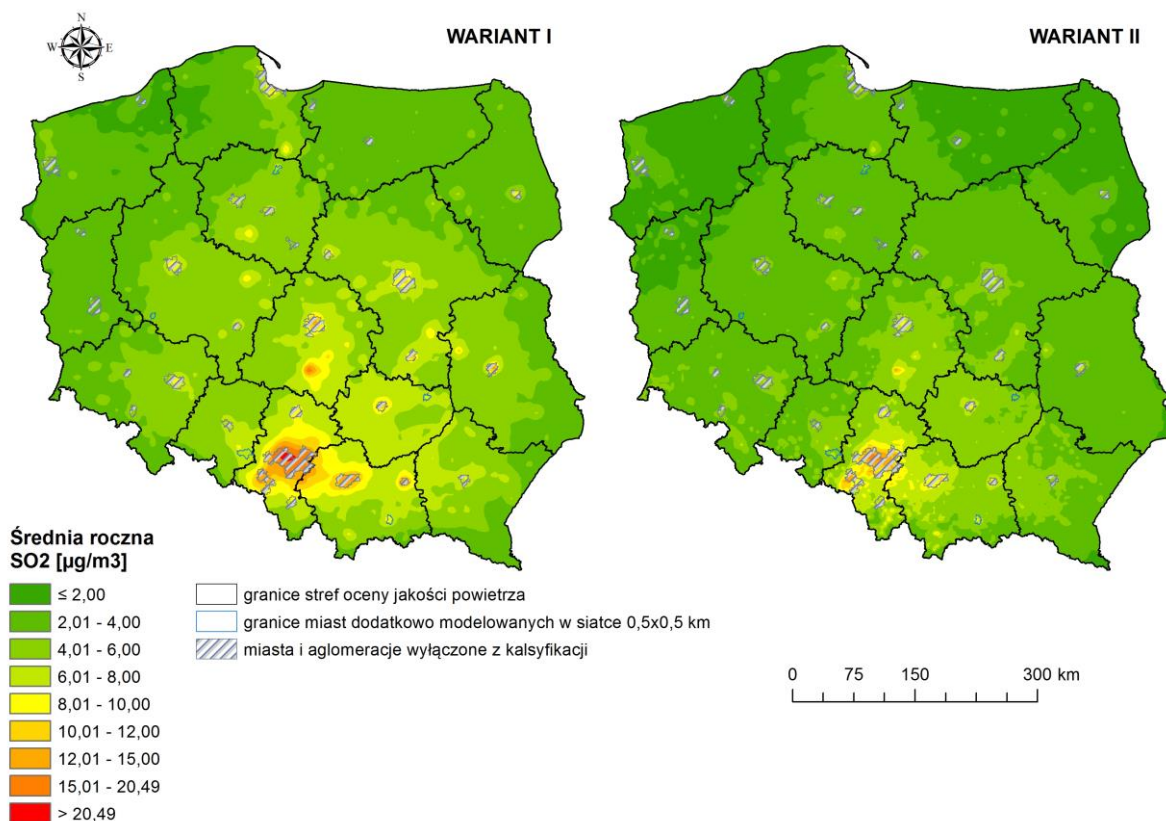
Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w 2015 roku został przedstawiony graficznie w postaci map stanowiących załącznik nr 1 do raportu oznaczony symbolami:

- KRAJ_SO2_A_W1_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju dla wariantu I,
- KRAJ_SO2_A_W2_2015.jpg - rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju dla wariantu II.

Załącznik elektroniczny nr 2 do raportu zawiera warstwę wektorową z granicami obszaru przekroczeń oznaczoną symbolem:

- KRAJ15_SO2_A_W1.shp - plik z granicą obszaru przekroczeń normy dla stężeń średniorocznych dwutlenku siarki dla wariantu I.

⁸ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem WRF-Chem w wariantie I



Rysunek 9. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariantcie I i II.

3. Ocena jakości modelowania

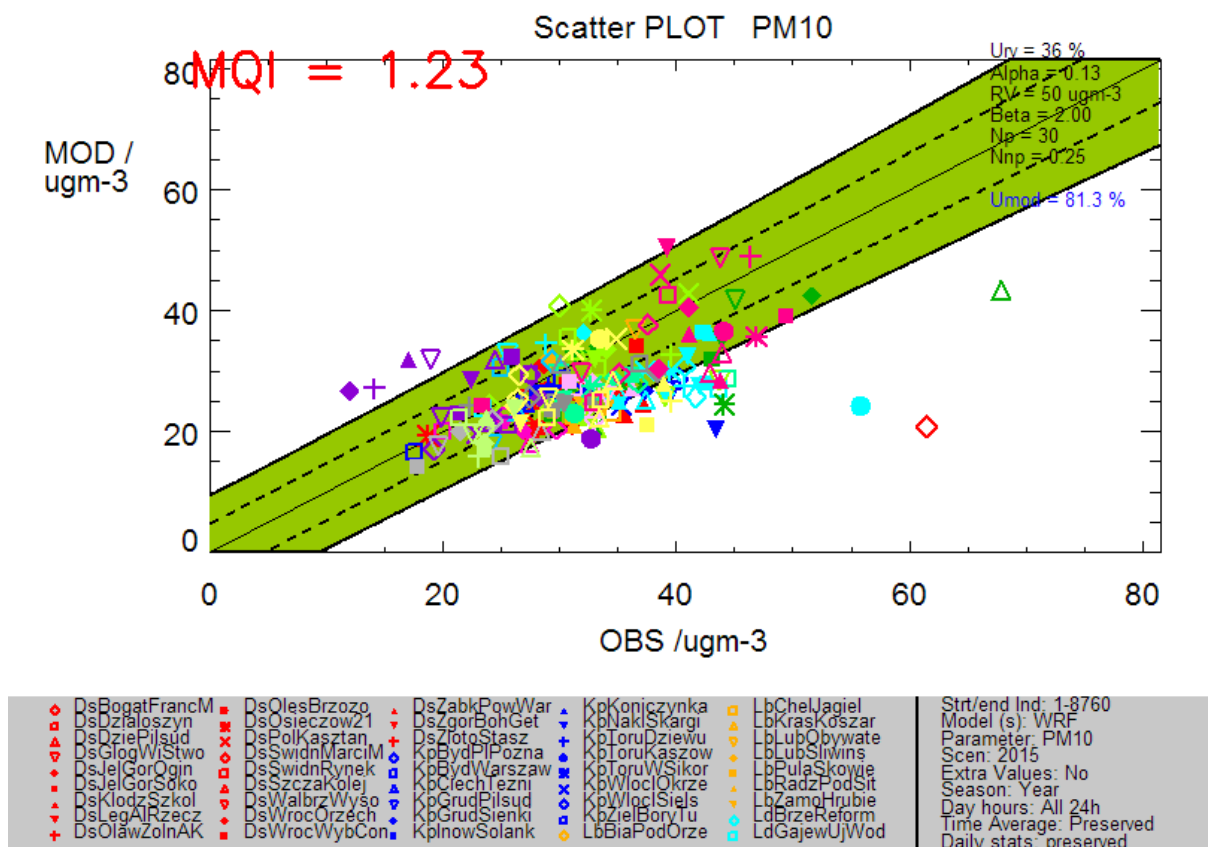
3.1. Ocena sprawdzalności modelu w ramach DELTA TOOL

Pył zawieszony PM₁₀

Na poniższym wykresie przedstawiono rozproszenie wyników modelowania modelem WRF-Chem względem wartości pomiarowych dla stacji tła miejskiego i stacji pozamiejskich dla całego kraju dla wartości średniorocznych pyłu zawieszonego PM₁₀.

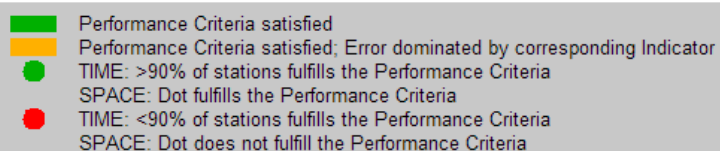
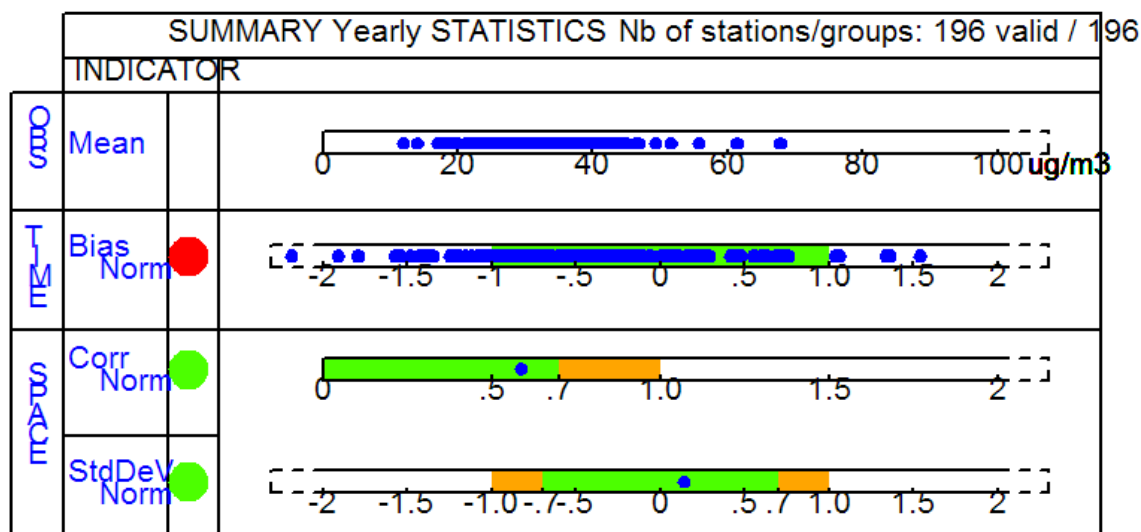
Punkt na wykresie rozproszenia średnich rocznych pyłu zawieszonego PM₁₀ odpowiada jednej stacji. Pod wykresem wymieniono oznaczenia stacji pomiarowych. Oś pozioma określa wartości pomiarowe dla danej stacji pomiarowej, a oś pionowa określa wyniki modelowania w tym punkcie. Kolor punktu określa region (województwo) punktu pomiarowego.

Zielony obszar wykresu określa zakres wyników modelowania spełniających kryterium współczynnika MQI. Przedstawiony poniżej wykres rozproszenia dla pyłu zawieszonego PM₁₀ wskazuje, że wskaźnik MQI jest spełniony dla części stacji pomiarowych tła miejskiego i pozamiejskiego. Ogólnie widoczny jest trend, niedoszacowania wyników z modelowania w stosunku do wyników na stacjach pomiarowych.



Rysunek 10. Wykres rozproszenia średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 (źródło: DELTA TOOL).

Informacje dotyczące szczegółowych wskaźników jakości modelowania przedstawione są w raporcie sumarycznym (Rysunek 11). Znormalizowane wskaźniki charakteryzujące w tym raporcie analizy przestrzenne: współczynnik korelacji przestrzennej pomiędzy stacjami oraz odchylenie standardowe mieszczą się w wymaganym zakresie. Innymi słowy model wykazuje dobrą korelację z wynikami pomiarów oraz dobrą dokładność. Czasowy rozkład błęd wskazuje na dotrzymanie wartości zgodności z pomiarami dla mniej niż 90% stacji pomiarowych.

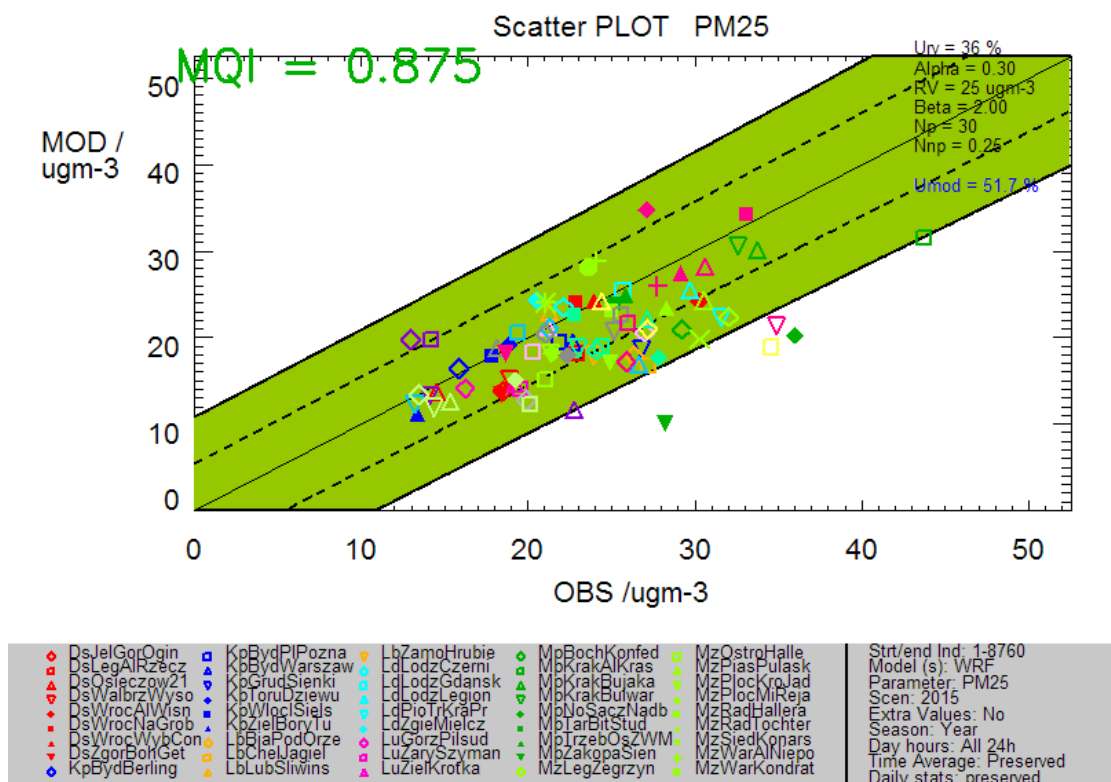


Rysunek 11. Raport podsumowujący ocenę jakości modelowania dla średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ z modelu WRF-Chem⁹.

Pył zawieszony PM_{2,5}

Analizę błędów z wykorzystaniem narzędzia DELTA Tool przeprowadzono dla stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} otrzymanych z modelu WRF-Chem.

⁹ źródło: wynik Delta Tool



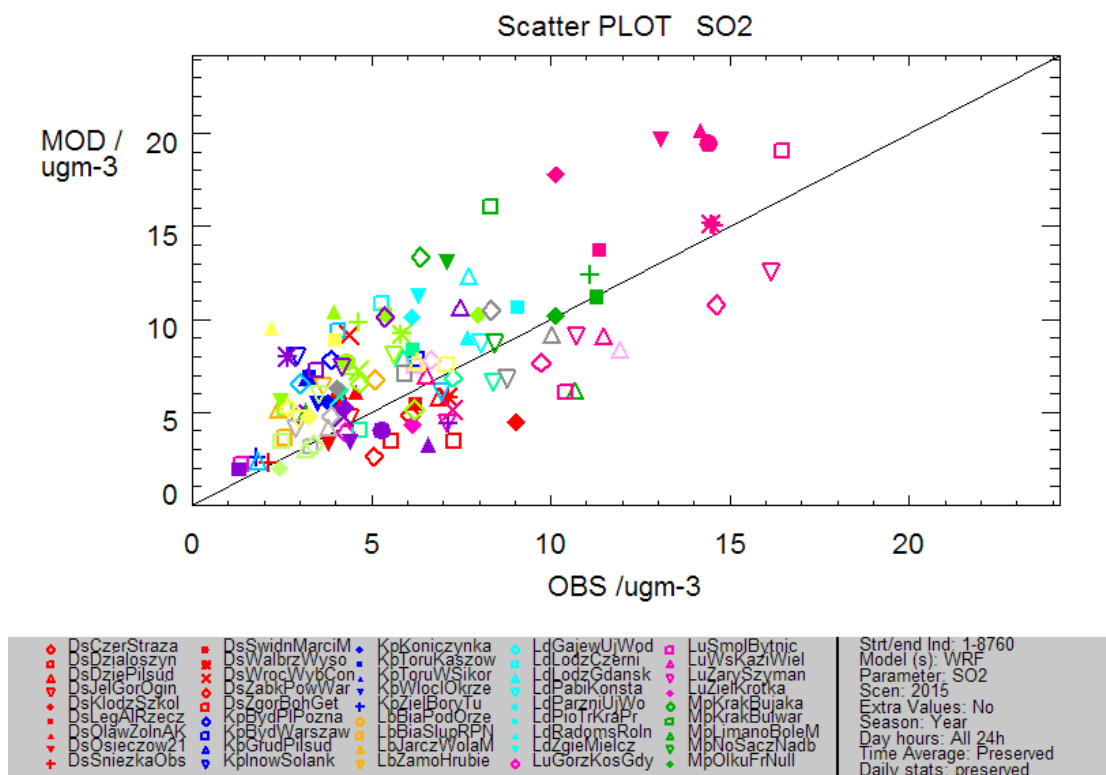
Rysunek 12. Wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM2,5.

Powyższy wykres rozproszenia wskazuje, że dla ponad 90% stacji pomiarowych spełniony został parametr jakości modelowania MQI dla stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM2,5. Znormalizowane wskaźniki współczynnik korelacji oraz odchylenie standardowe również mieszczą się w wymaganym zakresie. Model wykazuje dobrą korelację z wynikami pomiarów oraz poprawną dokładność w zakresie stężeń pyłu zawieszonego PM2,5.

Dwutlenek siarki

Analizę błędów z wykorzystaniem narzędzia DELTA Tool przeprowadzono dla stężeń średnich rocznych dwutlenku siarki.

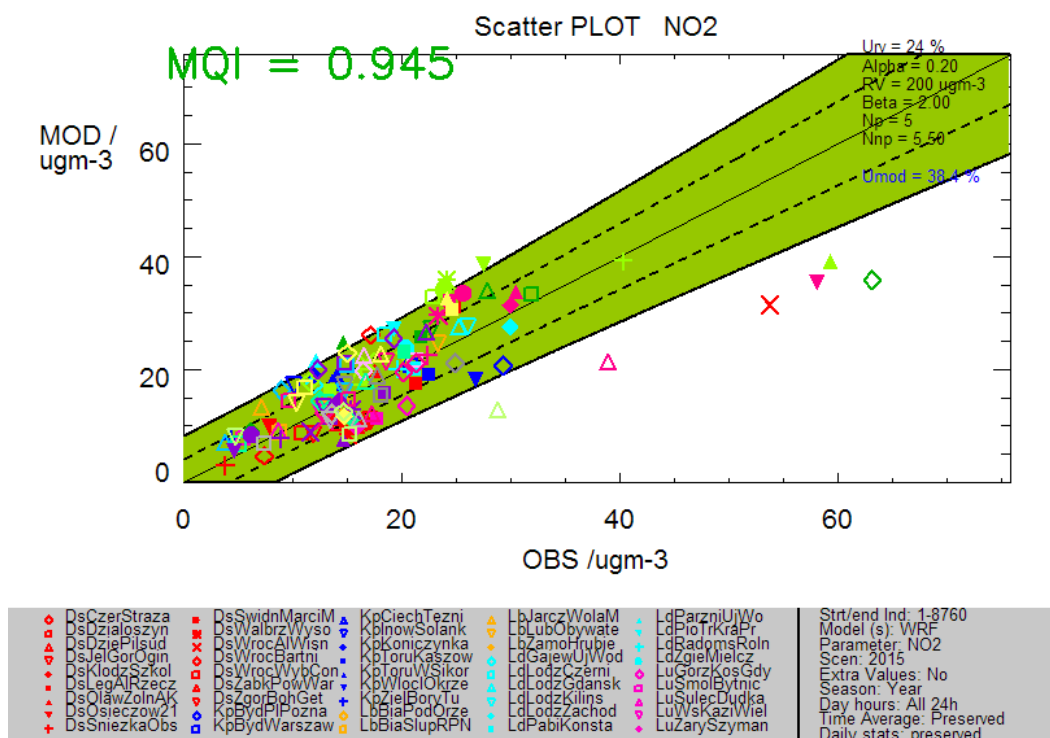
Analizując wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych dwutlenku siarki (Rysunek 13) można stwierdzić, pomimo że dla SO₂ DELTA Tool nie określa wskaźnika MQI, model wykazuje wyniki dla części stacji zbliżone do wartości pomiarowych. Ogólnie model wskazuje na przeszacowanie wyników dla dwutlenku siarki dla większości stacji pomiarowych.



Rysunek 13. Wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych SO₂.

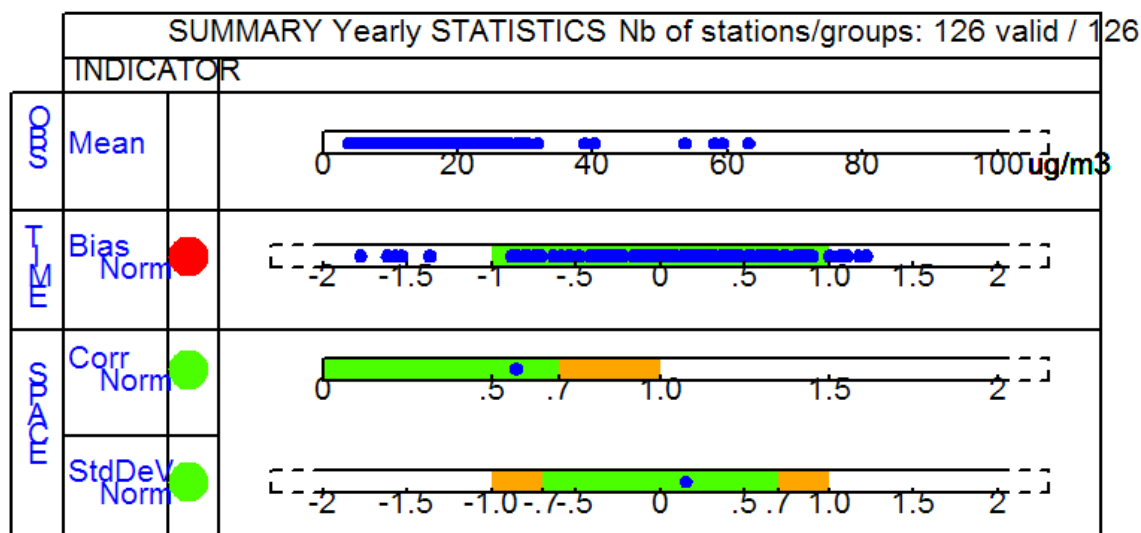
Dwutlenek azotu NO₂

Analizę błędów z wykorzystaniem narzędzia DELTA Tool przeprowadzono dla stężeń średnich rocznych dwutlenku azotu.



Rysunek 14. Wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych NO₂.

Zielony obszar wykresu określa zakres wyników modelowania spełniających kryterium MQI. Powyższy rysunek wskazuje, że dla większości stacji pomiarowych spełniony został parametr jakości modelowania MQI. Znormalizowane wskaźniki charakteryzujące w tym raporcie rozkład przestrzenny: współczynnik korelacji oraz odchylenie standardowe mieszczą się w wymaganym zakresie.



- Performance Criteria satisfied
- Performance Criteria satisfied; Error dominated by corresponding Indicator
- TIME: >90% of stations fulfills the Performance Criteria
- SPACE: Dot fulfills the Performance Criteria
- TIME: <90% of stations fulfills the Performance Criteria
- SPACE: Dot does not fulfill the Performance Criteria

Rysunek 15. Raport podsumowujący analizę stężeń średnich rocznych NO_2 .

4. Transgraniczne przenoszenie zanieczyszczeń powietrza

Problem skażenia atmosfery, a szczególnie warstwy przyziemnej (troposfery), rozpatruje się zarówno w skali lokalnej jak i transgranicznej, gdyż substancje zanieczyszczające emitowane z jednego kraju mogą być przenoszone na duże odległości i powodować niekorzystne skutki w innych krajach (CLRTAP, 1979; EC, 1996; EMEP, 2013a). Zanieczyszczenie transgraniczne jest wyzwaniem dla współczesnej Europy. W wielu krajach europejskich, mniej niż 50% obserwowanych stężeń drobnego pyłu zawieszonego ($\text{PM}_{2,5}$) pochodzi z ich własnych źródeł emisji (EU, 2013). Wiele zanieczyszczeń powietrza jest transportowanych na dalekie odległości, a kraje i kontynenty są zarówno emitentami, jak i odbiorcami transgranicznego zanieczyszczenia powietrza (EEA, 2013a).

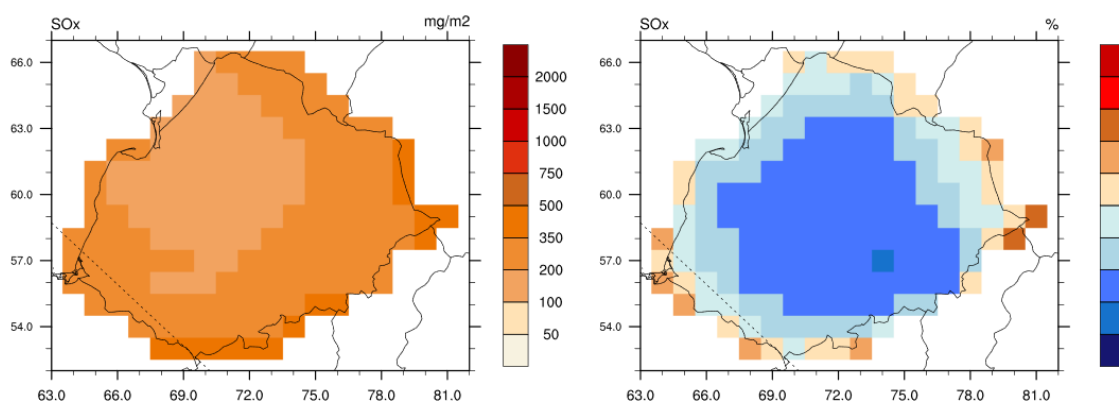
Problem przepływu transgranicznego zanieczyszczeń jest tematem corocznych raportów programu EMEP, w których oceniana jest rola transportu dalekiego zasięgu

w zanieczyszczeniu powietrza na obszarze danego kraju. Ostatni raport wskazuje obszary depozycji substancji w Polsce w odniesieniu do roku 2013 przy zastosowaniu bazy emisyjnej za rok 2011 na podstawie obliczeń źródło – receptor przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu EMEP MSC-W (wersja RV 4.7).

4.1. Analiza transgranicznego transportu zanieczyszczeń według EMEP¹⁰

Raport EMEP odnosi się do transportu transgranicznego tlenków siarki i azotu oraz ozonu. Dla pyłu PM_{2,5} oraz PM₁₀ analizowany jest efekt 15% redukcji emisji w Polsce oraz w pozostałych krajach, a także wskazane są stężenia pochodzące ze źródeł naturalnych, takich jak sól morską. Rezultatem analiz wpływu transgranicznego na zanieczyszczenie powietrza w Polsce jest wskazanie głównych źródeł pochodzenia każdego z zanieczyszczeń i ich wpływu na wielkość depozycji na terenie kraju.

Według raportu EMEP, na depozycję tlenków siarki na obszarze Polski wpływają głównie źródła lokalne, których udział został określony na poziomie 68%. Stosunkowo niewielki wpływ mają kraje sąsiadujące: 5% deponowanych tlenków siarki pochodzi z Niemiec, po 4% z Ukrainy i z Czech, a przepływ zanieczyszczeń z pozostałych krajów stanowi łącznie 19%. Udział frakcji transgranicznej w sumarycznej depozycji tlenków siarki na większości obszaru kraju jest niższy niż 30%, a na obrzeżach wzrasta do 50-70% (Rysunek 10).

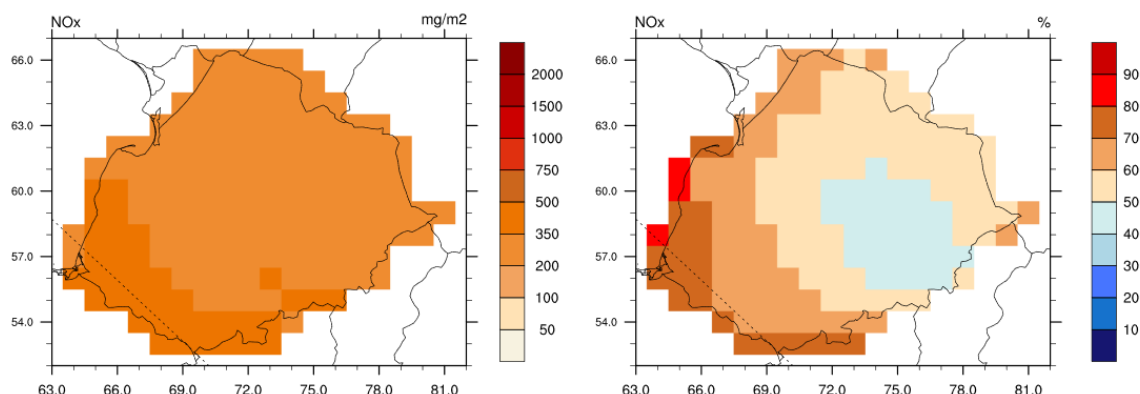


Rysunek 16. Depozycja tlenków siarki ze źródeł transgranicznych na obszarze kraju oraz procentowy udział frakcji transgranicznej w sumarycznej depozycji tlenków siarki na obszarze kraju (źródło: Raport EMEP 1/2015)

Depozycja tlenków azotu jest w mniejszym stopniu uzależniona od źródeł emisji z terenu kraju. Ich udział w łącznej masie przypadającej na powierzchnię obliczany jest na 34%. Najistotniejszym zagranicznym obszarem źródłowym tlenków azotu są Niemcy 19%. Następnie raport wskazuje Czechy (5%), Francję (4%), Ukrainę (3%) i Morze Północne (3%). Pozostałe źródła decydują o 33% depozycji tego zanieczyszczenia. Zgodnie z tymi danymi, największa jest depozycja napływowych tlenków azotu wzdłuż zachodniej granicy Polski (Rysunek 11). Jednocześnie procentowy udział tych źródeł jest również istotny na północy

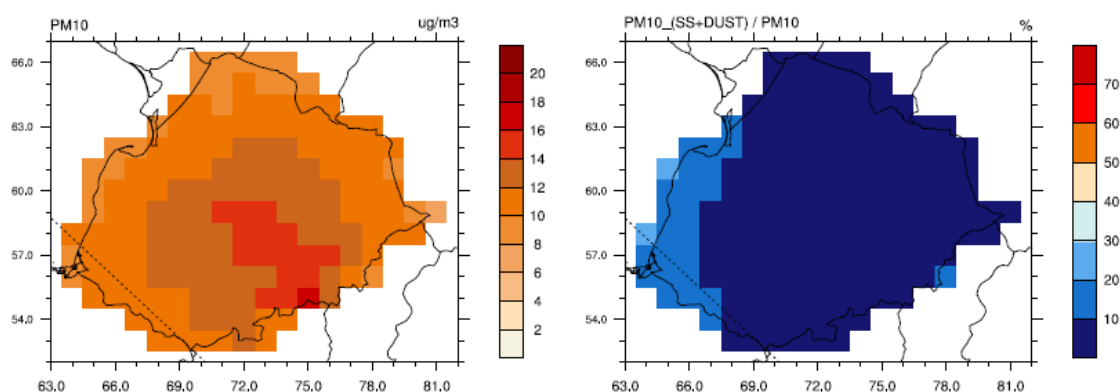
¹⁰ na podstawie raportu „Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM. Poland”, Gauss i in. - sierpień 2015 r.

kraju, gdzie lokalnie osiąga powyżej 80%, choć stężenia rejestrowane w powietrzu nie są tu wysokie.



Rysunek 17. Depozycja tlenków azotu ze źródeł transgranicznych na obszarze kraju oraz procentowy udział frakcji transgranicznej w sumarycznej depozycji tlenków azotu na obszarze kraju (źródło: Raport EMEP 1/2015)

W odniesieniu do pyłów, analizy w raporcie EMEP obejmują mapy stężeń tła regionalnego tych substancji oraz udział źródeł naturalnych w stężeniach pyłu. Udział źródeł naturalnych w stężeniach pyłu PM10 w Polsce jest stosunkowo niewielki i na przeważającym obszarze nie przekracza 10%. Wzrasta jedynie w pasie nadmorskim, gdzie lokalnie przekracza 20% (Rysunek 12). Dla PM2,5 na terenie całego kraju źródła naturalne mają udział poniżej 10%. Ocena znaczenia źródeł zagranicznych jest przeprowadzona w kontekście efektów potencjalnej redukcji emisji. Dla pyłu PM2,5 największe efekty przyniosłaby redukcja emisji z terenu Niemiec, Czech, Ukrainy, Białorusi oraz Rosji. Najefektywniejsze zmniejszenie stężeń frakcji pyłu pomiędzy 2,5 a 10 μm przyniosłaby z kolei redukcja emisji ze źródeł położonych na obszarze Niemiec, Ukrainy, Morza Północnego, Czech oraz Wielkiej Brytanii.



Rysunek 18. Stężenia pyłu PM10 na obszarze Polski oraz udział frakcji naturalnego PM10 w stężeniu dla obszaru kraju (Źródło: raport EMEP 1/2015).

4.2. Analiza transgranicznego transportu zanieczyszczeń w ramach krajowej oceny jakości powietrza

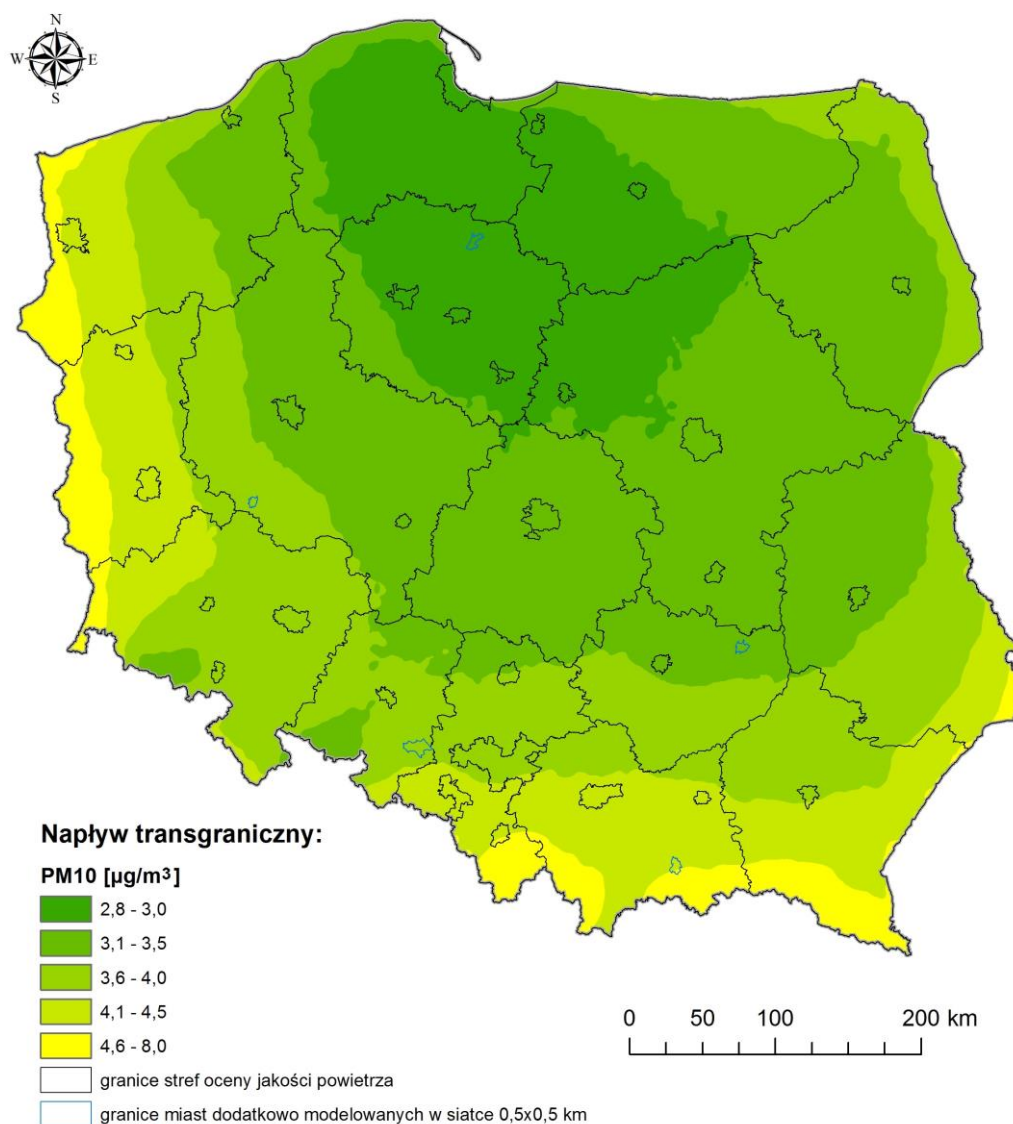
Wyznaczenie wielkości stężeń, które wynikają z oddziaływania źródeł położonych poza granicami kraju, przeprowadzono w wyniku integracji danych o warunkach brzegowych, pochodzących z modelu wielkoskalowego WRF-Chem oraz danych o udziałach poszczególnych źródeł w stężeniach uzyskanych z modelu CALPUFF (w tym napływów spoza granic kraju). Wyniki z modelu WRF-Chem zostały wykorzystane w modelu CALPUFF dla skali województw, dla których wyznaczono udziały poszczególnych źródeł spoza terenu każdego województwa, w tym spoza granic Polski. Pozwoliło to na oszacowany wpływ transportu transgranicznego zanieczyszczeń na kształtowanie się poziomów stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P w kraju.

W celu właściwego odtworzenia napływu transgranicznego oraz warunków brzegowych dla symulacji wysokorozdzielczej modelowanie z wykorzystaniem modelu WRF-Chem zostało przeprowadzone w siatce o rozdzielczości 12 km x 12 km dla obszaru Europy Środkowej. W celu ujęcia w najlepszy sposób wpływu meteorologii na poziom stężeń substancji oraz ujęcia napływu substancji spoza terenu kraju, siatka meteorologiczna została poszerzona do obszaru 150 km poza granicami kraju, natomiast siatka emisyjna została poszerzona do obszaru 50 km poza granicami kraju. Warunki brzegowe do modelowania dla poszczególnych województw zostały obliczone w siatce 4 km x 4 km.

Dane o emisji antropogenicznej dla całej Europy pozyskano z projektu TNO MACC III (Kuenen et al., 2014), w rozdzielczości przestrzennej 1/8 ° x 1/6 °. Najbardziej aktualna informacja dotyczy roku 2011, który został przeskalowany do roku 2015 z zastosowaniem wskaźników skalujących dla krajów i sektorów emisji. Do danych TNO wprowadzono profil zmienności czasowej emisji, obejmujący: miesiące, dni tygodnia, godziny oraz dni świąteczne, indywidualny dla poszczególnych sektorów SNAP.

Pył PM₁₀

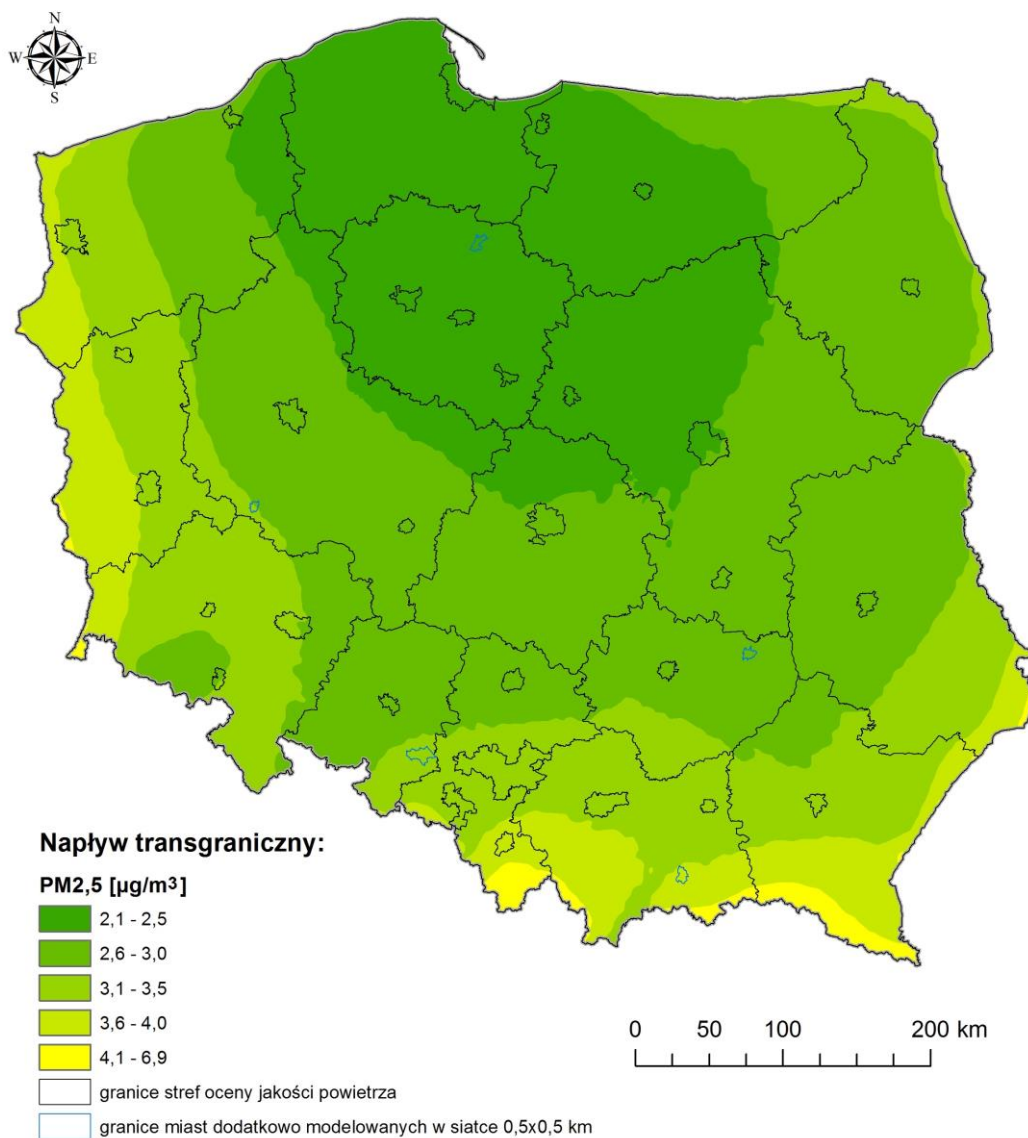
Wpływ źródeł transgranicznych na wysokość stężeń pyłu PM₁₀ na obszarze kraju jest najbardziej widoczny w województwach zachodnich i południowych (Rysunek 19). Wysokość stężeń pyłu PM₁₀, które są wynikiem oddziaływania źródeł spoza kraju, sięga od 2,3 µg/m³ do 5 µg/m³. Największy wpływ emisji ze źródeł transgranicznych odnotowano w województwie zachodniopomorskim (powiat gryfiński), gdzie stężenie obliczone na podstawie ich aktywności stanowi powyżej 40% wysokości stężenia występującego na tym obszarze. Maksymalny udział transportu transgranicznego dla pojedynczego punktu obliczeniowego w stężeniach średniorocznych pyłu PM₁₀ wynosi 47%. Należy jednak zauważyć, że przy generalnie niskich stężeniach pyłu na tym terenie, nawet wysoki udział procentowy źródeł transgranicznych nie powoduje powstawania przekroczeń wartości dopuszczalnych. Nieco większe znaczenie dla kształtowania lokalnych poziomów stężeń ma napływ transgraniczny w rejonie Bramy Morawskiej, gdzie mimo niskiego udziału procentowego źródeł spoza kraju, sytuacje przekroczeń są znacznie bardziej prawdopodobne z uwagi na relatywnie wysokie stężenia generowane równocześnie przez lokalne źródła pyłu.



Rysunek 19. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).

Pył PM2,5

Analiza stężeń pyłu PM2,5 pochodzącego ze źródeł znajdujących się poza granicami kraju wykazała najwyższe stężenia w województwach zachodnich, województwie śląskim i podkarpackim (Rysunek 20). Maksymalna wysokość stężeń średniorocznych z tych źródeł na obszarze kraju sięga do $4,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (w powiecie żywieckim). Najwyższe stężenia stanowią średnio 35% wielkości stężenia średnioroczного pyłu PM2,5 w obszarze województwa śląskiego.



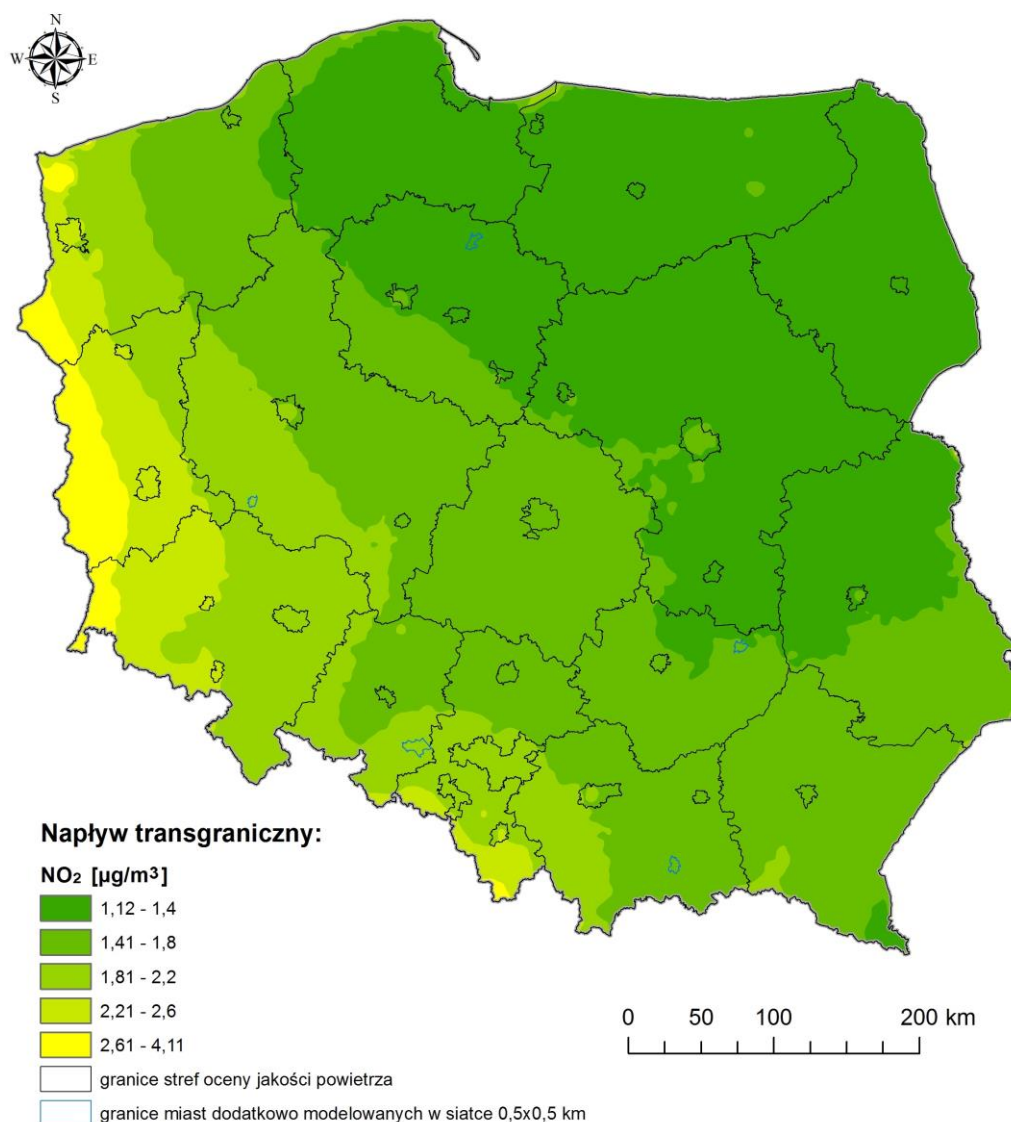
Rysunek 20. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).

Najwyższy udział procentowy w stężeniach średniorocznych - powyżej 40% w punkcie siatki - źródła transgraniczne wykazują w obszarze województwa podkarpackiego, lubuskiego, zachodniopomorskiego i śląskiego. Znaczenie udziału procentowego jest jednak silnie zależne od całkowitej wielkości stężeń na danym obszarze, w związku z czym – podobnie jak w przypadku pyłu PM₁₀ - napływ transgraniczny jest istotny głównie w województwie śląskim.

Dwutlenek azotu

Udział transportu transgranicznego w stężeniach dwutlenku azotu na terenie kraju jest zdecydowanie najwyższy w województwach zachodnich (Rysunek 21). Stężenia sięgają do wartości 3,5 µg/m³, co w województwie zachodniopomorskim stanowi około 53% wysokości stężeń występujących w danych punktach siatki. Najwyższy udział źródeł transgranicznych w stężeniach dwutlenku azotu wykazany został na obszarach powiatów województwa lubuskiego i zachodniopomorskiego - powyżej 50%. Widoczny jest również wpływ źródeł z

terenu Czech na południową część województwa śląskiego. Stężenia dwutlenku azotu powstałe pod wpływem oddziaływania źródeł spoza kraju nie zagrażają jednak występowaniem przekroczeń norm jakości powietrza.



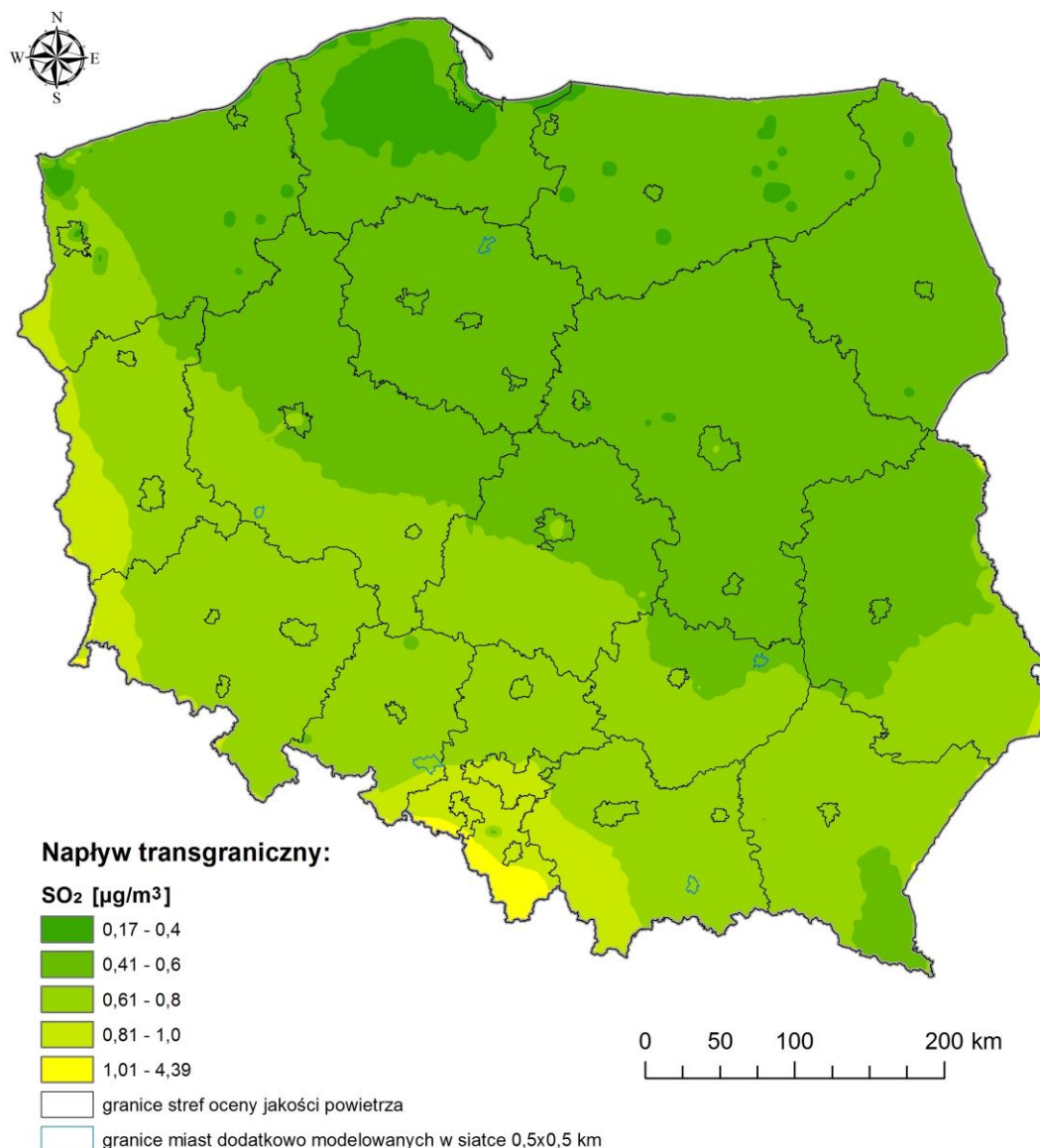
Rysunek 21. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).

Rozkład stężeń dwutlenku azotu ze źródeł transgranicznych w skali kraju pod względem dominujących kierunków napływu wykazuje zbieżność z analizami jakie były wykonywane w ramach badań w projekcie EMEP, a zostały opisane w rozdział 4.2.

Dwutlenek siarki

Stężenia dwutlenku siarki ze źródeł transgranicznych średnio stanowią 40-50% wartości stężeń występujących w województwie śląskim, gdzie wysokość stężeń z napływu transgranicznego wynosi do 1,2 µg/m³. Mają na to wpływ źródła punktowe znajdujące się w rejonie przemysłowym Czech (obszar kraju morawsko-śląskiego). Duży udział procentowy

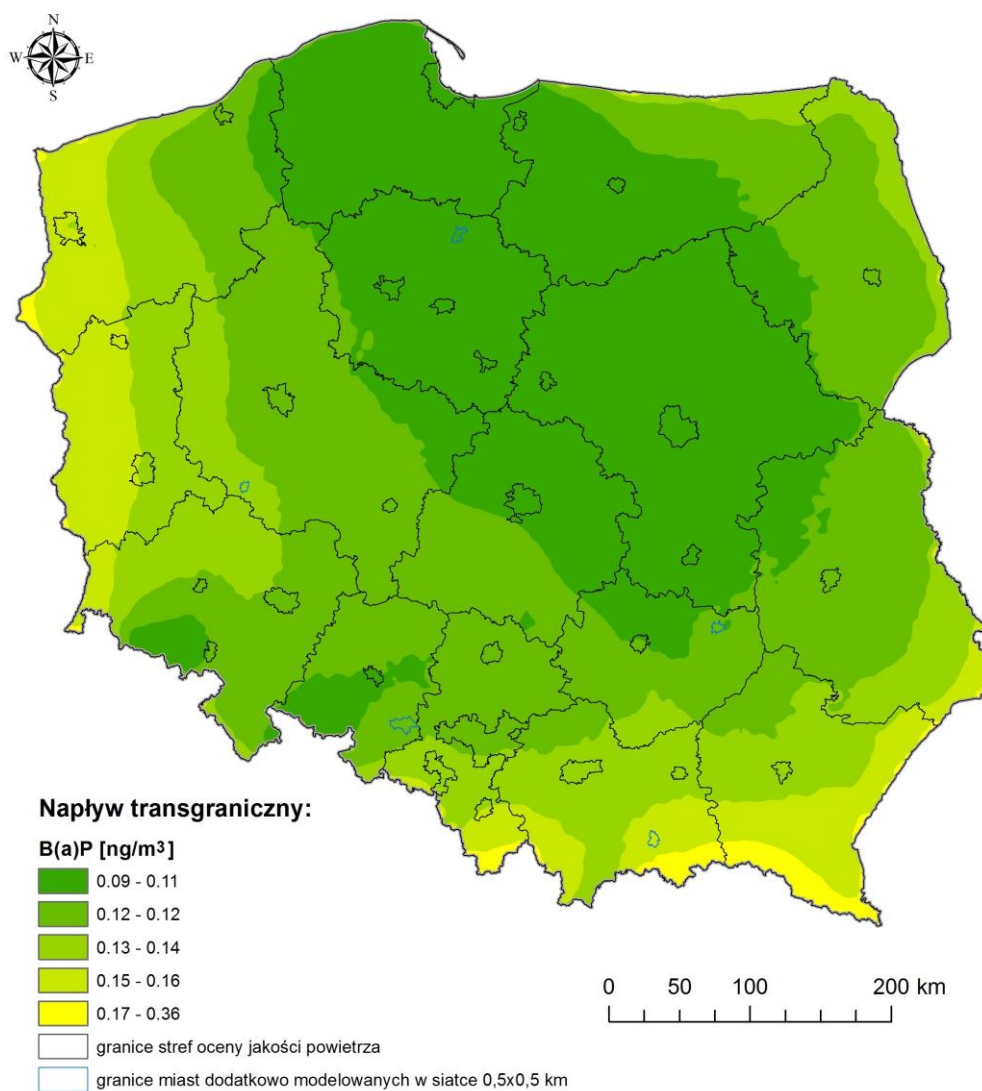
źródeł spoza kraju widoczny jest w województwie zachodniopomorskim (powyżej 60%), jednak wartości stężeń nie są wysokie w tych punktach i sięgają zaledwie $0,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 22. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).

Benzo(a)piren

Benzo(a)piren jest zanieczyszczeniem szczególnie związanym ze źródłami powierzchniowymi, które swoją działalnością wpływają głównie lokalnie na jakość powietrza. Wpływ źródeł transgranicznych na wysokość stężeń benzo(a)pirenu na obszarze kraju sięga maksymalnie do 28% stężenia występującego w danym obszarze i zaznacza się głównie w województwie lubuskim (powiat żarski), podkarpackim i śląskim. Wysokość stężeń indukowanych napływem ze źródeł zagranicznych sięga do $0,15 \text{ ng}/\text{m}^3$ czyli 15% wartości stężenia docelowego. Źródła transgraniczne nie stanowią o występowaniu obszarów przekroczeń stężeń benzo(a)pirenu na obszarze stref jakości powietrza w kraju.



Rysunek 23. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).

5. Analiza udziału poszczególnych źródeł emisji

Baza emisyjna zastosowania do modelowania do wspomagania rocznej oceny jakości powietrza dla skali województw podzielona jest na rodzaje źródeł, dla których określona została wielkość emisji każdej z substancji. Zastosowany sposób modelowania w podziale na rodzaje źródeł w modelu CALPUFF pozwolił na określenie udziału każdego z rodzajów źródeł emisji w stężeniu średniorocznym danej substancji w każdym punkcie siatki obliczeniowej, a także w punktach stacji pomiarowych.

W skali wszystkich stref w kraju widoczne są określone trendy udziału poszczególnych źródeł emisji w stężeniach i można jednoznacznie określić przyczyny występowania przekroczeń stężeń dopuszczalnych lub docelowych substancji w powietrzu dla danego roku.

W celu dokonania analizy, dla każdego województwa określono w każdym punkcie siatki dominujące źródło emisji, odpowiadające największemu udziałowi procentowemu wysokości stężenia.

Źródła, które zostały ujęte w analizie podzielono na:

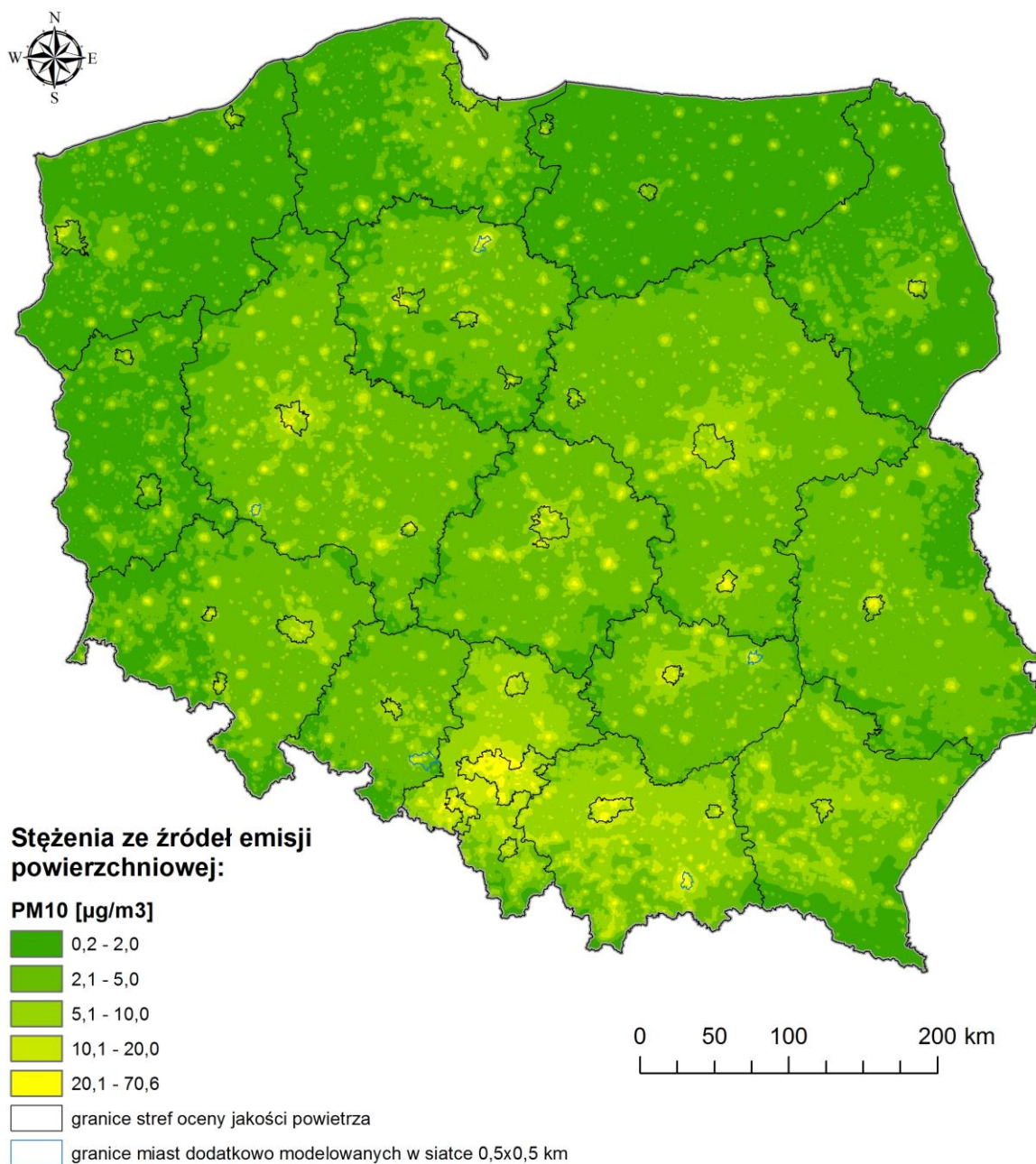
- źródła emisji powierzchniowej - źródła dotyczące małych źródeł spalania z sektora komunalno-bytowego,
- źródła emisji liniowej - źródła dotyczące dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych i gminnych,
- źródła z rolnictwa - podzielone na źródła z upraw rolniczych i nawożenia pól oraz osobno źródła z hodowli,
- źródła niezorganizowane - źródła emisji z obszarów hałd, kopalni odkrywkowych i zakładów przerobczych przemysłu wydobywczego,
- źródła punktowe - dotyczące źródeł przemysłowych, uwzględniające źródła energetyczne i technologiczne,
- napływ (w tym napływ uwzględniający źródła transgraniczne na podstawie warunków brzegowych spoza obszaru kraju, oraz źródła spoza danego województwa pochodzące z województw sąsiednich).

W celu obrazowania źródeł, które w największym stopniu odpowiadają za wysokość stężeń substancji, wyznaczono w punktach siatki źródło dominujące.

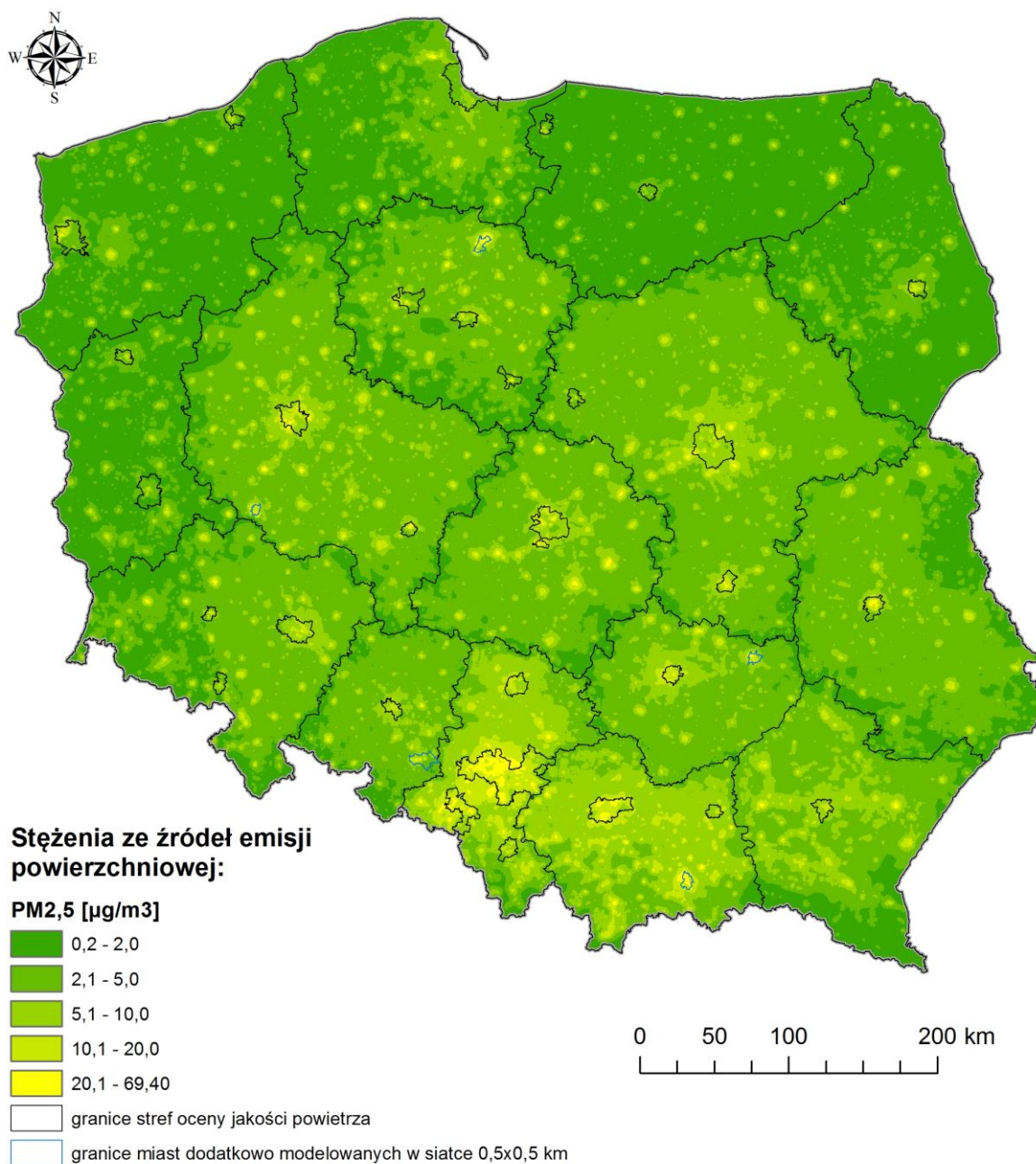
Dla zanieczyszczeń takich jak pył PM₁₀, pył PM_{2,5} oraz benzo(a)piren źródło dominujące na wielu obszarach stanowi emisja powierzchniowa. Poniżej zestawiono wielkość stężeń pochodzących z tego źródła dla wybranych substancji.

W przypadku pyłu PM₁₀ stężenia średnioroczne pochodzące ze źródeł komunalno-bytowych są odpowiedzialne przeciętnie za stężenia rzędu 0,2 – 5,0 µg/m³ na obszarach nieurbanizowanych, natomiast w miastach lokalnie generują stężenia powyżej 20 µg/m³

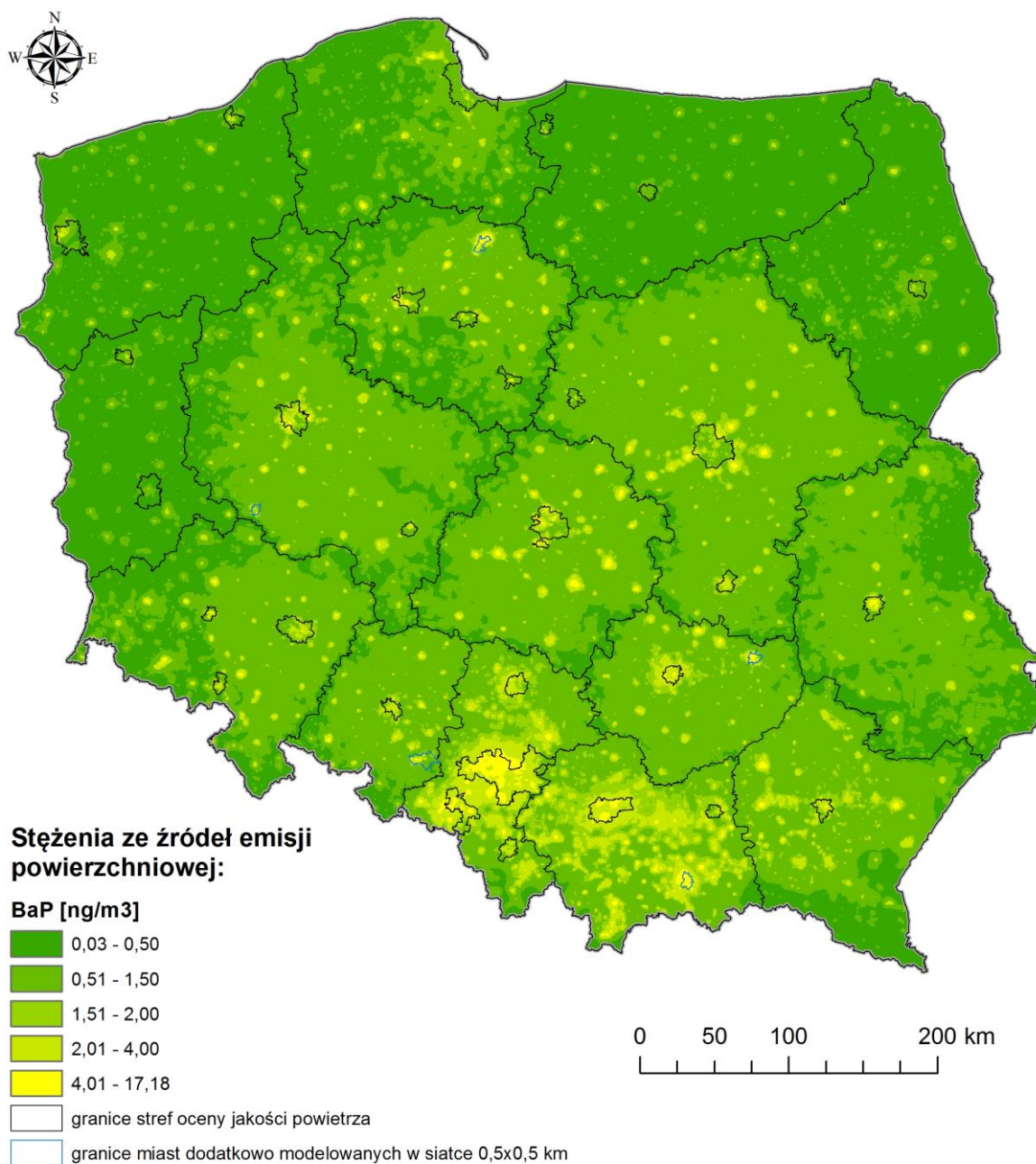
Dla stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ widoczny jest wyraźny wpływ źródeł emisji powierzchniowej, w przypadku większości obszarów zabudowanych. W województwie dolnośląskim i łódzkim widoczne są obszary, gdzie dominują źródła emisji niezorganizowanej, ze względu na występujące w tych województwach tereny górnicze. Poza obszarami miast i aglomeracji, dominuje napływ (w tym transport transgraniczny), co nie oznacza, że odpowiada on za występowanie przekroczeń stężeń dopuszczalnych pyłu PM₁₀. Podobnie jak dla pyłu PM₁₀ przedstawiają się udziały źródeł dominujących dla pyłu PM_{2,5}. Rozkład przestrzenny źródeł został przedstawiony na rysunkach: *Rysunek 24* oraz **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**



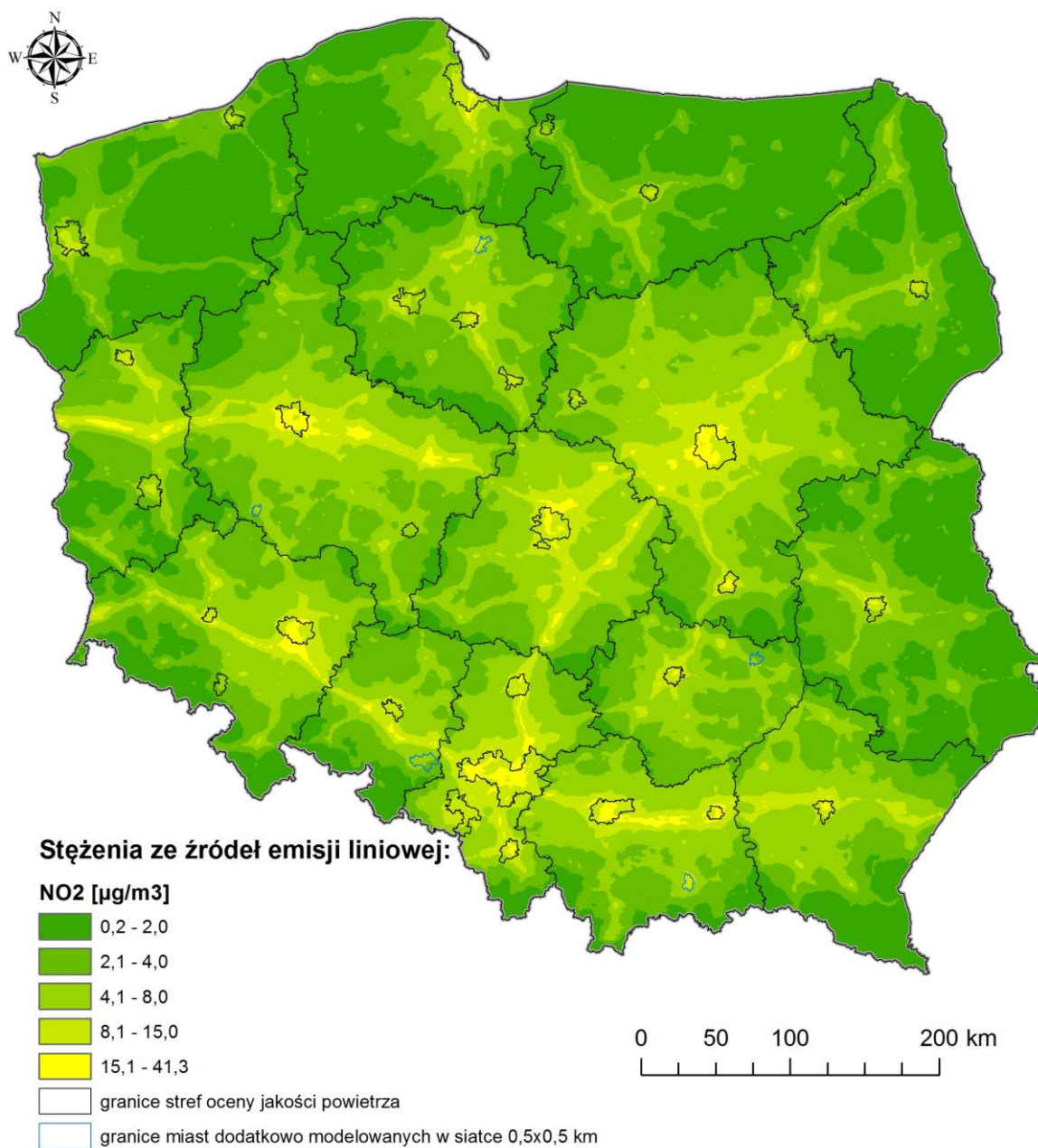
Rysunek 24. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 dla 2015 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



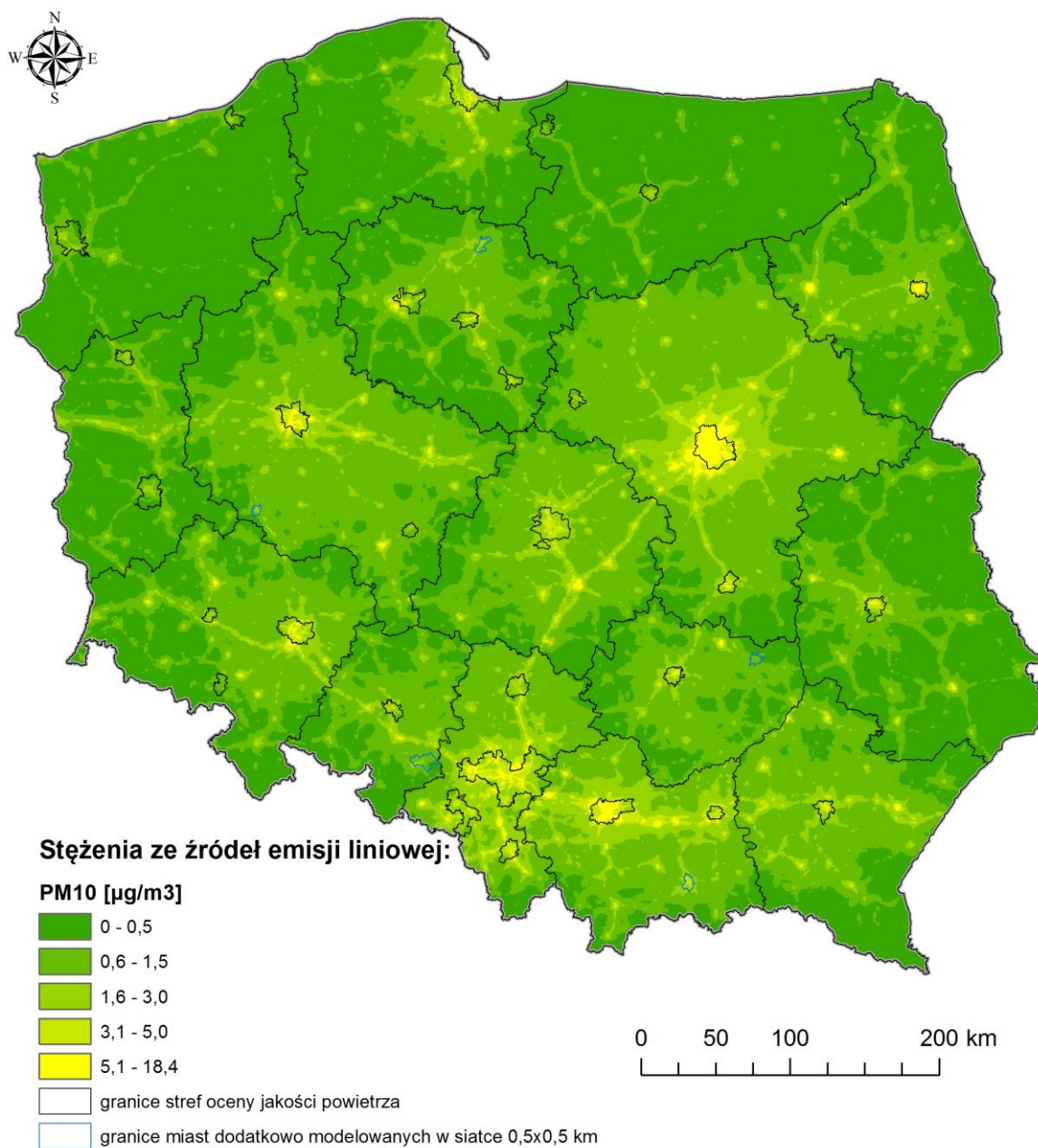
Rysunek 25. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2015 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



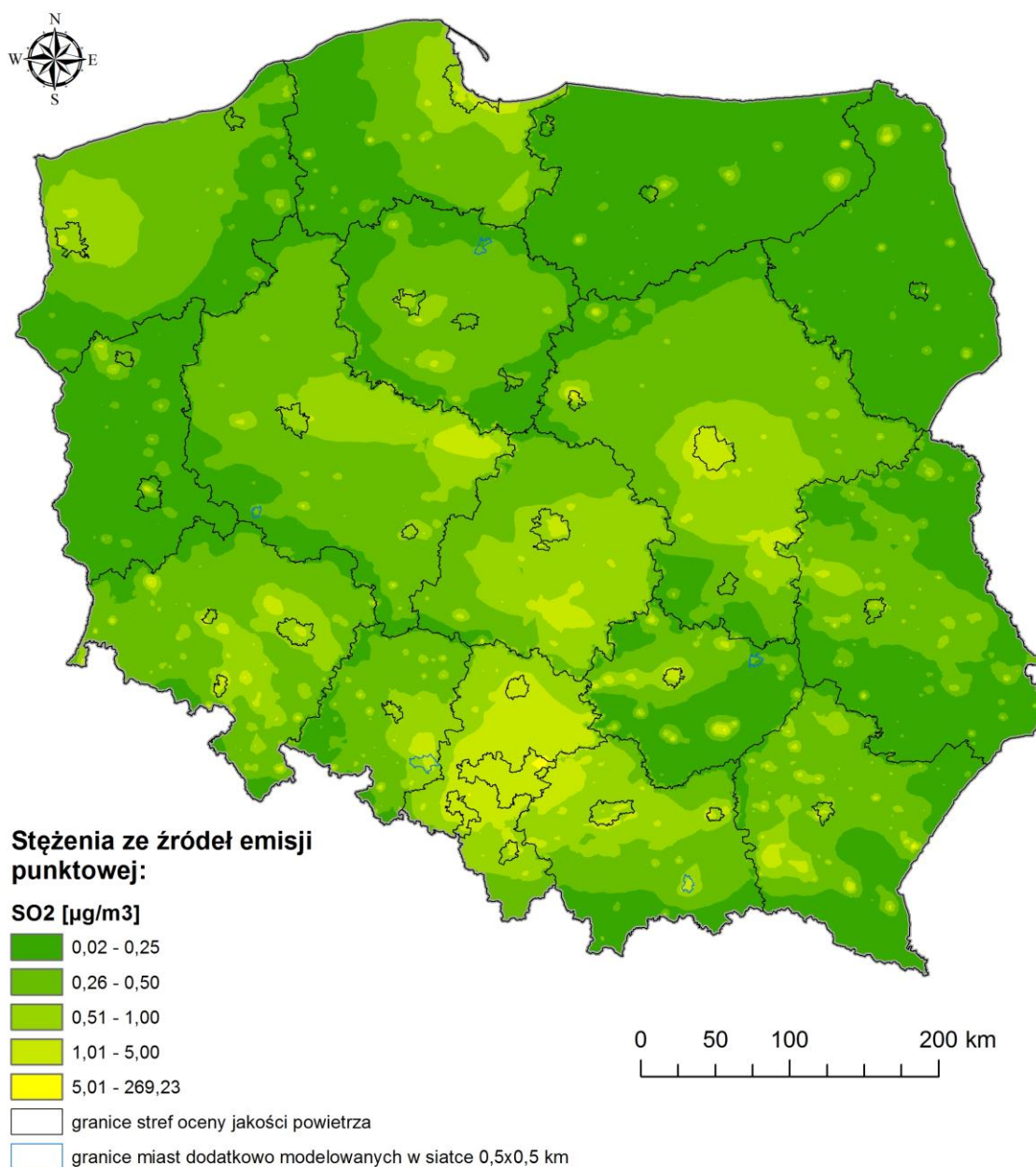
Rysunek 26. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu dla 2015 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 27. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2015 roku ze źródeł emisji liniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 28. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 dla 2015 roku ze źródeł emisji liniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 29. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2015 roku ze źródeł emisji punktowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).

W stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu dominuje jeden rodzaj źródeł - źródła liniowe związane z transportem. Nie ma znaczącego wpływu na stężenia dwutlenku azotu wielkość emisji ze źródeł punktowych czy powierzchniowych.

W obszarach zabudowanych za wysokość stężeń średniorocznych SO₂ odpowiadają źródła powierzchniowe, natomiast w części województw widoczny jest wpływ źródeł punktowych, szczególnie w województwie śląskim, łódzkim, mazowieckim, zachodniopomorskim oraz dolnośląskim i pomorskim. Związane jest to z lokalizacją emitorów przemysłowych o znacznej wielkości emisji rocznej dwutlenku siarki.

Źródłami, które w największym stopniu odpowiadają za występowanie obszarów przekroczeń stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu są źródła powierzchniowe związane zespalamieniem paliw

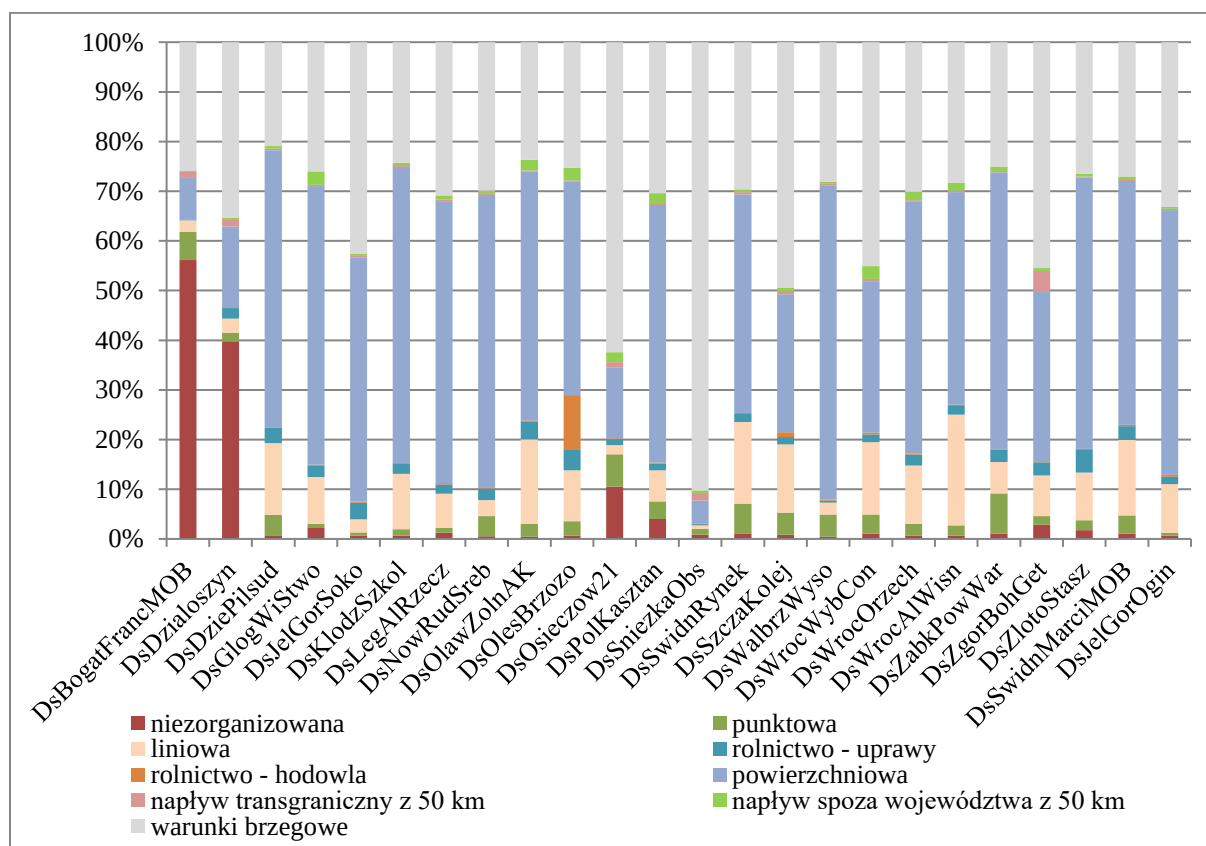
w celach grzewczych w sektorze komunalno-bytowym. Widoczny jest również wpływ źródeł z jednego województwa na sąsiadujące, co szczególnie widoczne jest w przypadku województwa opolskiego, czy lubuskiego.

5.1. Udziały źródeł emisji w punktach stacji pomiarowych systemu PMŚ

W celu lepszego zobrazowanie udziałów poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach substancji wyznaczono również procentowe udziały źródeł emisji w punktach stacji pomiarowych. Przykładowo przedstawiono kilka wybranych województw ze znaczącą liczbą stacji pomiarowych, aby zobrazować przyczyny występowania wysokich stężeń substancji. Wskazane udziały źródeł dla województw sąsiadujących z innymi krajami wskazują również na udział transportu transgranicznego. Dodatkowo również wskazano udział źródeł spoza obszaru 50 km od granicy województwa, z których stężenia należą do warunków brzegowych uwzględnionych w modelowaniu. Napływ dla pozostałych województw określony został jako napływ spoza granicy województwa oraz warunki brzegowe.

Pył zawieszony PM10

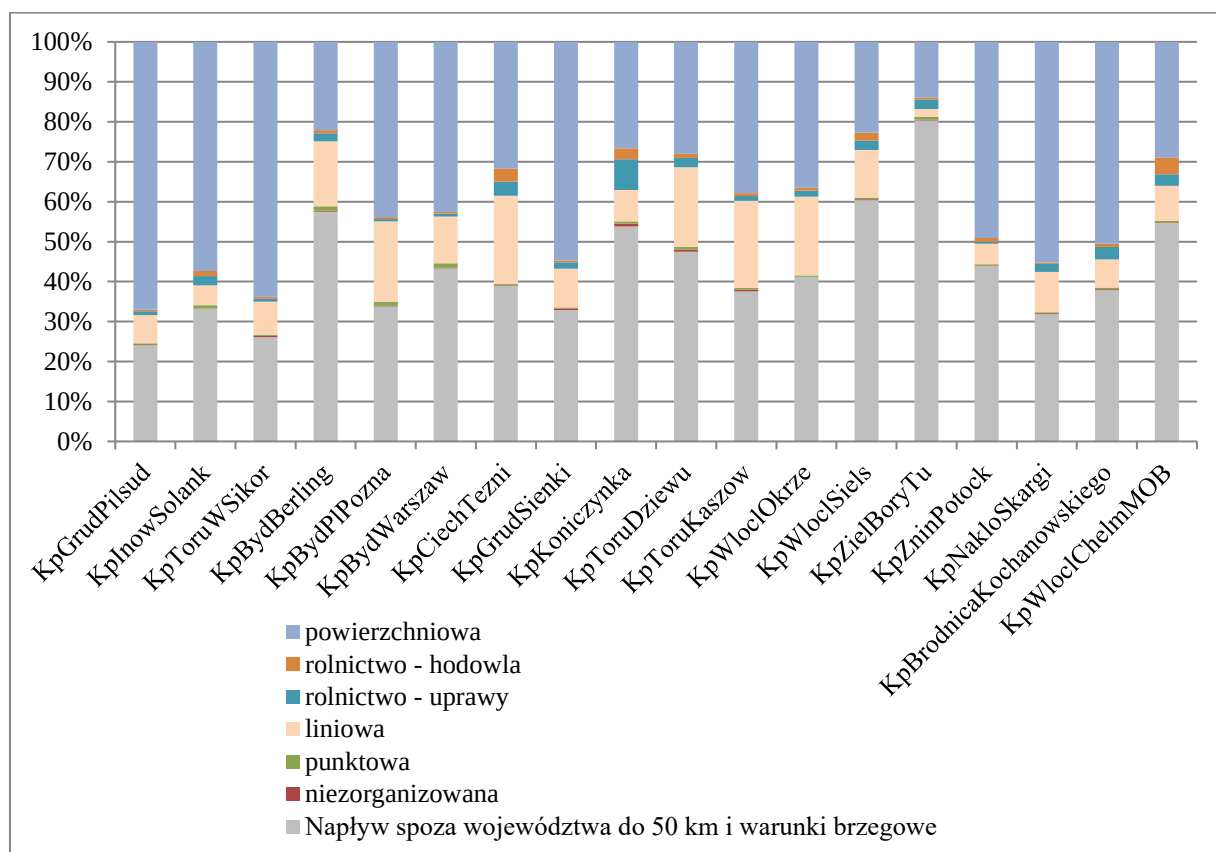
Poniżej przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach średniorocznych pyłu PM10 występujących na stacjach pomiarowych w województwie dolnośląskim i kujawsko-pomorskim. Wyniki uzyskano na podstawie modelowania modelem CALPUFF.



Rysunek 30. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM10 w punktach stacji pomiarowych w województwie dolnośląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Na większości stacji pomiarowych o wysokości stężeń średniorocznych pyłu PM10 decydują źródła powierzchniowe. Dla stacji na Śnieżce widoczny jest również udział warunków brzegowych stężeń wskazujących na udział źródeł spoza obszaru do 50 km od granicy województwa. Widoczny jest również wpływ lokalnych źródeł liniowych, szczególnie we Wrocławiu czy Świdnicy. Wpływ źródeł spoza strefy (napływ) sięga zwykle około 30-40% wysokości stężenia. Wyjątkiem pod tym względem są stacje pozamiejskie, takie jak Osieczów czy Śnieżka, gdzie udział źródeł lokalnej emisji jest znikomy. W przypadku stacji pozamiejskiej w Działoszynie tendencja ta nie jest zachowana z uwagi na bliskie sąsiedztwo dużego źródła emisji niezorganizowanej (odkrywka Kopalni węgla Brunatnego Turów).

W przypadku stacji pomiarowych w województwie kujawsko-pomorskim nieco większy w stosunku do województwa dolnośląskiego jest udział źródeł z napływu spoza województwa, jednakże przeważający udział mają źródła powierzchniowe. W miastach takich jak: Toruń, Bydgoszcz czy Włocławek zaznacza się również udział źródeł liniowych, dochodzący do ponad 20%.

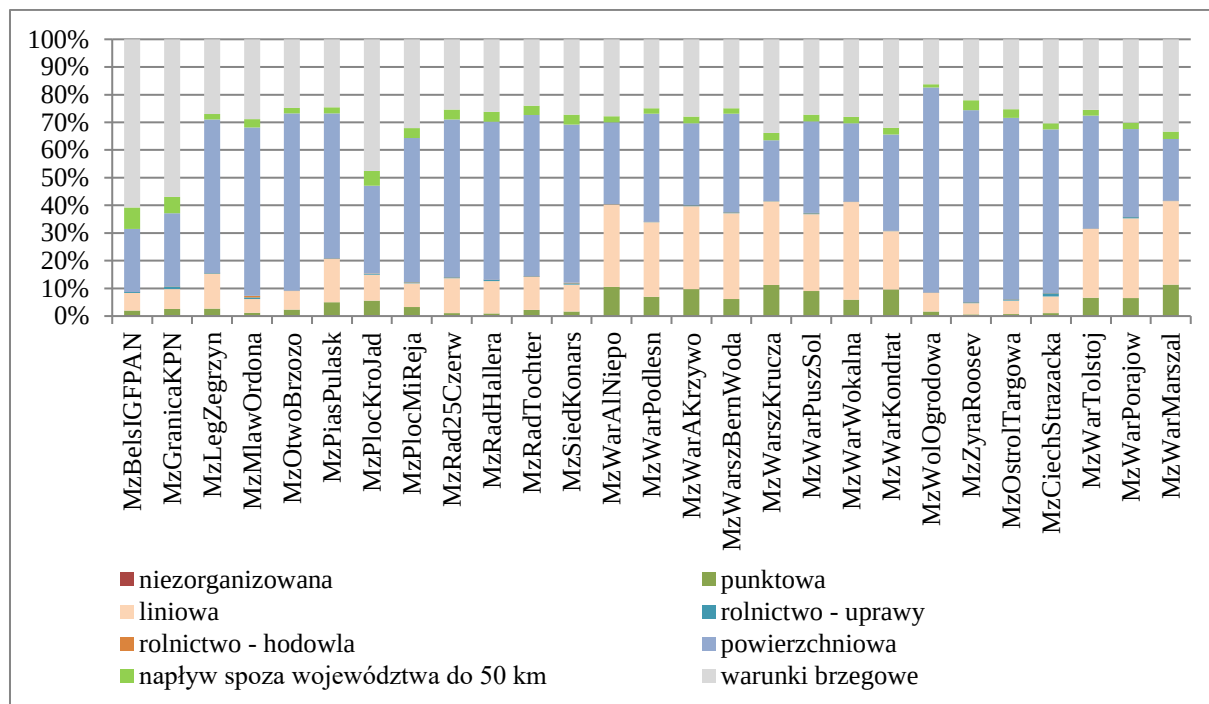


Rysunek 31. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM10 w punktach stacji pomiarowych w województwie kujawsko-pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Pył zawieszony PM2,5

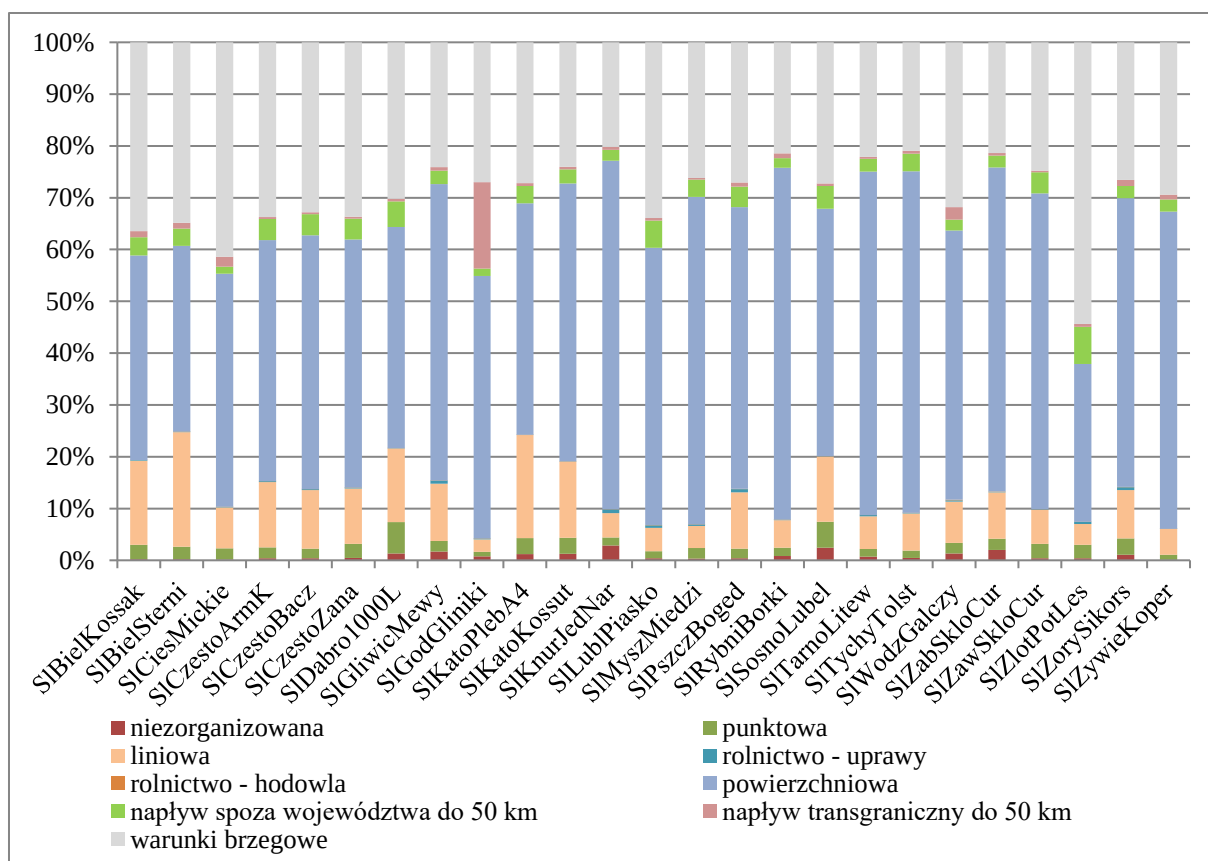
Poniżej przykładowo przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach średniorocznych pyłu PM2,5 występujących na stacjach pomiarowych w województwie śląskim i mazowieckim.

W województwie mazowieckim podobnie jak dla pyłu zawieszonego PM10 źródła powierzchniowe są źródłami dominującymi w udziałach, gdzie ich udział sięga nawet 75% stężenia średniorocznego pyłu PM2,5. W Warszawie znacznie zwiększa się udział źródeł liniowych i punktowych. Pozostałe źródła nie odgrywają znaczącej roli w kształtowaniu się wysokości stężeń na stacjach pomiarowych. Udział napływu jest na poziomie średnio około 30%.



Rysunek 32. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM2,5 w punktach stacji pomiarowych w województwie mazowieckim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

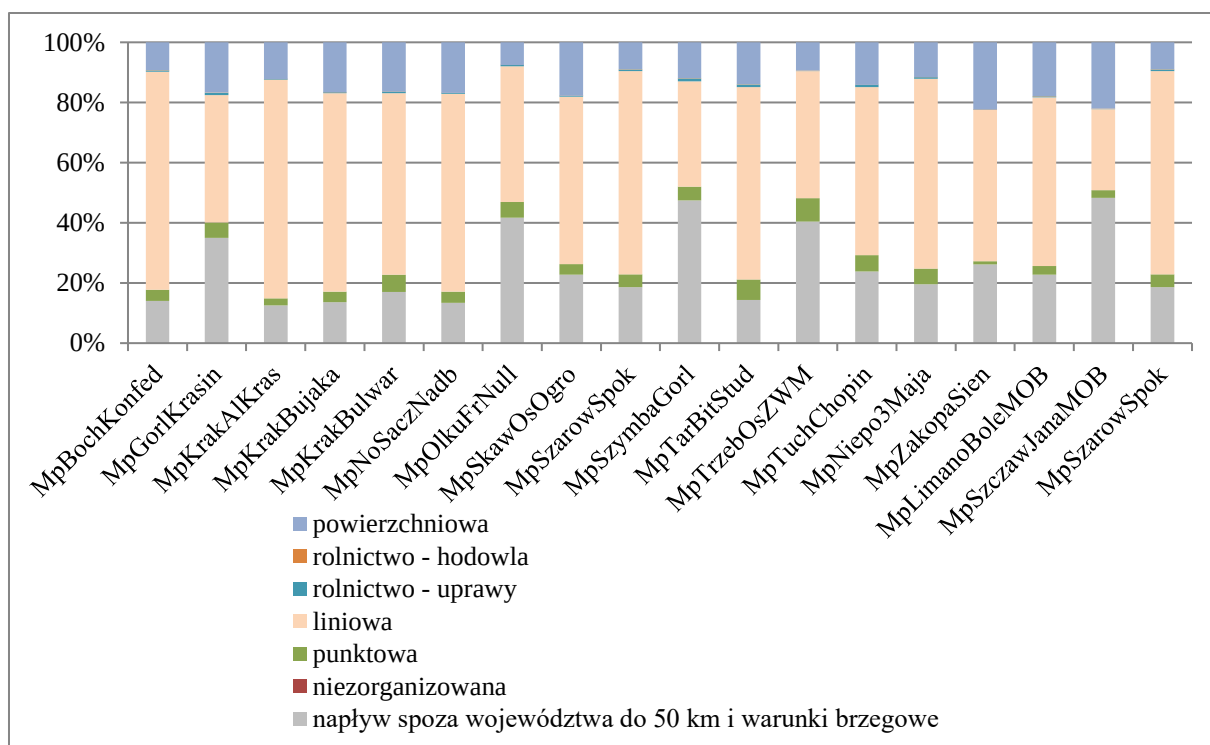
W województwie śląskim sytuacja na stacjach pomiarowych kształtuje się podobnie jak w województwie mazowieckim. Największy udział mają źródła powierzchniowe, ale również pojawia się udział źródeł punktowych i niezorganizowanych. Poziom udziału źródeł z napływu sięga również około 30% stężenia średniorocznego pyłu PM2,5. Na stacji w Godowie widoczny jest udział źródeł spoza kraju czyli transgranicznych, ponieważ stacja jest położona blisko granicy kraju. Na stacjach w aglomeracjach widoczny jest wpływ źródeł liniowych.



Rysunek 33. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} w punktach stacji pomiarowych w województwie śląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

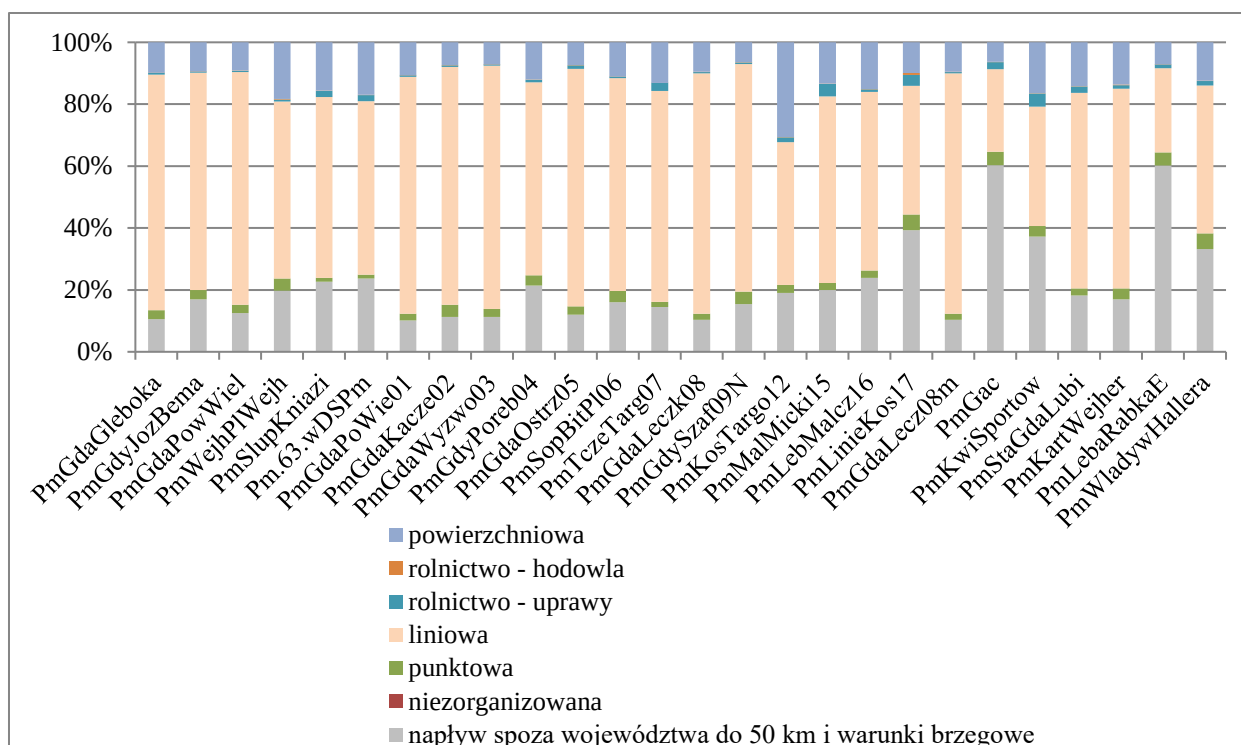
Dwutlenek azotu

W celu analizy udziałów źródeł w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu przykładowo przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach występujących na stacjach pomiarowych w województwie pomorskim i małopolskim.



Rysunek 34. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie małopolskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Źródłami, które w największym stopniu odpowiadają za wysokość stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w województwie małopolskim są źródła liniowe związane z transportem. Udział źródeł powierzchniowych jest bardzo mały i sięga do 15%, natomiast udział źródeł spoza województwa jest znaczący na niektórych stacjach jak np. w Szczawnicy czy Szymbarku, a także w Olkuszu i Trzebini.



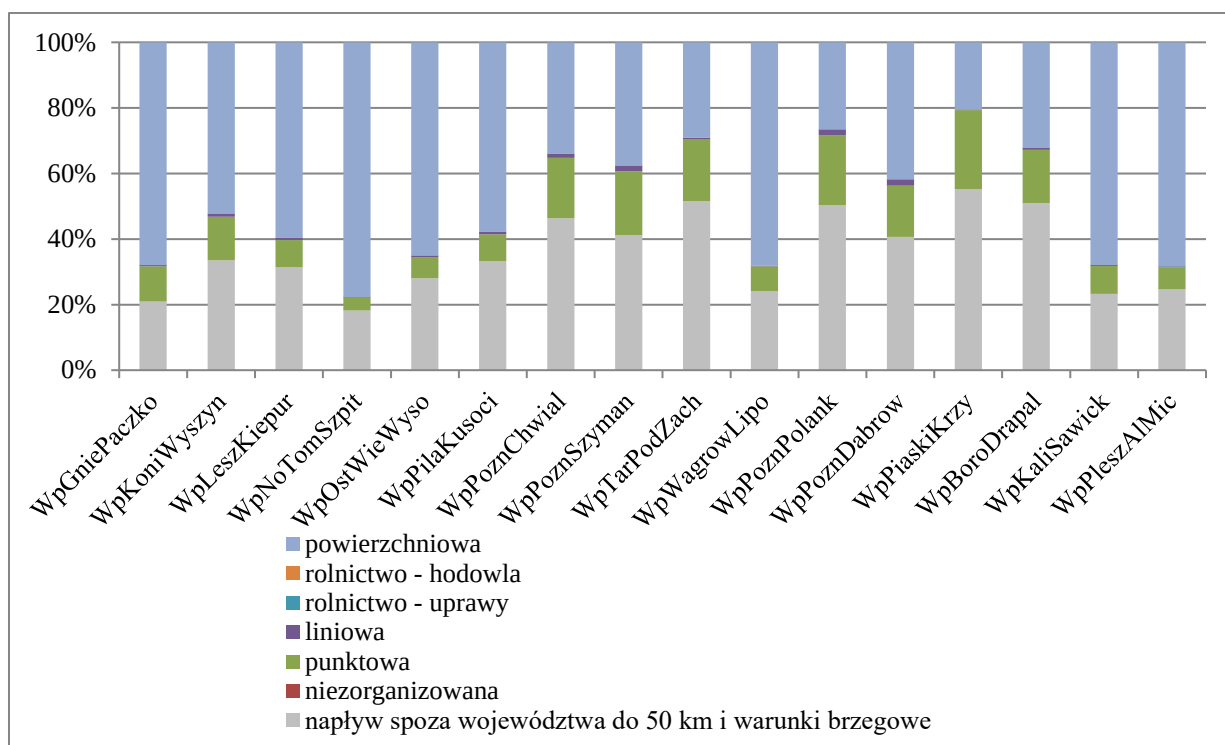
Rysunek 35. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).

Źródła emisji liniowej stanowią również znaczące źródło emisji w przypadku województwa pomorskiego, gdzie na większości stacji pomiarowych ich udział sięga 60-70%. Udział źródeł powierzchniowych to zaledwie 10-15%. Na kilku stacjach rośnie również udział źródeł spoza województwa jak w przypadku stacji w Łebie.

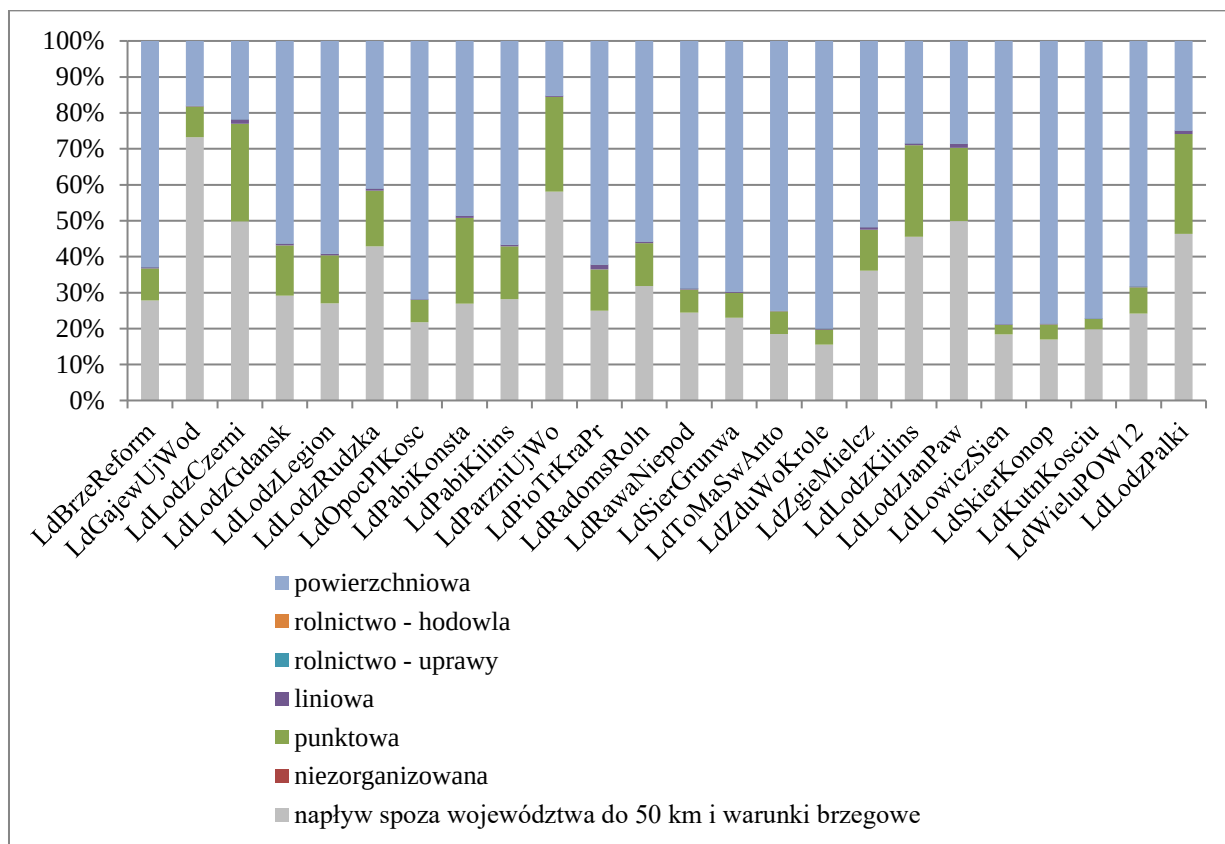
Dwutlenek siarki

W punktach stacji pomiarowych w województwie wielkopolskim znaczący jest udział źródeł emisji powierzchniowej w stężeniach dwutlenku siarki, jednakże znacząco zaznaczona jest również rola źródeł punktowych. Odpowiadają one za około 20-25% wysokości stężeń na kilku stanowiskach pomiarowych jak np. w Poznaniu czy Tarnowie Podgórnym. Udział źródeł spoza województwa sięga do 30% wysokości stężenia, czyli analogicznie jak dla innych zanieczyszczeń.

Według poniższego wykresu dla stacji w województwie łódzkim przeważającym źródłem wpływającym na wysokość stężeń dwutlenku siarki są źródła powierzchniowe, chociaż udziały w stacjach w tym województwie są dość zróżnicowane. Wyraźny jest udział źródeł punktowych, które odpowiadają nawet za 25% stężenia. Najwyższy udział źródeł spoza województwa analiza wykazuje dla stacji w Gajewie i Parzniewicach. Najwyższy udział źródeł powierzchniowych został wskazany w punkcie stacji w Zduńskiej Woli - 80%.



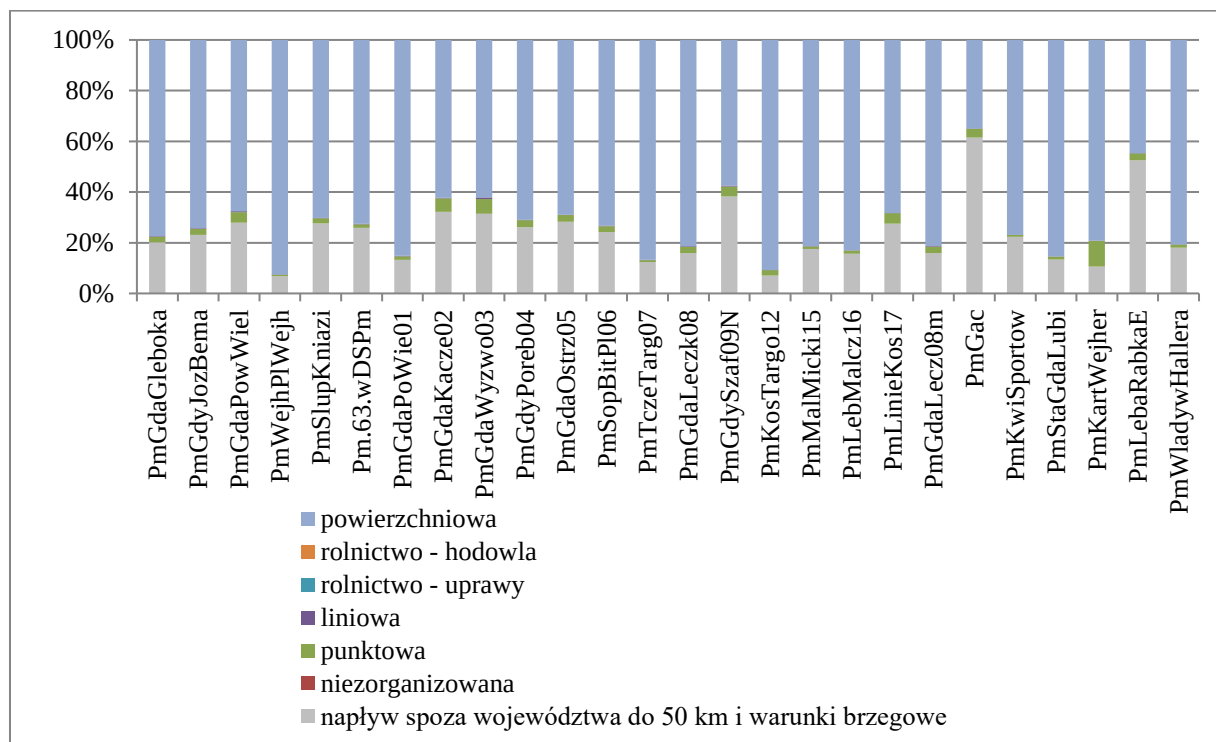
Rysunek 36. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki w punktach stacji pomiarowych w województwie wielkopolskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)



Rysunek 37. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki w punktach stacji pomiarowych w województwie łódzkim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Benzo(a)piren

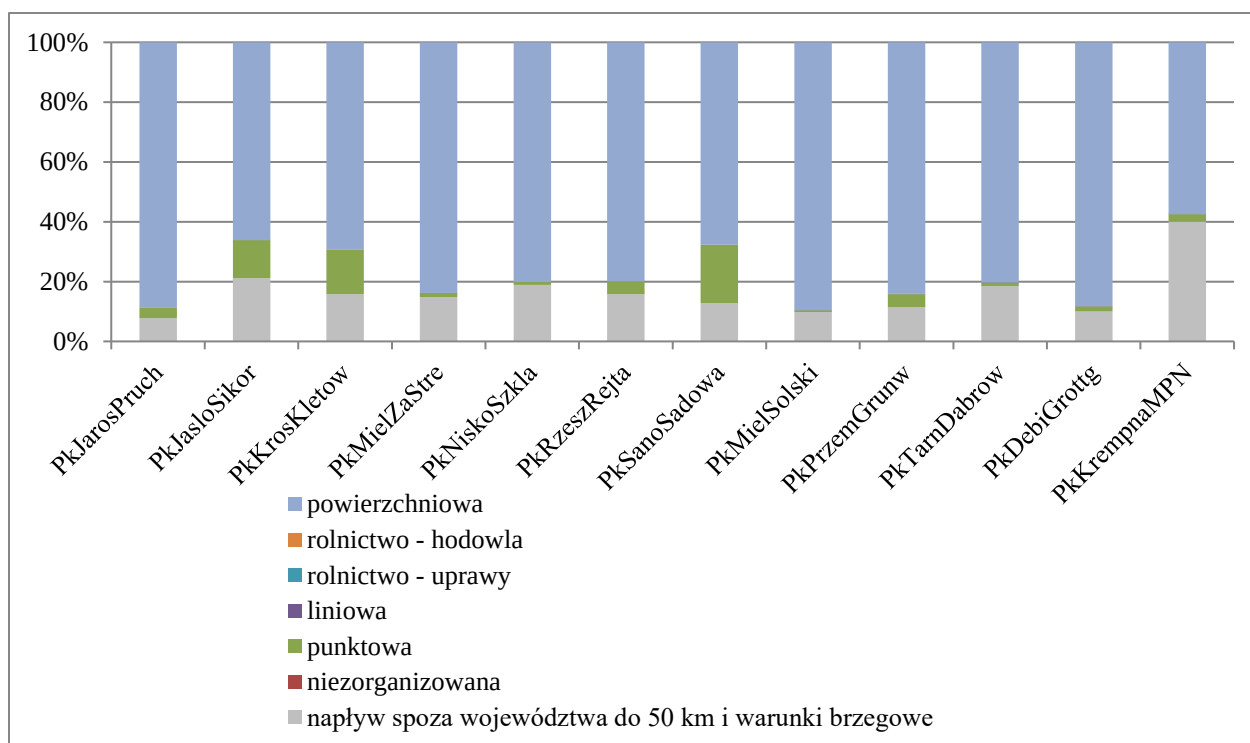
Benzo(a)piren jest zanieczyszczeniem silnie związanym z procesami spalania w indywidualnych źródłach ogrzewania, dlatego też w udziałach widoczna jest przewaga źródeł powierzchniowych dla obu przykładowych województw: podkarpackiego i pomorskiego. Praktycznie na wszystkich stacjach pomiarowych ich udział sięga 70-80% stężenia średniorocznego. Te rodzaje źródeł decydują o występowaniu przekroczeń wartości docelowej stężenia.



Rysunek 38. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Podobnie jak dla województwa pomorskiego pokazanego na wykresie powyżej, sytuacja kształtuje się na stacjach w województwie podkarpackim. Na wszystkich stanowiskach pomiarowych źródła emisji powierzchniowej są źródłami dominującymi. Widoczny jest również wpływ źródeł punktowych, a źródła spoza województwa odpowiadają zaledwie za 10-15% wysokości stężenia średniorocznego benzo(a)pirenu.

Analogiczna sytuacja występuje w przypadku pozostałych województw dla stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu.



Rysunek 39. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie podkarpackim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).

Podsumowanie przyczyn występowania przekroczeń

Podsumowując analizy udziałów poszczególnych rodzajów źródeł w kształtowaniu się wysokości stężeń substancji w powietrzu można wyciągnąć wnioski, które pozwolą ukierunkować planowane działania naprawcze zmierzające do poprawy jakości powietrza w strefach.

Przeprowadzone analizy wskazują, że podstawową przyczyną występowania przekroczeń zarówno pyłu PM₁₀, pyłu PM_{2,5} jak i benzo(a)pirenu są źródła powierzchniowe związane z sektorem komunalno-bytowym. Źródła te wpływają również na wysokości stężeń dwutlenku siarki.

W odniesieniu do stężeń dwutlenku azotu podstawową przyczyną występowania przekroczeń w strefach jest oddziaływanie źródeł liniowych związanych z transportem. Działania naprawcze powinny koncentrować się na ograniczaniu emisji z tychże źródeł w celu dotrzymania norm jakości powietrza.

Jednocześnie należy wskazać iż na większości obszarów w wysokości stężeń ma swój udział napływ zarówno oddziaływanie międzywojewódzkie jak i oddziaływanie źródeł spoza kraju, dlatego analizując działania w ramach polityki ochrony powietrza, należy rozpatrywać problem globalnie i lokalnie.

6. Wojewódzka ocena jakości powietrza za rok 2015 - podsumowanie

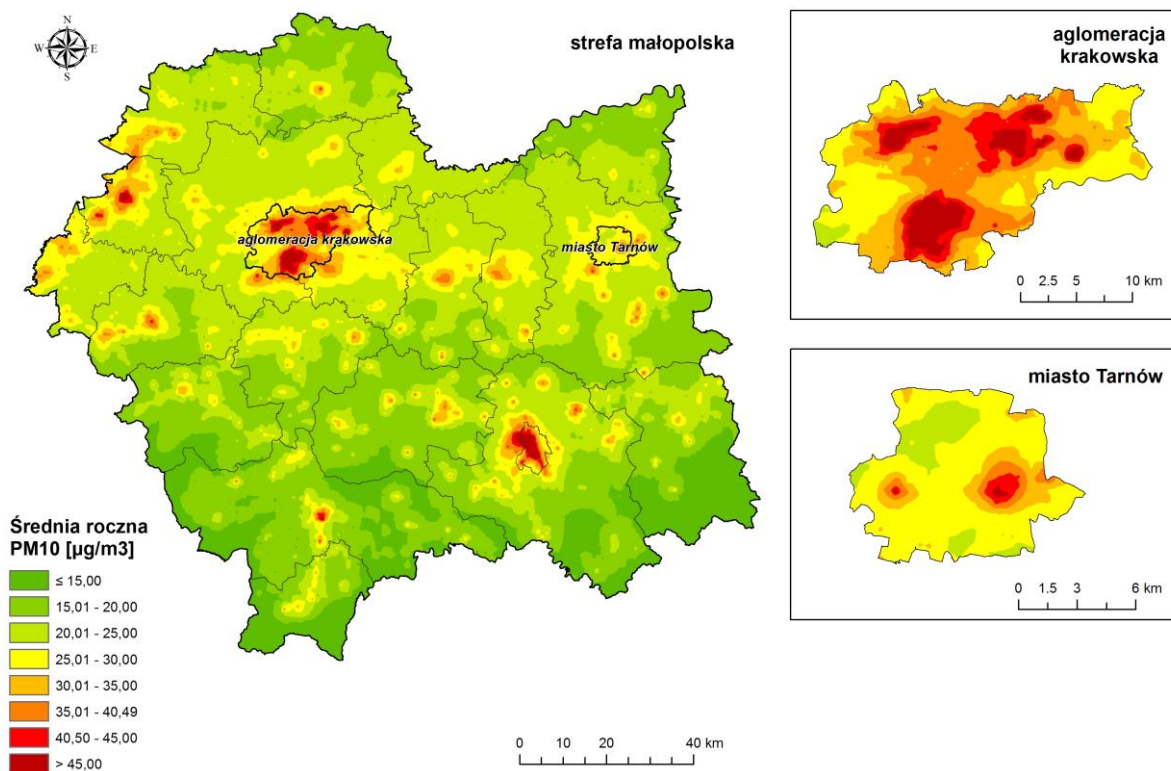
6.1. Przeprowadzone procesy w ramach wspomagania oceny wojewódzkiej

W ramach wspomagania rocznej oceny jakości powietrza dla wszystkich województw zostało wykonane modelowanie modelem CALPUFF. Do przygotowania danych dla modułu warunków brzegowych modelu CALPUFF wykorzystano wyniki symulacji z modelu WRF-Chem. Obliczenia wielkoskalowe w modelu WRF-Chem przeprowadzono w siatce o rozdzielczości 4 km. Siatka swoim zasięgiem obejmowała obszar całego kraju wraz z pasem 150 km wokół kraju. Wartości stężeń z modelowania wielkoskalowego, wyznaczone dla pełnego zestawu substancji, stanowiły zbiór danych wejściowych niezbędnych do przygotowania pliku warunków brzegowych dla modelu CALPUFF. Symulacje wysokorozdzielcze dla każdego województwa wymagały przygotowania odrębnego pliku warunków brzegowych, w którym zawarto informacje dotyczące liczby pól (w poziomie i pionie) zewnętrznej części siatki obliczeniowej, okresu dla którego prowadzone są obliczenia, liczbę substancji oraz wartości stężeń dla każdej substancji w seriach jednogodzinnych.

Z otrzymanych serii czasowych dla każdego punktu obliczeniowego zmienności siatki receptorów obliczono niezbędne parametry statystyczne odpowiadające wartościom normowanym rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu¹¹ dla każdej z modelowanych substancji - PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂ i BaP.

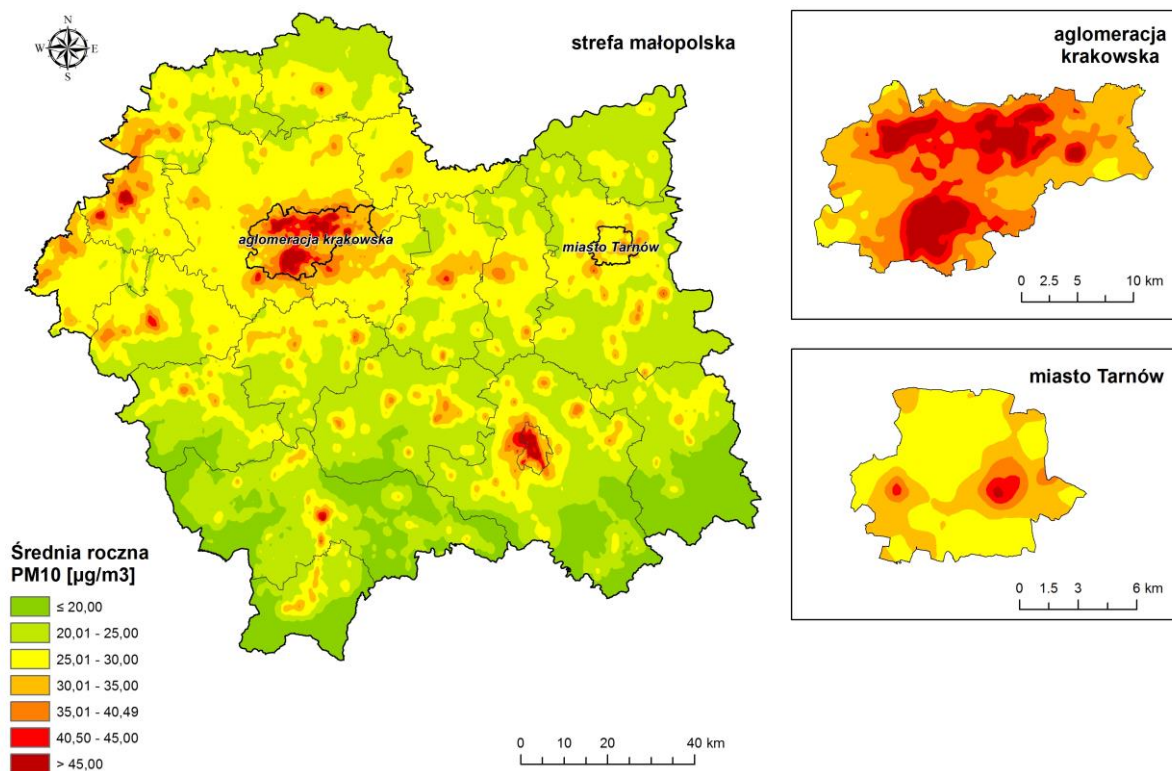
Następnie opracowano wizualizację wyników modelowania. W wariancie I wykonano interpolację danych punktowych z wykorzystaniem metody IDW, której efektem końcowym są rastry o rozdzielczości 250 m. Przykładową mapę z modelowania wojewódzkiego dla pyłu PM₁₀ przedstawia Rysunek 1.

¹¹ Dz. U. z 2012 r. poz.1031



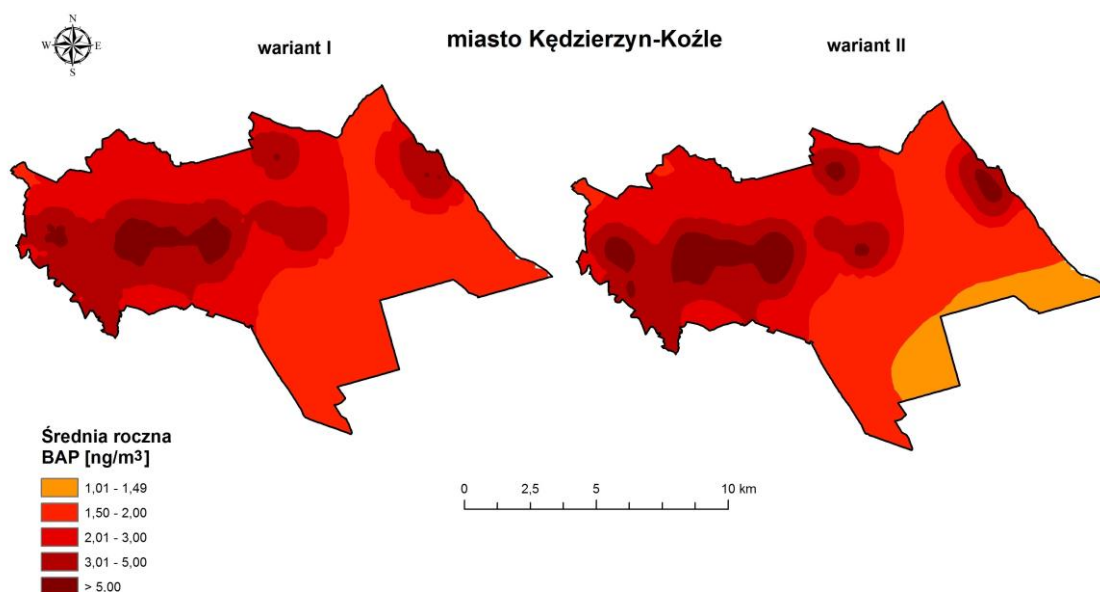
Rysunek 40. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM10 na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I.

Wariant II obejmował korektę wyników modelu do wyników pomiarów otrzymanych ze stacji Państwowego Monitoringu Środowiska z wykorzystaniem analiz przestrzennych w środowisku GIS. Zgodnie ze specyfikacją zamówienia oraz koncepcją opracowania, kalibracja wyników dla każdego województwa przebiegała wieloetapowo, z wykorzystaniem regresji liniowej (OLS) oraz krigingu reszt regresji (Empirical Bayesian Kriging). Analizę prowadzono w dwóch podzbiorach, z uwzględnieniem stacji miejskich i podmiejskich (łącznie) oraz stacji pozamiejskich, gdzie równania regresji opierały się na zamodelowanych receptorach dyskretnych dla punktów stacji. Warunkiem włączenia stacji do kalibracji było minimum 75% pokrycia roku danymi (z wyjątkiem B(a)P, gdzie uwzględniano stacje o pokryciu co najmniej 30%). Ze względu na relatywnie niewielką i nierównomiernie rozmieszczoną liczbę punktów pomiarowych, narzędzie wspomagające analizę stanowiły rastry referencyjne tła miejskiego i pozamiejskiego interpolowane na podstawie wyników pomiarów, z których pozyskiwano uzupełniające punkty reperowe, reprezentatywne odpowiednio dla obszarów o określonej gęstości zaludnienia. Każdy z punktów modelowania był klasyfikowany do jednego z trzech przedziałów gęstości zaludnienia (powyżej 500 osób/km², poniżej 50 osób/km² oraz obszary pośrednie) i podlegał kalibracji zgodnie z przyjętym schematem. Finalnym efektem wariantu II był ponownie zestaw wartości przeliczonych dla wszystkich punktów oraz raster o rozdzielczości 250 m, będący wynikiem interpolacji danych w punktach węzłowych siatki. Przykład mapy w wariancie II dla modelowania wojewódzkiego reprezentuje Rysunek 2.



Rysunek 41. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM10 na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie II.

Oprócz map w układzie wojewódzkim, na których wyróżniono obowiązujące strefy oceny jakości powietrza, przygotowano i przekazano również mapy sporządzone dla miast dodatkowo inwentaryzowanych i modelowanych w gęstej siatce (0,5x0,5 km). Mapy takie przygotowano dla Leszna, Nowego Sącza, Grudziądza, Ostrowca Świętokrzyskiego i Kędzierzyna-Koźla (Rysunek 3).



Rysunek 42. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarze miasta Kędzierzyn-Koźle, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I i II.

Na podstawie sporządzonych rastrów, dla każdego z wariantów opracowano następnie pliki w formacie shapefile reprezentujące poligony, stanowiące obszary przekroczeń wartości dopuszczalnych lub docelowych stężeń analizowanych substancji. Tabela atrybutów każdego pliku zawiera podstawowe informacje o strefie oceny jakości powietrza, wielkości danego obszaru oraz liczbie ludności narażonej na ponadnormatywne stężenia substancji w powietrzu, oszacowanej na podstawie rastra gęstości zaludnienia o rozdzielczości 100 m, opracowanego przez F.J Gallego¹², dostępnego na stronie Europejskiej Agencji Środowiska¹³. Raster został zaktualizowany z uwzględnieniem zmian liczby ludności dla powiatów na podstawie danych GUS wg stanu na dzień 31.12.2014 (najnowszych, jakie były dostępne w chwili opracowywania danych dla obszarów przekroczeń). Poligony z obszarami przekroczeń przygotowane zostały w wersji szczegółowej (z wyodrębnieniem wszystkich obszarów częściowych jako osobnych obiektów) oraz zagregowanej do multipoligonów, dla każdej strefy oceny jakości powietrza w danym województwie.

6.2. Analiza wyników wspomagania wojewódzkiej oceny jakości powietrza dla roku 2015

Wszystkie mapy przedstawione w niniejszym rozdziale stanowią złożenie map sporządzonych dla poszczególnych województw. Zestawienia te przygotowano w celu kompleksowej analizy stężeń modelowanych substancji dla różnych części kraju i należy mieć na uwadze, że modelowanie i kalibracja wyników każdego województwa przebiegały oddzielnie.

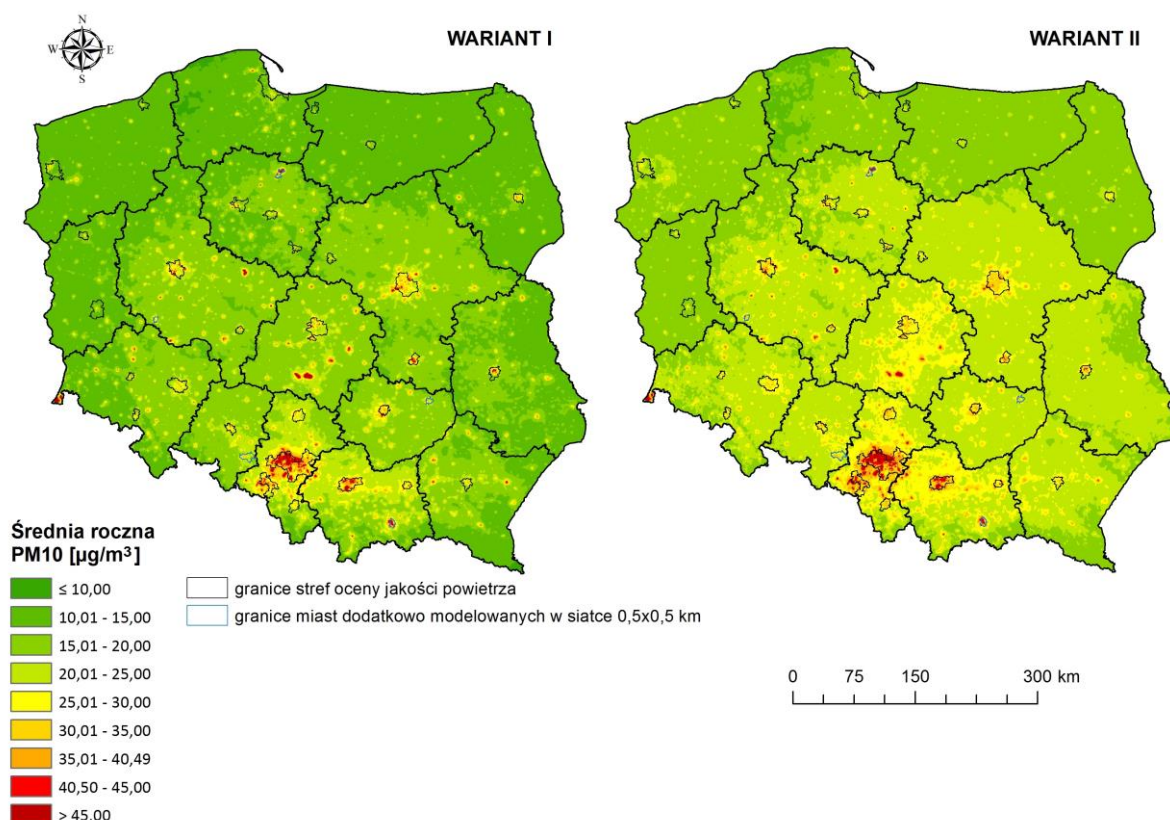
6.2.1. Wyniki wspomagania oceny jakości powietrza według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia

Pył zawieszony PM10

Przekroczenia poziomu dopuszczalnego dla średnich rocznych stężeń pyłu PM10 stanowią lokalny problem wielu obszarów zurbanizowanych i występują w większości stref oceny jakości powietrza w kraju (Rysunek 43). Do nielicznych miast, w których nie odnotowano przekroczeń tego poziomu zarówno na podstawie analizy wyników pomiarów ze stacji pomiarowych jak i w przypadku wyników modelowania, należą: Koszalin, Trójmiasto, Olsztyn, Płock, Zielona Góra, Gorzów Wlkp. i Rzeszów. Największa powierzchnia przekroczeń oraz liczba narażonej na ponadnormatywne stężenia ludności występuje w woj. śląskim i małopolskim, w szczególności na terenach aglomeracji górnośląskiej i krakowskiej. Łącznie w całym kraju, na podstawie wyników modelowania wyznaczono 1002 km² obszarów przekroczeń, a liczbę narażonej ludności oszacowano na blisko 2 mln 781 tys. Po kalibracji (wariant II) liczby te przedstawiały się następująco: 1147 km² i 3 mln 68 tys. osób.

¹² Gallego F.J., 2010, A population density grid of the European Union, Population and Environment. 31: 460-473

¹³ <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2#tab-gis-data>



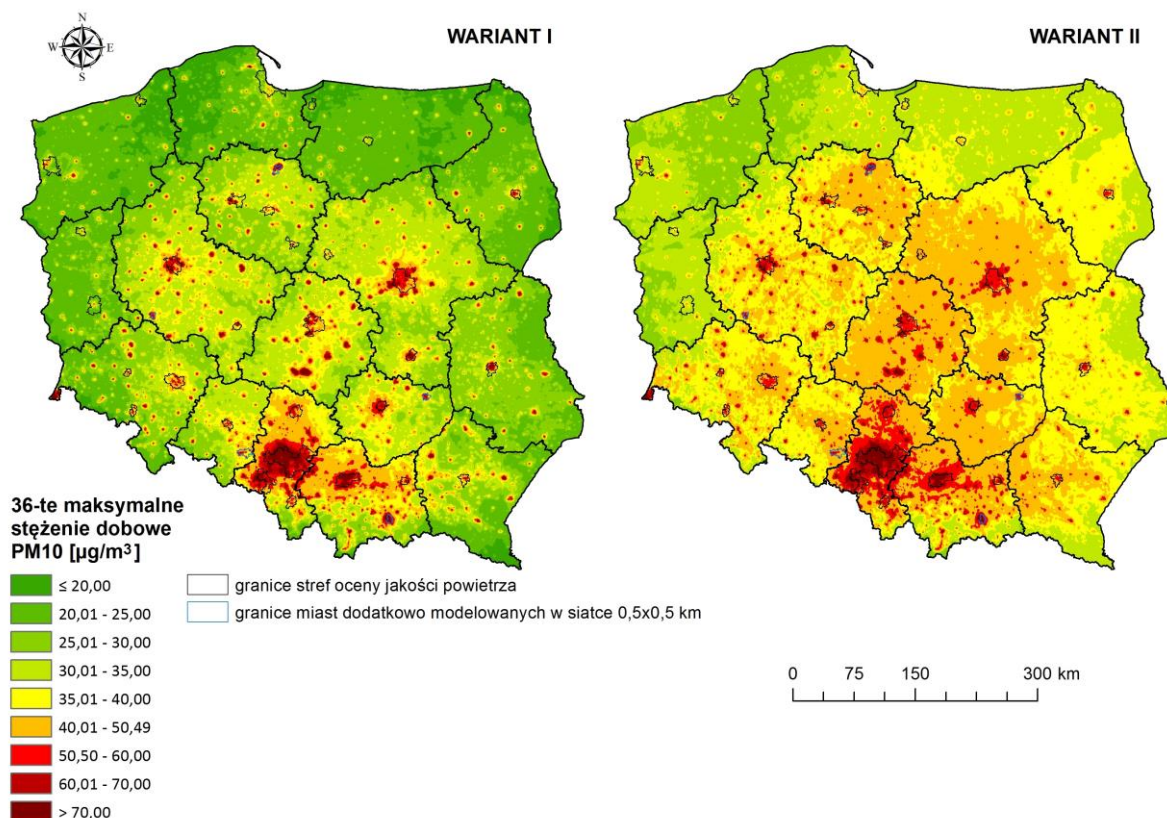
Rysunek 43. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM10 na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

Średnie roczne wartości stężeń pyłu PM10 na przeważającym obszarze kraju, według wyników modelowania, nie przekraczają 20-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Analizy przestrzenne z wykorzystaniem danych pomiarowych powodują podniesienie przeciętnych wartości dla obszarów pozamiejskich o około 5-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na obszarach miejskich kalibracja w punktach stacji na ogół nie powoduje dużych zmian – zgodność wyników modelowania z pomiarami jest stosunkowo dobra (odchylenie dla ponad połowy stacji jest mniejsze niż 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), choć obserwuje się zarówno lokalne niedoszacowanie, jak i przeszacowanie obliczonych stężeń. Większe odchylenia występują na ogół w związku z niedoszacowaniami i często dotyczą one stacji komunikacyjnych. Istotna rozbieżność pomiędzy wynikami modelowania i wynikami notowanymi na stacjach stanowi wskazanie do weryfikacji rozmieszczenia źródeł emisji w sąsiedztwie stacji. Poprawę jakości modelowania dla stacji komunikacyjnych może przynieść także włączenie do bazy emisyjnej bardziej szczegółowych danych na temat lokalnych pomiarów natężenia ruchu dla miast.

Przekroczenia dobowych wartości stężeń dopuszczalnych pyłu PM10 stanowią jeden z głównych problemów zanieczyszczenia powietrza w Polsce. Skala przestrzenna tego zjawiska jest dużo większa niż w przypadku średnich rocznych stężeń PM10. Ponad 35 przekroczeń poziomu dopuszczalnego dla wartości dobowej stężenia odnotowano w modelowaniu dla każdej strefy oceny jakości powietrza (Rysunek 44). Obszar przekroczeń szacowany na podstawie wyników modelowania jest 10-krotnie większy niż dla wartości

średniorocznych ($10\,602\text{ km}^2$), a liczba narażonych mieszkańców wynosi blisko 14 mln 436 tys. osób. Włączenie wyników pomiarów do analiz zwiększa obszar zagrożony przekroczeniami do $17\,533\text{ km}^2$, a liczbę mieszkańców do 16 mln 720 tys.

Największe obszary przekroczeń występują w południowej i środkowej części kraju (strefa śląska, małopolska, łódzka, mazowiecka i aglomeracja górnośląska) oraz w rejonie większości dużych miast. Największa liczba ludności zamieszkuje obszary przekroczeń w aglomeracji górnośląskiej i warszawskiej. Niezależnie od obszarów zurbanizowanych, wysokie stężenia pyłu PM_{10} występują także lokalnie na terenach eksploatacji górniczej.



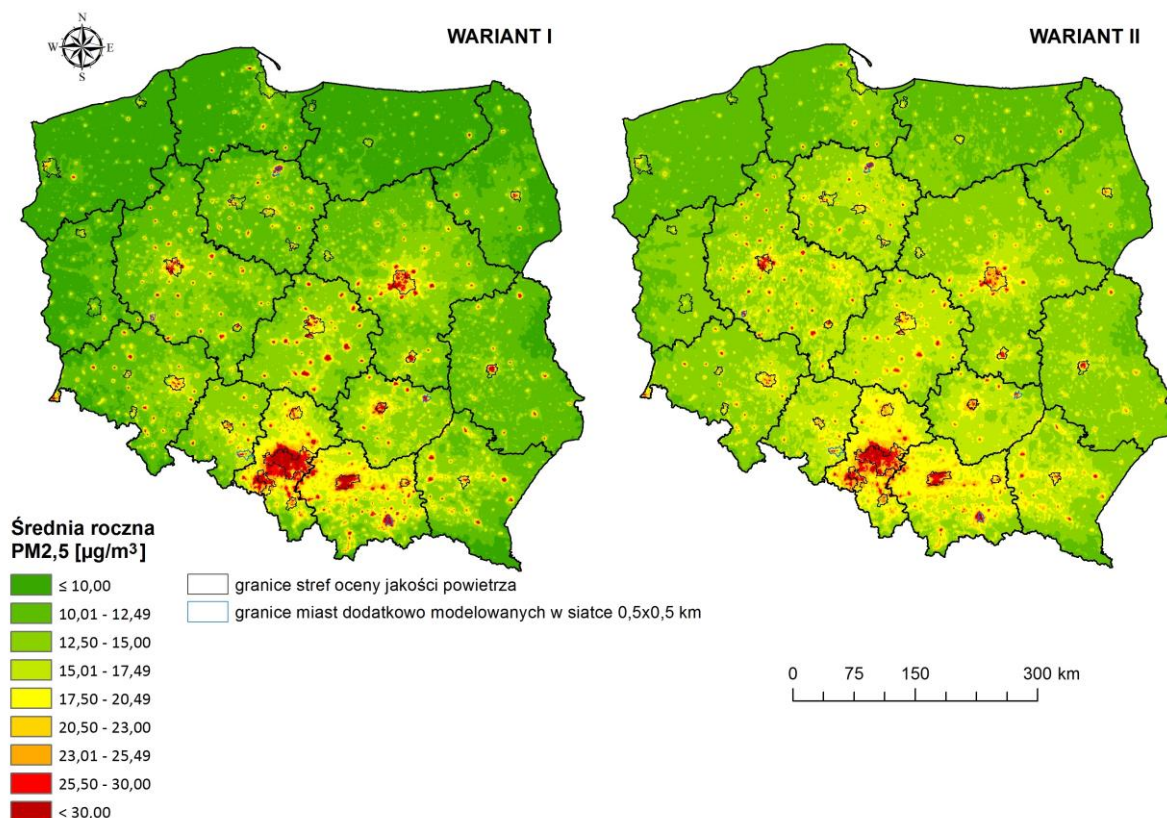
Rysunek 44. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu zawieszonego PM_{10} wyrażonych jako 36-te maksymalne stężenie dobowe na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce $0,5\text{ km} \times 0,5\text{ km}$ dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ dla pozostałych stref).

Podobnie jak w przypadku średnich rocznych stężeń, kalibracja wyników modelowania podnosi wartości 36-tego maksymalnego stężenia dobowego. Na terenach pozamiejskich podwyższa ona przeciętny obserwowany zakres z $20\text{--}35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ w wariantcie I do $25\text{--}45\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ w wariantcie II. Również dla stacji miejskich i podmiejskich częściej występowały niedoszacowania niż przeszacowanie obliczonych stężeń. Dla ponad połowy stacji różnice nie przekraczały jednak $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pył zawieszony $\text{PM}_{2,5}$

Rozkład przestrzenny stężeń średniorocznych pyłu $\text{PM}_{2,5}$ jest zbliżony do rozkładu obserwowanego dla pyłu PM_{10} , z koncentracją obszarów przekroczeń w strefach silnie

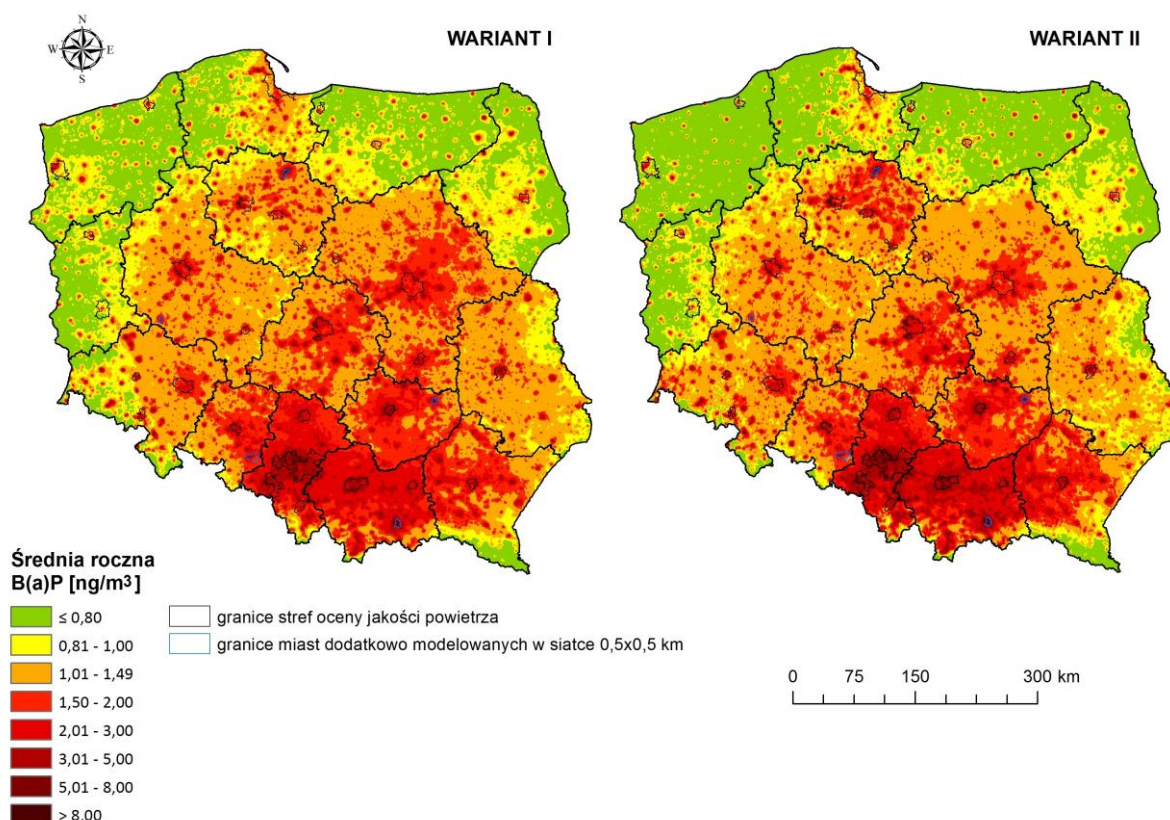
zurbanizowanych (Rysunek 45). W związku z ostrzejszą normą ze względu na ochronę zdrowia, obszary przekroczeń dla tego zanieczyszczenia obejmują większe powierzchnie. Dla wariantu I obszar przekroczeń w Polsce obejmuje łącznie 4 302 km², a liczba ludności narażonej szacowana jest na 9 mln 193 tys. osób. W wariancie II, oprócz podniesienia poziomu tła pozamiejskiego, kalibracja do wyników stacji powoduje lekkie obniżenie górnego pułapu wartości stężeń dla obszarów miejskich, w związku z czym powierzchnia przekroczeń jest mniejsza i wynosi 2 856 km², a liczba narażonej ludności szacowana jest na 7 mln 378 tys.



Rysunek 45. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM_{2,5} na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

Benzo(a)piren

Wysokie średnioroczne stężenia benzo(a)pirenu stanowią największy problem jakości powietrza w Polsce. Dotyczy on wszystkich stref oceny jakości powietrza i choć szczególne jego nasilenie jest obserwowane na obszarach zurbanizowanych, przekroczenia poziomu docelowego występują także na wielu obszarach pozamiejskich (Rysunek 46). Niemal ciągły obszar przekroczeń występuje w Polsce południowej, a liczne obszary o znacznej powierzchni widoczne są także w Polsce środkowej. Nieco lepszą sytuację można zaobserwować w zachodniej i północnej części kraju, gdzie ogniska przekroczeń mają charakter lokalny.



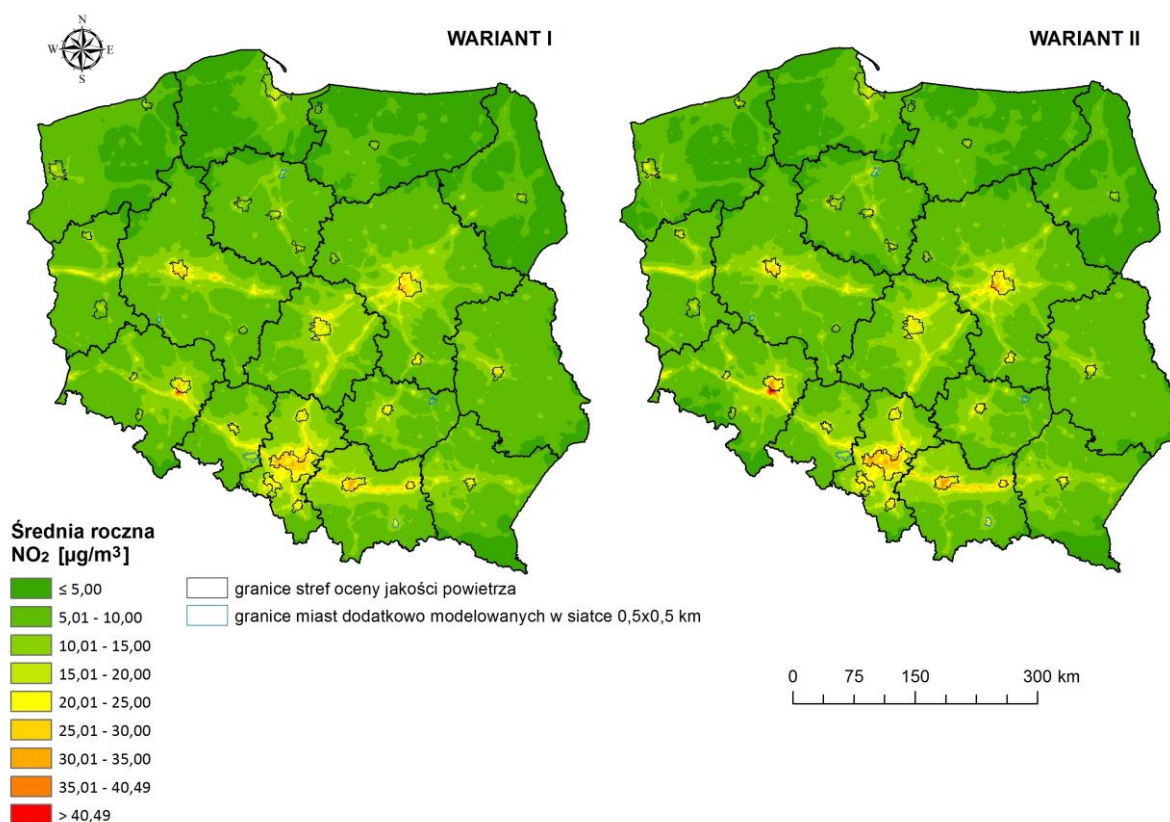
Rysunek 46. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

Według modelowania matematycznego, szacowana łączna powierzchnia obszarów przekroczeń B(a)P w Polsce wynosi 84 327 km², a liczba narażonej ludności 26 mln 939 tys. osób. Włączenie wyników pomiarów do analizy powoduje niewielkie i zróżnicowane lokalnie zmiany rozkładu stężeń. Pomiary wskazują na występowanie wyższych niż modelowane stężeń na obszarze woj. śląskiego, małopolskiego oraz kujawsko-pomorskiego, a także na niektórych stacjach w woj. dolnośląskim czy podkarpackim. Jednocześnie obniżenie wartości modelowanych stężeń w wyniku kalibracji zachodzi w województwach mazowieckim, łódzkim, lubelskim oraz w województwach Polski północnej. W rezultacie w bilansie wariantu II zmniejszają się nieznacznie obszary przekroczeń (do 83 182 km²), a liczba narażonej ludności wynosi 26 mln 547,5 tys. osób.

Dwutlenek azotu

Średnioroczne stężenia dwutlenku azotu wykazują wysoką zgodność wartości modelowanych z pomiarowymi. Modelowane stężenia dla zdecydowanej większości obszarów kraju są znacznie poniżej normy i nie przekraczają połowy wartości dopuszczalnej (Rysunek 47). Ich przestrzenny rozkład wskazuje na silny związek obszarów o wyższych wartościach z występowaniem sieci głównych dróg. Przekroczenia normy występują ściśle lokalnie, na obszarze nie przekraczającym 4,5 km², przy liczbie narażonej ludności szacowanej na 549 osób. Kalibracja do wyników pomiarów zwiększa te liczby do 28,8 km² i 12,5 tys. osób. Są to głównie obszary węzłów komunikacyjnych (węzły autostrady A4: Bielany Wrocławskie,

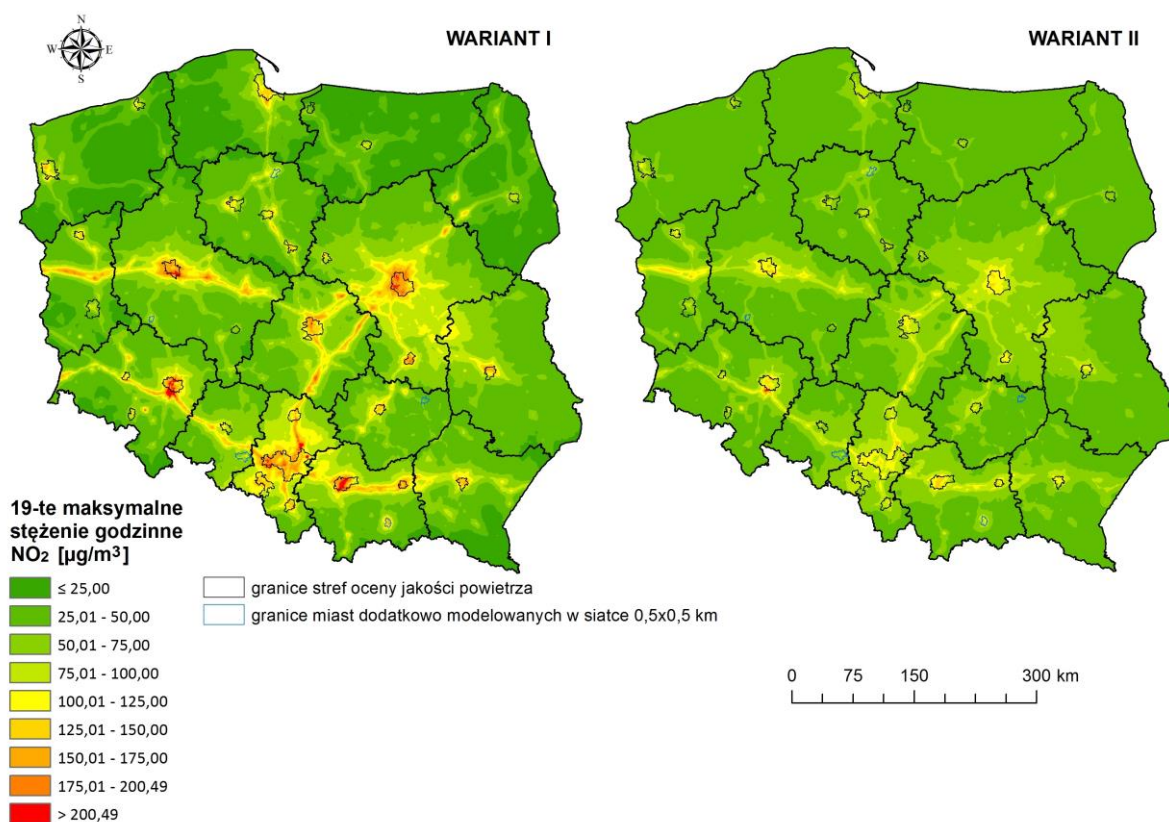
Gliwice – Bojków, węzeł A2/S11 Poznań-Krzesiny) i głównych ulic w miastach (Kraków – Al. Krasińskiego), choć nie wszystkie stacje komunikacyjne, które odnotowały przekroczenia wartości średniorocznych, znajdują odzwierciedlenie w wynikach modelowania.



Rysunek 47. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

Modelowanie w zakresie wartości godzinnych wskazuje rozkład bardzo podobny do wartości średniorocznych, gdzie wyższe stężenia nawiązują do przebiegu szlaków komunikacyjnych (Rysunek 48), jednak zakres modelowanych wartości ma większą amplitudę od wyników notowanych na stacjach, co przejawia się głównie przeszacowaniem wartości obliczonych dla większych aglomeracji (duże obszary widoczne w aglomeracji krakowskiej, wrocławskiej, poznańskiej i warszawskiej). Bardziej uwidoczniają się także ogniska podwyższonych stężeń związanych z emisją punktową. Obszary przekroczeń w wariantcie I obejmują łącznie 345 km², na których zamieszkuje 747 tys. osób. Kalibracja powoduje niewielkie podniesienie wartości minimalnych i obniżenie lokalnych maksimów, niwelując większość przeszacowań. Obszary przekroczeń pozostają na 8,9 km², a liczba osób zagrożonych wynosi niecałe 2,3 tys., w tym większość koncentruje się w aglomeracji górnośląskiej oraz Tarnowie, gdzie przeważająca część stężeń godzinnych dwutlenku azotu jest związana z aktywnością źródeł punktowych emisji. Trzeci obszar przekroczeń występuje w strefie dolnośląskiej, w rejonie węzła autostradowego Bielany Wrocławskie.

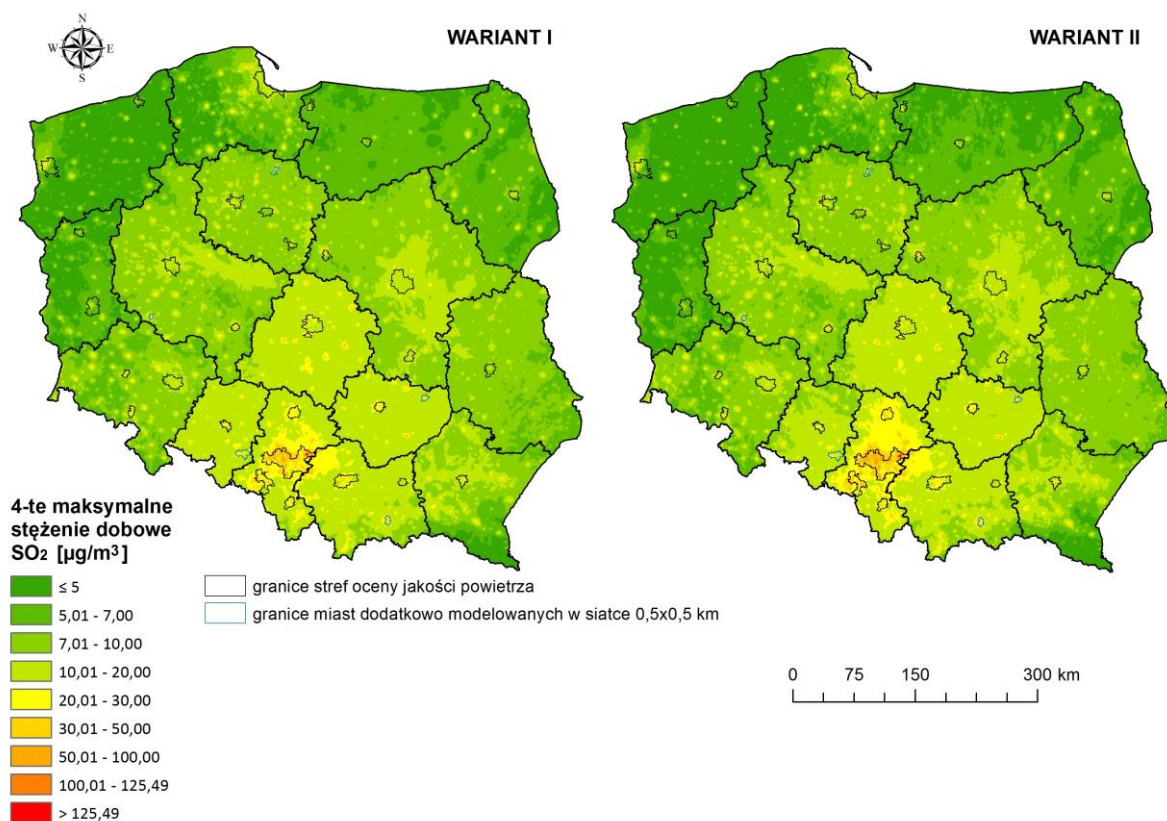
Przeszacowanie godzinnych wartości stężeń NO_2 wskazuje na zasadność sprawdzenia prawidłowości profilowania czasowego emisji tego zanieczyszczenia, szczególnie dla źródeł komunikacyjnych, dla których średnie roczne wartości nie odbiegają istotnie od wyników pomiarów lub są niższe niż obserwowane, a wartości godzinne wskazują często na przeszacowanie. Podobnie jak w przypadku pyłów, poprawę zbieżności uzyskiwanych wyników modelowania z wynikami pomiarów w zakresie stacji komunikacyjnych powinno przynieść włączenie do bazy emisyjnej danych na temat lokalnych pomiarów natężenia ruchu, na odcinkach, których nie obejmują pomiary prowadzone przez GDDKiA. Także aktualizacja danych do pomiarów przeprowadzonych w 2015 roku może przynieść poprawę (według informacji na stronie internetowej GDDKiA, pełne dane powinny być dostępne po 30. września 2016).



Rysunek 48. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako 19-te maksymalne stężenie godzinowe na obszarach województwa na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

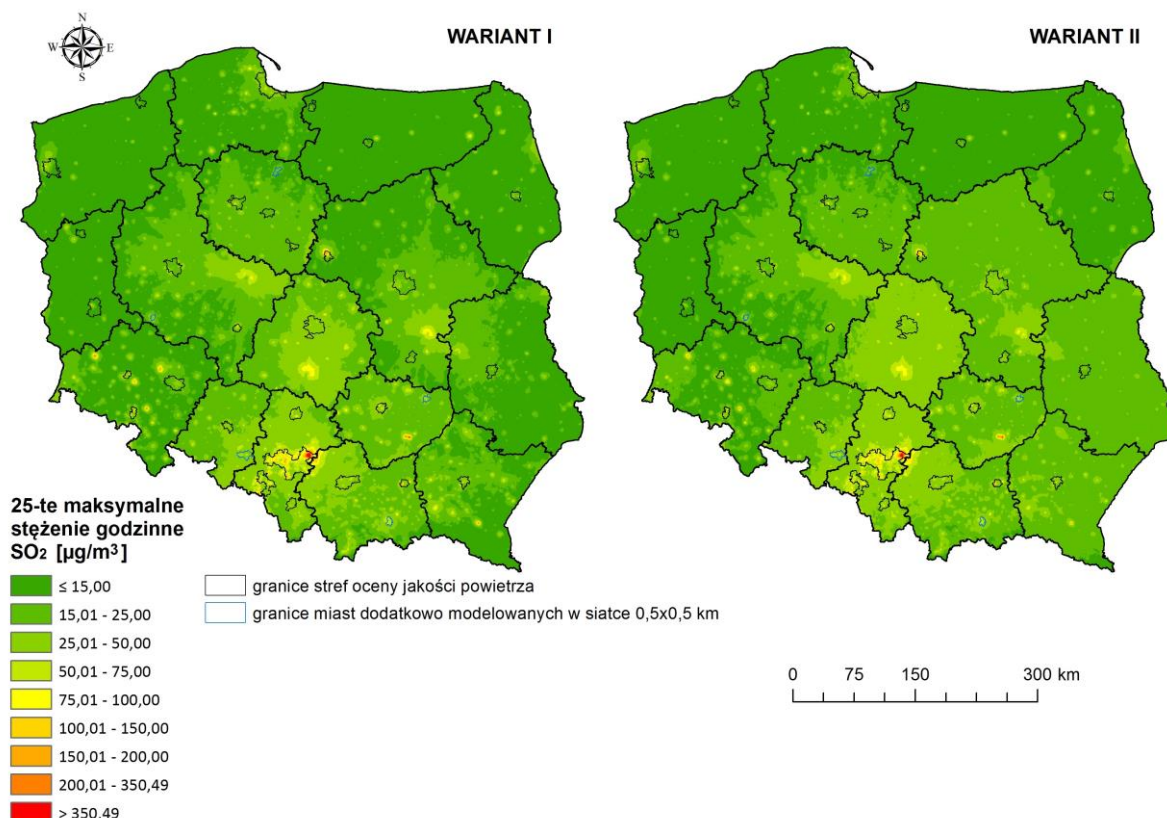
Dwutlenek siarki

Dla zdecydowanej większości kraju dobowe i godzinne stężenia dwutlenku siarki są bardzo niskie i plasują się w przedziałach zdecydowanie odległych od poziomów dopuszczalnych (Rysunek 49). Modelowane przekroczenia mają zasięg ściśle lokalny i są związane głównie z emisją punktową. Dla wartości średniodobowych obszar przekroczeń obejmuje 12,8 km² (12 tys. osób narażonych) w woj. śląskim i punktowo w Kaliszu. W wariantcie II obszar przekroczeń dla stężeń dobowych szacowany jest na 9 km² (6 tys. osób) – wyłącznie na Śląsku.



Rysunek 49. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako 4-te maksymalne stężenie dobowe na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

Przekroczenia dla okresu uśredniania 1 godziny według modelowania występują na obszarze około 35 km² (woj. śląskie, Tarnów i okolice Staszowa w strefie świętokrzyskiej) i powodują narażenie 47,2 tys. osób (Rysunek 50). Kalibracja zmniejsza te wartości do 4 km² i 2,6 tys. osób.

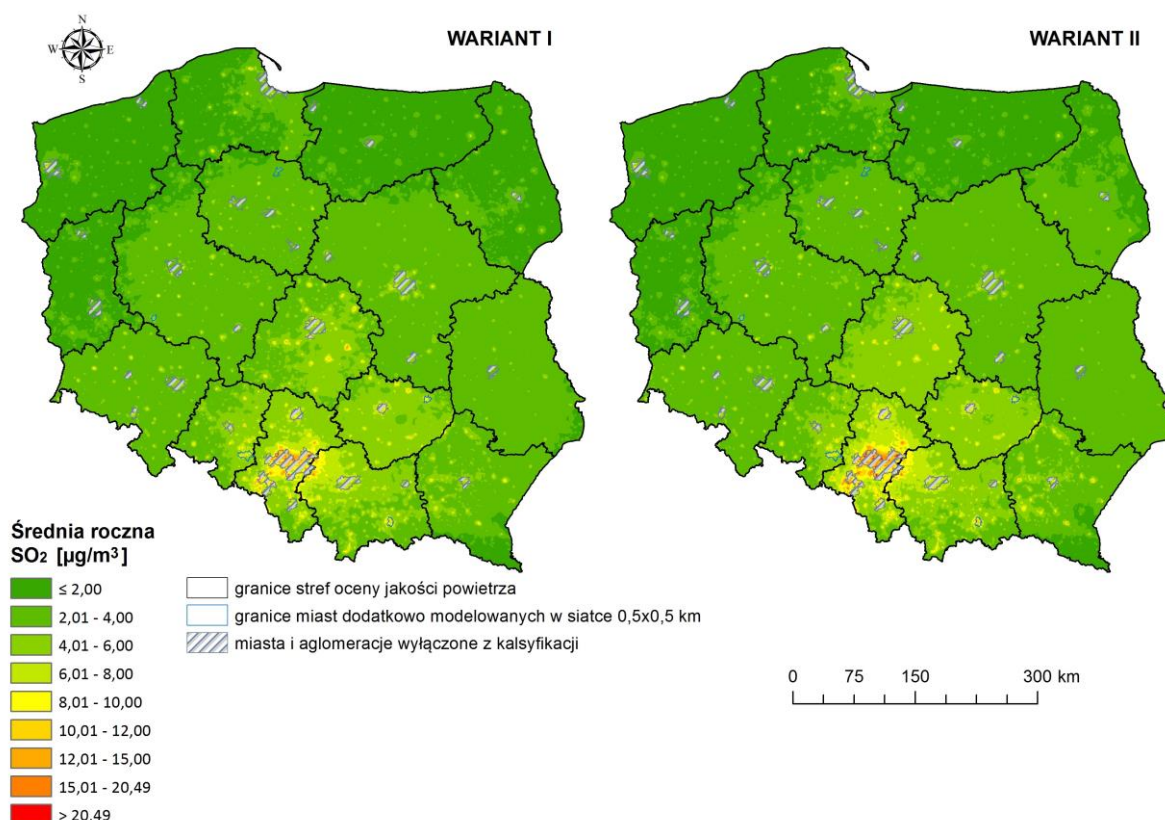


Rysunek 50. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako 25-te maksymalne stężenie godzinne na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).

6.2.2. Wyniki wspomaganie oceny jakości powietrza według kryteriów odniesionych do ochrony roślin

Dwutlenek siarki

Średnie roczne stężenia dwutlenku siarki dla większości obszaru kraju są niskie i nie przekraczają $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rysunek 51). Z klasyfikacji według kryterium ochrony roślin wyłączone są strefy-aglomeracje oraz strefy-miasta. Na pozostałym obszarze kraju wartości przekraczające $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ występują lokalnie w strefie śląskiej na obszarze $1,1 \text{ km}^2$, przy czym przekroczenia te są odnotowywane wyłącznie w wynikach modelowania i nie potwierdzają ich wyniki pomiarów. Przekroczenia nie są modelowane dla punktów stacji w województwie śląskim. Kalibracja nie poprawia zbieżności modelowanych przekroczeń z obrazem wynikającym z pomiarów. Obszary przekroczeń zwiększają swoją powierzchnię do $5,3 \text{ km}^2$. Jako źródło emisji dominujące na obszarach przekroczeń zidentyfikowano emisję powierzchniową, należy zatem rozważyć zbadanie wskaźnika emisji dla tego katastru oraz rozlokowania źródeł emisji względem stacji.



Rysunek 51. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref)..

6.2.3. Zagadnienia techniczne analiz przestrzennych wpływające na rozkłady stężeń oraz określanie obszarów przekroczeń

Przeprowadzona w poprzednim rozdziale analiza uzyskanych wyników w dwóch wariantach wskazuje, że połączenie wyników pomiarów z wynikami modelowania w zdecydowanej większości przypadków poprawia ogólny oraz lokalny obraz finalnych wyników, a stężenia w wariantcie II są bardziej zbliżone do wyników pomiarów dla większości stacji pomiarowych. Ponieważ jednak odchyłki wyników modelowania względem wyników ze stacji dla danej substancji zdarzają się zarówno w formie przeszacowań jak i niedoszacowań, a ogólną zależność między wynikami ustala się na podstawie równań regresji liniowej, należy pamiętać, że dla pojedynczych stacji kalibracja może spowodować oddalenie wyników od wartości pomiarowych. Te stacje, które wykazują silniejsze odchyłki względem ogólnej zależności dla całego zbioru mogą mieć szczególne uwarunkowania lokalne (np. stacje komunikacyjne lub przemysłowe) lub odmienną reprezentatywność przestrzenną. Lokalizacja emisji w ich sąsiedztwie powinna być przedmiotem szczegółowej analizy w ramach prac nad kolejną edycją wspomaganie oceny rocznej.

W przypadku, gdy wyniki modelowania w żadnym z wariantów nie osiągają tego samego poziomu co wyniki odnotowane na stacjach, w związku z czym dla okolic stacji brak

wyznaczonego obszaru przekroczeń, istnieje możliwość wyznaczenia obszaru przekroczeń na podstawie wyników pomiarów. Podobną alternatywę można przyjąć także dla obszarów, na których obecnie nie funkcjonują stacje pomiarowe, ale pomiary archiwalne lub analiza warunków lokalnych skłaniają Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska do przyjęcia założenia, że występowanie przekroczeń na wskazanym obszarze jest wysoce prawdopodobne. Wówczas obszary wyznaczone w tzw. obiektywnym szacowaniu można włączyć do puli obszarów wyznaczonych na podstawie wyników modelowania. Z takiej możliwości skorzystały w ocenie dla 2015 roku WIOŚ w Krakowie oraz w Łodzi. Dla dodatkowo wyznaczonych obszarów dokonano obliczenia powierzchni i liczby narażonych mieszkańców w ten sam sposób, co dla pozostałych obszarów.

Jeżeli występowanie obszarów przekroczeń wyznaczonych modelowaniem nie znajduje pokrycia w pomiarach, a analiza warunków lokalnych również ich nie potwierdza, WIOŚ może zdecydować o odrzuceniu obszarów wyznaczonych w modelowaniu. Jest to jednocześnie wskazanie do weryfikacji wyników modelowania (zastosowanych wskaźników oraz lokalizacji źródeł emisji) dla tego obszaru. Taka sytuacja wystąpiła w przypadku wyników uzyskanych dla dwutlenku siarki na obszarze województwa śląskiego, co zostało opisane w rozdziale powyżej.

Szczególne znaczenie dla prawidłowej oceny jakości modelowania mają stacje tła pozamiejskiego. Ich lokalizacja w odniesieniu do reprezentatywności przestrzennej powinna być stale kontrolowana, a liczba w miarę możliwości powinna ulec zwiększeniu. Byłoby to bardzo korzystne zwłaszcza w przypadku stacji mierzących stężenia benzo(a)pirenu, a także pyłów. Niedobór stacji pozamiejskich wpływa istotnie na niepewność oznaczenia dolnego poziomu odniesienia dla wyników modelowania, szczególnie w Polsce południowo – wschodniej.

Reprezentatywność niektórych stacji budzi pewne wątpliwości. Tak jest np. w przypadku stacji Koniczynka w woj. kujawsko-pomorskim, która mimo lokalizacji na obszarze słabo zaludnionym, osiąga relatywnie wysokie wartości stężeń benzo(a)pirenu. Może to wynikać z bliskiego sąsiedztwa zabudowy wiejskiej, która stanowi istotne źródło tego zanieczyszczenia. Mało wiarygodne są także uzyskane w 2015 roku wyniki stężeń średniorocznych NO₂ ze stacji na Świętym Krzyżu w woj. świętokrzyskim. Wartość 1,67 µg/m³ jest niższa niż notowana w jakiegokolwiek części kraju i wskazuje na kilkukrotne zniżenie względem lat poprzednich, podczas gdy maksymalne wartości godzinne nie wykazują takiego odchylenia. Stacja ta nie została ostatecznie włączona do zbioru punktów kalibracyjnych w zakresie wyników średniorocznych dwutlenku azotu.

7. Działania niezbędne do osiągnięcia standardów jakości powietrza

Obniżenie stężeń zanieczyszczeń w powietrzu do poziomu wartości dopuszczalnych lub docelowych jest głównym celem działań podejmowanych na różnych szczeblach zarządzania jakością środowiska. Monitorowanie stanu jakości powietrza daje możliwość wskazania obszarów przekroczeń wartości normatywnych, a w połączeniu z analizą danych emisyjnych – diagnozowania przyczyn zaistniałych problemów. Ze względu na stan jakości powietrza w

kraju, realizowanych jest szereg działań naprawczych zmierzających do ograniczenia negatywnego wpływu źródeł emisji na stan powietrza.

Główne działania naprawcze realizowane są w ramach programów ochrony powietrza, które wdrażane są praktycznie we wszystkich strefach oceny jakości powietrza w kraju. W niniejszym rozdziale zostały przedstawione działania mające na celu osiągnięcie określonych standardów jakości powietrza na terenach z przekroczeniami norm jakości powietrza oraz dotrzymanie dobrej jakości powietrza na pozostałych obszarach. Plan działań naprawczych jest procesem długoterminowym, przewidzianym do realizacji w perspektywie kilkunastu lat. Działania mają charakter legislacyjny, edukacyjny, techniczno-technologiczny, kontrolny oraz finansowy. W skali kraju opracowany został Krajowy Program Ochrony Powietrza który został przyjęty 3 września 2015 roku, który wyznacza krajowe cele poprawy jakości powietrza oraz działania, jakie należy podjąć w skali kraju w celu przywrócenia jakości powietrza wymaganej przepisami. Krajowy Program ma na celu poprawę jakości życia mieszkańców, ochronę ich zdrowia i warunków życia, z uwzględnieniem zasad ochrony środowiska. Jego realizacja ma pozwolić na osiągnięcie w możliwie krótkim czasie dopuszczalnych poziomów pyłu zawieszonego i innych szkodliwych substancji w powietrzu, wynikających z obowiązujących przepisów prawa, a w perspektywie do 2030 r. – poziomów wskazywanych przez Światową Organizację Zdrowia.

7.1. Podstawowe kierunki działań

Analiza czynników wpływających na przekroczenia stężeń substancji w powietrzu wykazała, iż największy wpływ mają źródła powierzchniowe z sektora komunalno-bytowego, a także w przypadku dwutlenku azotu źródła związane z komunikacją i transportem.

Działania naprawcze muszą zatem być skierowane głównie na te rodzaje źródeł w połączeniu z działaniami wspomagającymi w zakresie redukcji emisji z transportu czy kontroli emisji przemysłowych.

Ograniczenie emisji powierzchniowej

- zmiany prawne w zakresie jakości paliw stałych stosowanych w sektorze komunalno-bytowym oraz określenie standardów emisyjnych dla urządzeń grzewczych (w tym kotłów) opalanych paliwami stałymi.;
- rozwój technologii produkcji kotłów spełniających wymogi UE, w tym dyrektywy EcoDesign (wymagań dotyczących ekoprojektu);
- rozwój technologii nowych paliw nisko- i bezemisyjnych;
- rozwój i modernizacja ciepła systemowego;
- realizacja planów gospodarki niskoemisyjnej/programów ograniczenia niskiej emisji;
- zwiększenie efektywności energetycznej budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej poprzez przeprowadzenie termomodernizacji budynków;
- wykorzystanie odnawialnych źródeł energii;
- likwidacji nieefektywnych źródeł ciepła tj.: indywidualnych kotłowni lub palenisk węglowych, kotłowni zasilających kilka budynków oraz kotłowni osiedlowych

i podłączenie obiektów do miejskiej sieci ciepłowniczej lub ich zastąpienia przez źródło o wyższej niż dotychczas sprawności wytwarzania ciepła;

Ograniczenie emisji liniowej

- wprowadzenie stref ograniczonej emisji transportowej;
- wprowadzenie nowoczesnych technologii środków transportu;
- zarządzanie ruchem;
- czynniki behawioralne związane z zachowaniem kierowcy;
- modernizacja i przebudowa dróg;
- modernizacja infrastruktury kolejowej i rozwój połączeń kolejowych;
- budowa obwodnic miast w celu wyprowadzenia ruchu tranzytowego;
- modernizacja taboru komunikacji zbiorowej;
- budowa parking;
- rozwój transportu publicznego;
- oczyszczanie dróg po sezonie zimowym;
- budowa ścieżek rowerowych oraz systemów bezobsługowego wypożyczania rowerów miejskich;
- budowa parkingów typu park&ride oraz park&bike;
- stosowanie na terenie miast nawierzchni o najwyższej odporności na ścieranie na skrzyżowaniach i na odcinkach jezdni o największym natężeniu ruchu;

Ograniczenie emisji punktowej – energetyczne spalanie paliw:

- ograniczenie wielkości emisji zanieczyszczeń poprzez optymalne sterowanie procesem spalania i podnoszenie sprawności procesu produkcji energii;
- zmiana paliwa na inne, o mniejszej zawartości popiołu i siarki;
- stosowanie technik gwarantujących zmniejszenie emisji substancji do powietrza;
- stosowanie technik odpylania, odsiarczania i odazotowania spalin o dużej efektywności;
- stosowanie oprócz spalania paliw odnawialnych źródeł energii;
- zmniejszenie strat przesyłu energii;

Ograniczenie emisji punktowej – źródła technologiczne:

- stosowanie efektywnych technik odpylania, odsiarczania i odazotowania gazów odlotowych;
- zmiana technologii produkcji, w tym likwidacja źródeł o znaczącej emisji pyłu;
- zmiana profilu produkcji wpływająca na ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających;

Ograniczanie emisji niezorganizowanej:

- obniżenie emisji z realizowanych inwestycji budowlanych poprzez uświadamianie przedsiębiorców i kontrole na terenach inwestycji;
- kontrole czystości kół w pojazdach wyjeżdżających na ulice z terenów budowy;

- zraszanie hałd materiałów sypkich, znajdujących się na otwartej przestrzeni w okresach bezdeszczowych lub ich przykrycie;

Ograniczenie emisji poprzez edukację ekologiczną i reklamy:

- kształtowanie właściwych zachowań społecznych poprzez propagowanie konieczności oszczędzania energii cieplnej i elektrycznej oraz uświadamianie o szkodliwości spalania paliw niskiej jakości;
- prowadzenie akcji edukacyjnych mających na celu uświadamianie społeczeństwa o szkodliwości spalania odpadów połączonych z ustanawianiem mandatów za spalanie odpadów;
- uświadamianie społeczeństwa o korzyściach płynących z użytkowania scentralizowanej sieci cieplnej, termomodernizacji i innych działań związanych z ograniczeniem emisji niskiej;
- promocja nowoczesnych, niskoemisyjnych źródeł ciepła;
- wspieranie przedsięwzięć polegających na reklamie oraz innych rodzajach promocji towaru i usług propagujących model konsumpcji zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju, w tym w zakresie ochrony powietrza.

Ograniczenie emisji w zakresie planowania przestrzennego:

- uwzględnianie w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego oraz w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego ustaleń umożliwiających ograniczenie emisji zanieczyszczeń, poprzez działania polegające na:
- zachowanie ciągłości korytarzy ekologicznych;
- kształtowanie zabudowy w sposób umożliwiający swobodny przepływ mas powietrza na terenach regeneracji i przewietrzania;
- stosowanie odpowiednich wskaźników powierzchni biologicznie czynnej towarzyszącej zabudowie;
- tworzenie publicznych terenów zieleni urządzonej, w tym parków, skwerów;
- wprowadzanie zieleni izolacyjnej do ciągów komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu;
- preferowanie zaopatrzenia w ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej (w obszarach, gdzie jest to technicznie możliwe);
- rozbudowę sieci ulic, która pozwoli ograniczyć wewnętrzmiejski ruch tranzytowy przez obszar śródmieścia;
- tworzenie stref ruchu pieszego i uspokojonego na obszarze śródmieścia;
- uwzględnienie konieczności budowy ścieżek rowerowych lub ciągów pieszo-rowerowych wzdłuż nowo budowanych dróg;
- w decyzjach środowiskowych dla budowy i przebudowy dróg:
- zalecenie stosowania wzdłuż ciągów komunikacyjnych pasów zieleni izolacyjnej (z roślin o dużych zdolnościach fitoremediacyjnych);
- zalecenie stosowania ekranów akustycznych pochłaniających typu "zielona ściana" zamiast najczęściej stosowanych ekranów odbijających.

Przedstawione działania powinny być realizowane w pierwszej kolejności na obszarach przekroczeń, na których zostały zdiagnozowane przyczyny przekroczeń stężeń normatywnych substancji zanieczyszczających powietrze.

7.2. Opis działań naprawczych

W poniższej tabeli zostały przedstawione kierunki działań naprawczych w zakresie redukcji emisji powierzchniowej, liniowej i punktowej do realizacji na poziomie krajowym, wojewódzkim i lokalnym w podziale na ramy czasowe: krótkoterminowe – do roku 2018, średnioterminowe – do roku 2020 oraz długoterminowe – do roku 2030.

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
STWORZENIE RAM PRAWNYCH SPRZYJAJĄCYCH REALIZACJI EFEKTYWNYCH DZIAŁAŃ MAJĄCYCH NA CELU POPRAWĘ JAKOŚCI POWIETRZA			
Poziom krajowy	Opracowanie projektu rozporządzenia w sprawie wymagań dotyczących sezonowej efektywności energetycznej oraz dopuszczalnej emisji substancji z instalacji spalania paliw o mocy cieplnej do 0,5 MW	MG / MŚ	Krótkoterminowe (do roku 2018)
	Zmiana ustawy z dnia 10 października 2014 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (Dz. U. z 2014 r. poz. 1395) poprzez rozszerzenie zakresu przedmiotowego delegacji ustawowej do wydania przez ministra właściwego do spraw gospodarki rozporządzenia w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych, o możliwość zróżnicowania parametrów jakościowych paliw ze względu na ich wykorzystanie w instalacjach spalania paliw	Parlament RP / MG / MŚ	
	Wymagania jakościowe dla paliw stałych stosowanych w instalacja o nominalnej mocy cieplnej nie większej niż 1,0 MW	MG / MŚ	
	Zmiana ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.) poprzez dodanie przepisu zobowiązującego do określenia w pozwoleniach na budowę dopuszczalnego sposobu ogrzewania budynków na obszarach przekroczeń standardów jakości powietrza, z priorytetem podłączenia do ciepła systemowego	MIR / MŚ	Średnioterminowe (do roku 2020)
	Zmiana ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. – Prawo o ruchu drogowym (Dz. U. z 2012 r. poz. 1137, z późn. zm.) w zakresie możliwości wprowadzenia oznakowania stref ograniczonej emisji transportowej	MIR / MŚ	
	Zmiana ustawy z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz. U. z 2013 r. poz. 260, z późn. zm.) w zakresie: - zwolnienia z opłat za zajęcie pasa drogowego na potrzeby lokalizacji stacji pomiarów zanieczyszczenia powietrza pracujących w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w celu realizacji pomiarów tzw. imisji komunikacyjnej; - możliwości kształtowania przez samorządy maksymalnej stawki za pierwszą godzinę parkowania oraz dni objętych obowiązkiem opłaty	MIR / MŚ	
	Zmiana ustawy z dnia 29 sierpnia 2014 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. U. z 2014 r. poz. 1200) poprzez: wprowadzenie zadania dla służb kominiarskich w zakresie nadzoru i monitorowania jakości instalacji spalania paliw, przewodów kominowych oraz paliwa stosowanego dla celów grzewczych w obiektach budowlanych	MG / MŚ	

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
OBNIŻENIE EMISJI Z OGRZEWANIA INDYWIDUALNEGO			
Poziom lokalny	Systemowe ograniczanie emisji z sektora komunalno-bytowego poprzez obniżenia emisji z niskosprawnych źródeł spalania paliw stałych o mocy poniżej 1 MW. Dopuszcza się wymianę niskosprawnego urządzenia zasilanego paliwem stałym i zastąpieniem go przez: • podłączenie do sieci ciepłowniczej, • kotły gazowe, • kotły olejowe, • ogrzewanie elektryczne, • nowoczesne urządzenia z podajnikiem automatycznym na węgiel lub biomasę spełniające wymagania normy PN-EN 303-5:2012, • zastosowanie alternatywnych źródeł pozyskiwania energii cieplnej.		Długoterminowe (do roku 2020)
POPRAWA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ W OBIEKTACH BUDOWLANYCH			
Poziom lokalny	Poprawa efektywności energetycznej obiektów budowlanych w ramach prowadzonych termomodernizacji lub zastosowania odnawialnych źródeł energii. Termomodernizacja powinna być przeprowadzona z uwzględnieniem wymiany okien, drzwi, ścian i stropodachów wraz z likwidacją lub wymianą niskosprawnych źródeł ciepła wykorzystujących paliwa stałe.		Długoterminowe (do roku 2020)
MODERNIZACJA I REMONTY DRÓG			
Poziom lokalny	Modernizacja i remonty dróg w tym szczególnie likwidacja nawierzchni nieutwardzonych, gruntowych oraz zastosowanie na terenie miast nawierzchni o najwyższej odporności na ścieranie na skrzyżowaniach i na odcinkach jezdni o największym natężeniu ruchu	Zarząd Dróg i Inwestycji Miejskich	Długoterminowe (do roku 2020)
CZYSZCZENIE ULIC			
Poziom lokalny	Czyszczenie ze zraszaniem, w okresie wiosna - jesień (gdy temperatura powietrza w każdej godzinie jest powyżej 30C, z częstotliwością w zależności od rodzaju ulic: • 2 x miesiąc: ulice główne o znaczeniu strategicznym, wewnątrz obszaru zamkniętego obwodnicą śródmiejską, o natężeniu ruchu powyżej 6000 poj./dobę, na których kursuje komunikacja miejska, • 1 x miesiąc; ulice główne i drugorzędne o znaczeniu strategicznym, poza obszarem zamkniętym obwodnicą śródmiejską, o natężeniu ruchu powyżej 6000 pojazdów/dobę, na których kursuje komunikacja miejska, • 2 x rok: ulice osiedlowe;		Krótkoterminowe (do roku 2018)
ROZWÓJ ZINTEGROWANEGO SYSTEMU KIEROWANIA RUCHEM ULICZNYM			
Poziom lokalny i wojewódzki	Doskonalenie systemu zarządzania i sterowania ruchem poprzez stosowanie rozwiązań opartych o Inteligentne Systemy Transportowe mającego na celu między innymi: upłynnienie ruchu, stworzenie możliwości uprzywilejowania transportu zbiorowego. Rozwój metod i środków nadzoru ruchu pojazdów na liniach komunikacyjnych.	Zarząd Dróg i Inwestycji Miejskich	Długoterminowe (do roku 2020)
ROZBUDOWA I PODŁĄCZANIE DO SIECI CIEPLNEJ			
Poziom lokalny	Rozbudowa systemów ciepłowniczych oraz systematyczne podłączanie do sieci ciepłej oraz termomodernizacje zakładów przemysłowych, spółek miejskich, warsztatów, zakładów usługowych i budynków użyteczności publicznej (likwidacja ogrzewania węglowego) w rejonie gdzie sieć ciepła istnieje.		Długoterminowe (do roku 2020)

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
ROZWÓJ I MODERNIZACJA SYSTEMU TRANSPORTU PUBLICZNEGO			
Poziom lokalny	Rozwój i modernizacja systemu transportu publicznego obejmujący: - Wprowadzenie wspólnego i atrakcyjnego cenowo biletu na przejazdy aglomeracyjne; - Prowadzenie polityki cenowej opłat za przejazdy zachęcające do korzystania z systemu transportu zbiorowego (szczególnie dla przejazdów wielorazowych – bilety miesięczne, semestralne); - Rozwój i zwiększenie udziału ekologicznego transportu publicznego - wprowadzenie niskoemisyjnych paliw i technologii; - Budowę nowych i modernizację istniejących węzłów przesiadkowych.		Średnioterminowe (do roku 2020)
ROZWÓJ SYSTEMU ŚCIEŻEK ROWEROWYCH I INFRASTRUKTURY ROWEROWEJ			
Poziom lokalny i wojewódzki	Rozwój systemu ścieżek rowerowych i infrastruktury rowerowej, w tym w pierwszym rzędzie: - Budowa odcinków dróg rowerowych pozwalających na połączenie w jeden ciąg dróg już istniejących, szczególnie w centrum miasta; - Budowa parkingów rowerowych, szczególnie zlokalizowanych w pobliżu kluczowych celów podróży (wyższe uczelnie, szkoły, urzędy administracji lokalnej i państwowej, obiekty kultury), a także w pobliżu węzłów przesiadkowych komunikacji zbiorowej; - Prawidłowa organizacja ruchu na styku ruch rowerowy – ruch samochodowy, pozwalająca na bezpieczne korzystanie z roweru.		Średnioterminowe (do roku 2020)
EDUKACJA EKOLOGICZNA			
Poziom lokalny i wojewódzki	Akcje edukacyjne mające na celu uświadamianie społeczeństwa w zakresie: - korzyści jakie niesie dla środowiska korzystanie ze zbiorowych systemów komunikacji lub alternatywnych systemów transportu (rower, poruszanie się pieszo), - szkodliwości spalania odpadów w paleniskach domowych, - korzyści płynących z podłączenia do scentralizowanych źródeł ciepła, termomodernizacji, - promocji nowoczesnych niskoemisyjnych źródeł ciepła, i inne.		Średnioterminowe (do roku 2020)
ZWIĘKSZANIE UDZIAŁU ZIELENI W PRZESTRZENI MIASTA			
Poziom lokalny	Zwiększanie udziału zieleni w przestrzeni miasta, szczególnie poprzez: - wprowadzanie zieleni izolacyjnej wzdłuż szlaków komunikacyjnych, - nasadzenia drzew i krzewów na istniejących skwerach, i parkach, - poprawa stanu jakościowego istniejącej zieleni w pasach drogowych oraz na skwerach i parkach.		Długoterminowe (do roku 2020)
ZAPISY W PLANACH ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO			

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
Poziom lokalny	Stosowanie odpowiednich zapisów, umożliwiających ograniczenie emisji zanieczyszczeń w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego dotyczących np.: • zachowania ciągłości korytarzy ekologicznych, • kształtowania zabudowy w sposób umożliwiający swobodny przepływ mas powietrza na terenach regeneracji i przewietrzania, • stosowania odpowiednich wskaźników powierzchni biologicznie czynnej towarzyszącej zabudowie, • tworzenia publicznych terenów zieleni urządzonej, w tym parków, skwerów, • wprowadzania zieleni izolacyjnej do ciągów komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu, • preferowania zaopatrzenia w ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej (w obszarach, gdzie jest to technicznie możliwe), • rozbudowy sieci ulic, która pozwoli ograniczyć wewnątrzmiejski ruch tranzytowy przez obszar śródmieścia, • tworzenia stref ruchu pieszego i uspokojonego na obszarze śródmieścia • konieczności budowy ścieżek rowerowych lub ciągów pieszo-rowerowych wzdłuż nowo budowanych dróg		Długoterminowe (do roku 2020)

8. Podsumowanie

Celem projektu było wspomaganie systemu corocznych ocen jakości powietrza w zakresie modelowania matematycznego PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P w skali kraju oraz poszczególnych województw. Wyniki etapu II realizacji projektu stanowiły wkład w wykonanie wojewódzkich ocen jakości powietrza w skali stref jakości powietrza za 2015 rok, a także posłużyć do wykonania krajowej oceny jakości powietrza za 2015 r.

W ramach krajowej oceny jakości powietrza przeprowadzone zostało modelowanie wielkoskalowe modelem WRF-Chem, w wyniku którego wyznaczone zostały wielkości stężeń substancji w siatce modelowania. Rozkłady stężeń oraz obszary przekroczeń wyznaczono dla dwóch wariantów: z uwzględnieniem samych wyników modelowania oraz na bazie połączenia modelowania z wynikami uzyskanymi dla stacji pomiarowych. Wyniki modelowania wykazują dobrą zgodność z wynikami pomiarów. Największe obszary przekroczeń, zgodnie z oczekiwaniami, modelowane były dla stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu oraz dobowych stężeń pyłu PM₁₀. Mniejsze obszary przekroczeń wyznaczono w modelowaniu dla średnich rocznych stężeń pyłów PM₁₀ i PM_{2,5}. Brak modelowanych przekroczeń dla dwutlenku azotu oraz dwutlenku siarki ze względu na ochronę zdrowia ludzi. Niewielki obszar przekroczeń stężeń dopuszczalnych SO₂ ze względu na ochronę roślin występuje w strefie śląskiej na obrzeżu aglomeracji górnośląskiej.

Wyniki wojewódzkich ocen jakości powietrza zostały przekazane Wojewódzkim Inspektoratom Ochrony Środowiska w celu dokonania analizy i wykorzystania w rocznej ocenie jakości powietrza dla 2015 roku. Przeprowadzone konsultacje z WIOŚ dały możliwość

wprowadzenia rozszerzeń i dodatkowych analiz, które były konieczne do wykonania, a nie były zaplanowane również w trakcie realizacji.

W przypadku przekroczeń, które zostały zarejestrowane na stacjach, a nie są odnotowywane w modelowaniu istnieje możliwość wyznaczenia zasięgu tych przekroczeń na podstawie obszaru reprezentatywnego stacji przez WIOŚ. Obliczenia powierzchni takich obszarów oraz liczby narażonej ludności zostały wykonane dodatkowo po przekazaniu plików SHP przez WIOŚ w Krakowie oraz w Łodzi.

Jeśli natomiast wyznaczone na podstawie modelowania obszary przekroczeń budzą zastrzeżenia (odnosi się to np. do stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w województwie śląskim oraz lokalnych przekroczeń dwutlenku azotu w woj. wielkopolskim i dolnośląskim) WIOŚ może wyłączyć takie obszary z oceny rocznej. Wątpliwości co do poprawności uzyskanych wyników stanowią jednocześnie podstawę do rewizji danych w bazie emisyjnej (wielkości emisji oraz zastosowanych wskaźników).

Uzgodniony został system przedstawiania danych w postaci warstw GIS oraz sposobu przedstawiania wyników, który skutkuje wnioskami do kolejnej oceny jakości powietrza:

- zaproponowany został państwowy układ współrzędnych PUWG1992 jako układ przedstawiania danych w postaci warstw GIS (rastrowych i w postaci SHP),
- zaszła konieczność dodatkowego określania obszarów przekroczeń w postaci warstw SHP, które odnosiłyby się do wartości dopuszczalnej pyłu PM_{2,5} odniesionej do roku 2020,

Analiza transportu transgranicznego zanieczyszczeń wskazuje, że główne kierunki napływu analizowanych substancji na obszar Polski stanowi sektor zachodni i południowy. Najwyższe stężenia pochodzące ze źródeł transgranicznych obliczono dla powiatów przygranicznych w woj. zachodniopomorskim, lubuskim oraz śląskim. W przypadku województw zachodniej części kraju, gdzie stężenia wszystkich modelowanych substancji są generalnie niskie, wysoki udział procentowy źródeł transgranicznych nie wpływa w żaden sposób na występowanie przekroczeń. Dla obszaru woj. śląskiego, gdzie stężenia powodowane przez aktywność źródeł lokalnych są wysokie, napływ z terenu Republiki Czeskiej nie decyduje o samym wystąpieniu przekroczeń, ale może mieć wpływ na wysokość tych przekroczeń.

Przeprowadzona analiza udziałów źródeł emisji w stężeniach na obszarze kraju oraz w obszarach przekroczeń wykazała znaczący udział źródeł powierzchniowych w przekroczeniach stężeń pyłu PM₁₀, PM_{2,5} i benzo(a)pirenu. Potwierdzają to również analizy prowadzone w ramach programów ochrony powietrza. Analiza udziałów źródeł emisji w stężeniach na stanowiskach pomiarowych wskazuje głównie źródła emisji powierzchniowej jako odpowiedzialne za przekroczenia obowiązujących norm. W zależności od lokalizacji stacji, widoczny jest również udział źródeł komunikacyjnych oraz napływu ze źródeł zlokalizowanych poza strefą. Sporadycznie za wielkość stężeń rejestrowanych na stacjach odpowiedzialne są w przewadze źródła emisji niezorganizowanej lub źródła punktowe.

Wskazane źródła odpowiedzialne za przekroczenia stężeń dopuszczalnych lub docelowych muszą być uwzględnione w działaniach naprawczych zmierzających do poprawy jakości

powietrza. Działania takie zostały wskazane w niniejszym raporcie z podziałem na rodzaj źródeł, których mogą dotyczyć.

W celu dokonania kolejnych analiz do oceny rocznej za 2016 należy rozpatrzyć możliwości wprowadzenia zmian w bazie emisyjnej zgodnie z przedstawionym w załączniku do raportu rekomendacjami do bazy emisyjnej. Poprawi to możliwości wykorzystania bazy, oraz może poprawić jakość wyników uzyskanych z modelowania z wykorzystaniem tej bazy.

9. SPIS TABEL

Tabela 1. Ustawienia modelu WRF-Chem.....	12
Tabela 2. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.	14
Tabela 3. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych pyłu zawieszonego PM2,5 w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.	16
Tabela 4. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych benzo(a)pirenu w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.	21
Tabela 5. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych dwutlenku siarki w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę roślin, dla wariantu I.	22

10. SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM10 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.....	14
Rysunek 2. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu PM10 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.....	15
Rysunek 3. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM2,5 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.....	16
Rysunek 4. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,2 w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.	17
Rysunek 5. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,7 ze stężeń w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.....	18
Rysunek 6. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.	19
Rysunek 7. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako percentyl 99,8 ze stężeń w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.....	20
Rysunek 8. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.	21
Rysunek 9. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju - wynik modelowania WRF-Chem w wariancie I i II.	23
Rysunek 10. Wykres rozproszenia średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 (źródło: DELTA TOOL).	24
Rysunek 11. Raport podsumowujący ocenę jakości modelowania dla średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 z modelu WRF-Chem.	25

Rysunek 12. Wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych pyłu zawieszonego PM _{2,5}	26
Rysunek 13. Wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych SO ₂	27
Rysunek 14. Wykres rozproszenia stężeń średnich rocznych NO ₂	27
Rysunek 15. Raport podsumowujący analizę stężeń średnich rocznych NO ₂	28
Rysunek 16. Depozycja tlenków siarki ze źródeł transgranicznych na obszarze kraju oraz procentowy udział frakcji transgranicznej w sumarycznej depozycji tlenków siarki na obszarze kraju (źródło: Raport EMEP 1/2015)	29
Rysunek 17. Depozycja tlenków azotu ze źródeł transgranicznych na obszarze kraju oraz procentowy udział frakcji transgranicznej w sumarycznej depozycji tlenków azotu na obszarze kraju (źródło: Raport EMEP 1/2015)	30
Rysunek 18. Stężenia pyłu PM ₁₀ na obszarze Polski oraz udział frakcji naturalnego PM ₁₀ w stężeniu dla obszaru kraju (Źródło: raport EMEP 1/2015).	30
Rysunek 19. Stężenia średnioroczne pyłu PM ₁₀ pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).	32
Rysunek 20. Stężenia średnioroczne pyłu PM _{2,5} pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).	33
Rysunek 21. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).	34
Rysunek 22. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).	35
Rysunek 23. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2015 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF z wykorzystaniem warunków brzegowych z modelu WRF-Chem).	36
Rysunek 24. Stężenia średnioroczne pyłu PM ₁₀ dla 2015 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	38
Rysunek 25. Stężenia średnioroczne pyłu PM _{2,5} dla 2015 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	39
Rysunek 26. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu dla 2015 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	40
Rysunek 27. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2015 roku ze źródeł emisji liniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	41

Rysunek 28. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 dla 2015 roku ze źródeł emisji liniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	42
Rysunek 30. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2015 roku ze źródeł emisji punktowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	43
Rysunek 30. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM10 w punktach stacji pomiarowych w województwie dolnośląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	44
Rysunek 31. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM10 w punktach stacji pomiarowych w województwie kujawsko-pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)	45
Rysunek 32. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM2,5 w punktach stacji pomiarowych w województwie mazowieckim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	46
Rysunek 33. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM2,5 w punktach stacji pomiarowych w województwie śląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	47
Rysunek 34. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie małopolskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	48
Rysunek 35. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	49
Rysunek 36. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki w punktach stacji pomiarowych w województwie wielkopolskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	50
Rysunek 37. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki w punktach stacji pomiarowych w województwie łódzkim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	50
Rysunek 38. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	51
Rysunek 39. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie podkarpackim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).....	52
Rysunek 40. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM10 na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I.	54
Rysunek 41. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM10 na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie II.....	55

Rysunek 42. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarze miasta Kędzierzyn-Koźle, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I i II.	55
Rysunek 43. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM ₁₀ na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	57
Rysunek 44. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu zawieszonego PM ₁₀ wyrażonych jako 36-te maksymalne stężenie dobowe na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	58
Rysunek 45. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM _{2,5} na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	59
Rysunek 46. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	60
Rysunek 47. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	61
Rysunek 48. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako 19-te maksymalne stężenie godzinowe na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	62
Rysunek 49. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako 4-te maksymalne stężenie dobowe na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	63
Rysunek 50. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako 25-te maksymalne stężenie godzinne na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).	64
Rysunek 51. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki na obszarach województw na podstawie modelowania modelem CALPUFF w wariancie I oraz na podstawie łączenia	

wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariancie II (modelowanie w siatce 0,5kmx0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1kmx1km dla pozostałych stref).. 65