



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

RAPORT Z MODELOWANIA STĘŻEŃ PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(A)P W SKALI KRAJU. Rok 2017

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, 2018 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 systemu ocen jakości powietrza z użyciem modelowania w zakresie PM₁₀, PM_{2,5}, 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

mgr inż. Magdalena Załupka

mgr inż. Tomasz Przybyła

mgr inż. Marta Wawrzynowska

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
2.	Cel i zakres pracy.....	7
3.	Analiza wyników modelowania jakości powietrza w skali kraju dla roku 2017	10
3.1.	Przeprowadzone procesy w ramach modelowania w skali kraju.....	10
3.2.	Parametry modelu, przemiany fizykochemiczne	10
3.3.	Przebieg modelowania w skali kraju	10
3.4.	Przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń dla Polski.....	12
3.4.1.	<i>Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia</i>	<i>12</i>
3.4.2.	<i>Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony roślin.....</i>	<i>21</i>
4.	Ocena jakości modelowania	21
5.	Analiza transgranicznego transportu zanieczyszczeń powietrza	35
6.	Analiza udziału poszczególnych źródeł emisji	42
6.1.	Udziały źródeł emisji w punktach stacji pomiarowych systemu PMS	67
7.	Wojewódzka ocena jakości powietrza za rok 2017 - podsumowanie	77
7.1.	Przeprowadzone procesy w ramach wspomaganie oceny wojewódzkiej.....	77
7.2.	Analiza wyników wspomaganie wojewódzkiej oceny jakości powietrza dla roku 2017	80
7.2.1.	<i>Wyniki wspomaganie oceny jakości powietrza według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia .</i>	<i>80</i>
7.2.2.	<i>Wyniki wspomaganie oceny jakości powietrza według kryteriów odniesionych do ochrony roślin</i>	<i>88</i>
7.3.	Zagadnienia techniczne analiz przestrzennych wpływające na rozkłady stężeń oraz określanie obszarów przekroczeń	89
8.	Działania niezbędne do osiągnięcia standardów jakości powietrza.....	91
8.1.	Podstawowe kierunki działań	92
8.2.	Opis działań naprawczych	95
9.	Podsumowanie.....	98
	SPIS TABEL	101
	SPIS RYSUNKÓW	101

1. Wstęp

Opracowany raport jest rezultatem realizacji IV 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 2017 do celów krajowej oceny jakości powietrza, a także załączniki dokumentujące realizację niektórych zadań cząstkowych, które są przedmiotem odbioru tego etapu.

Jedną z części IV 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 2017". Podsumowanie wyników tego etapu prac zostało również ujęte w niniejszym raporcie.

2. Cel i zakres pracy

Realizacja projektu wynika z wymogów zawartych w Ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2017 r. poz. 519, 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.

System wspomaganie ocen jakości powietrza zakłada wykorzystanie zarówno metod modelowania, jak i wyników pomiarów wykonywanych przez wojewódzkie inspektoraty ochrony środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Wyniki modelowania zostały przekazane do wszystkich WIOŚ na potrzeby wsparcia rocznej oceny jakości powietrza za rok 2017.

Wszystkie wyniki do oceny jakości powietrza sporządzane zostały 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.

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.

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 w raporcie cząstkowym z wyników modelowania na potrzeby oceny wojewódzkiej dla 2017 roku.

Modelowanie do oceny jakości powietrza wymagało przygotowania i wykorzystania szerokiej informacji wejściowej odnośnie meteorologii oraz warunków brzegowych, uwzględniających także emisję z terenu państw ościennych.

W tym celu zostało wykorzystane modelowanie w siatce 5 km x 5 km z wykorzystaniem modelu CAMx, który posiada szerszą domenę obliczeniową. Jego rozdzielczość przestrzenna jest niższa aniżeli rozdzielczość dla województw, 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 2017 roku modelem CAMx stanowiły podstawę do sporządzenia krajowej oceny jakości powietrza.

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

- aktualizację bazy danych emisyjnych oraz udostępnienie bazy WIOŚ do celów weryfikacji;
- wykonanie modelowania dyspersji zanieczyszczeń dla kraju i poszczególnych województw z uwzględnieniem podziału na strefy oceny jakości powietrza dla roku 2017;
- opracowanie wyników modelowania i ich analiza w dwóch wariantach (z wykorzystaniem wyłącznie modelowania oraz z włączeniem danych ze stacji);
- przekazanie raportu cząstkowego „Wyniki modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza dla roku 2017”;
- przekazanie raportu końcowego etapu „Raport z modelowania stężeń PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, B(a)P w skali kraju. Rok 2017”.

Cztery pierwsze zadania zostały zrealizowane zgodnie z zatwierdzonym harmonogramem, w terminie do 20 marca 2018 roku. Przedmioty odbioru cząstkowego stanowiły:

- zaktualizowane bazy emisyjne (wojewódzkie oraz baza krajowa);
- mapy rozkładu wielkości emisji w skali kraju i każdego z województw (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 2017 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 wraz 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 CAMx;
- 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 2017 rok oraz wskazanie rekomendacji do dalszego rozwoju bazy emisyjnej;
- sprawozdanie z przeprowadzonych konsultacji dla Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska, dotyczących 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 2017 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).

3. Analiza wyników modelowania jakości powietrza w skali kraju dla roku 2017

3.1. Przeprowadzone procesy w ramach modelowania w skali kraju

Na potrzeby oceny jakości powietrza dla obszaru kraju został wykorzystany mezoskalowy chemiczny model transportu zanieczyszczeń CAMx (the Comprehensive Air quality Model with extensions). Model CAMx jest trójwymiarowym fotochemicznym modelem najnowszej generacji (tzw. model trzeciej generacji) opracowanym przez ENVIRON International Corporation (USA). Model CAMx jest modelem wielkoskalowym o szerokim zakresie stosowalności (od obszarów podmiejskich do skali kontynentalnej). Obliczenia w modelu CAMx mogą być prowadzone w odwzorowaniu UTM, Lambert Conic Conformal lub geograficznym, przy czym na potrzeby realizacji projektu wybrane zostało odwzorowanie LCC.

3.2. Parametry modelu, przemiany fizykochemiczne

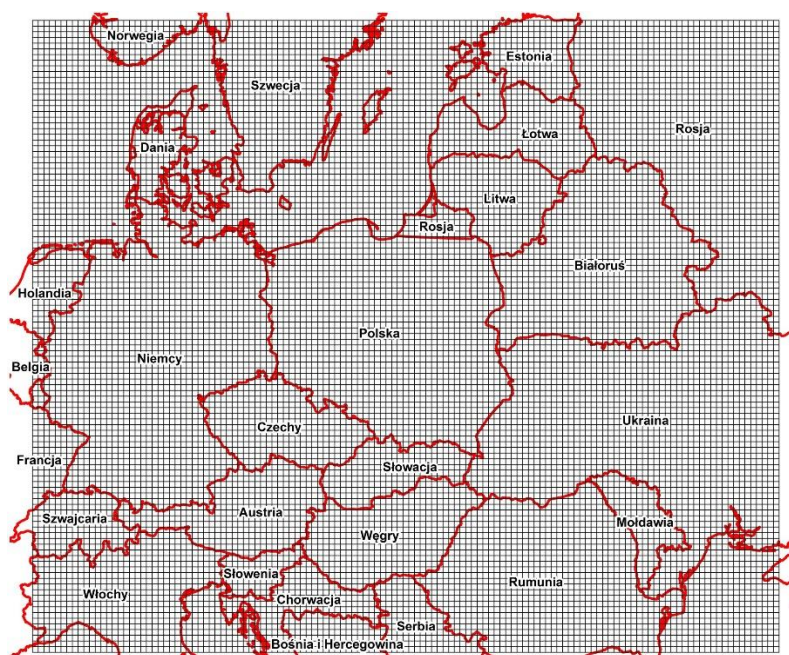
Symulacje jakości powietrza przeprowadzono z wykorzystaniem najnowszej dostępnej wersji modelu CAMx 6.30 wydanej w sierpniu 2016 r. W modelu CAMx do symulacji przemian fizykochemicznych z uwzględnieniem związków nieorganicznych, organicznych i aerozoli, wykorzystano mechanizm chemiczny Carbon Bond w najbardziej aktualnej wersji CB6v3. Obecna wersja mechanizmu przemian posiada zaktualizowaną chemię izoprenów oraz węglowodorów aromatycznych oraz tlenków azotu ponownie wprowadzonego do obiegu w wyniku rozkładu azotanów organicznych. Model chemiczny składa się z 77 substancji i 220 reakcji chemicznych, w celu przeprowadzenia symulacji reakcji fotochemicznych w atmosferze (Environ, 2014). W chwili uruchomienia CAMx współczynniki są interpolowane do specyficznych warunków w każdej komórce siatki. Następnie są one dostosowywane do miejscowych chmur i lokalnych atenuacji aerozolu (jeśli PM jest symulowany). Dodatkowo, zależne od kąta słonecznego nastawianie temperatury i ciśnienia, stosuje się do pięciu kluczowych reakcji fotolizy (NO₂, O₃, aldehydu octowego i dwóch reakcji z formaldehydem).

3.3. Przebieg modelowania w skali kraju

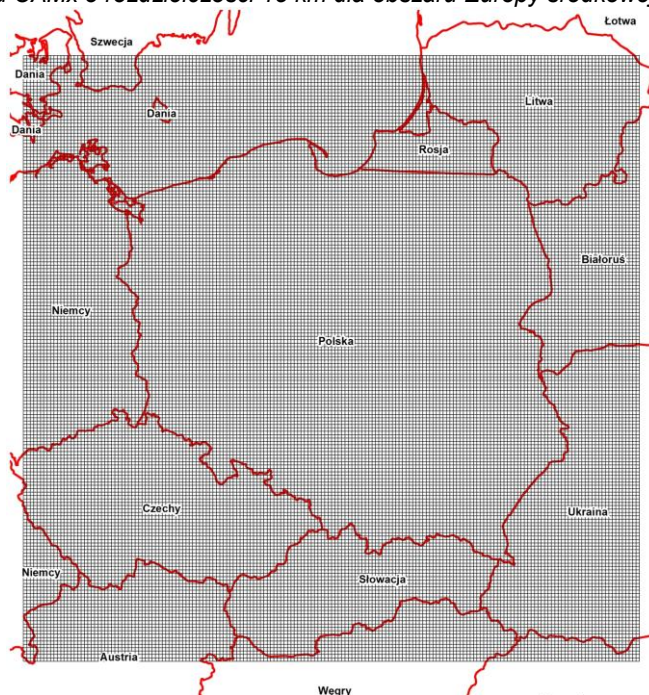
Na potrzeby wspierania rocznych ocen jakości powietrza metodami modelowania obliczenia przeprowadzono w dwóch wzajemnie zagnieżdżonych domenach (D01 i D02). Pierwsza domena obliczeniowa obejmowała obszar Europy Środkowej. Rozmiar tej domeny pozwolił we właściwy sposób uwzględnić napływ transgraniczny. Na rys. 1 przedstawiono obszar, jaki pokrywa pierwsza zdefiniowana domena modelu CAMx.

Tabela 1. Parametry domen obliczeniowych modelu CAMx

Model CAMx			
Rozdzielczość	Rozmiar [liczba oczek siatki]	Liczba warstw w pionie	Odwzorowanie
15 km x 15 km	131 x 111	17	LCC
5 km x 5 km	187 x 179		



Rysunek 1. Siatka modelu CAMx o rozdzielczości 15 km dla obszaru Europy środkowej - domena D01.



Rysunek 2. Siatka modelu CAMx o rozdzielczości 5 km dla obszaru kraju - domena D02.

Symulacje dla pierwszej domeny obejmują jednokierunkowe zagnieżdżenie siatki obliczeniowej o rozdzielczości 15 km oraz dwukierunkowe zagnieżdżenie w przypadku domeny wewnętrznej o rozdzielczości 5 km. Warunki początkowe i brzegowe dla symulacji w siatce obliczeniowej o rozdzielczości 15 km wyznaczono na podstawie danych z modelu globalnego MOZART z wykorzystaniem procesora MOZART2CAMx. Warunki początkowe i brzegowe dla domeny wewnętrznej obliczane są w każdym kroku czasowym po

uruchomieniu symulacji modelu CAMx przy ustawieniu dwukierunkowego zagnieżdżenia domen.

Model CAMx jest modelem offline, co implikuje konieczność wyznaczenia zestawu danych meteorologicznych w innym modelu. Do przygotowania danych meteorologicznych wykorzystano model WRF. Pola meteorologiczne wyznaczone w modelu WRF przetworzono do formatu akceptowalnego przez model CAMx z wykorzystaniem narzędzia WRF2CAMx.

Dane o emisji antropogenicznej dla całej Europy pozyskano z projektu TNO MACC III (Kuenen et al., 2014), w rozdzielczości przestrzennej $1/8^\circ \times 1/6^\circ$. Najbardziej aktualna informacja dotyczy roku 2011, który został przeskalowany do roku bazowego z zastosowaniem wskaźników skalujących dla krajów i sektorów emisji. Wskaźniki skalujące dla sektorów emisji oraz krajów zostały przyjęte na podstawie danych odnośnie emisji zanieczyszczeń przekazywanych przez kraje europejskie do bazy EMEP. Do danych TNO wprowadzony został profil emisyjny, obejmujący: miesiące, dni tygodnia, godziny oraz dni świąteczne, indywidualny dla poszczególnych sektorów SNAP. Emisja dla obszaru Polski pochodzi z bazy emisji przygotowanej i zaktualizowanej w ramach niniejszego projektu powstałej w celu wykorzystania do ocen jakości powietrza. Emisja antropogeniczna wprowadzona została do modelu w postaci plików NetCDF.

Obliczenia przeprowadzono na klastrze komputerowym wyposażonym we wszystkie niezbędne biblioteki (m.in. netcdf, mpi) oraz programy do przetwarzania plików wejściowych i wyjściowych (ncl, nco, R). Przeciętny czas symulacji dla okresu 1-roku w modelu CAMx wraz z przygotowaniem plików wejściowych to 3 tygodnie.

3.4. Przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń dla Polski

Analizy jakości powietrza w skali kraju zostały wykonane w oparciu o wyniki modelowania matematycznego w ramach wariantu I oraz z wykorzystaniem analiz przestrzennych i wyników pomiarów ze stacji pomiarowych sieci PMŚ wykonywanych w 2017 roku w ramach wariantu II. Przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń odzwierciedla występowanie obszarów przekroczeń każdego z zanieczyszczeń, a w ramach analizy wskazano liczbę narażonej ludności na występowanie ponadnormatywnych stężeń. Ocena krajowa wykonana została w oparciu o siatkę modelowania 5 km x 5 km oraz bazę emisyjną uwzględnioną również w ramach wojewódzkiej oceny jakości powietrza.

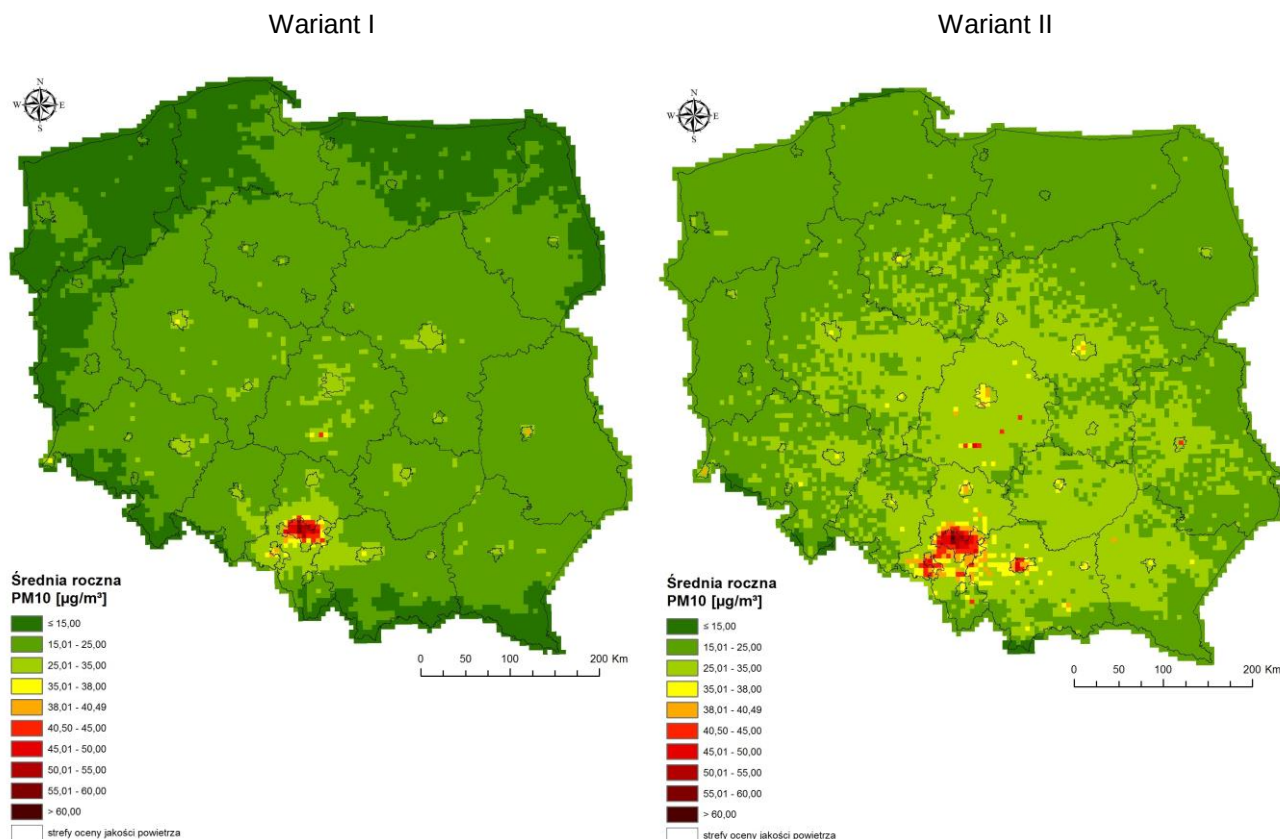
3.4.1. Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony zdrowia

Pył zawieszony PM₁₀

Wielkość stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ została uzyskana w wyniku modelowania modelem CAMx oraz analiz przestrzennych w ramach wariantu I i II. W I wariantie na przeważającym obszarze kraju występują stężenia w zakresie 15-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Obszar przekroczeń skumulowany jest w obszarze województwa śląskiego, a dokładniej aglomeracji górnośląskiej.

W wariantie II obszar zróżnicowania wysokości stężeń jest już inny i widoczny jest wpływ gęstości zaludnienia na wysokość stężeń. W środkowej i południowej części kraju występują stężenia w przedziale 25-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dodatkowo występują również obszary przekroczeń na terenie województwa małopolskiego w wariantie II, co jest bardziej zbieżne z wynikami pomiarów w tych miastach.

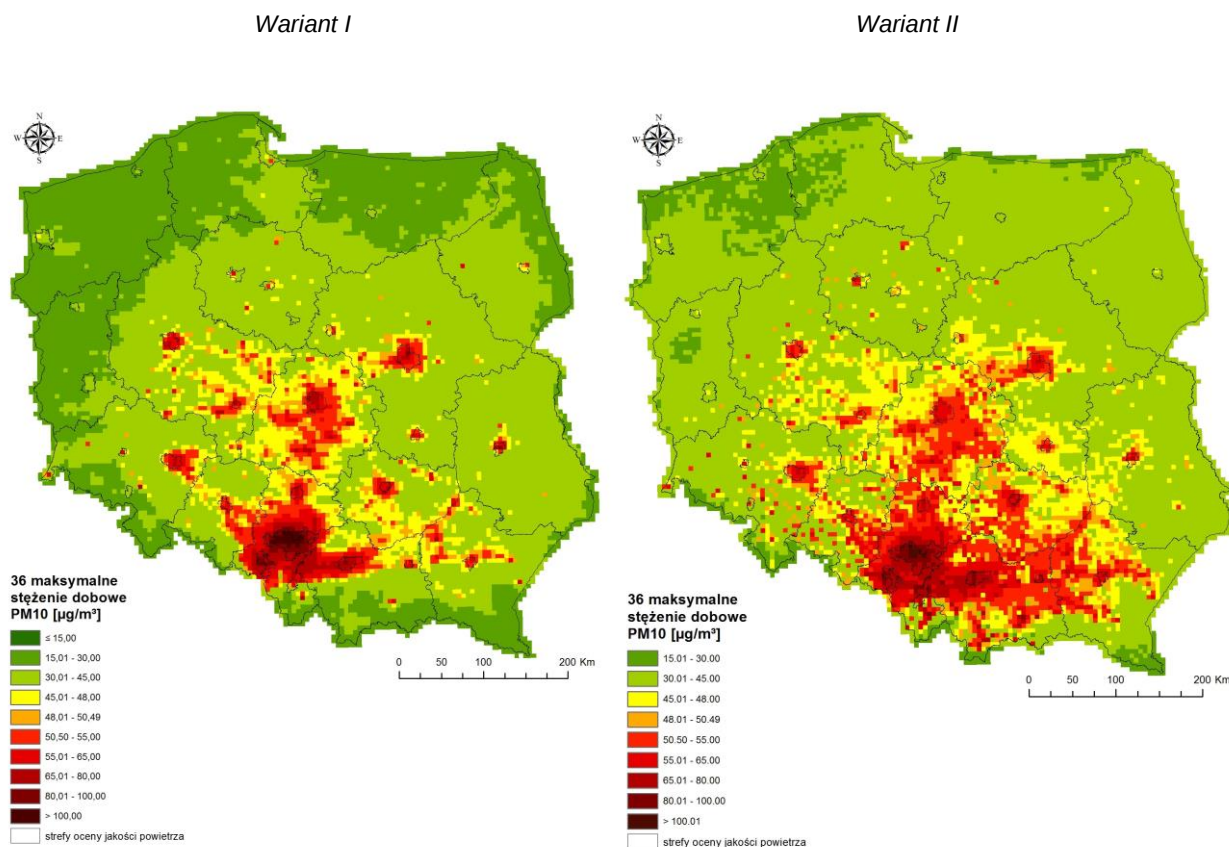
Ogólnie na terenie kraju ponad 2,8 mln osób jest narażonych na ponadnormatywne stężenia pyłu PM₁₀ w odniesieniu do roku.



Rysunek 3. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.

Stężenia 24-godzinne pyłu PM₁₀ w obu wariantach wskazują na większe zróżnicowanie wysokości w środkowej i południowej części kraju. W wariantach I i II obszary występowania przekroczeń skupiają się wokół ośrodków miejskich i aglomeracji w województwach wielkopolskim, mazowieckim, łódzkim, świętokrzyskim, opolskim, śląskim, małopolskim, dolnośląskim, a także miasta Lublin, miasta Rzeszów, miasta Białystok i Toruń oraz Bydgoszcz. Stężenia w przedziale 30-45 µg/m³ występują na największym obszarze kraju. Na terenie województw lubuskiego, zachodniopomorskiego, warmińsko-mazurskiego nie występują przekroczenia stężeń dobowych pyłu PM₁₀.

W wariantach I i II pola obszarów przekroczeń są znacznie zróżnicowane i skupiają się wokół obszarów zabudowy, czyli związane są z gęstością zaludnienia. Powierzchnia obszarów przekroczeń zwiększa się o 55% w stosunku do wariantu I. Zmniejsza się znacząco obszar kraju, na którym stężenia mieściły się w zakresie 15-30 µg/m³. Pojawiają się obszary przekroczeń zlokalizowane mozaikowo w mniejszych ośrodkach miejskich i obszarach zamieszkania. Mimo zwiększenia obszaru przekroczeń liczba ludności zwiększa się jedynie o 16% w stosunku do wariantu I. Sumarycznie na terenie kraju na ponadnormatywne stężenia dobowe pyłu PM₁₀ narażone jest ponad 16 mln osób.



Rysunek 4. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu PM₁₀ w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantcie 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.¹

Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys.]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	775.00	1 531 119
2	stężenie 24-godzinne	21 467.54	13 763 306
WARIANT II			
1	stężenie średnioroczne	1 750.00	2 850 282
2	stężenie 24-godzinne	38 441.63	16 283 749

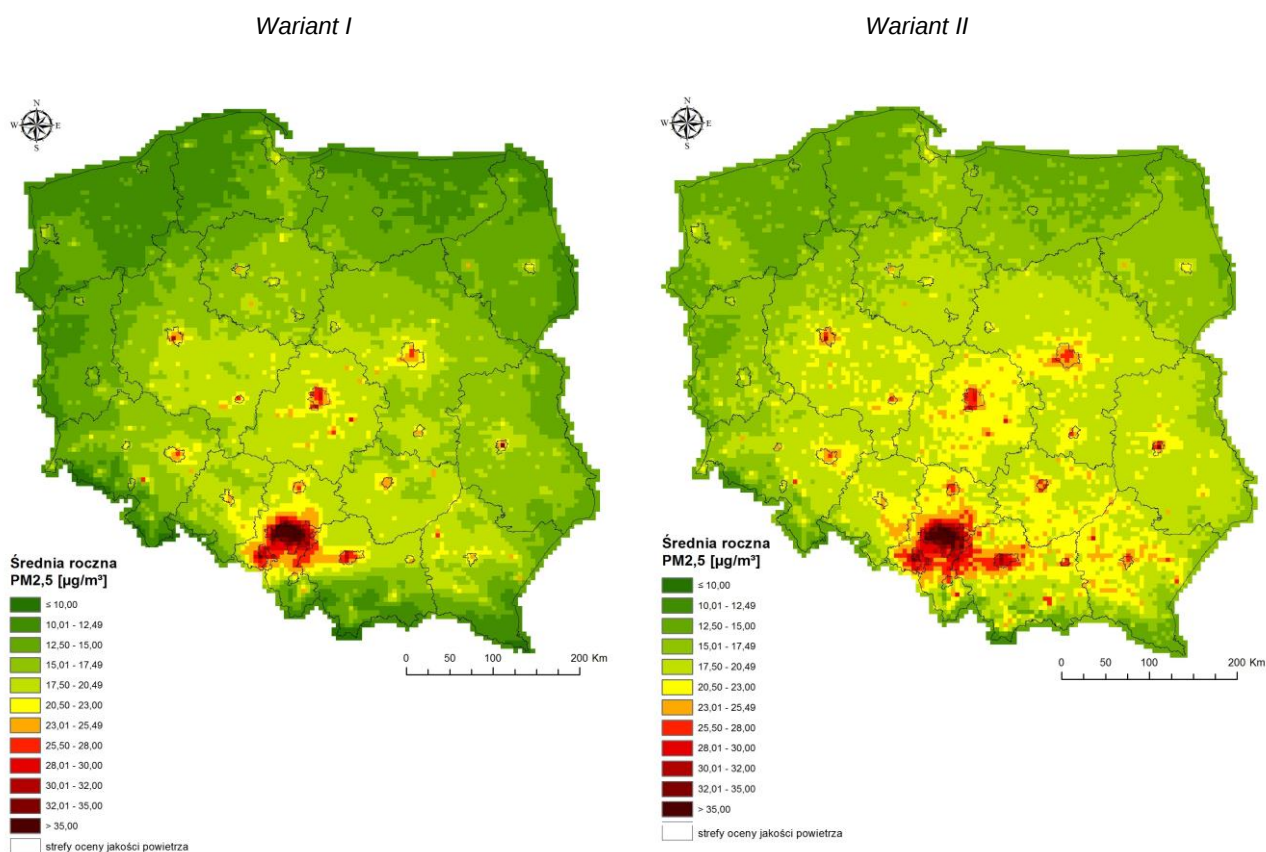
Pył zawieszony PM_{2,5}

Wysokość stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} jest najwyższa w południowej części kraju, głównie w województwie śląskim, ale również w aglomeracjach takich jak poznańska, krakowska, warszawska, wrocławska i łódzka, gdzie występują przekroczenia poziomu dopuszczalnego. W wariantcie I obszary wysokich stężeń przekraczających normę skupione są na obszarach miast takich jak Poznań, Warszawa, Łódź czy Kraków. Do tego obszarem

¹ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem CAMx w wariantcie I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMS z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariantcie II

przekroczeń jest cały obszar aglomeracji górnośląskiej oraz rybnicko-jastrzębskiej. Znacznie większe są obszary, które należą do II fazy wdrażania normy dla PM_{2,5} czyli dla stężeń większych niż 20 µg/m³. Obejmuje on już znacznie więcej miast i większe obszary aglomeracji, a w wariancie II znaczne obszary województwa łódzkiego, małopolskiego i świętokrzyskiego.

W wariancie II stężenia w przedziale do 10 µg/m³ występują głównie w południowej części województwa dolnośląskiego, natomiast rozkład stężeń na obszarze głównie centralnej i południowej części kraju jest znacznie zróżnicowany, wskazując na obszary zamieszkałe, od których zależy zróżnicowanie wysokości stężeń. Pojawiają się nowe obszary przekroczeń w miastach o liczbie ludności mniejszej niż 100 tys. mieszkańców, szczególnie w województwie podkarpackim, małopolskim, łódzkim, wielkopolskim i śląskim. Powiększa się obszar przekroczeń stężeń dopuszczalnych w stosunku do wariantu I o około 40%, natomiast liczba narażonej ludności zwiększa się o około 33%. W wariancie II zwiększa się również powierzchnia obszarów, na których występują stężenia będące przekroczeniem w II fazie dla normy pyłu PM_{2,5}, czyli od 2020 roku.



Rysunek 5. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariancie I i II.

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.²

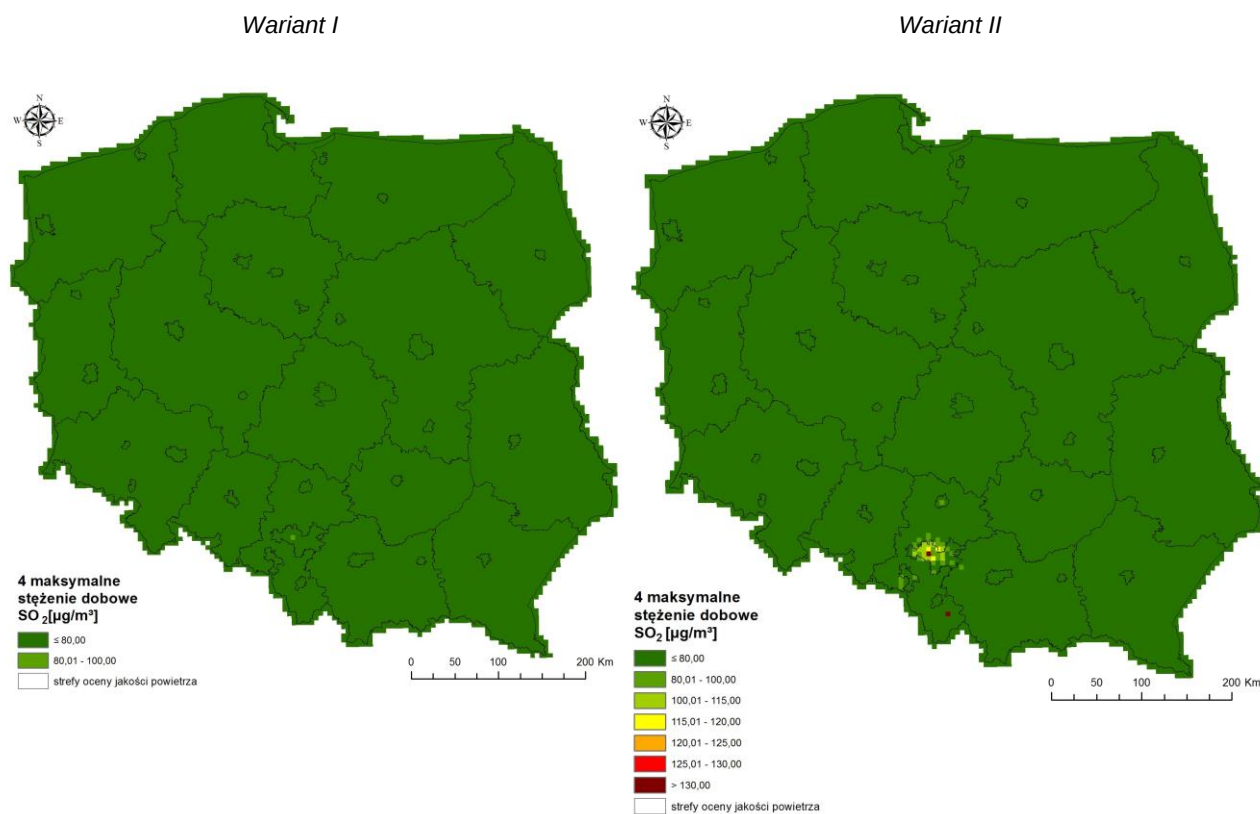
Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km ²]	Liczba mieszkańców [tys.]

² źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem CAMx w wariancie I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMS z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariancie II

Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys.]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	3 600	5 063 328
WARIANT II			
1	stężenie średnioroczne	6 024.5	7 452 271

Dwutlenek siarki

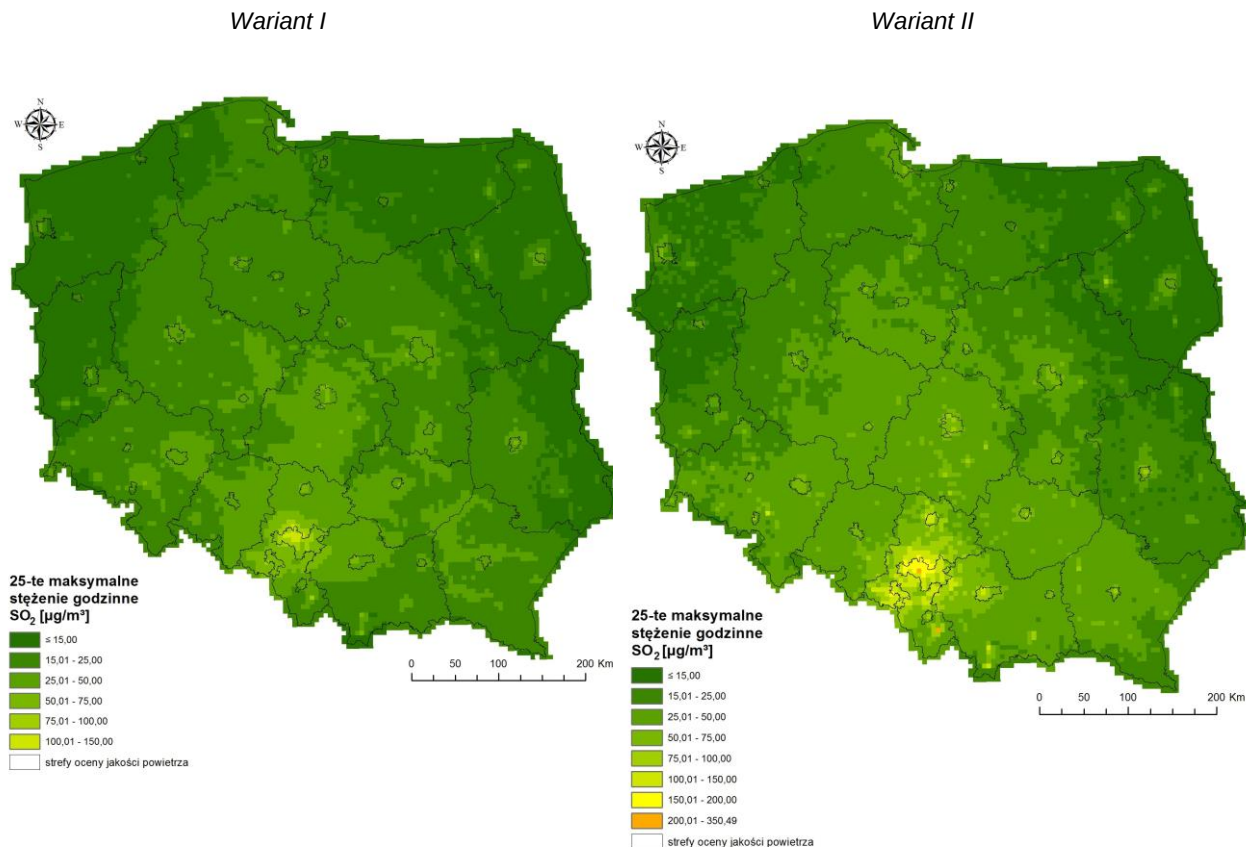
Wartości stężeń dwutlenku siarki w odniesieniu do stężenia dobowego (wyrażonego jako percentyl 99,2 ze stężeń dobowych) nie wskazują na występowanie obszarów na terenie kraju w których wystąpiłoby przekroczenie wartości 80 µg/m³ w wariancie I. Natomiast w wariancie II występuje mały obszar przekroczeń w aglomeracji górnośląskiej oraz strefie śląskiej w którym stężenie dobowe dwutlenku siarki jest wyższe niż 125 µg/m³.



Rysunek 6. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,2 w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariancie I i II.

Stężenia 1-godzinne dwutlenku siarki w wariancie I jako wyniki modelowania wskazują na brak występowania obszarów przekroczeń na terenie kraju. Zróżnicowanie wysokości stężeń wynika z lokalizacji źródeł emisji i widoczne jest podniesienie wysokości stężeń do poziomu powyżej 75 µg/m³ jedynie w aglomeracji górnośląskiej. Na zdecydowanej większości kraju występują stężenia w przedziale poniżej 50 µg/m³.

W wariancie II widoczne jest zróżnicowanie zakresu stężeń związane z występowaniem obszarów zamieszkania, co zdecydowanie widoczne jest na terenie województwa śląskiego, gdzie wysokość stężeń sięga powyżej 150 µg/m³. Najwyższe wartości występują w województwie śląskim, jednak nie stanowią o występowaniu przekroczeń powyżej wartości dopuszczalnej 350 µg/m³.

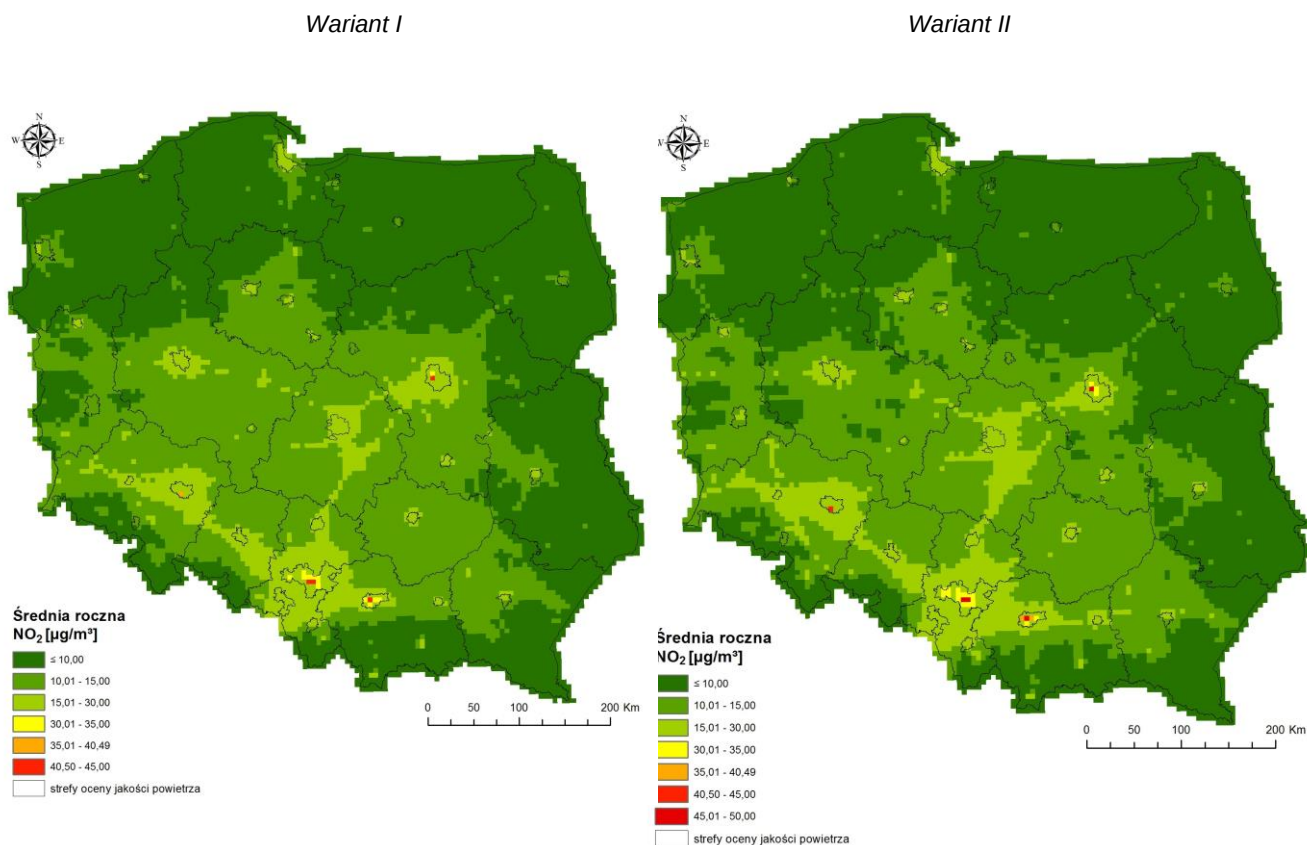


Rysunek 7. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,7 ze stężeń w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariancie I i II.

Dwutlenek azotu

Wyniki modelowania modelem CAMx oraz wyniki analiz przestrzennych na podstawie wyników pomiarów pozwoliły na przedstawienie wysokości stężeń średniorocznych i stężeń 1-godzinnych dla dwutlenku azotu na terenie całego kraju. Ze względu na silne powiązanie stężeń dwutlenku azotu z siecią źródeł emisji liniowej oraz niską rozdzielczość modelowania w skali kraju widoczny jest tylko ogólny trend podwyższonych stężeń wzdłuż głównych szlaków komunikacyjnych w kraju takich jak autostrada A4, A1, czy A2. Podwyższone stężenia średnioroczne dwutlenku azotu zlokalizowane są w aglomeracji górnośląskiej, krakowskiej, wrocławskiej oraz aglomeracji warszawskiej. W północno-wschodniej części kraju stężenia nie przekraczają wartości 10 µg/m³ zarówno w wariancie I jak i II.

Przekroczenie wartości dopuszczalnej wskazane zostało w wariancie I w aglomeracji górnośląskiej, krakowskiej i warszawskiej. Natomiast w wariancie II obszar przekroczeń został również zlokalizowany również w aglomeracji wrocławskiej.



Rysunek 8. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantcie I i II.

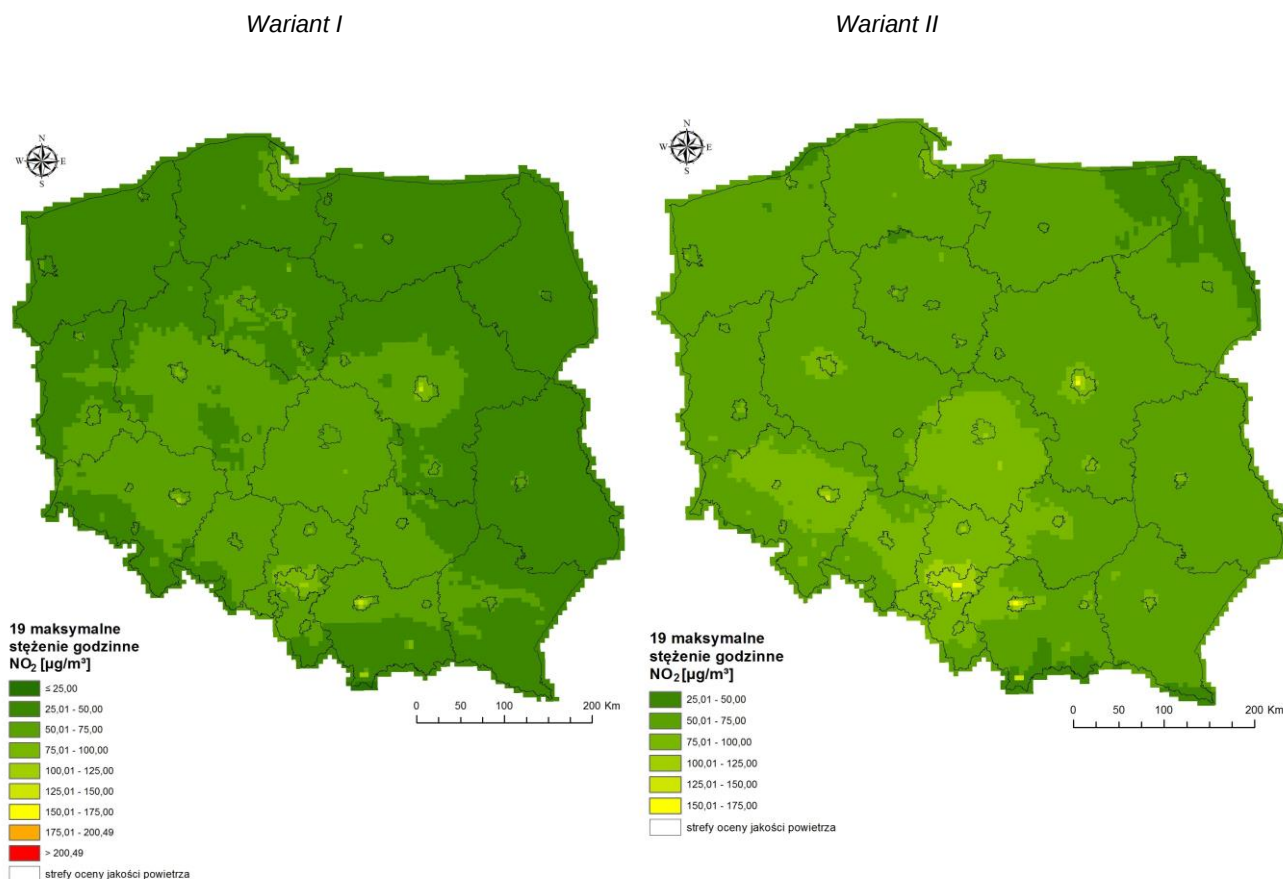
Tabela 4. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych dwutlenku azotu w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.³

Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys.]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	100	46 170
WARIANT II			
1	stężenie średnioroczne	125	565 811

Stężenia godzinowe dwutlenku azotu wyrażone jako wartość percentyla 99,8 w skali kraju nie wskazują na występowanie przekroczeń wartości dopuszczalnych. Zróżnicowanie wysokości stężeń nie jest tak znaczne, a uzależnione jest od przebiegu głównych tras komunikacyjnych jak w przypadku stężeń średniorocznych. Wyższe stężenia występują w obszarach aglomeracji miejskich, gdzie jest skoncentrowany transport, natomiast nie ma znaczących różnic w wysokości stężeń pomiędzy strefami.

Podobnie jak dla stężeń średniorocznych najwyższe stężenia sięgające powyżej 75 µg/m³ osiągnięte zostały w aglomeracji warszawskiej i aglomeracji krakowskiej w I wariantcie, a w wariantcie II powyżej wartości 150 µg/m³ również w tych aglomeracjach.

³ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem CAMx w wariantcie I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMS z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariantcie II

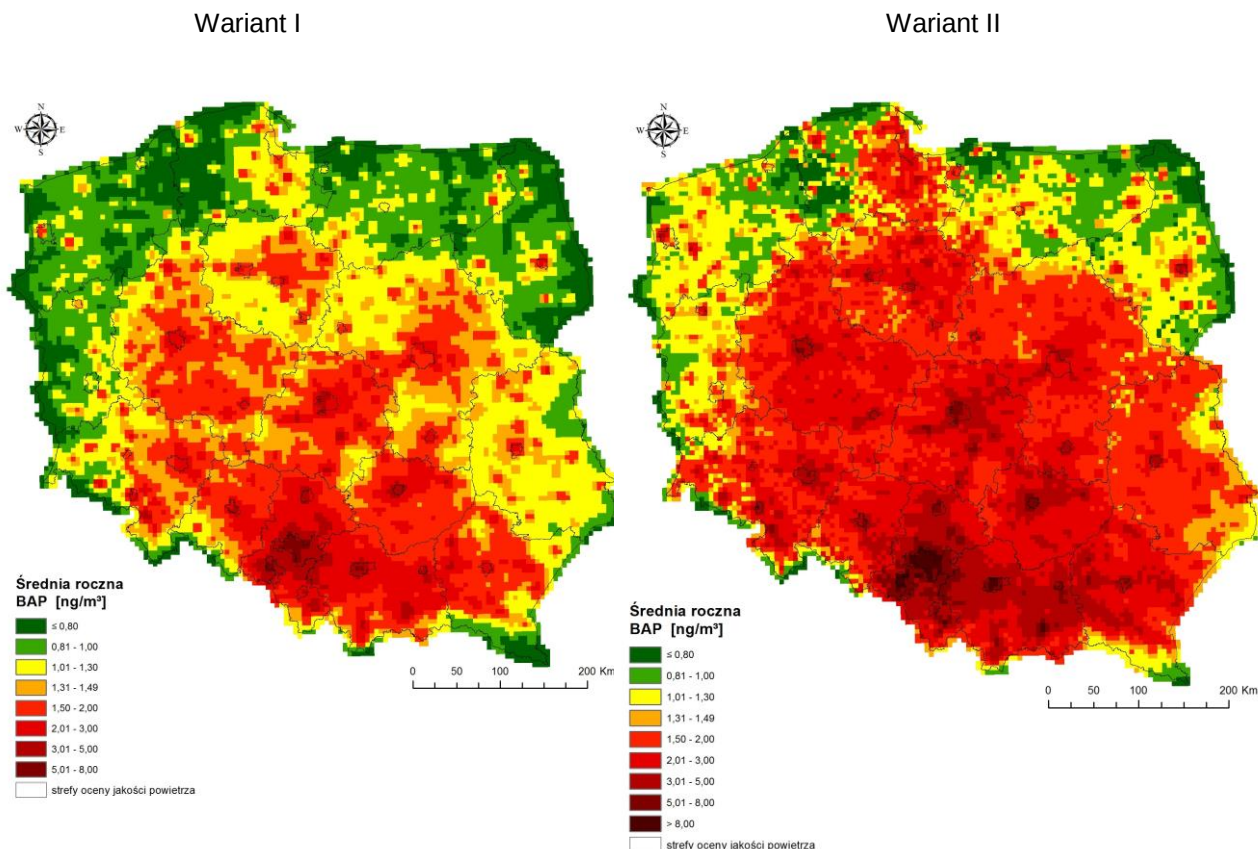


Rysunek 9. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako percentyl 99,8 ze stężeń w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantie I i II.

Benzo(a)piren

Wysokość stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu wykazuje znaczne zróżnicowanie w zależności od obszaru kraju. Najwyższe stężenia występują w części południowej i centralnej kraju, co szczególnie widać w wariantie I. Pomiędzy wariantem I i II zauważalne są znaczne różnice w wielkości obszarów przekroczeń wartości docelowej. Zróżnicowanie wysokości stężeń w wariantie II wskazuje na znacznie wyższe stężenia w centralnej i południowo-wschodniej części kraju, aniżeli wskazały na to wyniki modelowania, co oznacza, iż model nie doszacował wyników w stosunku do wyników na stacjach pomiarowych. Obszar w którym stężenia mieszczą się w wąskim przedziale pomiędzy wartością stężenia 1,00 i 1,49 ng/m³ w którym nie występuje jeszcze przekroczenie jest znacznie mniejszy w wariantie II i sięga na obszary województwa zachodniopomorskiego, podlaskiego czy warmińsko-mazurskiego, gdzie w wariantie I było znacznie więcej obszarów bez przekroczeń.

Powierzchnia przekroczeń w wariancie I sięga 30% powierzchni kraju, natomiast w wariancie II już 62% powierzchni kraju, co wskazuje na to, że ponad 85% mieszkańców kraju narażonych jest na ponadnormatywne stężenia benzo(a)pirenu. Tym samym zanieczyszczenie to stanowi największy problem jakości powietrza w Polsce, ponieważ wartość docelowa jest bardzo niska (1 ng/m³), natomiast stężenia występujące na stanowiskach pomiarowych przekraczają nawet 10 ng/m³ dla wartości średniorocznych.



Rysunek 10. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariancie I i II.

Tabela 5. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych benzo(a)pirenu w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.⁴

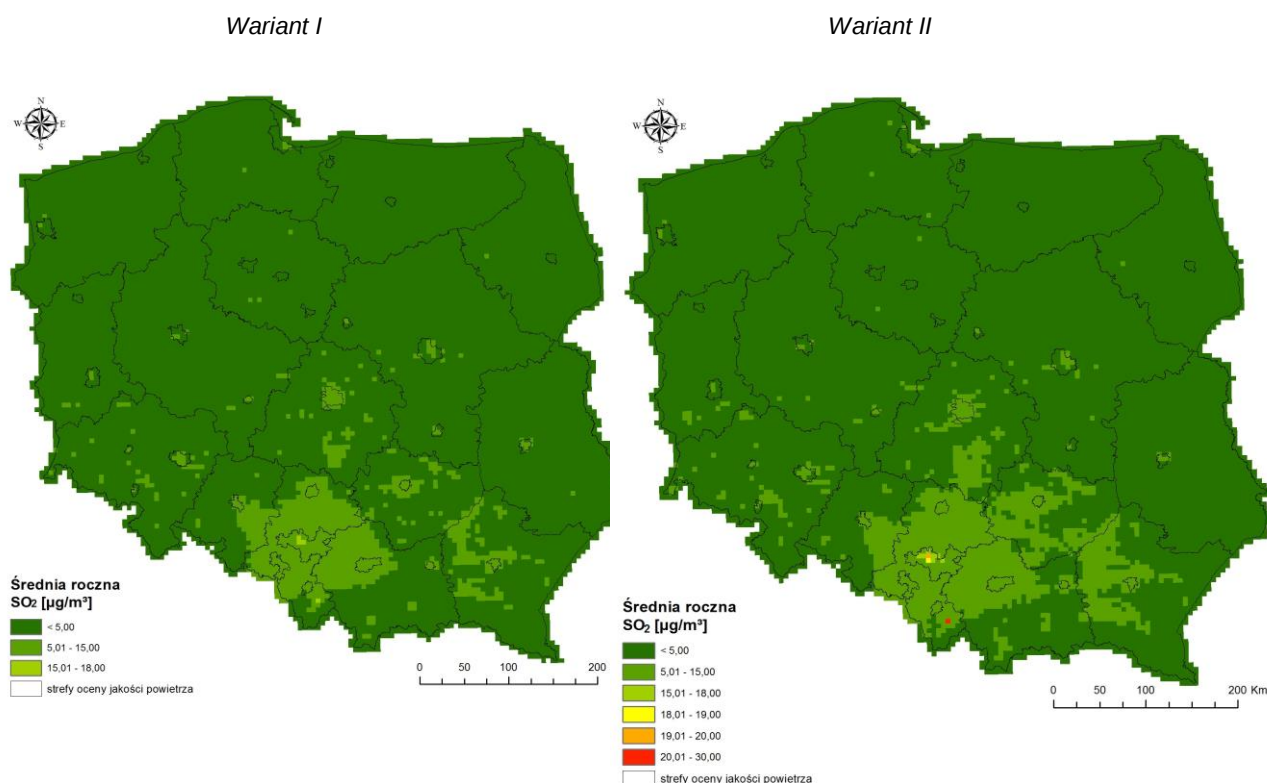
Lp.	Kryterium	Obszar przekroczeń	
		Obszar [km²]	Liczba mieszkańców [tys.]
WARIANT I			
1	stężenie średnioroczne	95 118.39	24 843 930
WARIANT II			
2	stężenie średnioroczne	195 627.65	32 900 410

⁴ źródło: opracowanie własne na podstawie wyników modelowania modelem CAMx w wariancie I oraz połączenia wyników modelowania i wyników pomiarów sieci PMŚ z zastosowaniem analiz przestrzennych w wariancie II

3.4.2. Wyniki modelowania według kryteriów odniesionych do ochrony roślin

Dwutlenek siarki

Wielkość stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju wskazuje na występowanie niewielkiego obszaru przekroczeń wartości normatywnych ze względu na ochronę roślin. W zakresie wariantu I brak jest występowania przekroczeń, natomiast po zastosowaniu analiz przestrzennych w ramach wariantu II obszar przekroczeń został określony w strefie śląskiej (Żywiec), a podwyższone stężenia do poziomu 20 µg/m³ określone zostały dla aglomeracji górnośląskiej. Wartości stężeń średniorocznych w województwach śląskim, świętokrzyskim, opolskim, łódzkim, małopolskim i podkarpackim sięgają wartości do 18 µg/m³. Na pozostałym obszarze kraju stężenia nie przekraczają wartości 15 µg/m³.



Rysunek 11. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.

4. Ocena jakości modelowania

Ocenę sprawdzalności modelowania w skali kraju wykonano w oparciu o metodykę przyjętą w narzędziu DELTA TOOL rekomendowanym do analizy sprawdzalności zastosowania modelowania do oceny jakości powietrza przez Forum Fairmode. Do analizy użyto najnowszej wersji programu 5.5. Narzędzie to pracuje na danych w seriach czasowych z pomiarów i danych z modelu. Wyniki dla stacji wykorzystywane są w przypadku kompletności wyników powyżej 75% w ciągu roku. Wyniki z modelu oceniane są na podstawie kryteriów niepewności określonych w ramach wytycznych jakości modelowania zgodnie z Dyrektywą CAFE. Analizie w DELTA TOOL mogą być poddane dane dla pyłu

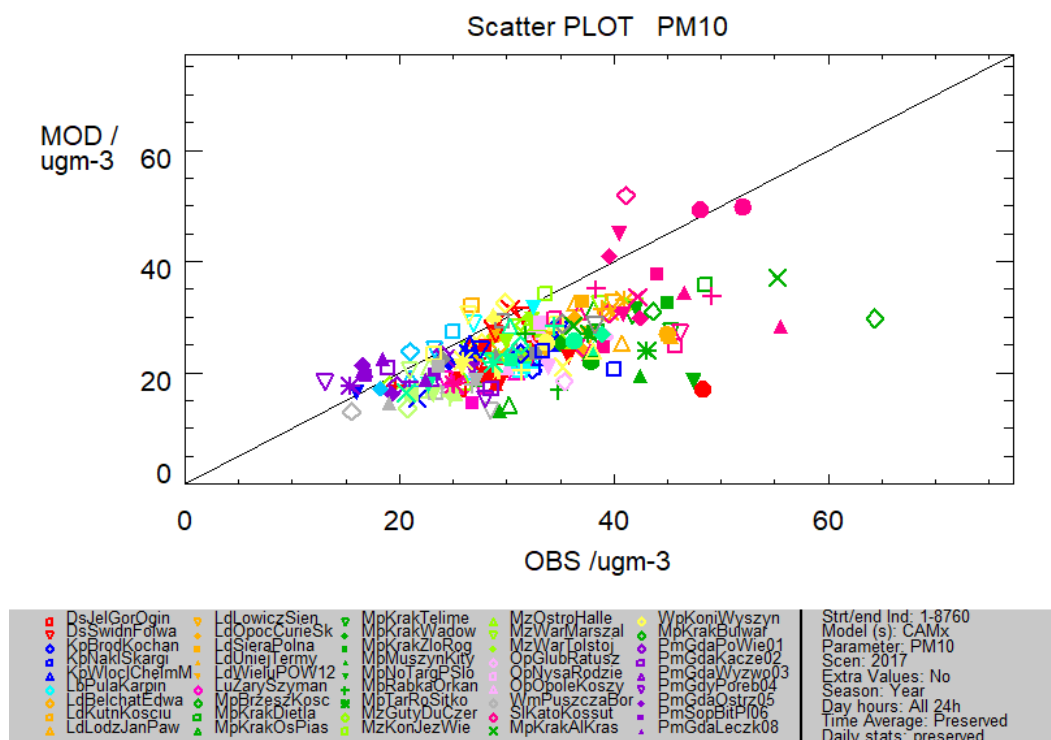
PM₁₀, PM_{2,5} ozonu, dwutlenku azotu oraz danych meteorologicznych takich jak temperatura czy prędkość wiatru.

Dzięki zastosowaniu różnego rodzaju wskaźników statystycznych błędów dla wyników modelu, możliwe jest określenie, na ile model jest dostosowany do danej oceny jakości powietrza na danym obszarze.

W analizie ujęto wskaźnik MQO dla modelu, który definiuje poziom jakości modelowania, który powinien być osiągnięty do prowadzenia polityki jakości powietrza i podejmowania na tej podstawie działań naprawczych. Wskaźnik mniejszy lub równy 1 wskazuje na dobrą jakość modelowania. Im mniejszy, tym zgodność jest większa. We wskaźniku tym uwzględniona została również niepewność pomiaru, która może wpływać na wynik końcowy analizy, ponieważ niepewność pomiaru nie jest uwzględniana przy liczeniu prostych błędów względnych.

Pył zawieszony PM₁₀

W celu przeanalizowania wyników modelowania dla pyłu PM₁₀ poddano analizie wyniki jednogodzinne dla całego roku dla każdej ze stacji pomiarowych. Rozkład stężeń modelowanych i stężeń wynikających z pomiarów wskazuje, na ile wyniki modelowania wykazują rozbieżności względem pomiarów. W analizie spośród 226 stacji mierzących pył PM₁₀ ujęto tylko 218 ze względu na kompletność wyników. Rozkład wyników modelowania i pomiarów wskazuje sytuację idealną, kiedy wyniki modelowania są zbieżne z wynikami pomiarów, a punkty na wykresie leżą w jednej linii.

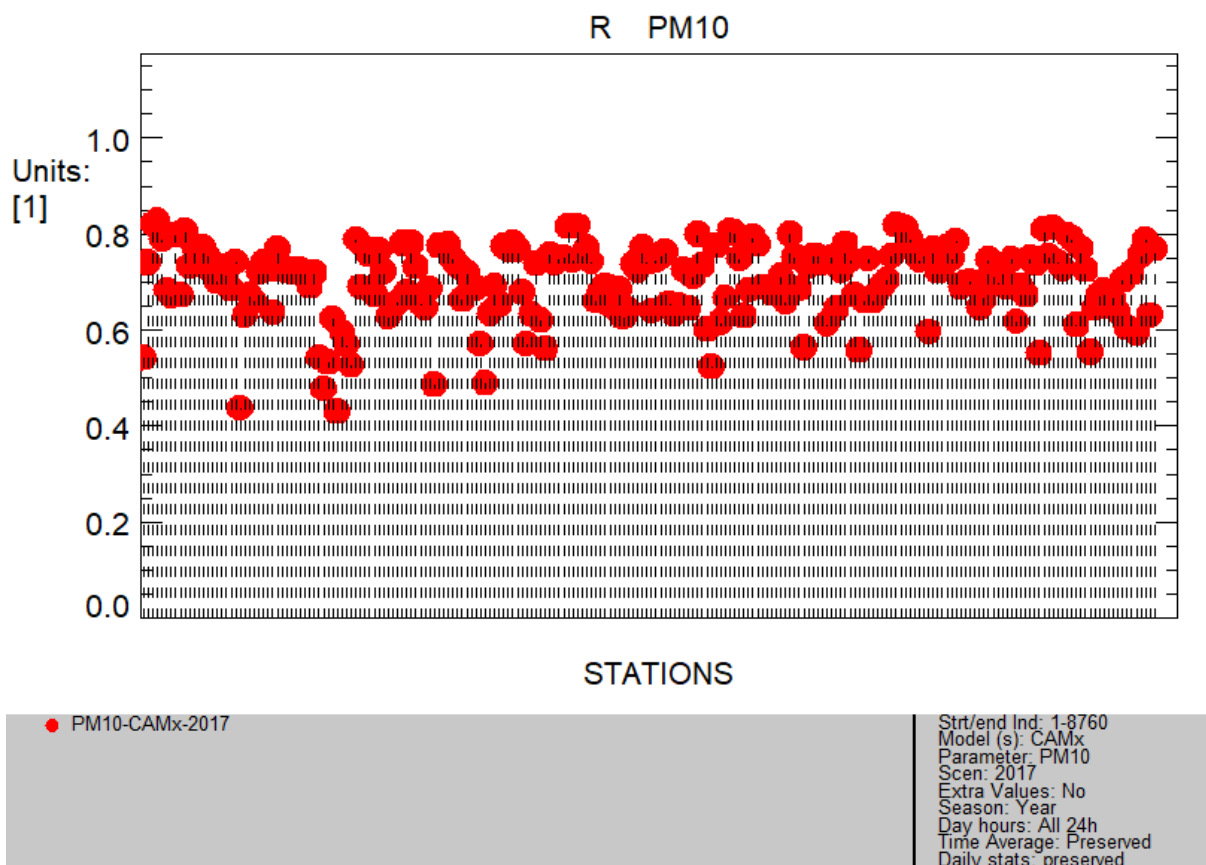


Rysunek 12. Rozkład stężeń pochodzących z pomiarów i modelowania z modelu CAMx dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).

Analiza rozproszenia wyników modelowania od wyników pomiarów wskazuje, że część wyników z modelu jest niedoszacowana dla stacji województwa małopolskiego,

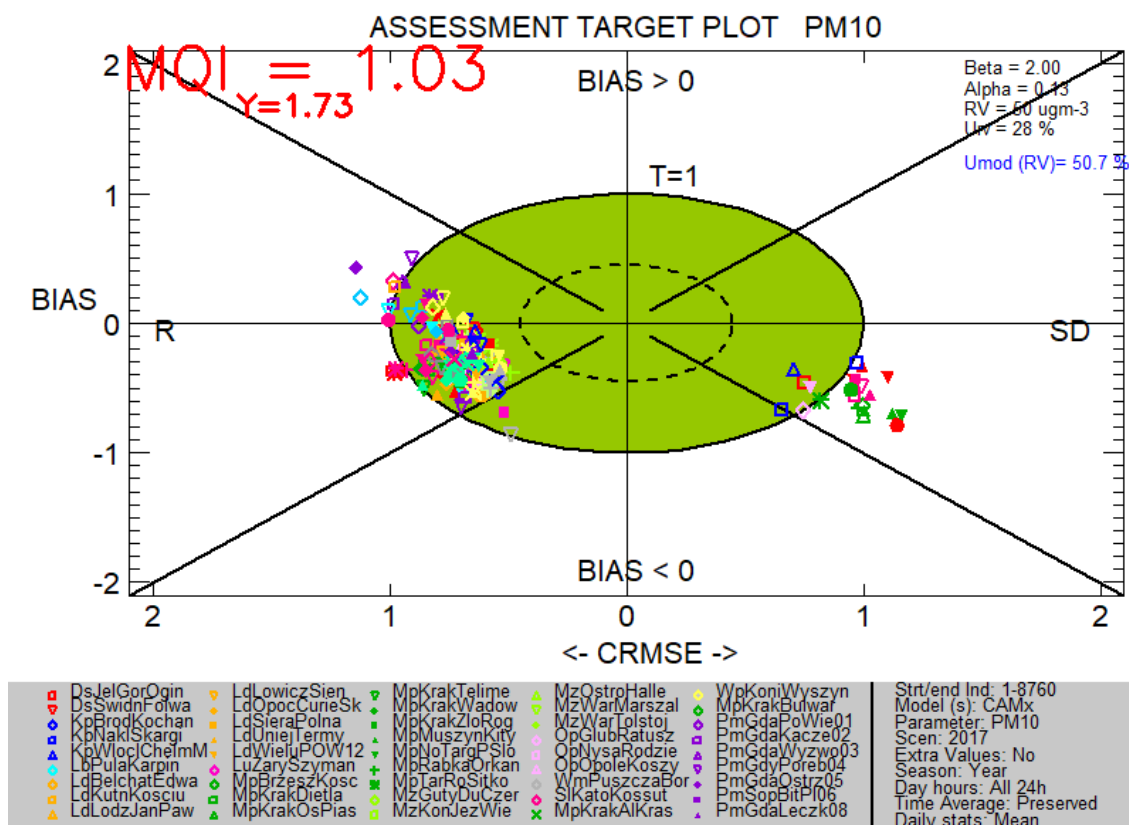
łódzkiego, czy dolnośląskiego. Znaczna większość stacji mieści się w wyznaczonych granicach niepewności modelowania.

Przedstawiona poniżej analiza współczynnika korelacji wyników dla pyłu PM10 wskazuje na utrzymywanie się ich na poziomie od 0,5 do 0,8, co świadczy o tym, że korelacja wyników dla niektórych stacji mogłaby być lepsza, ale spełnia wymogi dla zbieżności. Żadna ze stacji nie wykazuje korelacji poniżej 0,4.



Rysunek 13. Współczynniki korelacji wyników modelowania dla pyłu PM10 modelem CAMxw siatce 5 k x 5 km dla roku 2017

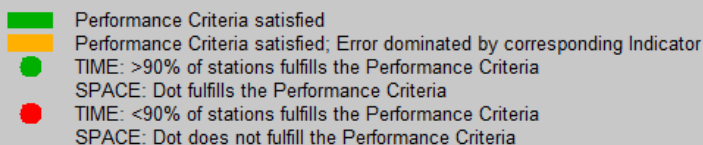
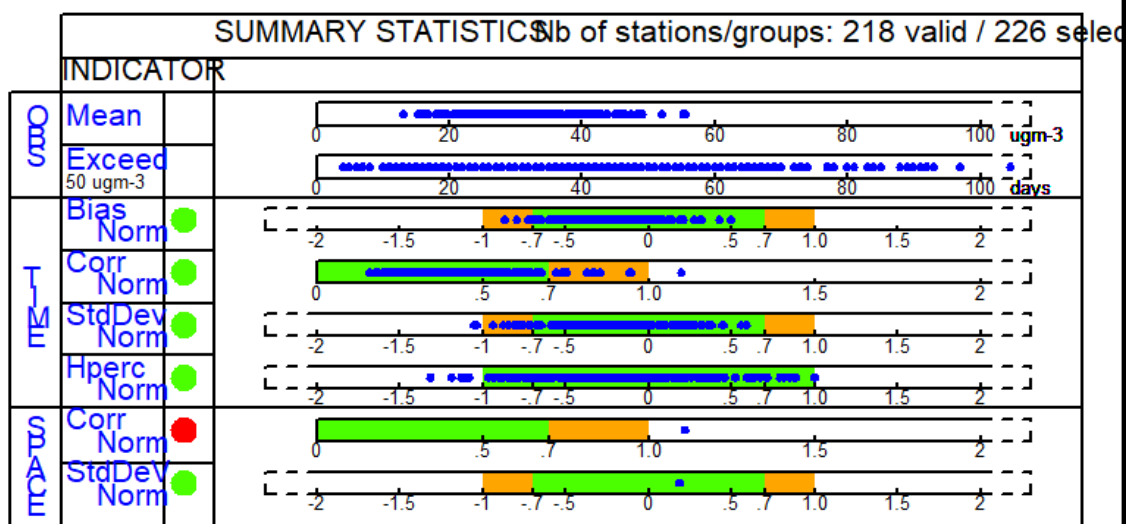
Wykres celu tworzony w Delta Tool wskazuje na spełnienie warunku uzyskania jak najlepszego współczynnika jakości modelu MQI, który powinien wynosić poniżej 1. Na wykresie można również uzyskać informację, które elementy w modelu wymagają poprawy, ponieważ każda z części wykresu wskazuje inne czynniki: korelację, BIAS oraz odchylenie standardowe.



Rysunek 14. Diagram celu dla wyników modelowania pyłu PM₁₀ z modelu CAMx dla skali kraju dla roku 2017.

Wykres ten wskazuje na odchylenie wartości modelowanych od wartości pomiarowych. Wskaźnik MQI nieznacznie przekracza wartość 1, ze względu na niedoszacowanie wyników modelowania dla stacji w województwie małopolskim, śląskim i dolnośląskim. W większości rozbieżności w modelu wynikają z odchylenia standardowego wyników, natomiast dla kilku stacji główne znaczenie ma korelacja czasowa, i dotyczy to stacji dla których wynik z modelowania został przeszacowany (stacje w Gdańsku, Gdyni i Białymstoku). Dla wymieniowych stacji nie został spełniony warunek $MQI < 1$.

Dla sprawdzenia pozostałych statystyk błędów stworzony został również raport podsumowujący, który przedstawia zarówno współczynnik korelacji, jak i odchylenie standardowe dla wszystkich stacji w kontekście czasowym i przestrzennym.

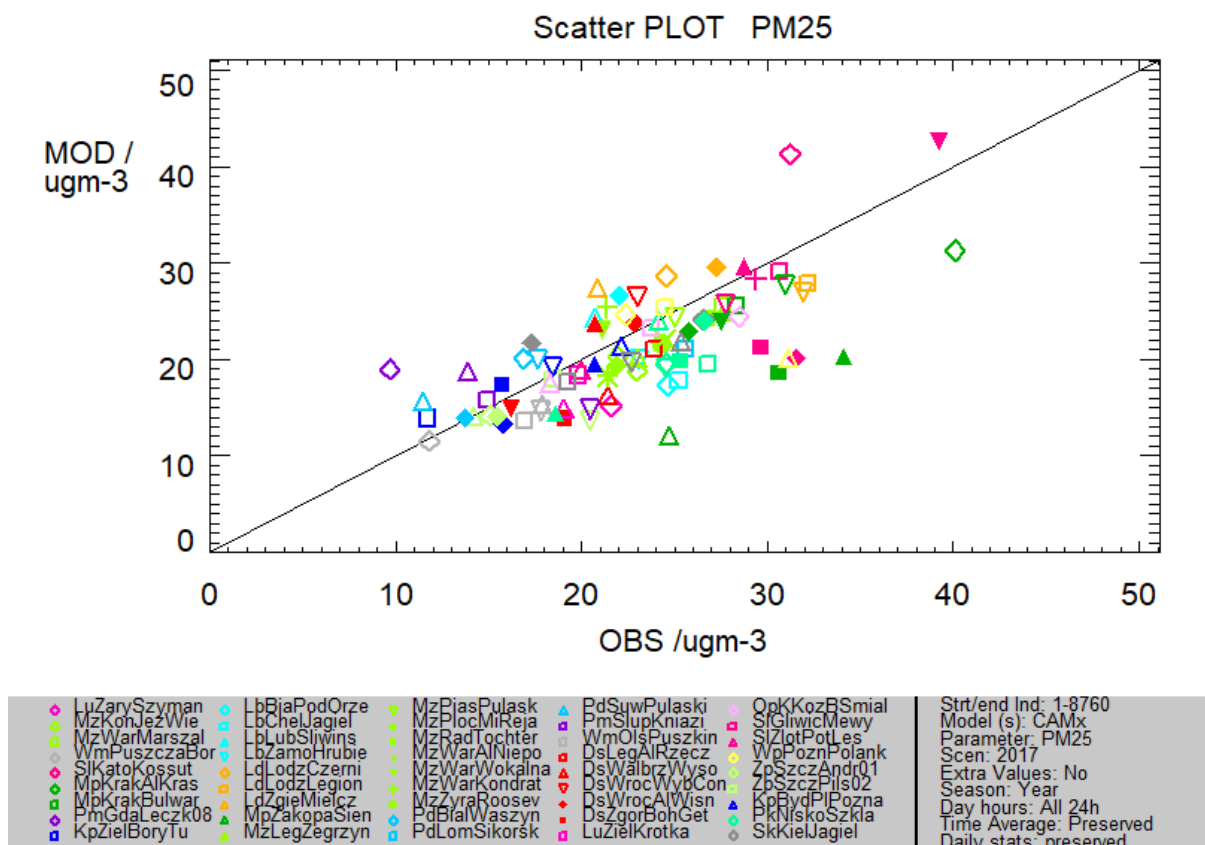


Rysunek 15. Raport podsumowujący analizy wyników modelu CAMx dla skali kraju dla pyłu PM₁₀. (źródło: Delta Tool)

Czasowe statystyki błędów takich jak BIAS, współczynnik korelacji oraz odchylenie standardowe mieszczą się w normie dla 90% stacji pomiarowych dla których przeprowadzona została analiza. Jedynie współczynnik korelacji przestrzennej pozostaje poza zielonym polem, co oznacza, że nie spełnia kryteriów. W zakresie odchylenia standardowego dla przestrzennych danych dla stacji, warunek 90% stacji spełniających kryteria został spełniony.

Pył zawieszony PM_{2,5}

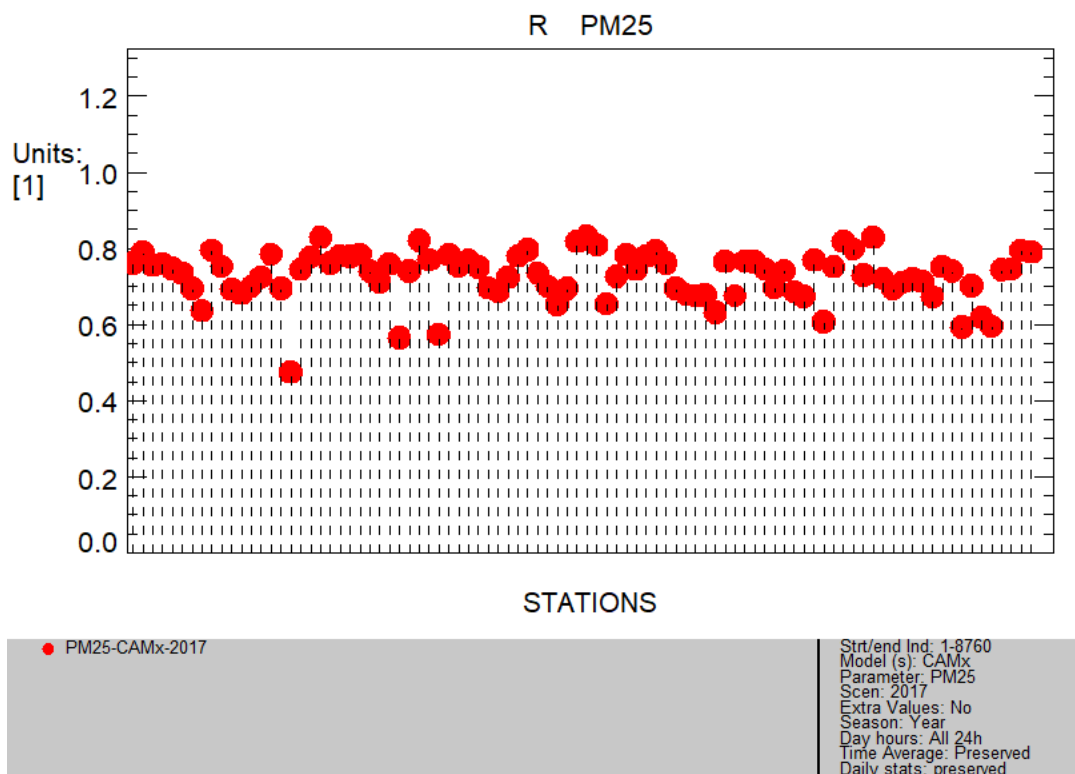
Analiza wykonana dla pyłu PM_{2,5} również została przeprowadzona dla wszystkich stacji spełniających wymagania kompletności wyników powyżej 75% dla serii rocznej. Podobnie jak dla pyłu PM₁₀ przeanalizowane zostały wyniki dla stacji z modelu oraz z pomiarów.



Rysunek 16. Rozkład stężeń pyłu PM_{2,5} z pomiarów i modelowania modelem CAMx w skali kraju dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).

Analizując rozkład stężeń pyłu PM_{2,5} również widoczne jest niedoszacowanie wyników z modelu dla części stacji podobnie jak dla pyłu PM₁₀. Biorąc pod uwagę ogólny rozkład wyniki modelowania są dość zbliżone z wynikami pomiarów, gdyż punkty na wykresie znajdują się bliżej środkowej linii trendu. Jedynie dwie stacje wykazują przeszacowanie wyników w modelu - obie stacje w Katowicach. Największe niedoszacowanie określone zostało dla stacji w Zakopanem, Nowym Sączu i Krakowie (MpKrakAlKras).

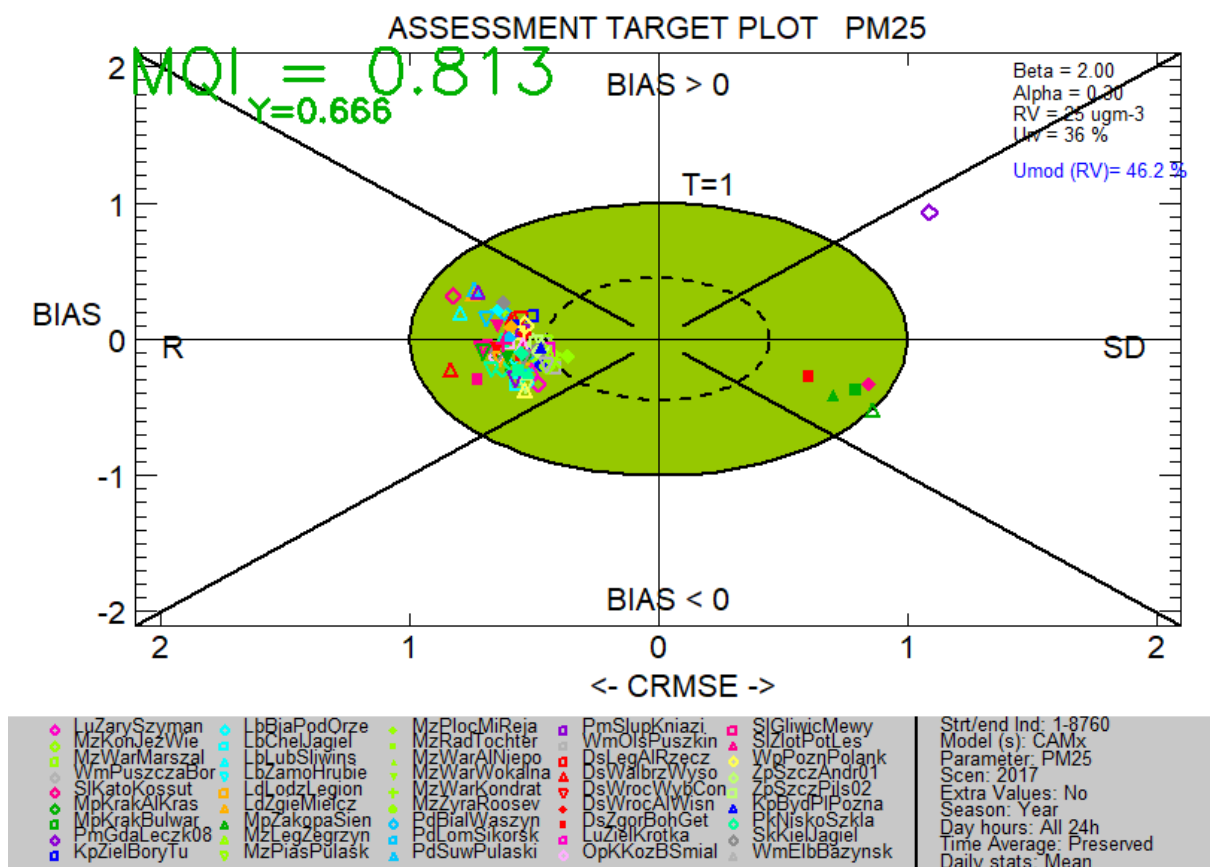
Analizując korelację wyników uzyskanych dla punktów stacji pomiarowych widoczny jest bardzo dobry rozkład współczynników korelacji dla stacji, które kształtują się na poziomie 0,6-0,8. Zaledwie jedna stacja posiada korelację na poziomie 0,5 - stacja w Zakopanem.



Rysunek 17. Współczynniki korelacji wyników modelowania dla pyłu PM_{2,5} modelem CAMx dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).

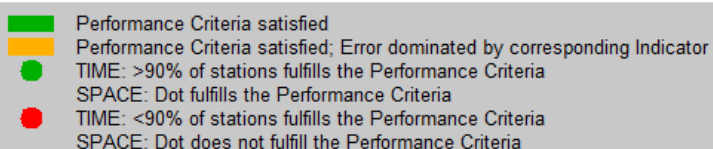
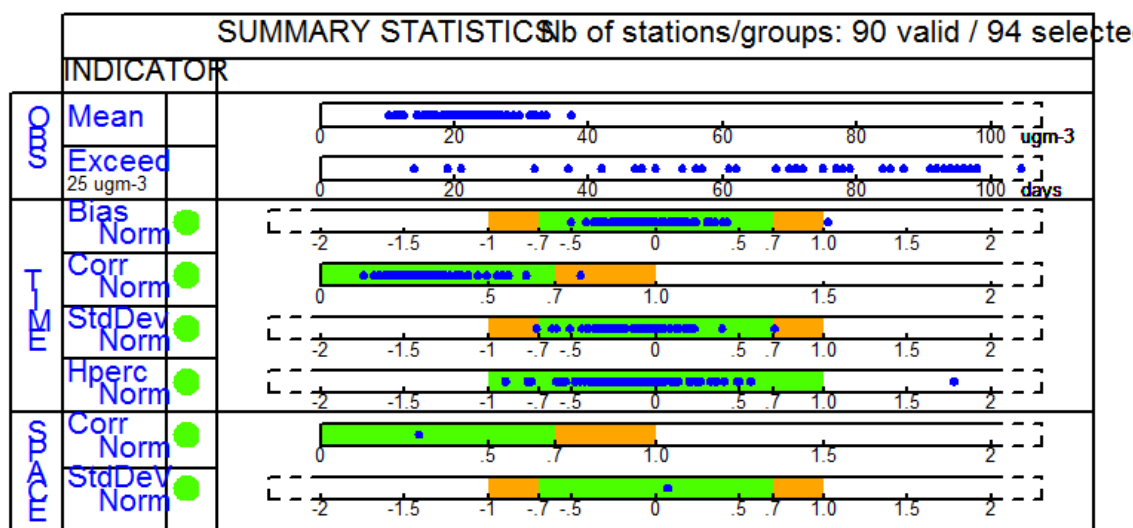
Odpowiednio wysoka korelacja ma również swoje przełożenie na współczynnik MQI, świadczący o spełnieniu wymagań odnośnie kryterium niepewności wyników modelu. Wykres celu uzyskany dla stężeń modelowanych PM_{2,5} wskazuje zgodność wyników z pomiarami, ponieważ współczynnik MQI wynosi poniżej 1. Oznacza to spełnienie przez model wymogu zapewnienia wymaganego poziomu niepewności dla ponad 90% stacji pomiarowych uwzględniając również niepewność pomiarów.

Większość wyników modelowania wskazuje na błąd korelacji czasowej, natomiast kilka wyników znalazło się po prawej stronie wykresu wskazując na błąd odchylenia standardowego. Chodzi o stacje w Bielsku-Białej, Zgorzelcu, Zakopanem, Bochni i Nowym Sączu. Wynik modelu dla tych stacji został niedoszacowany w stosunku do pomiarów. Jednakże poza zakres zielonego pola wykresu wychodzi tylko wynik dla stacji w Zakopanem. Zbiór wyników modelowania charakteryzuje się skupieniem w jednym polu najbliższym wartościom BIAS równym 0.



Rysunek 18. Diagram celu dla wyników modelowania pyłu PM2,5 z modelu CAMx dla skali kraju dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).

Raport podsumowujący wszystkie analizy statystyczne odnośnie zbieżności czasowej i przestrzennej dla pyłu PM2,5 wskazuje na zachowanie kryterium zgodności wyników modelowania i wyników pomiarów dla ponad 90% stacji pomiarowych. Zarówno współczynnik korelacji jak i odchylenie standardowe wskazują na spełnienie kryterium dla ponad 90% stacji - wskaźniki są oznaczone są kolorem zielonym. Do analizy zostały wykorzystane wyniki z 90 stacji na 94 na których prowadzone były pomiary jakości powietrza.



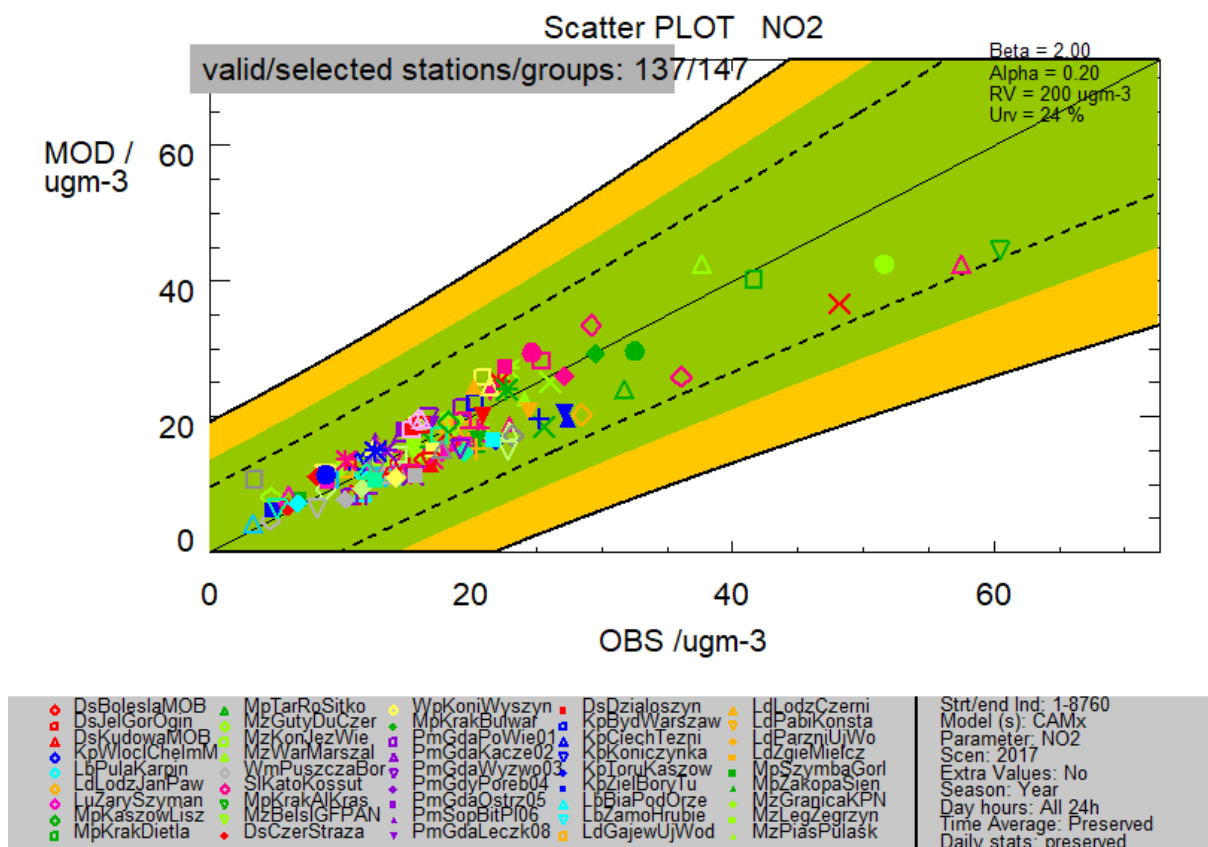
Rysunek 19. Raport podsumowujący analizy wyników modelu CAMx dla skali kraju dla pyłu PM2,5 dla roku 2017 (źródło: Delta Tool)

Ogólny wynik analiz dla wyników modelowania pyłu PM2,5 wskazuje na bardzo dobre dopasowanie wyników do wartości na stacjach pomiarowych, a kryteria spełnienia wymaganej niepewności modelu dla ponad 90% stacji pomiarowych zostały uzyskane.

Dwutlenek azotu NO₂

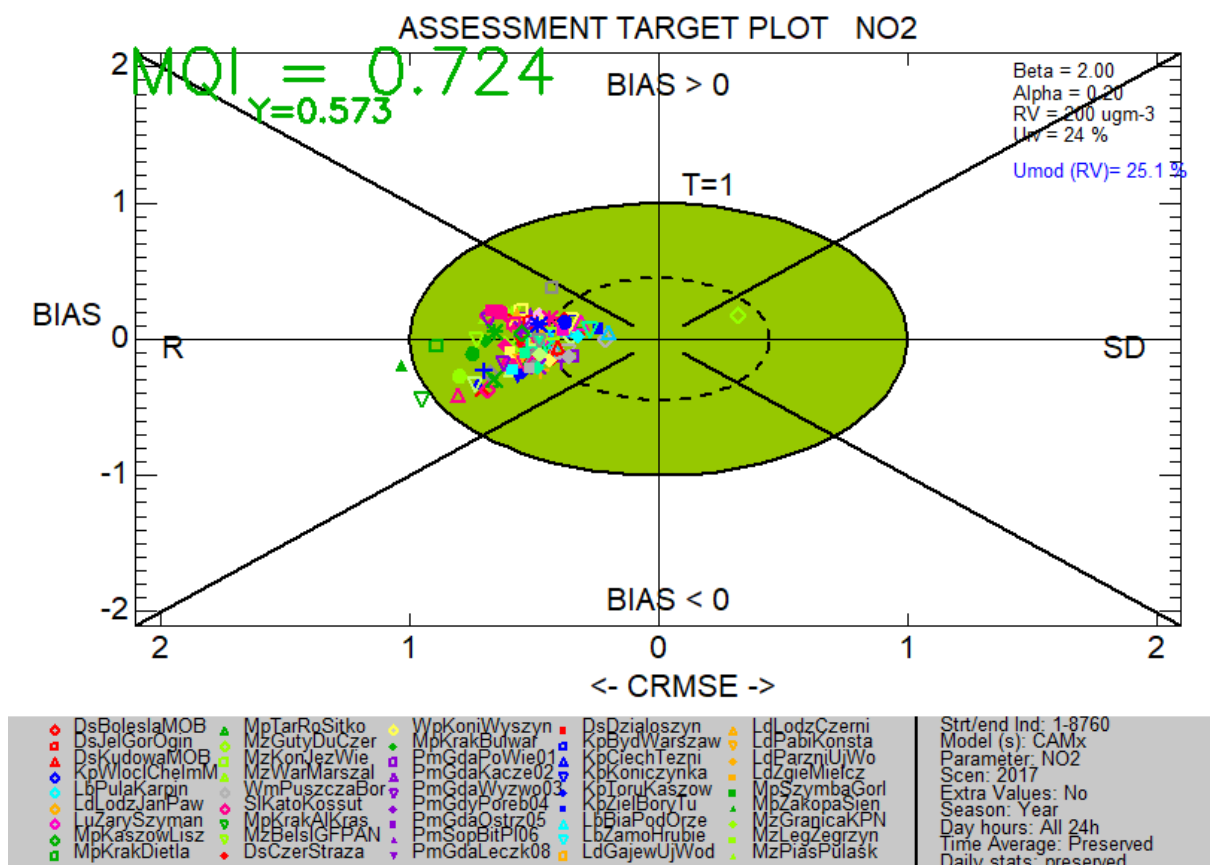
Analiza wyników dla dwutlenku azotu została przeprowadzona dla wyników jednogodzinnych stężeń z wykorzystaniem wyników modelu CAMx i wyników pomiarów. Łącznie w analizie uwzględniono wyniki dla 137 stacji spełniających kryteria kompletności wyników pomiarów na łączną ilość 147 stacji mierzących dwutlenek azotu.

Podobnie jak dla pozostałych zanieczyszczeń przygotowana została analiza rozkładu stężeń modelowanych w stosunku do stężeń pomiarowych.



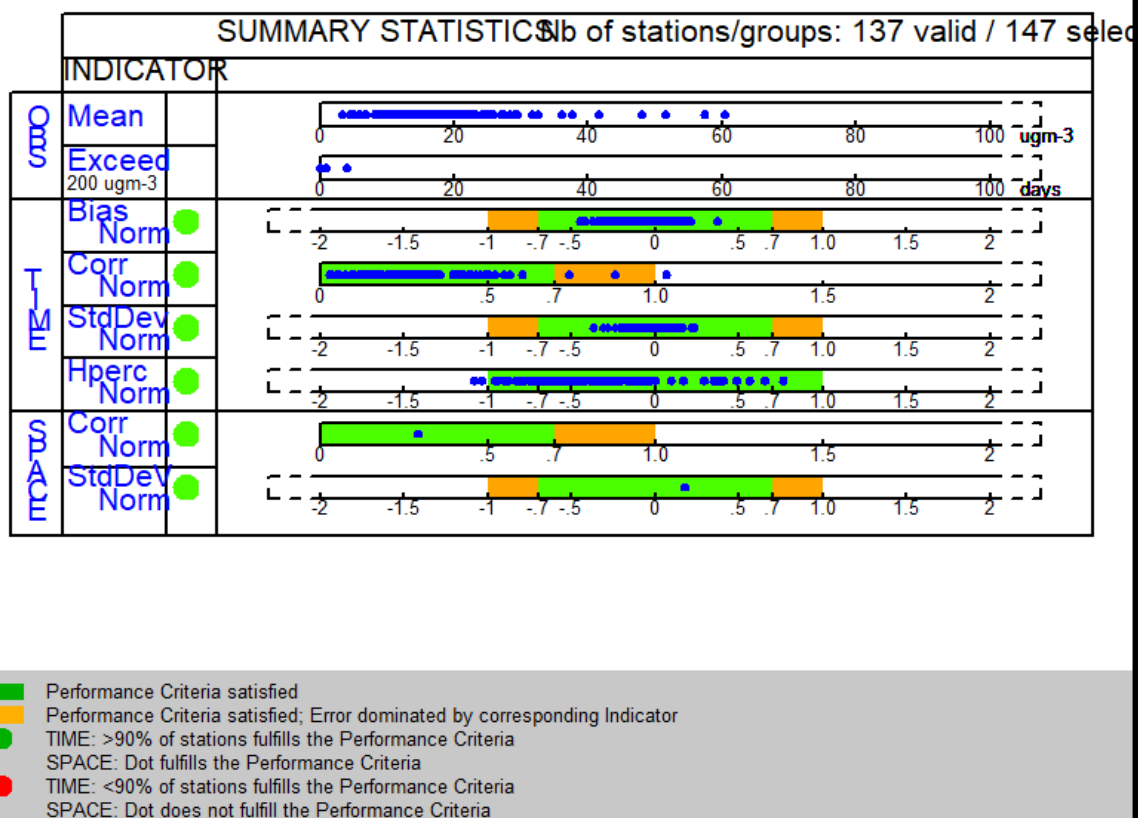
Rysunek 20. Rozkład stężeń dwutlenku azotu z pomiarów i modelowania modelem CAMx w skali kraju (źródło: Delta Tool).

Wyniki dla dwutlenku azotu wpisują się w zielone pole oznaczone przy uwzględnieniu niepewności pomiarów. Wszystkie wyniki modelowania dla stacji wpisują się bardzo dobrze w wyniki pomiarów - znaczna część wyników jest zlokalizowana na wykresie wzdłuż centralnej linii trendu. Stacje komunikacyjne w Krakowie, Katowicach, Warszawie i Wrocławiu wskazują na niedoszacowanie wyników, co spowodowane jest również rozdzielczością modelowania - zbyt szeroką na uwzględnienie specyficznych warunków na konkretnych drogach w mieście.



Rysunek 21. Diagram celu dla wyników modelowania dwutlenku azotu z modelu CAMx dla skali kraju dla 2017 roku (Źródło: Delta Tool).

Wykres celu wskazuje na wartość wskaźnika MQI będącego miarą jakości modelu wykorzystanego do oceny jakości modelowania. Dla dwutlenku azotu wskaźnik MQI mieści się w zakresie <1, co świadczy o dobrej zgodności wyników modelowania z wynikami pomiarów. Analiza błędów modelowania wskazuje na większy wpływ korelacji na wyniki aniżeli błędów w kierunku znacznego odchylenia standardowego. Wszystkie wyniki, poza stacją komunikacyjną w Krakowie oraz stacją w Zakopanem mieszczą się w zielonym polu co oznacza, że model dobrze odwzorował wynik pomiarów. Wyniki wskazują zarówno przeszacowania, jak i niedoszacowania w stosunku do pomiarów.



Rysunek 22. Raport podsumowujący analizy wyników modelu CAMx dla skali kraju dla pyłu PM_{2,5} dla 2017 roku (źródło: Delta Tool).

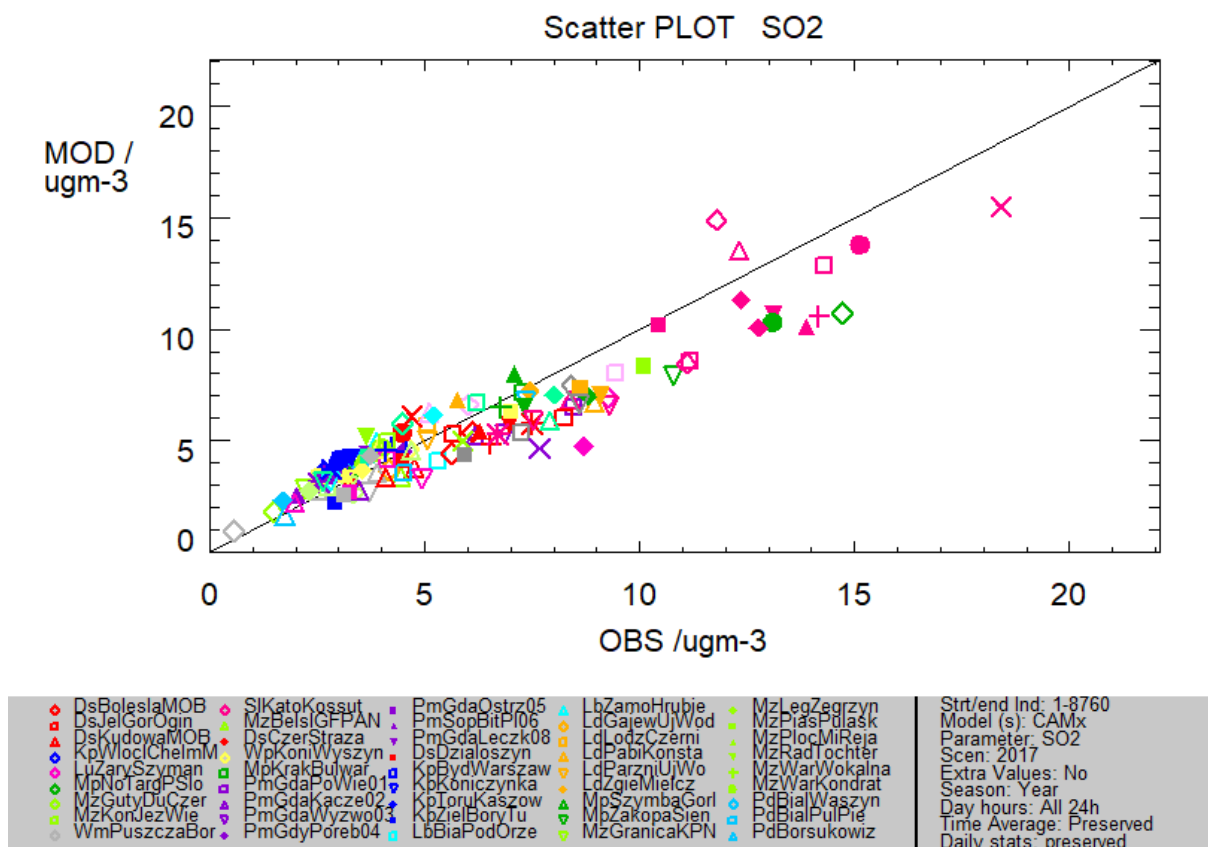
Raport podsumowujący wyników dwutlenku azotu wskazuje na wartości średnie i wartości przekroczeń wynikającej z pomiarów. Dodatkowo wskazany został średni zakres rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów i modelowania, a także korelacja czasowa i odchylenie standardowe wyników. Średnie wartości mieszczą się w zielonym polu oznaczającym spełnienie kryteriów wymaganych dla modelu.

Korelacja przestrzenna oraz odchylenie standardowe obliczone jako jeden współczynnik dla średnich wyliczonych dla danego okresu roku dla wszystkich stacji. Oba współczynniki pozostają na zielonym polu, co oznacza, iż kryterium niepewności modelu spełnione jest dla ponad 90% stacji.

Wyniki te wskazują na bardzo dobre dopasowanie modelu do wyników pomiarów.

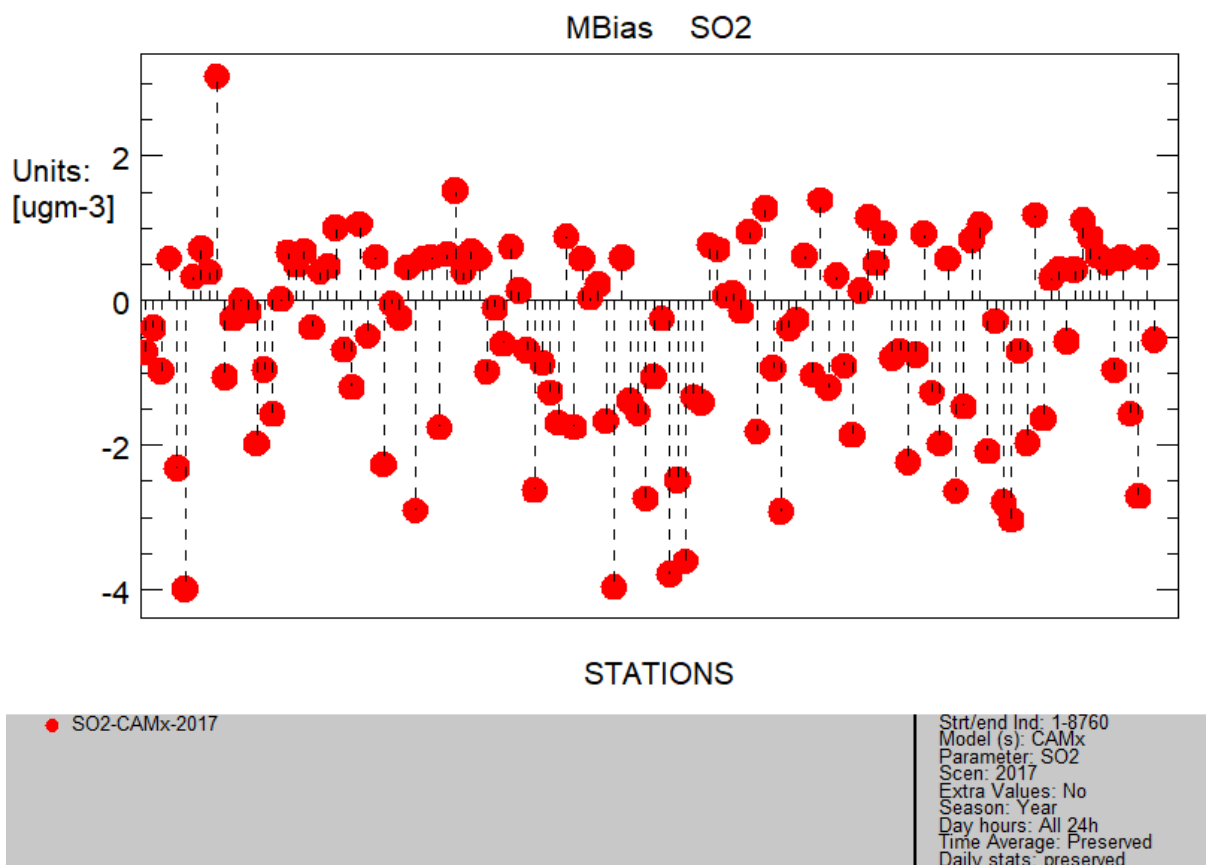
Dwutlenek siarki

Dwutlenek siarki nie jest tak szczegółowo analizowany w narzędziu Delta Tool jak pozostałe zanieczyszczenia. Dlatego też wykorzystano w ocenie niepewności modelowania podstawowe statystyki błędów i podstawowy rozkład stężeń średnich.



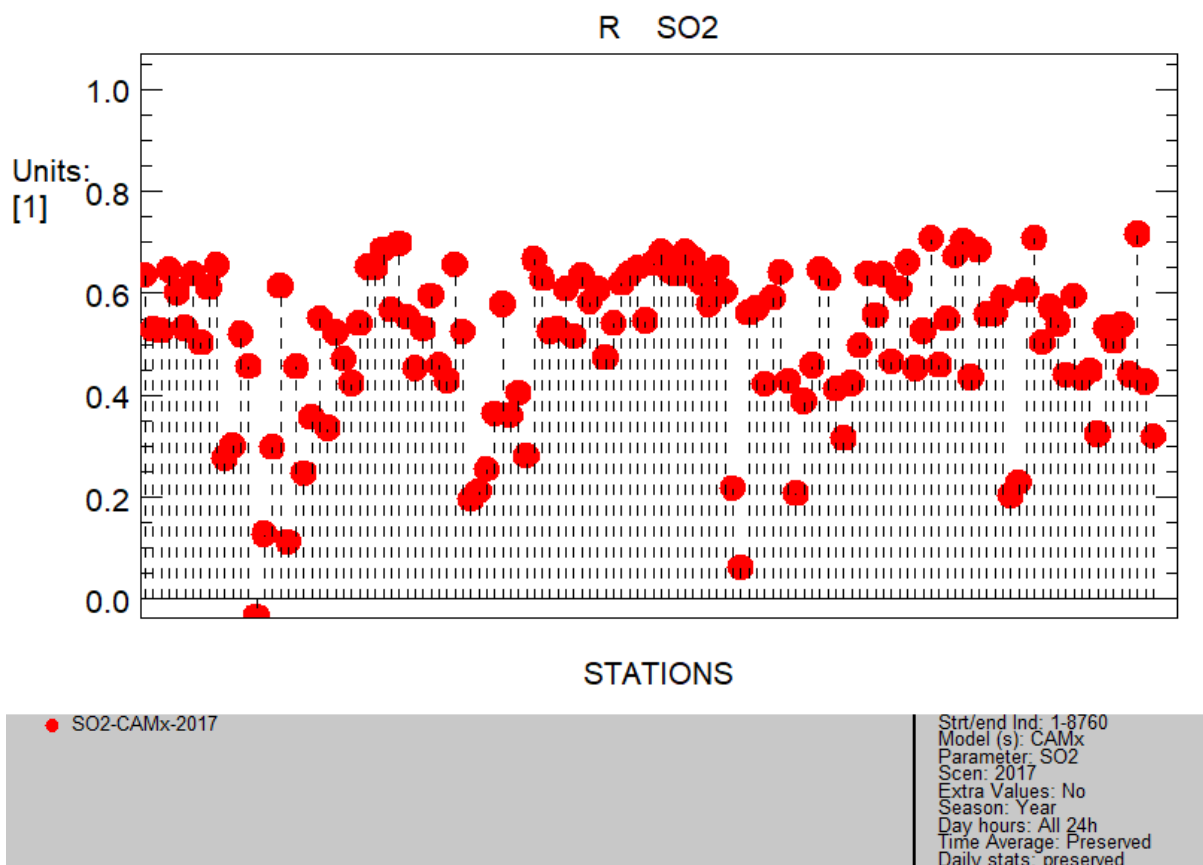
Rysunek 23. Rozkład stężeń siarki azotu z pomiarów i modelowania modelem CAMx w skali kraju dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).

Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki z modelowania i wyników pomiarów wskazuje na rozkład bliski linii trendu. Jedynie dwie stacje wykazują największe niedoszacowanie wyników w Żywcu, Rybniku, Wodzisławiu, Zielonej Górze i w Zakopanem. Dla obu stacji w Katowicach model przeszacował wyników w stosunku do wyniku pomiarów. Pozostałe wyniki wskazują na małe rozbieżności wyników pomiarów i wyników modelowania.



Rysunek 24. Raport wartości odchyłeń BIAS wyników pomiarów i wyników modelu CAMx dwutlenku siarki dla skali kraju dla 2017 roku (źródło: Delta Tool).

Porównanie wyników odchyłeń BIAS dla wartości z pomiarów i modelowania wskazuje na występowanie przeszacowania wyników, natomiast występujące niedoszacowania mają mniejsze wartości.



Rysunek 25. Raport korelacji wyników dwutlenku siarki z wyników pomiarów i wyników modelu CAMx dla skali kraju (źródło: Delta Tool).

Współczynniki korelacji dla dwutlenku siarki dla większości stacji mieszczą się w przedziale 0,4-0,6, co świadczy o dobrym dopasowaniu wyników modelowania do wyników pomiarów, jednakże część wyników posiada korelacje na poziomie poniżej 4, co wskazuje na konieczność zweryfikowania profili czasowych emisji wprowadzonych do modelowania.

5. Analiza transgranicznego transportu zanieczyszczeń powietrza

Problem zanieczyszczenia 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 tym samym przyczyniać się do pogorszenia jakości powietrza w innych krajach. W wielu krajach europejskich, mniej niż 50% obserwowanych stężeń drobnego pyłu zawieszonego (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).

Wyznaczenie wielkości stężeń, które wynikają z oddziaływania źródeł położonych poza granicami kraju, przeprowadzono w oparciu o modelowanie wielkoskalowe, z wykorzystaniem modelu CAMx. Wyniki te, zostały również wykorzystane w modelu CALPUFF dla skali województw, dla których wyznaczono warunki brzegowe do analizy udziałów w skali województw. 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 CAMx zostało przeprowadzone w siatce o rozdzielczości 15 km x 15 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 oraz siatka emisyjna została poszerzona do obszaru 150 km poza granicami kraju. Warunki brzegowe do modelowania dla poszczególnych województw zostały obliczone w siatce 5 km x 5 km.

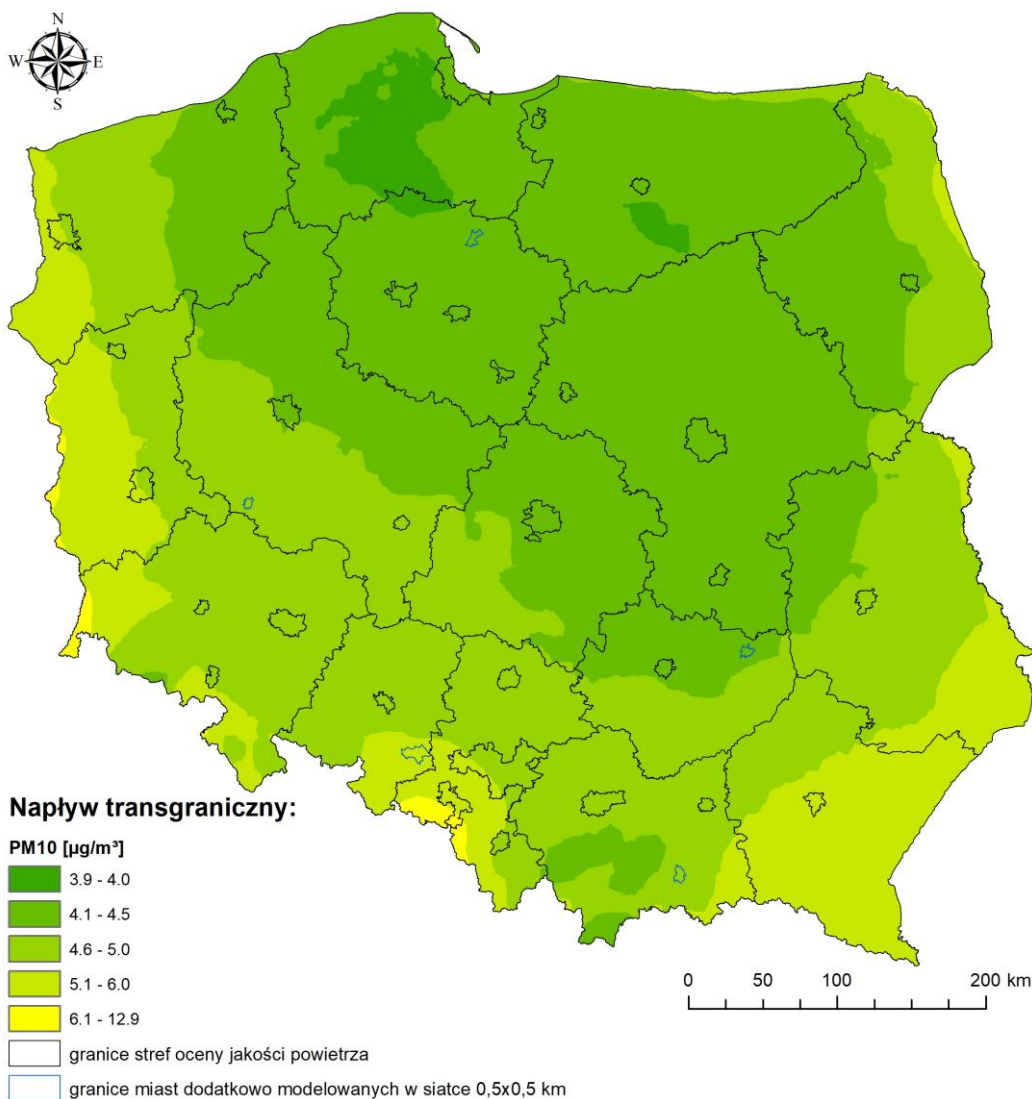
Dane o emisji antropogenicznej dla całej Europy pozyskano z projektu TNO MACC III (Kuenen et al., 2014), w rozdzielczości przestrzennej 1/8 ° x 1/6 °. Najbardziej aktualna informacja dotyczy roku 2011, który został przeskalowany do roku 2017 z zastosowaniem wskaźników skalujących dla krajów i sektorów 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 26). Wysokość stężeń pyłu PM₁₀, które są wynikiem oddziaływania źródeł spoza kraju, sięga od 3,9 µg/m³ do 7,3 µg/m³ w województwie śląskim. W perspektywie ostatnich trzech lat udział ten jest praktycznie niezmienny.

W obszarze przekroczeń stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ w województwie śląskim udział źródeł transgranicznych sięga średnio 11%, jednak im bliżej granicy województwa udział ten się zwiększa, aż do 12% stężenia w obszarze przekroczeń. Największy wpływ emisji ze źródeł transgranicznych odnotowano w województwie podkarpackim (Gminy Lutówka i Cisna), województwie małopolskim (gminy Bukowina Tatrzańska i Kościelisko), dolnośląskim (gminy Szklarska Poręba, Mirsk, Lubawka, Stara Kamienica) oraz lubuskim (gminy Trzebiel, Łęknica, Brody, Gubin) gdzie stężenie obliczone na podstawie ich aktywności stanowi powyżej 45% wysokości stężenia występującego na tym obszarze, jednak wysokość stężeń pyłu PM₁₀ nie wynosiła więcej niż 14,5 µg/m³. Należy jednak zauważyć, że przy generalnie niskich stężeniach pyłu PM₁₀ na tym terenie, nawet wysoki udział procentowy źródeł transgranicznych nie powoduje powstawania przekroczeń wartości dopuszczalnych. Najniższy udział procentowy źródeł transgranicznych do 10% odnotowano w miastach Chorzów, Katowice, Będzin, Sosnowiec, Radzionków, Siemianowice Śląskie, Czeladź, Świętochłowice czy Bytom, ze względu na znaczny udział źródeł lokalnych. Natomiast najniższe stężenia pochodzące ze źródeł transgranicznych zlokalizowano w województwie pomorskim.

Szczególnie istotne jest znaczenie kształtowania się lokalnych poziomów stężeń w rejonie Bramy Morawsko-Śląskiej, gdzie występują znaczne przekroczenia poziomów dopuszczalnych pyłu PM₁₀. Analizując udział stężeń pochodzących z napływu transgranicznego oraz sumaryczne wysokości stężeń występujące na terenie województwa śląskiego określono udział źródeł transgranicznych na poziomie maksymalnie 28% (w gminach Gorzyce i Godów).

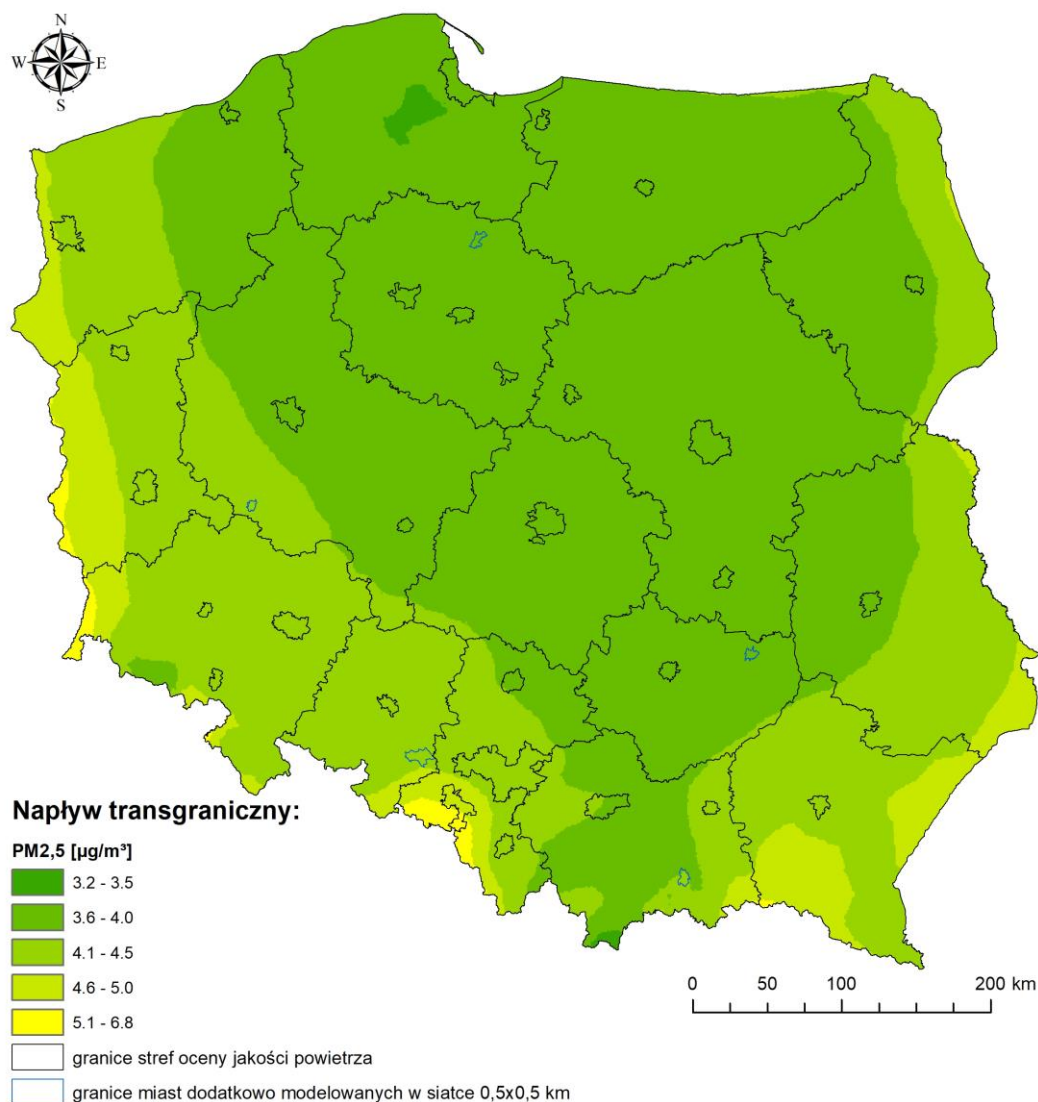


Rysunek 26. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).

Pył PM_{2,5}

Na wysokość stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} w kraju w 2017 roku wpływały w różnym stopniu również źródła transgraniczne, podobnie jak dla pyłu PM₁₀. Analiza stężeń pyłu PM_{2,5} pochodzącego ze źródeł znajdujących się poza granicami kraju wykazała najwyższe stężenia w województwach zachodnich, województwie śląskim i podkarpackim. Maksymalna wysokość stężeń średniorocznych z tych źródeł na obszarze kraju sięga do 5,92 µg/m³ (województwo śląskie, gmina Gorzyce). Najwyższe stężenia (powyżej 5,5 µg/m³) stanowią średnio od 20% do 27% wielkości stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5} w obszarze województwa śląskiego oraz do 39% w obszarze województwa dolnośląskiego (gmina Bogatynia). Na terenie województwa podkarpackiego wysokość stężeń pochodzących ze źródeł transgranicznych nie przekracza 5,04 µg/m³ jednak stanowią one największy procent w wysokości stężenia występującego w powiatach bieszczadzkim i leskim - 45% stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5} występującego na tym terenie.

Najniższe wartości stężeń ze źródeł transgranicznych występują w województwie pomorskim i sięgają wysokości 3,48 µg/m³ co stanowi średnio 26% stężeń występujących na terenie województwa pomorskiego.

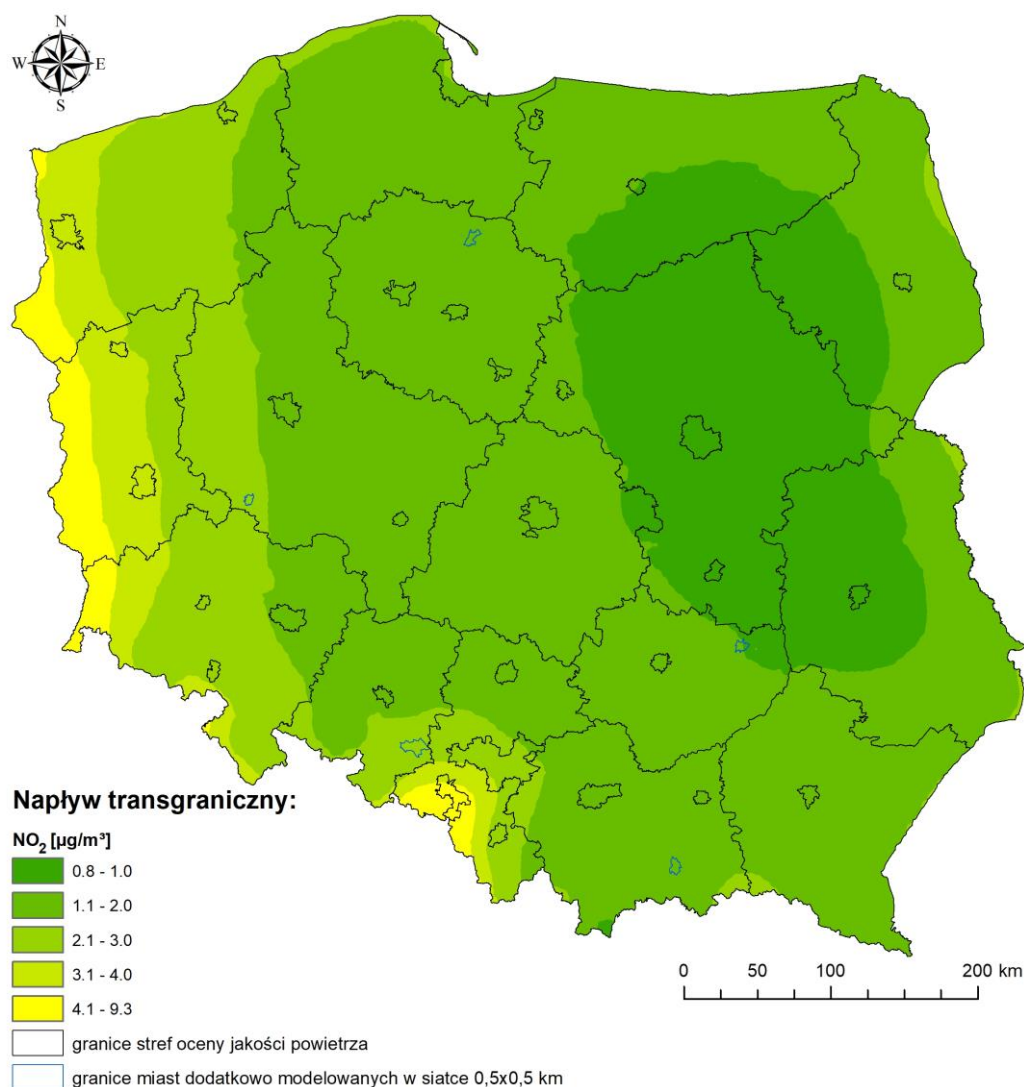


Rysunek 27. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).

Znaczenie udziału procentowego jest 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, w którym występują przekroczenia wartości dopuszczalnych pyłu PM_{2,5}. Maksymalny udział w obszarze przekroczeń w województwie śląskim wynosi 20% (województwo śląskie, miasta Jastrzębie Zdrój i Wodzisław Śląski oraz gminy Godów i Mszana). W stężeniach pyłu PM_{2,5} ma znaczny udział również pył wtórny, powstający w wyniku przemian chemicznych w powietrzu, przez co należy również zauważyć, że stężenia mogą być podwyższone ze względu na transport zanieczyszczeń transgranicznych, które przyczyniają się do powstawania pyłu wtórnego, który w znacznej części składa się na pył drobny PM_{2,5}.

Dwutlenek azotu

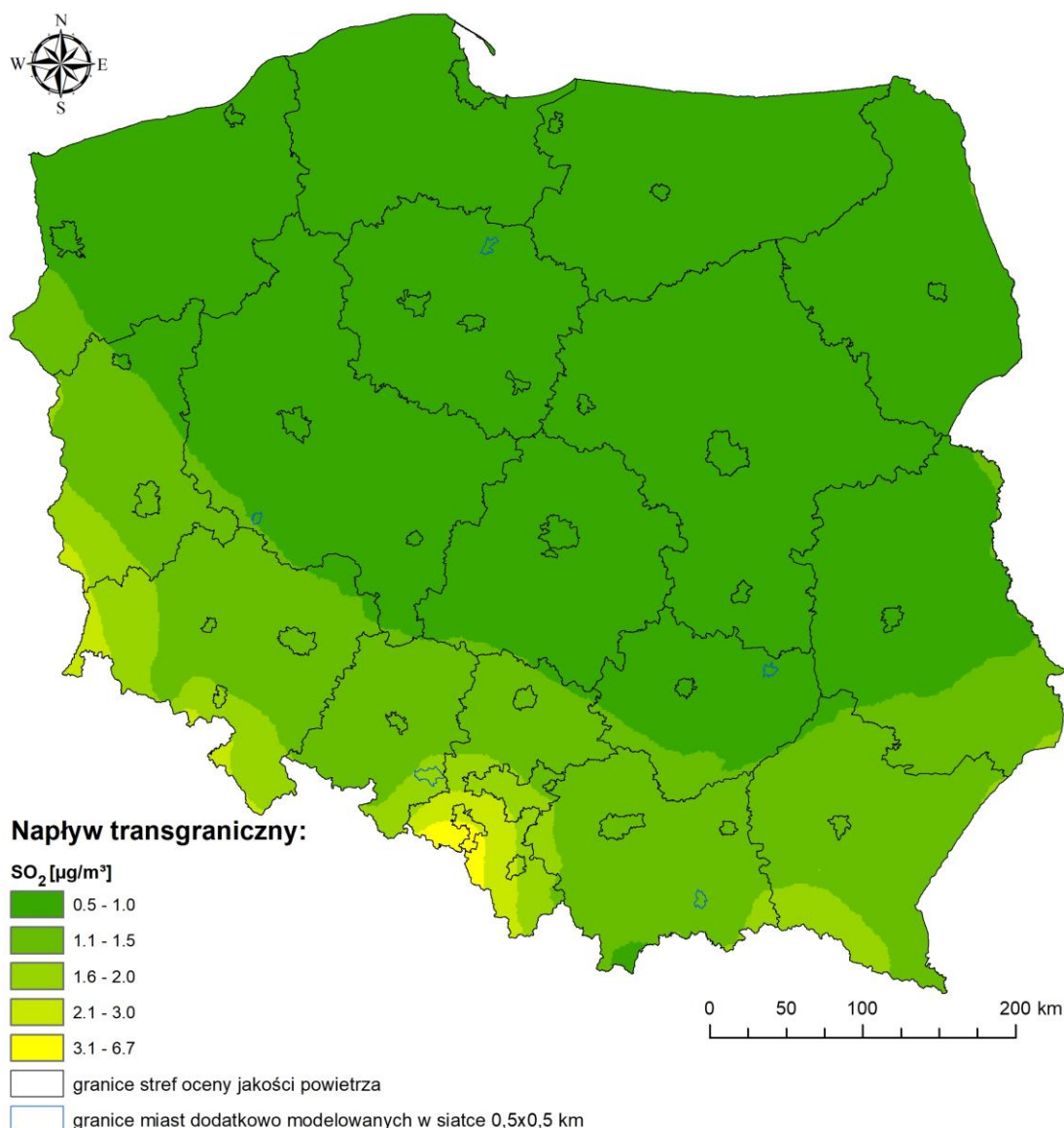
Udział transportu transgranicznego w stężeniach dwutlenku azotu na terenie kraju jest zdecydowanie najwyższy w województwach zachodnich (Rysunek 28). Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu sięgają do wartości powyżej 7,0 µg/m³ w województwie śląskim co stanowi około 41% wysokości stężeń występujących w danych punktach siatki. Najwyższy udział źródeł transgranicznych w stężeniach dwutlenku azotu wykazany został na obszarach powiatów województwa lubuskiego, dolnośląskiego i zachodniopomorskiego - nawet powyżej 60%. Widoczny jest również wpływ źródeł z terenu Czech na południową część województwa śląskiego. Stężenia dwutlenku azotu powstałe pod wpływem oddziaływania źródeł spoza kraju nie przyczyniają się jednak do występowania przekroczeń norm jakości powietrza. W punktach w których wystąpiło przekroczenie normy średniorocznej w Katowicach i aglomeracji Warszawskiej udział źródeł transgranicznych nie przekracza 6,3%. Najmniejszy udział źródeł transgranicznych występuje w aglomeracji warszawskiej - około 2%.



Rysunek 28. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).

Dwutlenek siarki

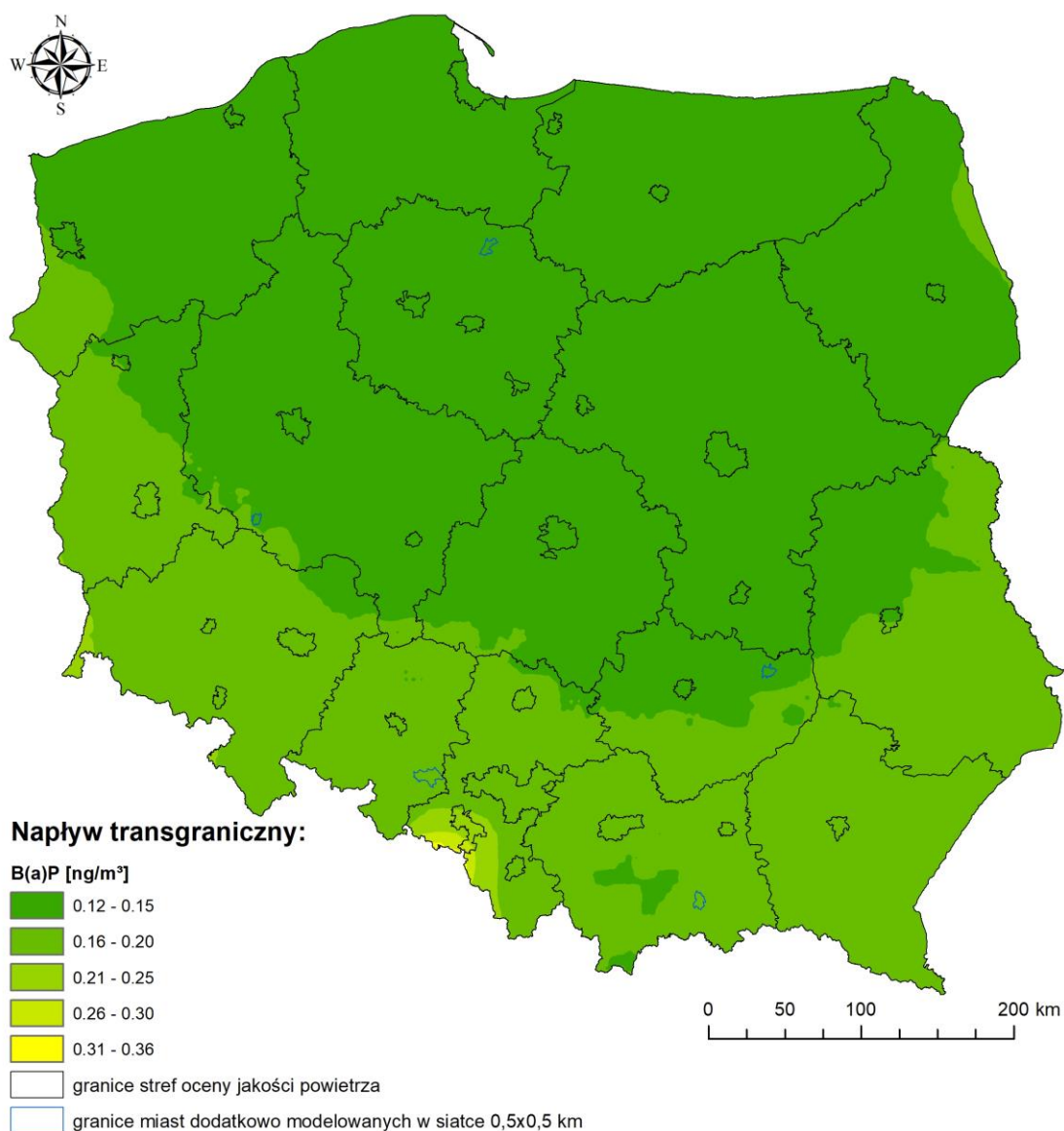
Stężenia dwutlenku siarki ze źródeł transgranicznych mają największy udział w stężeniach występujących na terenie województwa dolnośląskiego i lubuskiego, ponieważ sięgają nawet ponad 75% stężenia średniorocznego. Na terenie województwa śląskiego, gdzie wysokość stężeń ze źródeł transgranicznych wynosi ponad 5 µg/m³ (w gminach Gorzyce i Godów), ich udział w całościowym stężeniu wynosi 57-62%. Mają na to wpływ źródła punktowe znajdujące się w rejonie przemysłowym Czech (obszar kraju morawsko-śląskiego). W przypadku najwyższych stężeń średniorocznych dwutlenku siarki, które w ocenie krajowej występują na terenie aglomeracji górnośląskiej i Żywca udział źródeł transgranicznych wynosi jedynie 9-11%. W województwach południowych średni udział źródeł transgranicznych wynosi 33%.



Rysunek 29. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).

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 33% stężenia występującego w danym obszarze i zaznacza się głównie w województwie lubuskim (powiat żarski) i podkarpackim. Wysokość stężeń benzo(a)pirenu pochodzących z napływu ze źródeł spoza województwa sięga do 0,3 ng/m³ czyli 30% wartości stężenia docelowego (na terenie województwa śląskiego). Źródła transgraniczne nie stanowią o występowaniu obszarów przekroczeń stężeń benzo(a)pirenu na obszarze stref jakości powietrza w kraju.



Rysunek 30. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).

6. Analiza udziału poszczególnych źródeł emisji w kształtowaniu jakości powietrza w skali kraju

Analiza jakości powietrza w skali kraju i każdego województwa obejmowała również analizę przyczyn występowania wysokich stężeń i występowania przekroczeń poziomów normatywnych substancji. W analizie wykorzystane zostały wyniki modelowania wykonanego dla skali województw modelem CALPUFF, do którego wykorzystano aktualizowaną bazę emisyjną dla roku 2017. Baza emisyjna dla każdego województwa podzielona została na rodzaje źródeł, dla których określona została emisja każdej z substancji dla całego obszaru województwa. W ramach modelowania każdy rodzaj źródeł był modelowany w pakietach źródeł emisji, co pozwoliło na określenie udziału każdego z rodzajów źródeł emisji w stężeniu średniorocznym danej substancji w każdym punkcie siatki obliczeniowej, a także w punktach stacji pomiarowych.

Wielowymiarowy postprocesing wyników modelowania pozwolił na wskazanie wpływu poszczególnych źródeł emisji zlokalizowanych w danym województwie na jakość powietrza określoną jako procent udziału każdego ze źródeł w wielkości stężenia w danym punkcie obliczeniowym oraz wysokość stężenia średniorocznego danej substancji dla każdego ze źródeł. W skali każdej ze stref widoczne są stałe wpływy jednego rodzaju źródeł emisji w stężeniach, które stanowią dominujące źródło emisji.

Źródła, które zostały ujęte w analizie podzielono na:

- źródła emisji powierzchniowej - źródła dotyczące małych źródeł spalania z sektora komunalno-bytowego należące do kategorii SNAP02,
- źródła emisji liniowej - źródła dotyczące dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych i gminnych należące do kategorii SNAP07,
- źródła z rolnictwa - podzielone na źródła z upraw rolniczych i nawożenia pól oraz osobno źródła z hodowli należące do kategorii SNAP10,
- źródła niezorganizowane - źródła emisji z obszarów hałd, kopalni odkrywkowych i zakładów przeróbczych przemysłu wydobywczego należące do kategorii SNAP05,
- źródła punktowe - dotyczące źródeł przemysłowych, uwzględniające źródła należące do kategorii SNAP01, SNAP03, SNAP04, SNAP05, SNAP06, SNAP09,
- napływ (w tym napływ uwzględniający źródła transgraniczne na podstawie warunków brzegowych spoza obszaru kraju oraz źródła spoza danego województwa pochodzące z województw sąsiednich z pasa przyległego do województwa o szerokości 30 km).

Dla zanieczyszczeń pyłowych jak pył PM₁₀, pył PM_{2,5} dominujące źródło na wielu obszarach stanowi emisja powierzchniowa. Wartości stężeń średniorocznych dla źródeł powierzchniowych dla pyłu PM₁₀ osiągają wartość do 40 µg/m³, jednak nie przekraczają próg normy stężenia średniorocznego. Najwięcej obszarów w skali kraju posiada stężenia PM_{2,5} pochodzące ze źródeł powierzchniowych w zakresie od 10-24 µg/m³. W przypadku pyłu PM₁₀ stężenia średnioroczne pochodzące ze źródeł komunalno-bytowych są

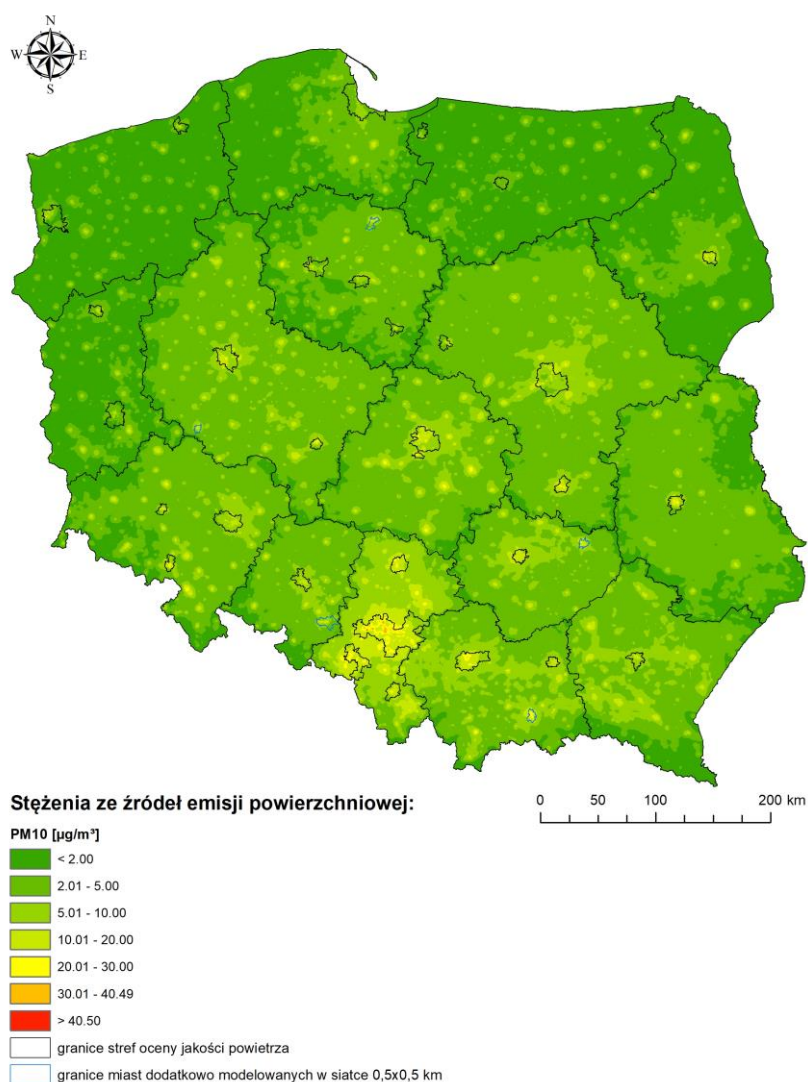
odpowiedzialne przeciętnie za stężenia rzędu 0,2 – 5,0 µg/m³ na obszarach nieurbanizowanych, natomiast w miastach lokalnie generują stężenia powyżej 20 µg/m³.

Dla benzo(a)pirenu źródła powierzchniowe to główne źródło występowania przekroczeń wartości docelowej. Źródła te występują we wszystkich obszarach zaliczonych do obszarów przekroczeń, dlatego też na ten rodzaj źródeł powinny być skierowane główne działania naprawcze celem ograniczenia emisji benzo(a)pirenu.

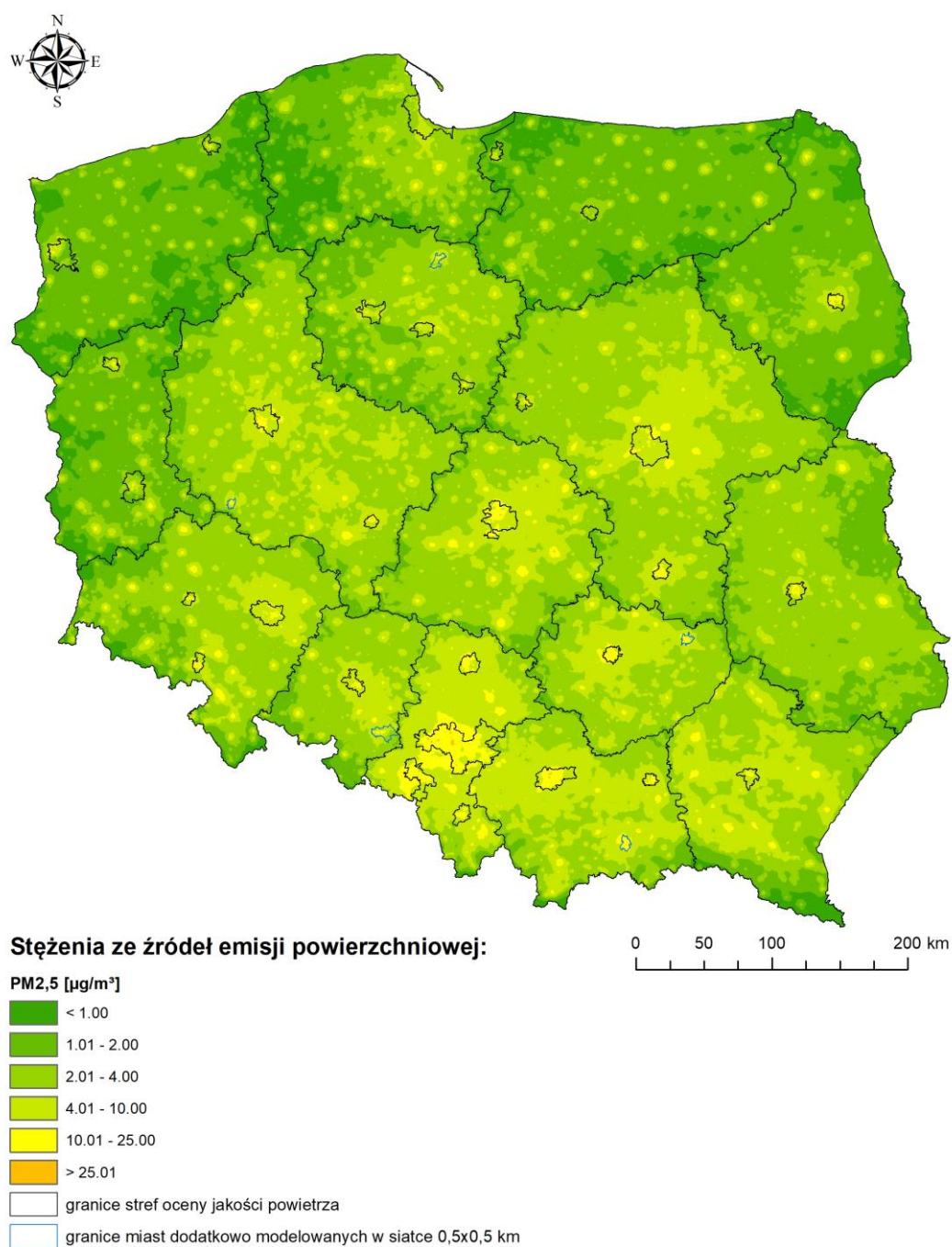
Źródła powierzchniowe w stężeniach dwutlenku azotu nie stanowią dominującego źródła i ich wielkość wynosi do 4,5 µg/m³ w obszarze aglomeracji krakowskiej i aglomeracji górnośląskiej. Najczęściej jednak w skali kraju wielkość stężeń średniorocznych dwutlenku azotu ze źródeł powierzchniowych nie przekracza 4 µg/m³.

W stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki źródła powierzchniowe maksymalnie osiągają wartość 13 µg/m³ w województwie śląskim.

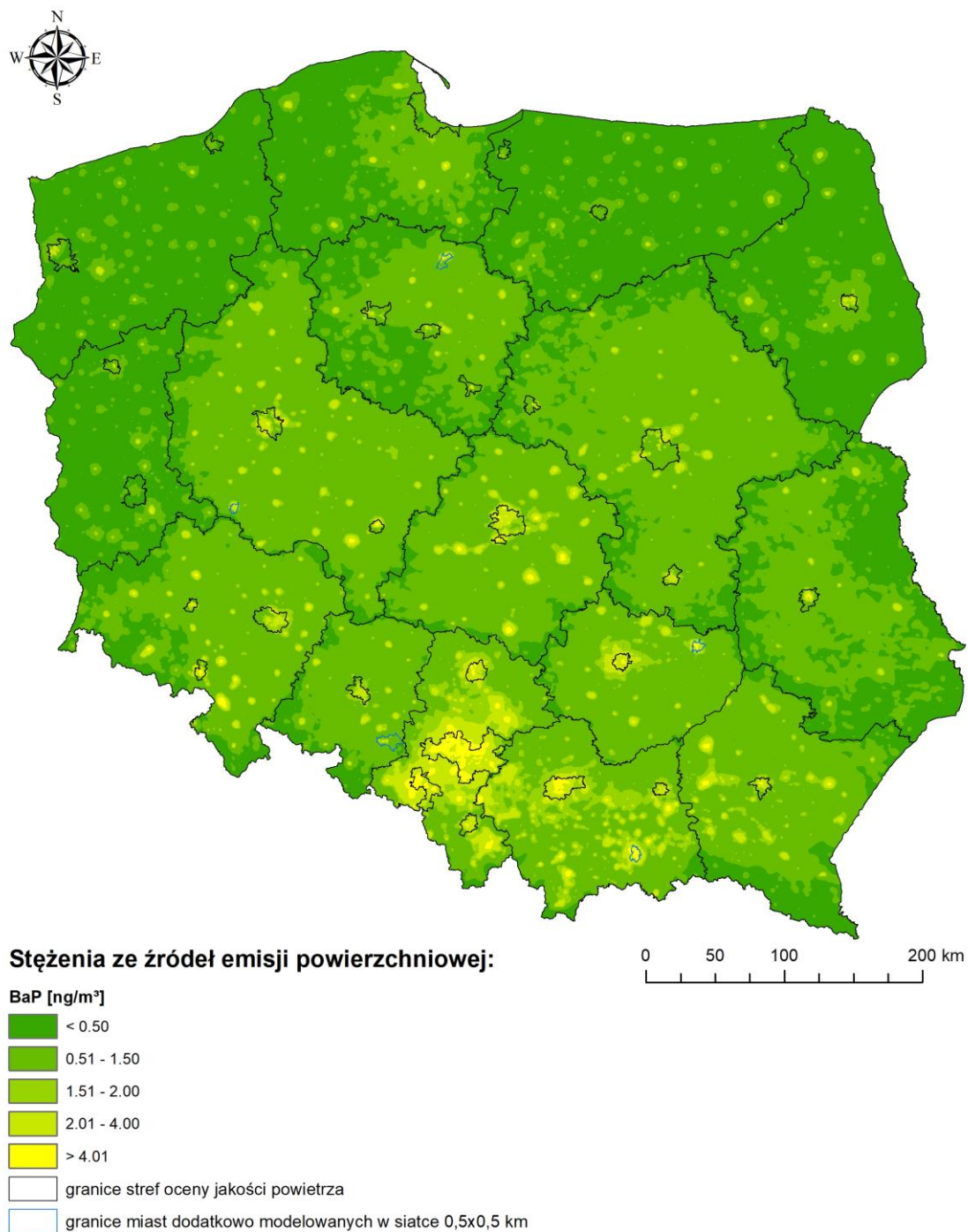
Rozkład stężeń pochodzących ze źródeł powierzchniowych został przedstawiony w skali kraju jako mapa złożona z danych dla każdego województwa osobno.



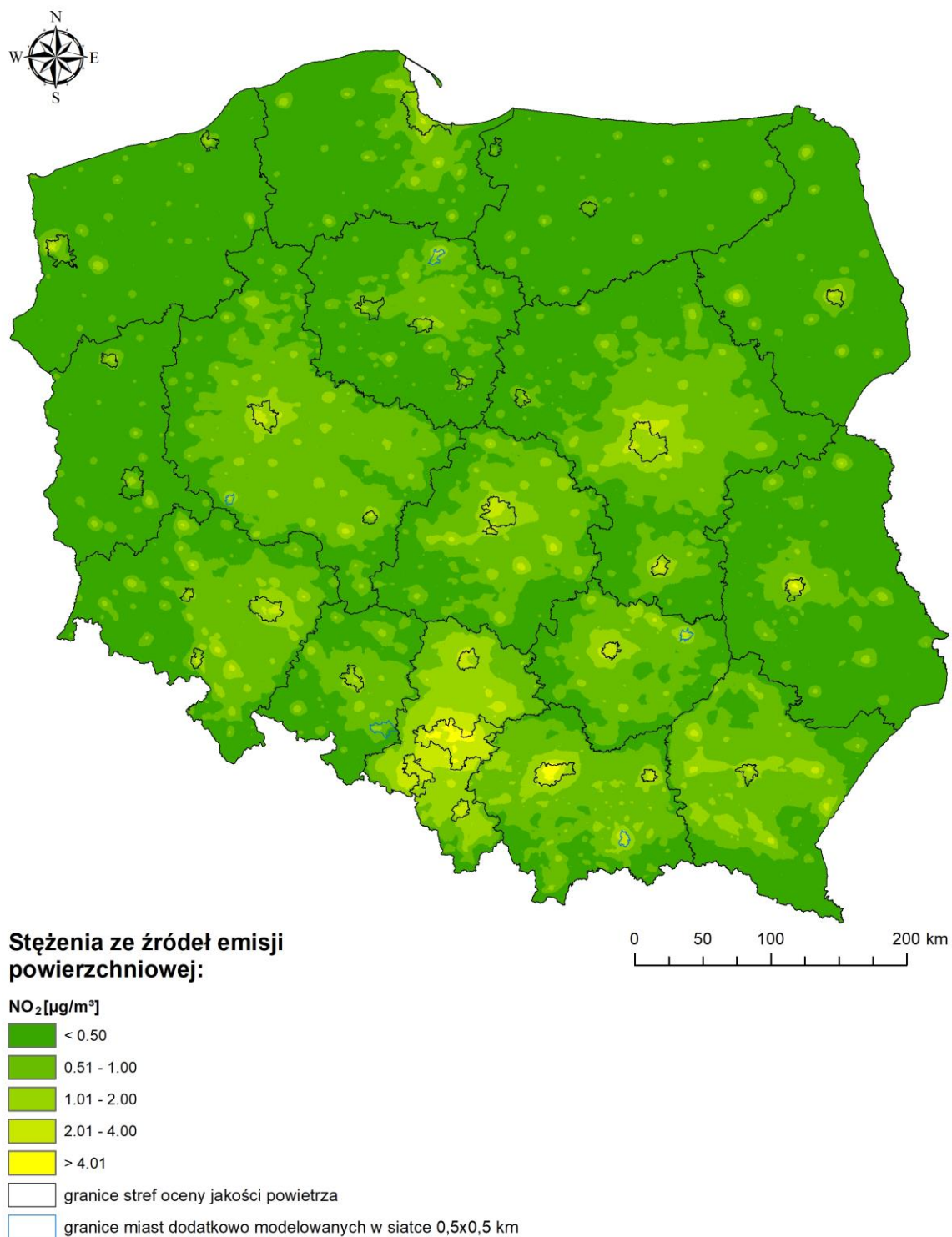
Rysunek 31. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ dla 2017 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



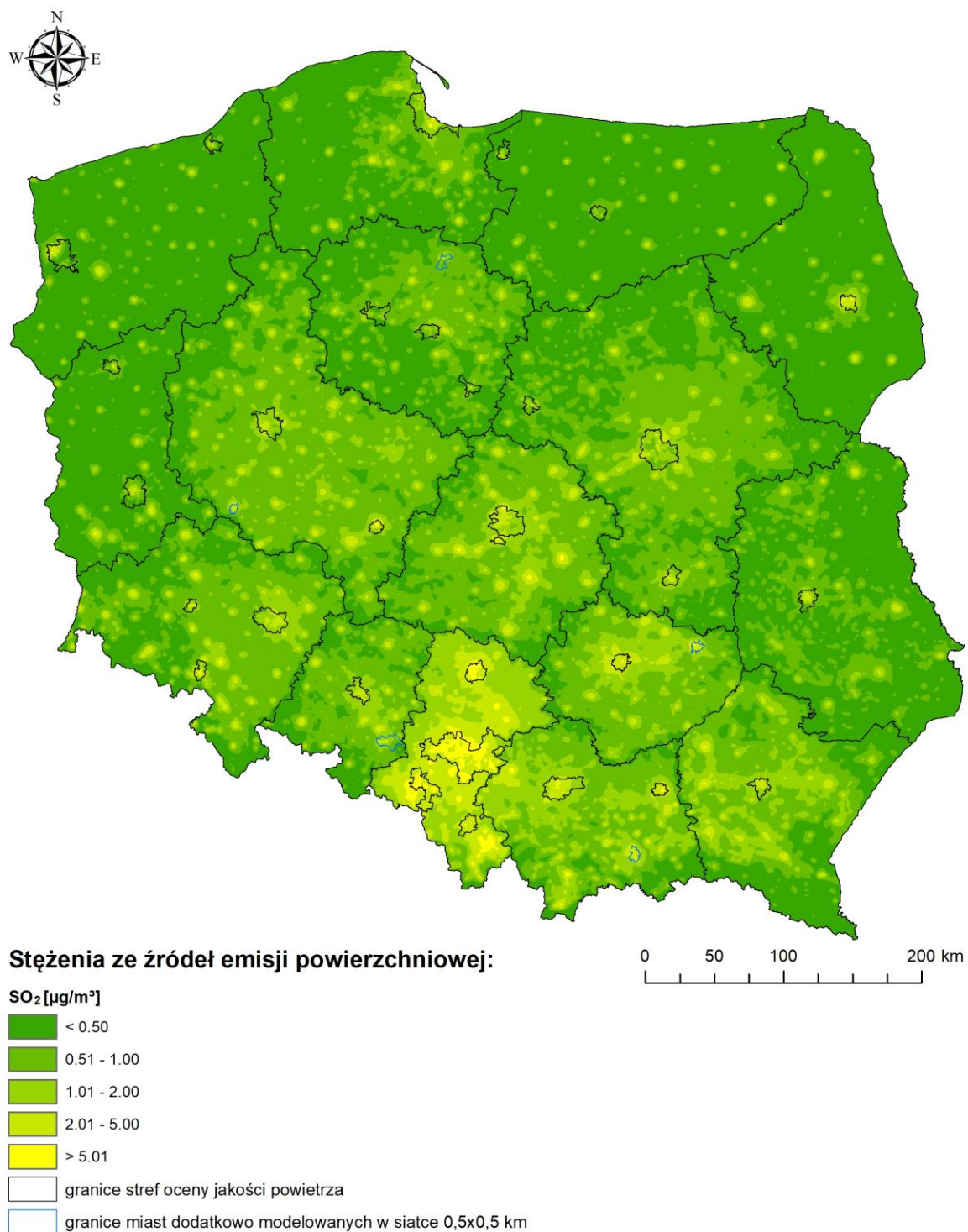
Rysunek 32. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2017 roku ze źródeł emisji powierzchniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 33. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu dla 2017 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 34. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 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 35. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2017 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).

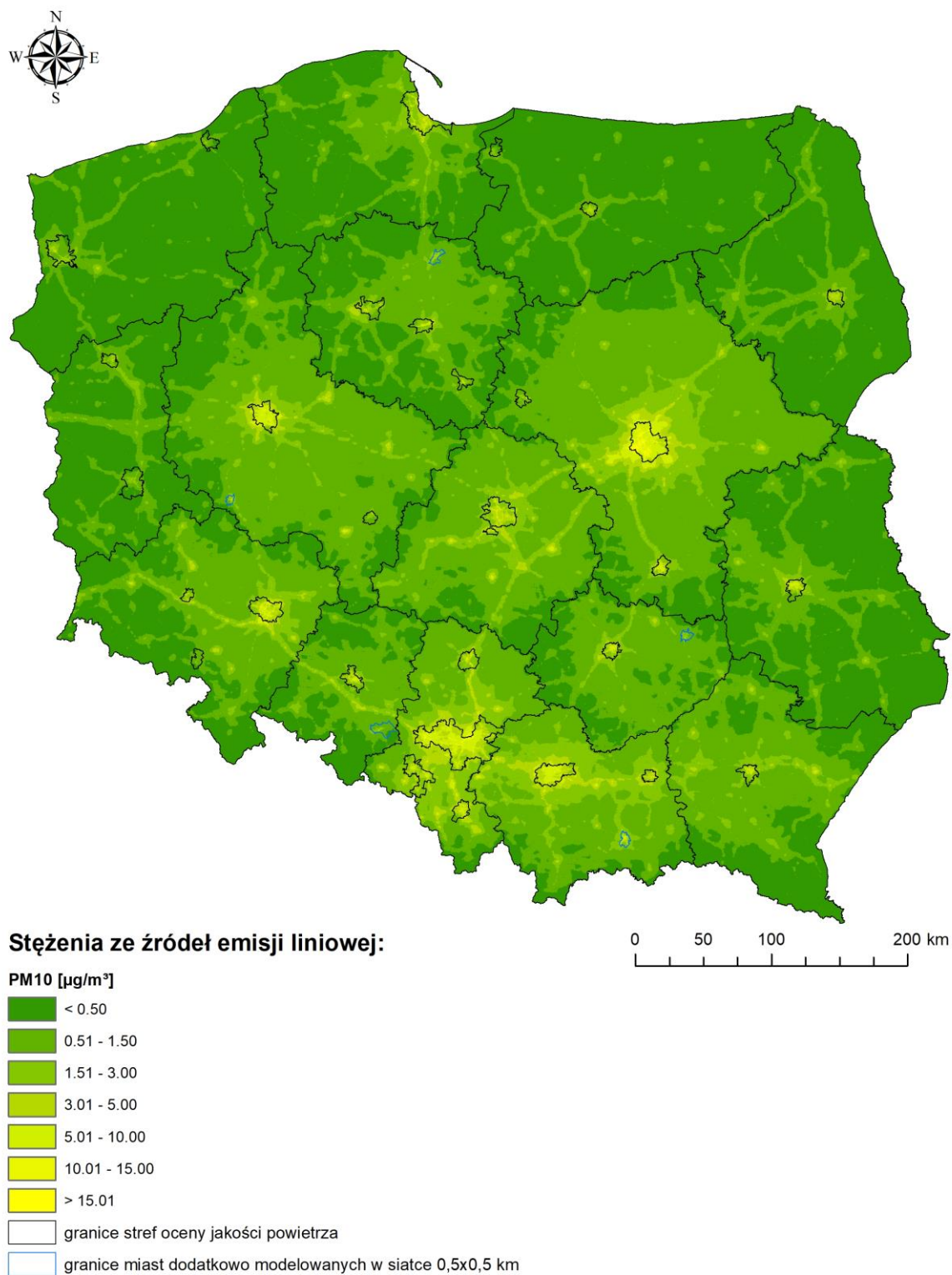
Źródła emisji liniowej mogą stanowić nawet ponad 50% wartości stężenia dopuszczalnego dla pyłu PM₁₀, gdy w aglomeracji warszawskiej osiągają wartość ponad 20 µg/m³ (maksymalnie 30,7 µg/m³). Najwyższe stężenia z tego rodzaju źródeł występują w aglomeracjach górnośląskiej i warszawskiej. Pozostałe miasta również mają oddziaływanie źródeł emisji liniowej, ale nie są to wartości znaczące, przyczyniające się do przekroczeń wartości dopuszczalnych. Najwyższy udział źródeł emisji liniowej w stężeniach występujących na danym obszarze wyniósł w województwie mazowieckim ponad 60%.

Na niższym poziomie określone zostały wartości stężeń dla pyłu PM_{2,5} ze źródeł liniowych, gdzie maksymalne wartości osiągają wysokość 9,9 µg/m³. Średni udział w stężeniach dla wartości maksymalnych stężeń wynosi około 35%. Średni udział źródeł liniowych w obszarach przekroczeń stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5} wynosi około 6%. Maksymalny udział źródeł liniowych w stężeniach wyniósł 39% w województwie mazowieckim.

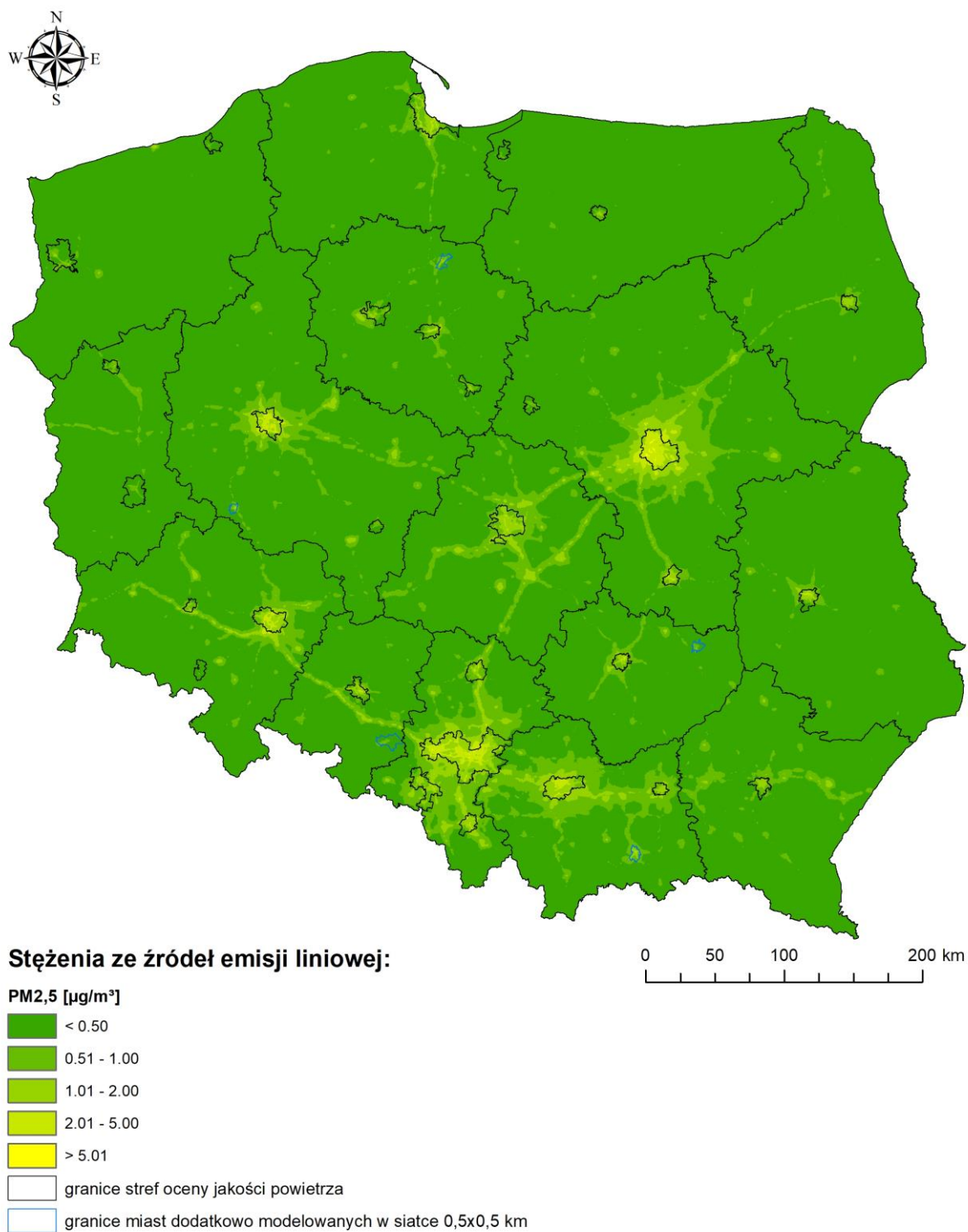
Natomiast stężenia dwutlenku azotu zależą głównie od funkcjonowania źródeł liniowych, przez co udział tych źródeł w stężeniu całkowitym jest znaczący. Źródła te odpowiadają za występowanie przekroczeń w aglomeracji górnośląskiej, wrocławskiej, krakowskiej i warszawskiej. Najwyższe stężenia występują w miastach, gdzie ruch jest wzmożony i źródła emisji są skumulowane. Wartości powyżej 30 µg/m³ występują również w województwie wielkopolskim, co średnio odpowiada 85% wartości stężenia występującego w tych punktach. Udział źródeł liniowych w stężeniu dwutlenku azotu powyżej 90% został ujęty tylko w kilku punktach województwa wielkopolskiego i mazowieckiego.

Źródła liniowe nie mają wpływu na wysokość stężeń benzo(a)pirenu, a najwyższy udział tych źródeł wynosi 10% w kilku punktach województwa dolnośląskiego. Najwyższe wartości benzo(a)pirenu sięgają 0,53 ng/m³, czyli nie przekracza wartości docelowej dla benzo(a)pirenu.

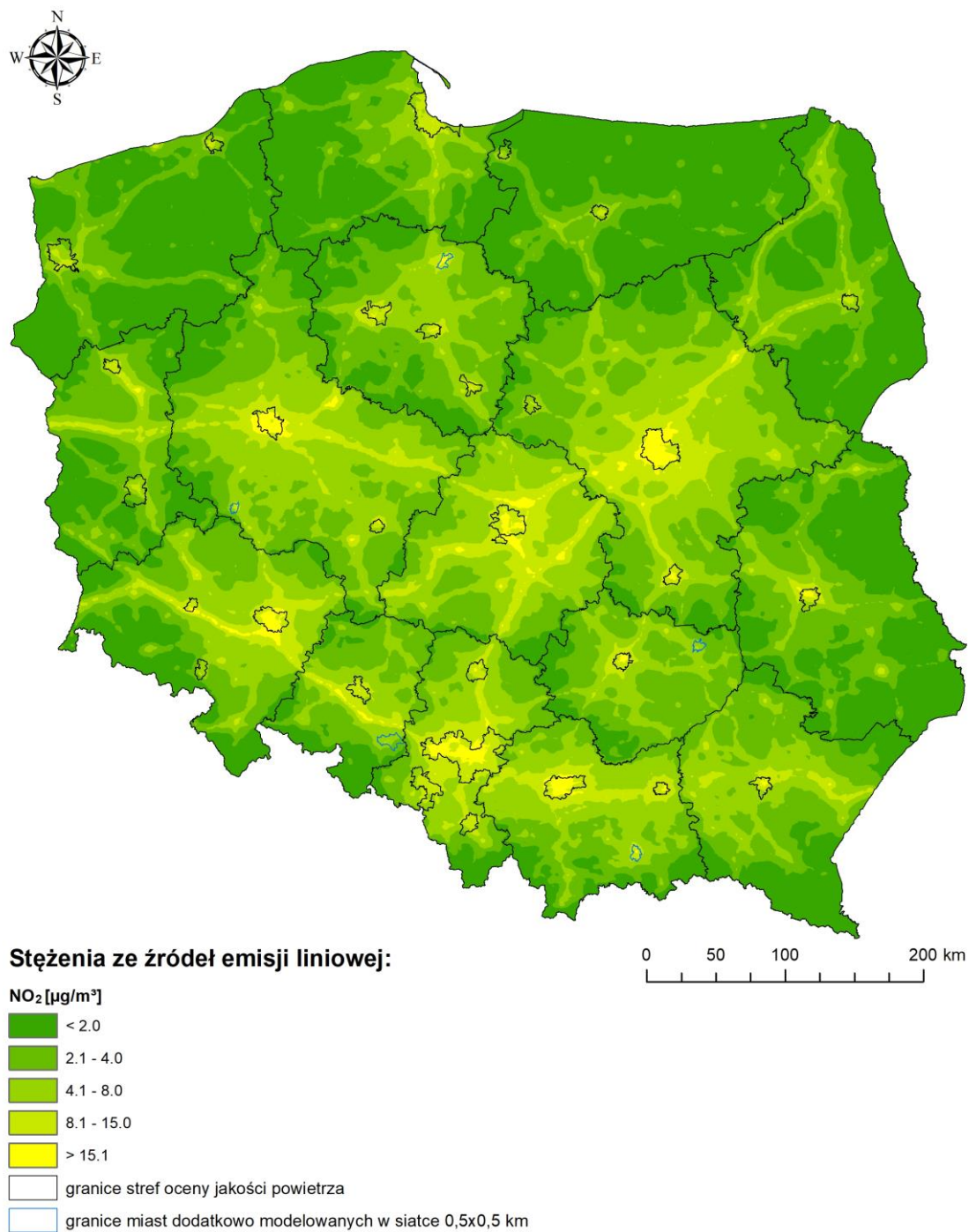
Natomiast wysokość stężeń dwutlenku siarki jest znikoma i sięga maksymalnie 0,24 µg/m³ w województwie śląskim i mazowieckim. Maksymalny udział źródeł liniowych w stężeniu wynosi nieco ponad 5% w województwach mazowieckim, dolnośląskim, wielkopolskim i pomorskim.



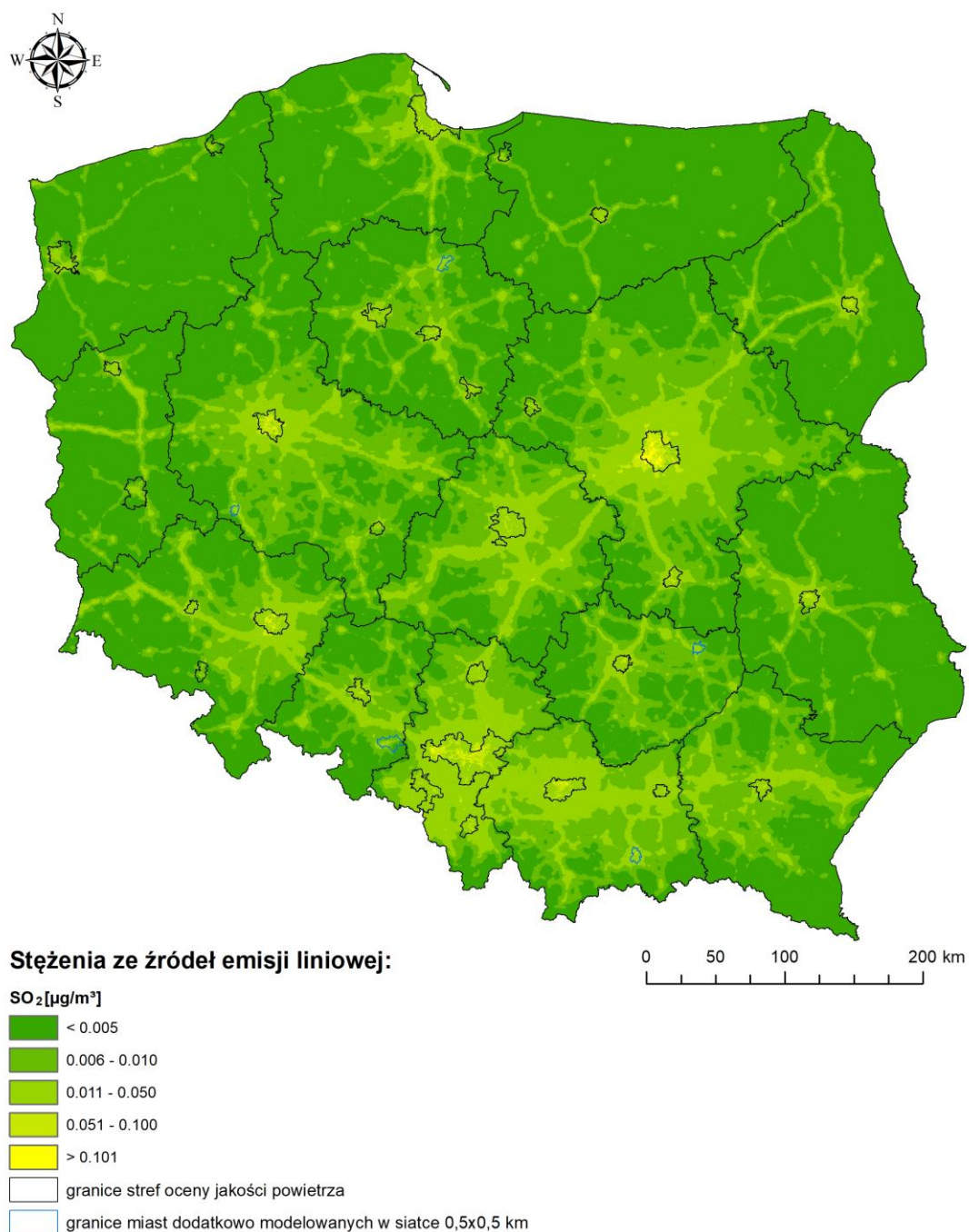
Rysunek 36. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ dla 2017 roku ze źródeł emisji liniowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 37. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2017 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 38. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 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 39. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2017 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).

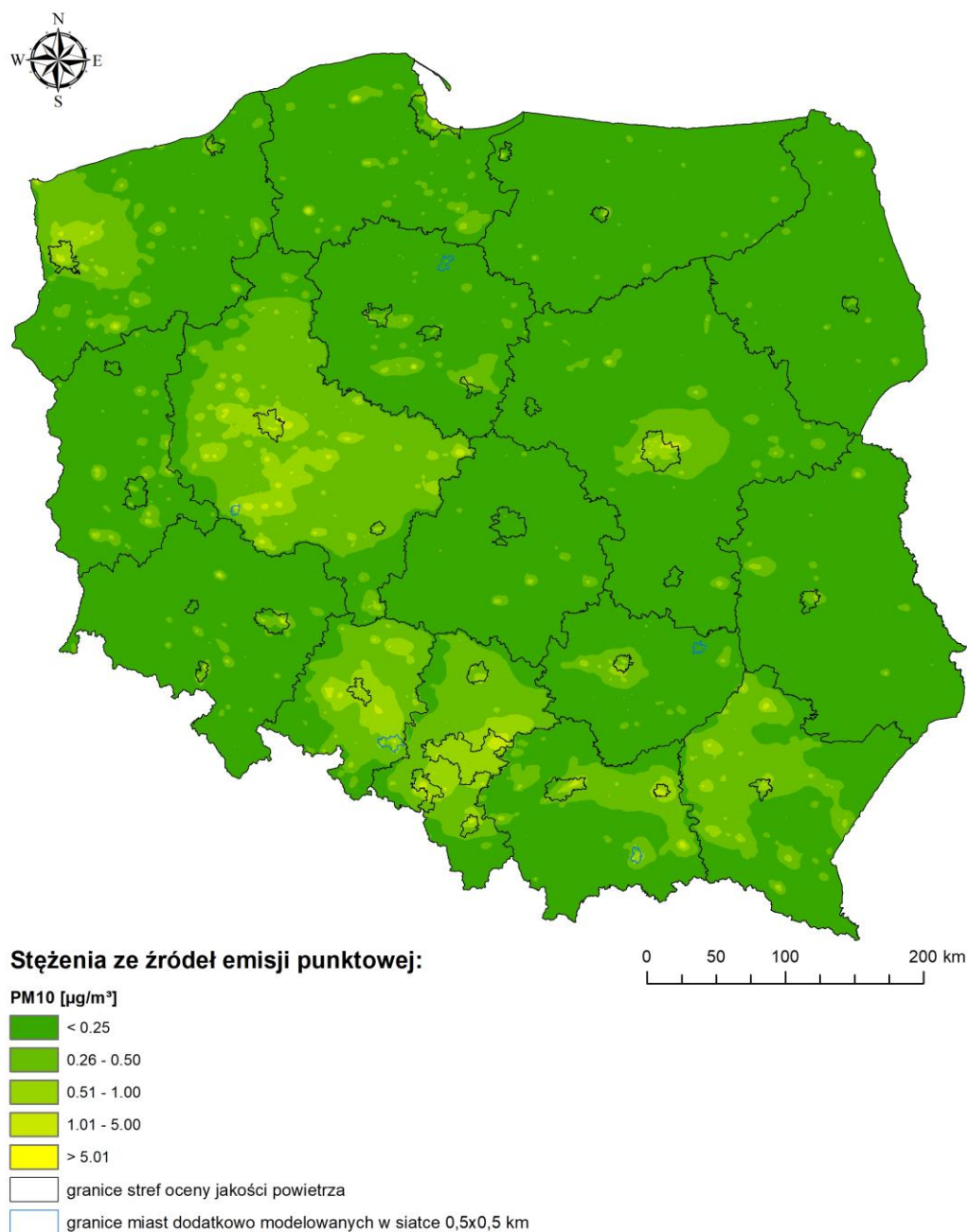
Źródła punktowe mają stosunkowo mały udział w stężeniach pyłu PM₁₀. Wartości maksymalne stężeń ze źródeł punktowych występują w województwie dolnośląskim i śląskim i wynoszą około 7,3 µg/m³. Średni udział źródeł punktowych w obszarach występowania przekroczeń stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ wynosi około 1,6%, co jest równoznaczne z tym, że źródła te nie są odpowiedzialne za występowanie przekroczeń. Maksymalny udział źródeł punktowych w stężeniach średniorocznych PM₁₀ wynosi 29% w województwie dolnośląskim (jednak lokalizacja). Najniższe wartości udziału źródeł punktowych poniżej 0,5% występują w każdym województwie.

Udział źródeł punktowych w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} maksymalnie sięga 23% w kilku lokalizacjach w województwie śląskim, dolnośląskim, małopolskim i pomorskim. Wartości stężeń w tych punktach sięgają od 3 do 5,6 µg/m³. Wartości te stanowią również maksymalne wartości stężeń PM_{2,5} ze źródeł punktowych na terenie kraju.

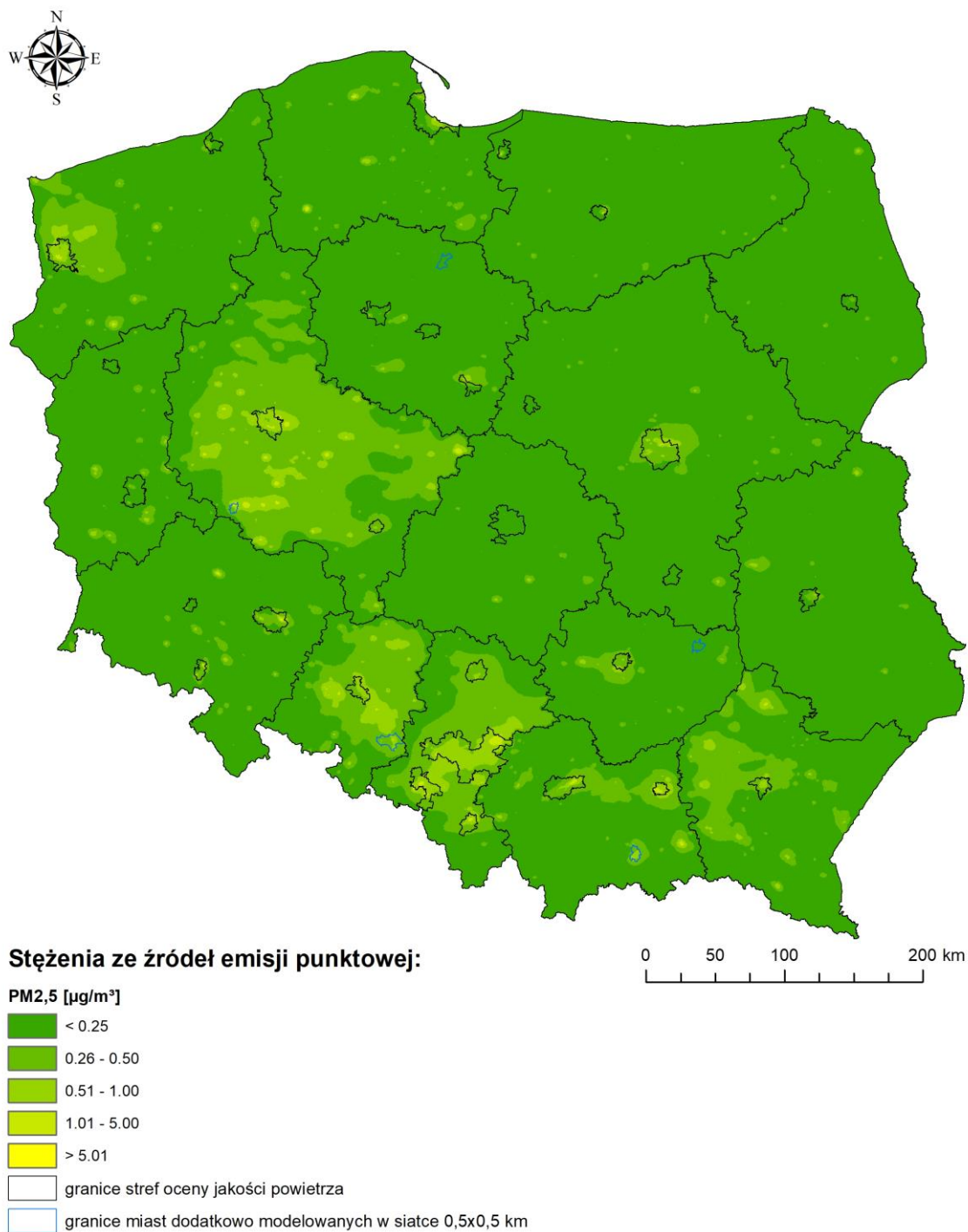
Dwutlenek azotu pochodzący ze źródeł punktowych największy udział w stężeniach powyżej 25% wskazany został w województwach opolskim, dolnośląskim i śląskim. Wartości stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w tych punktach wynoszą od 7 do 18 µg/m³, czyli nie znajdują się w obszarze przekroczeń. Maksymalne wartości stężeń dwutlenku azotu ze źródeł punktowych osiągają wartość nieco ponad 5 µg/m³ na terenie województwa śląskiego, co stanowi około 12% wartości dopuszczalnej.

Dwutlenek siarki pochodzący ze źródeł punktowych ma największy wpływ na stężenia średnioroczne w województwie zachodniopomorskim, gdzie udział dochodzi do ponad 70%. Pomimo tak dużego udziału wysokość stężeń nie przekracza 7 µg/m³, co stanowi około 35% wartości docelowej. Najwyższe stężenie średnioroczne ze źródeł punktowych wyniosło 8 µg/m³ w województwie śląskim, co stanowiło około 66% stężenia średniorocznego dwutlenku siarki w danej lokalizacji. Najniższy udział źródeł punktowych na poziomie 4% został oznaczony w województwie dolnośląskim.

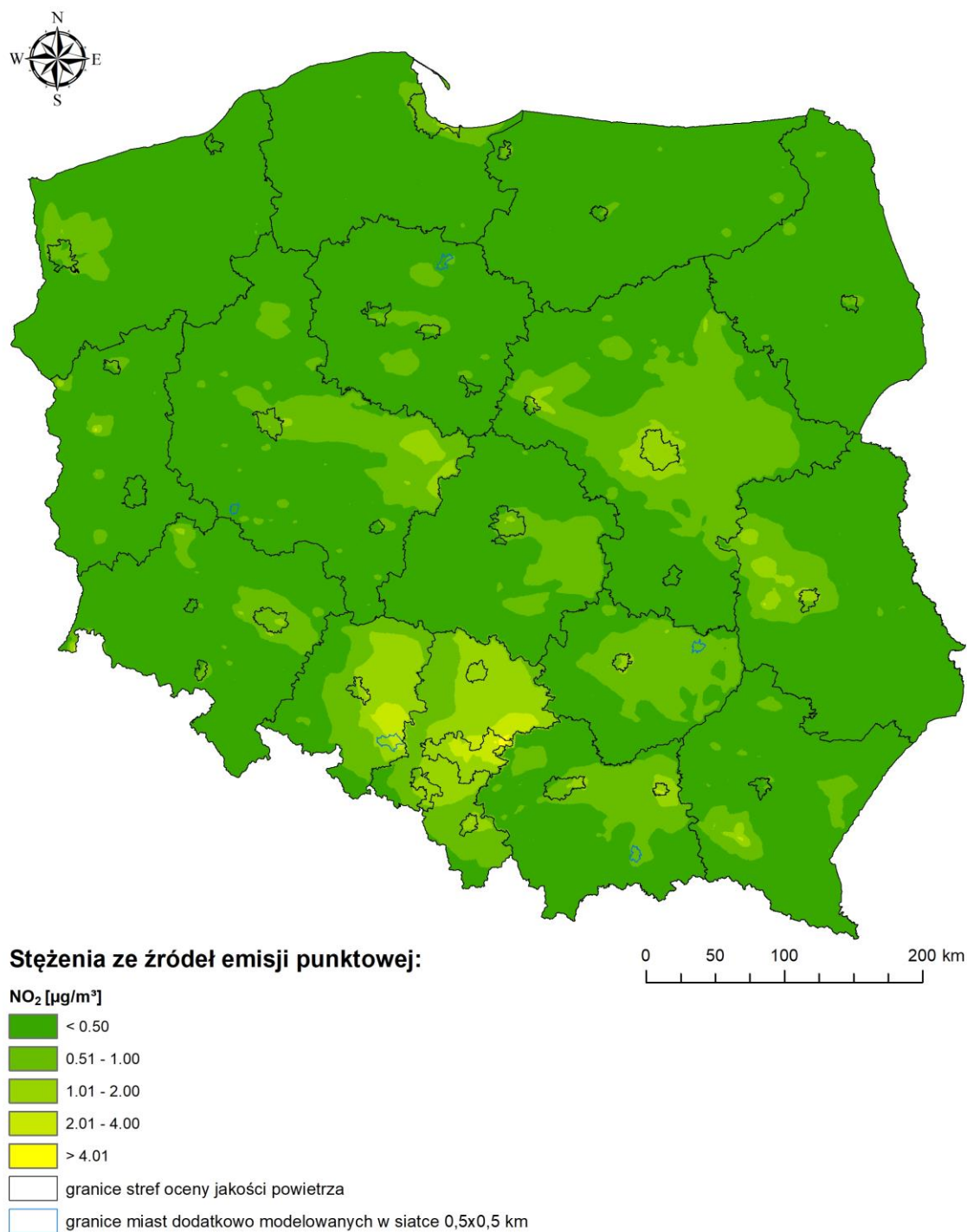
Benzo(a)piren emitowany ze źródeł punktowych odpowiada za wysokość stężeń bardzo lokalnie: w województwie lubelskim, lubuskim, zachodniopomorskim, wielkopolskim, pomorskim, podkarpackim, opolskim, małopolskim i śląskim. Maksymalne wartości stężeń sięgające nawet 5 ng/m³ zlokalizowane zostały w województwie małopolskim, trzeba mieć jednak na uwadze, że źródła punktowe mogą posiadać tak wysokie stężenia substancji na obszarze znajdującym się na terenie własności podmiotu gospodarczego, a wynik modelowania może odzwierciedlać wielkość emisji aniżeli immisji w punkcie emitora przemysłowego.



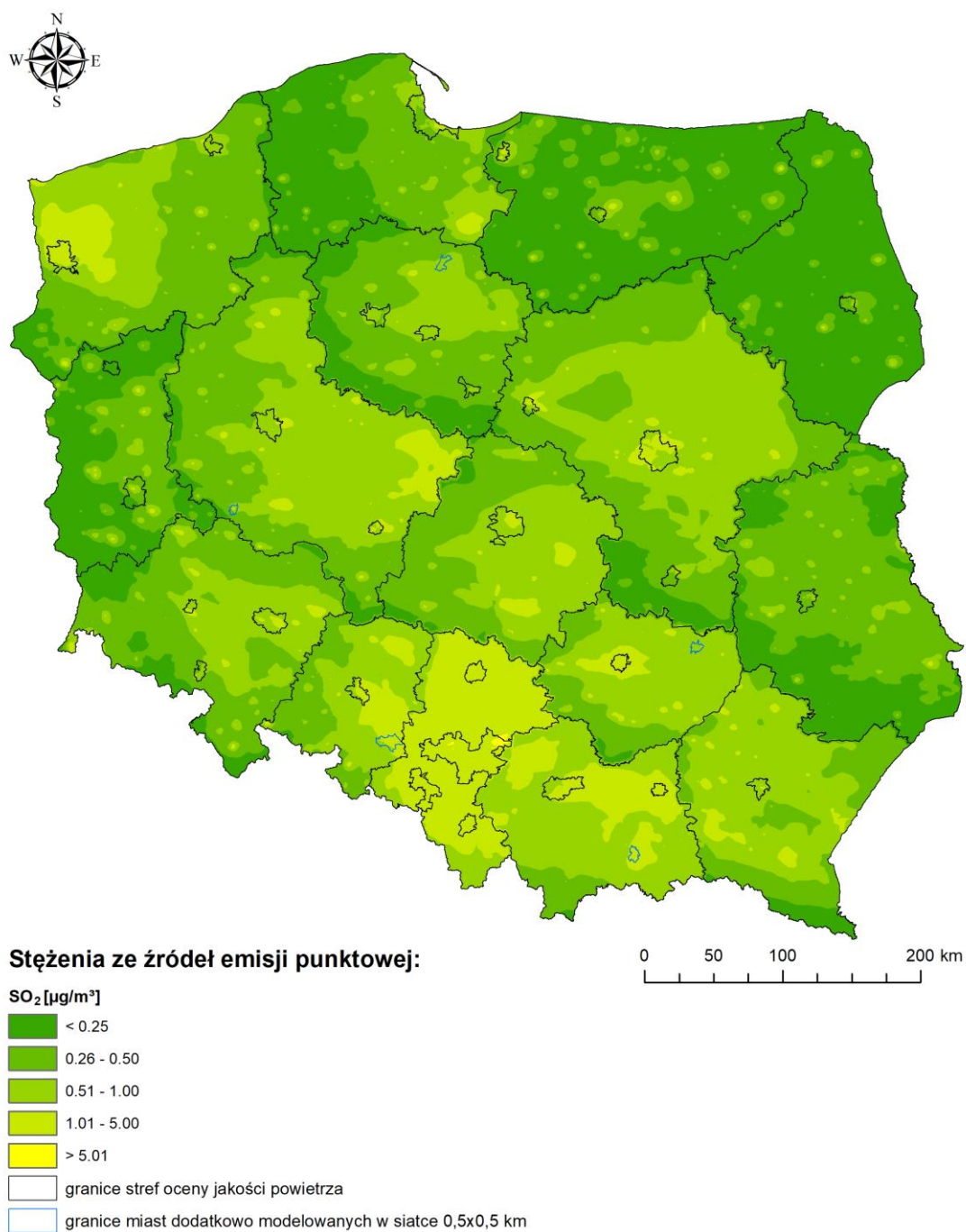
Rysunek 40. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ dla 2017 roku ze źródeł emisji punktowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



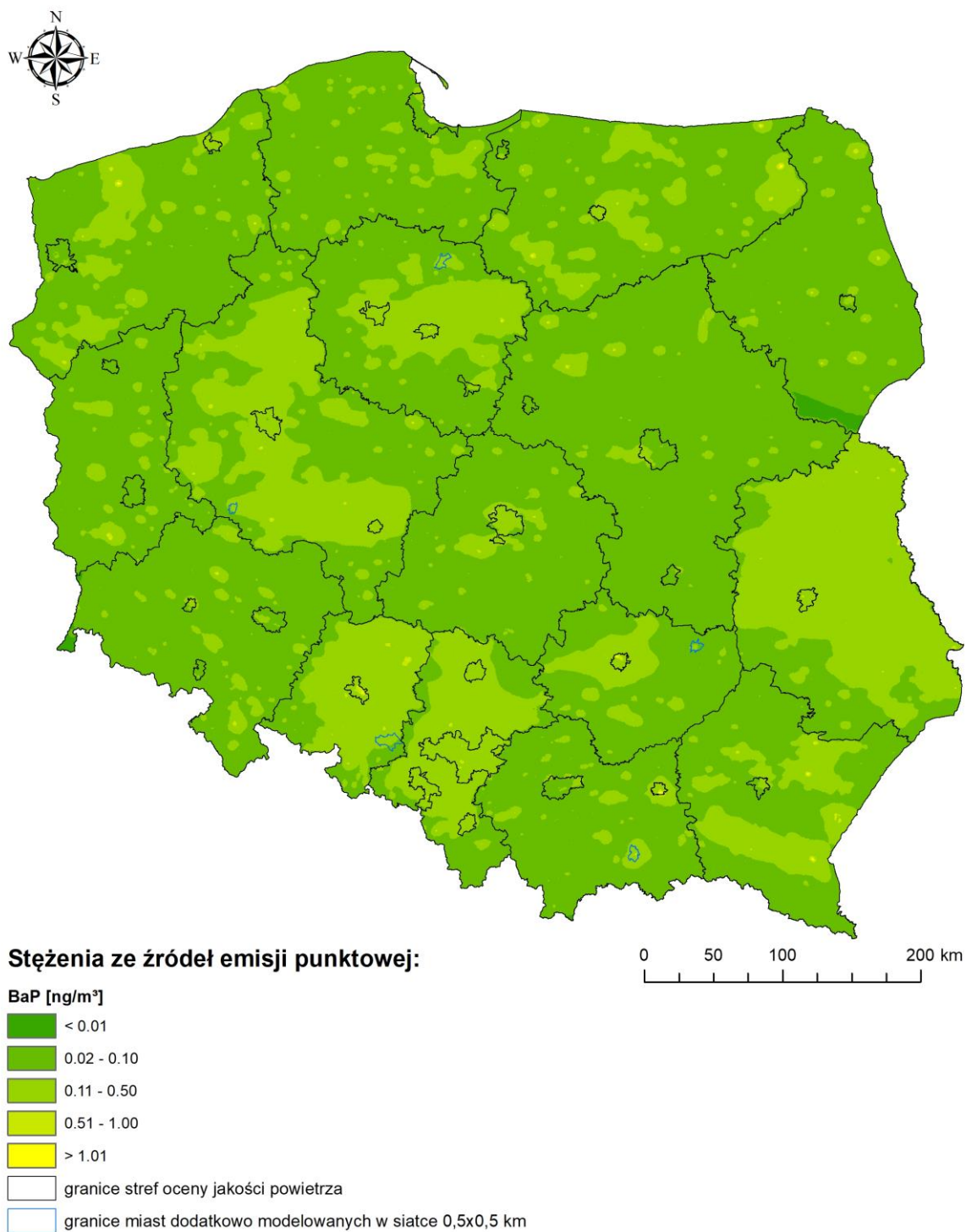
Rysunek 41. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2017 roku ze źródeł emisji punktowej (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 42. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2016 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).



Rysunek 43. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2017 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).



Rysunek 44. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu dla 2017 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).

Źródła emisji z rolnictwa, w które wchodzi zarówno hodowla, jak i uprawy mają znikomy udział w stężeniach i mają oddziaływanie bardzo lokalne.

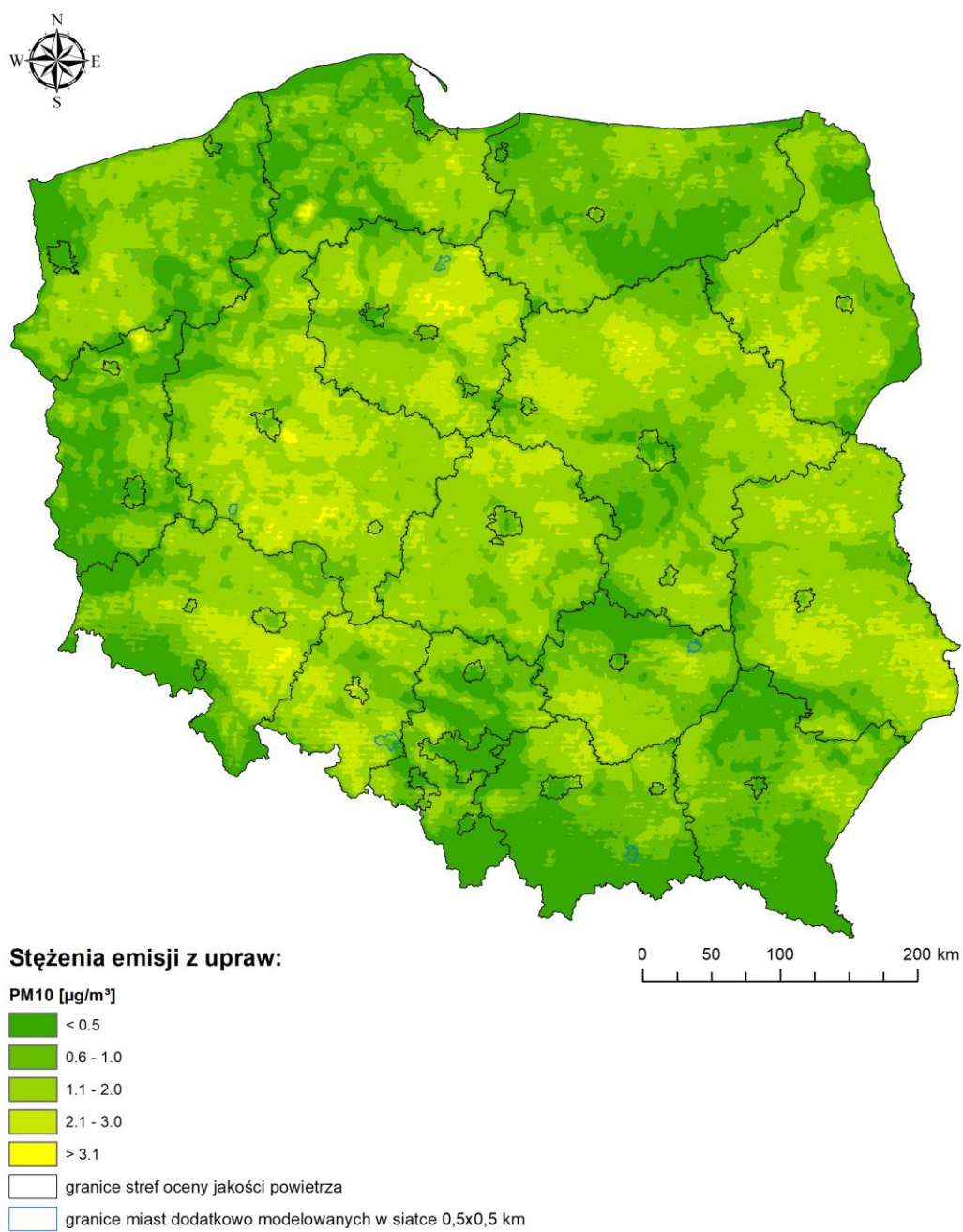
Maksymalne udziały hodowli na wysokość stężeń pyłu PM₁₀ sięga 40% w województwach mazowieckim, wielkopolskim, podlaskim i zachodniopomorskim. Wysokość stężeń w tych lokalizacjach wynosi średnio 15 µg/m³. Maksymalne stężenie z hodowli wyniosło 25 µg/m³ w województwie wielkopolskim, co stanowiło około 49% stężenia średniorocznego pyłu PM₁₀. Odnosnie upraw maksymalna wielkość stężenia wyniosła około 5 µg/m³ w województwie wielkopolskim, co stanowiło około 23% stężenia średniorocznego w danym punkcie. Udział hodowli w stężeniach na obszarach przekroczeń wynosi średnio około 0,5%, natomiast udział upraw sięga zaledwie 0,9%.

Udział źródeł z hodowli w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} nie przekracza 4,5% i występuje w maksymalnie w województwie wielkopolskim, zachodniopomorskim i mazowieckim. Wysokość stężeń w tych obszarach wynosi średnio około 0,4 µg/m³. Uprawy maksymalnie wpływają na wysokość stężeń średniorocznych w województwie pomorskim i nie przekracza 15% stężenia. Średni udział upraw w obszarach przekroczeń dla pyłu PM_{2,5} nie przekracza 0,7%, natomiast hodowli niespełna 0,01%, czyli ich wpływ jest marginalny.

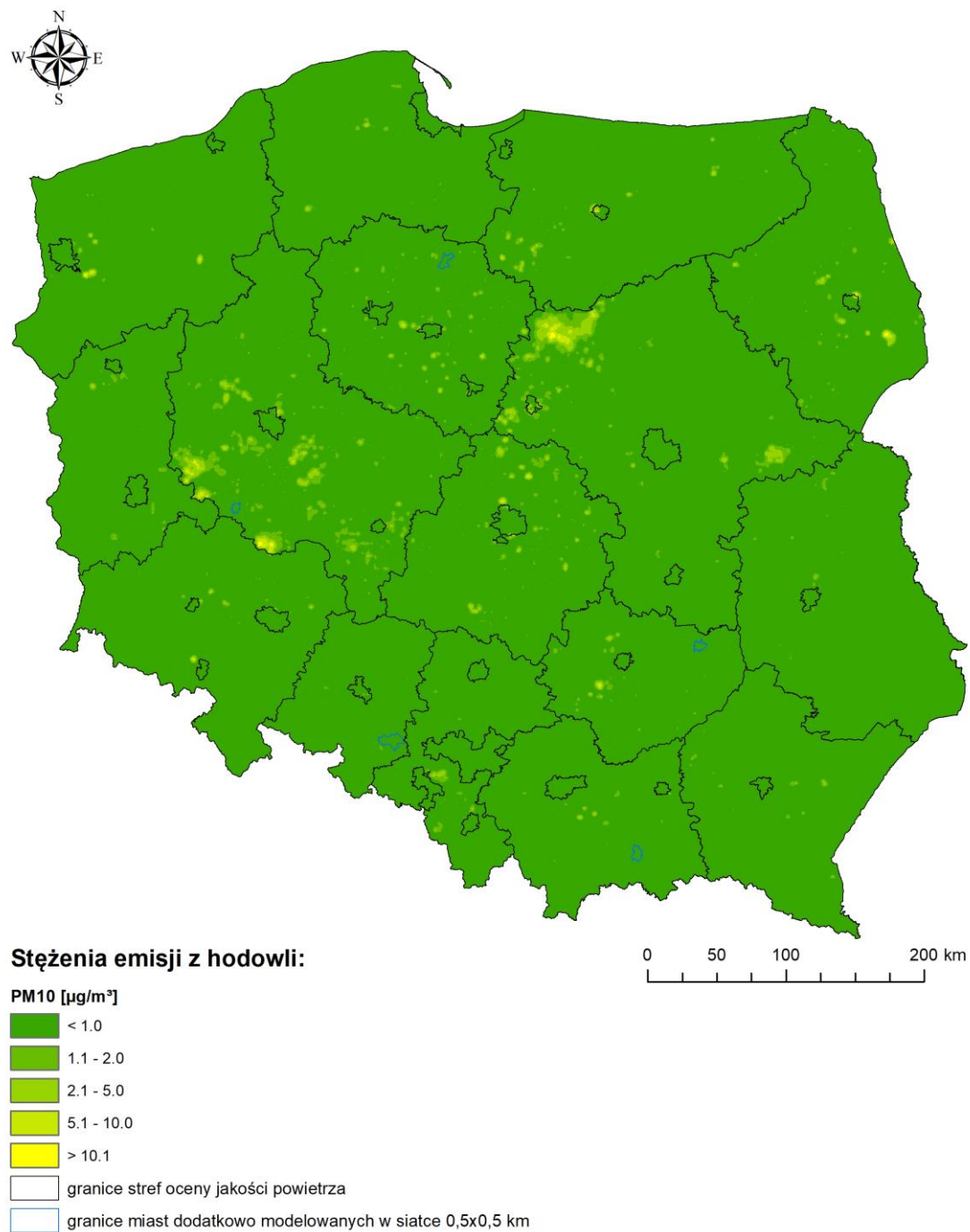
Emisja dwutlenku azotu z upraw pochodzi głównie z maszyn roboczych oraz nawożenia obszarów upraw. Dwutlenek azotu jest substancją, na którego stężenie w powietrzu hodowla ma maksymalny wpływ na poziomie 15% na terenie województwa zachodniopomorskiego, przy czym stężenia średnioroczne nie przekraczają 5 µg/m³. Udział upraw nie przekracza 5% w stężeniu średniorocznym. Wysokość stężeń pochodzących z hodowli nie przekracza poziomu 0,9 µg/m³, natomiast wysokość stężeń z upraw nie przekracza poziomu 0,5 µg/m³.

Stężenia dwutlenku siarki nie są w żaden sposób zależne od emisji z hodowli, natomiast emisja z upraw poprzez używanie maszyn roboczych wpływa jedynie w 0,1% na wysokość stężeń, dlatego też ten rodzaj źródeł nie ma praktycznie żadnego wpływu na wysokość stężeń dwutlenku siarki.

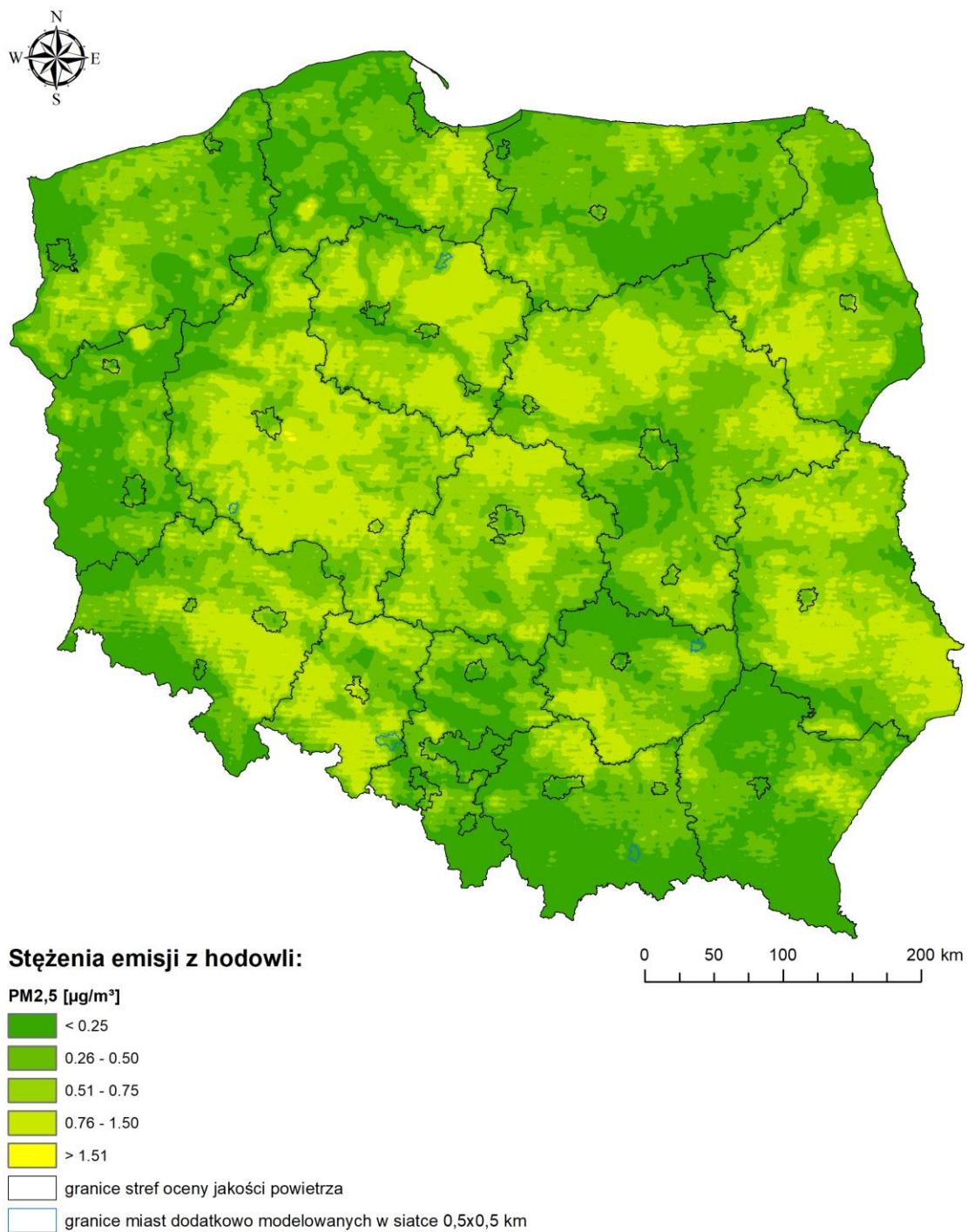
Źródła związane z hodowlą zlokalizowane są bardzo lokalnie, co widoczne jest również w wysokości stężeń z tego rodzaju działalności.



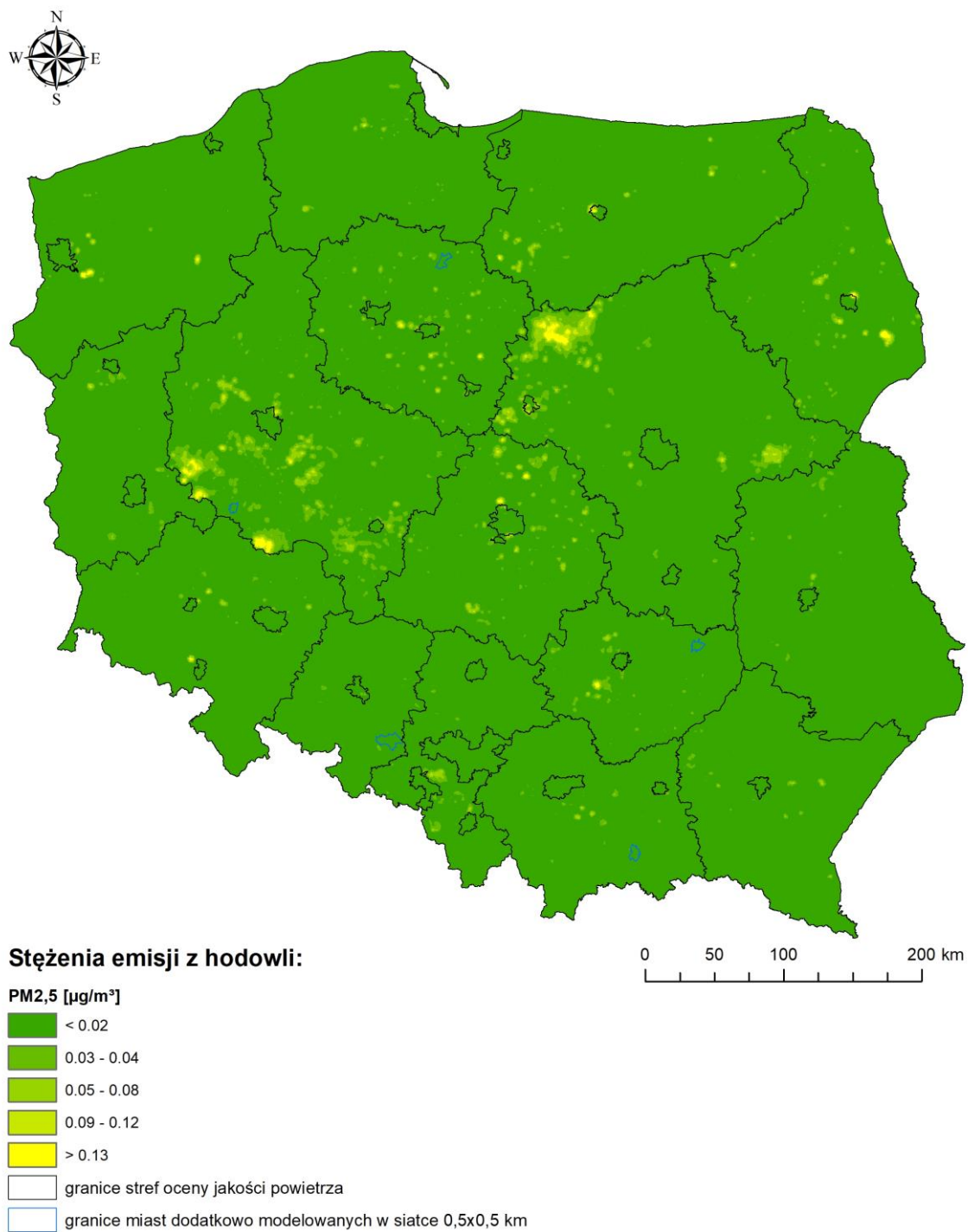
Rysunek 45. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ dla 2017 roku ze źródeł z upraw (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



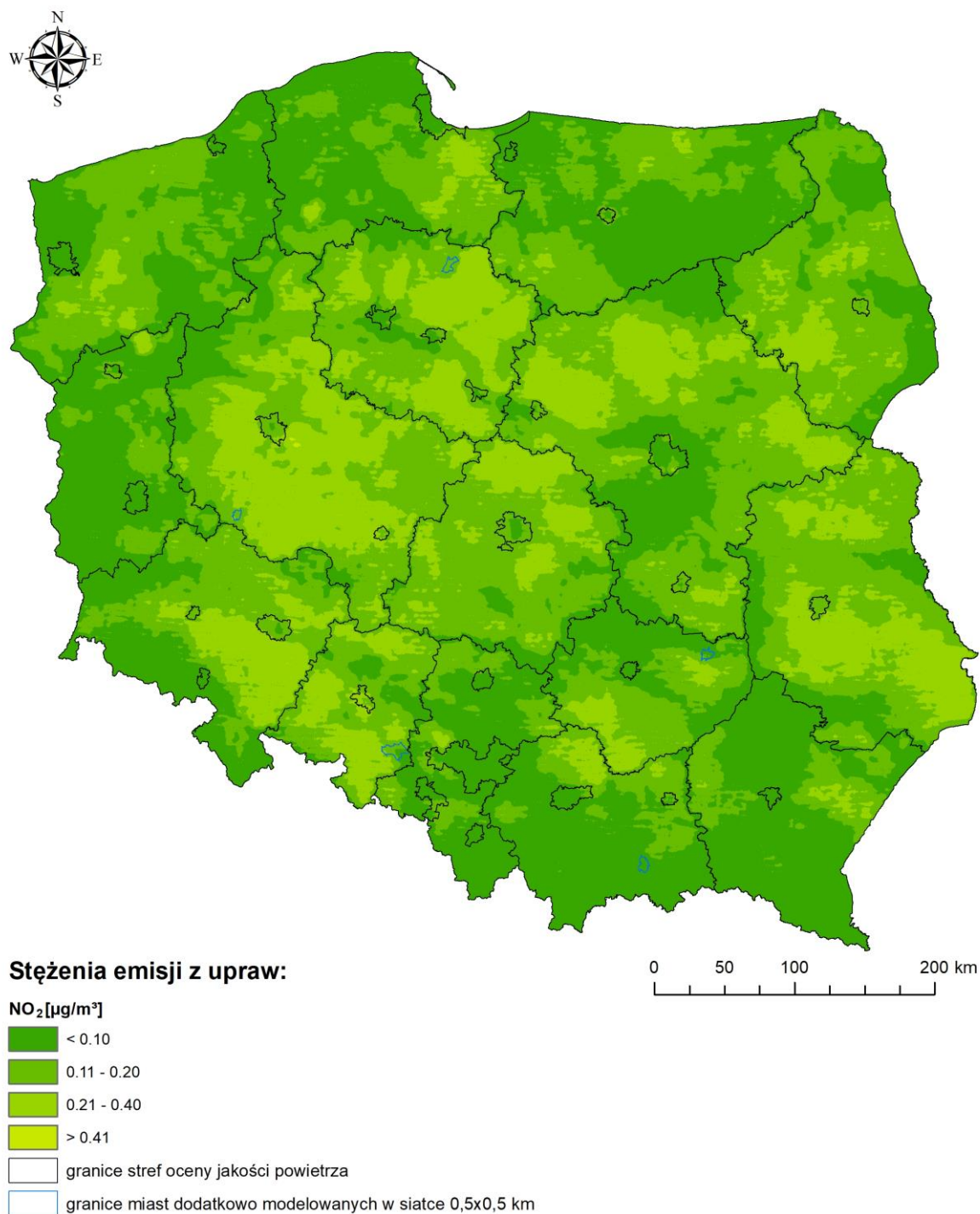
Rysunek 46. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ dla 2017 roku ze źródeł z hodowli (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



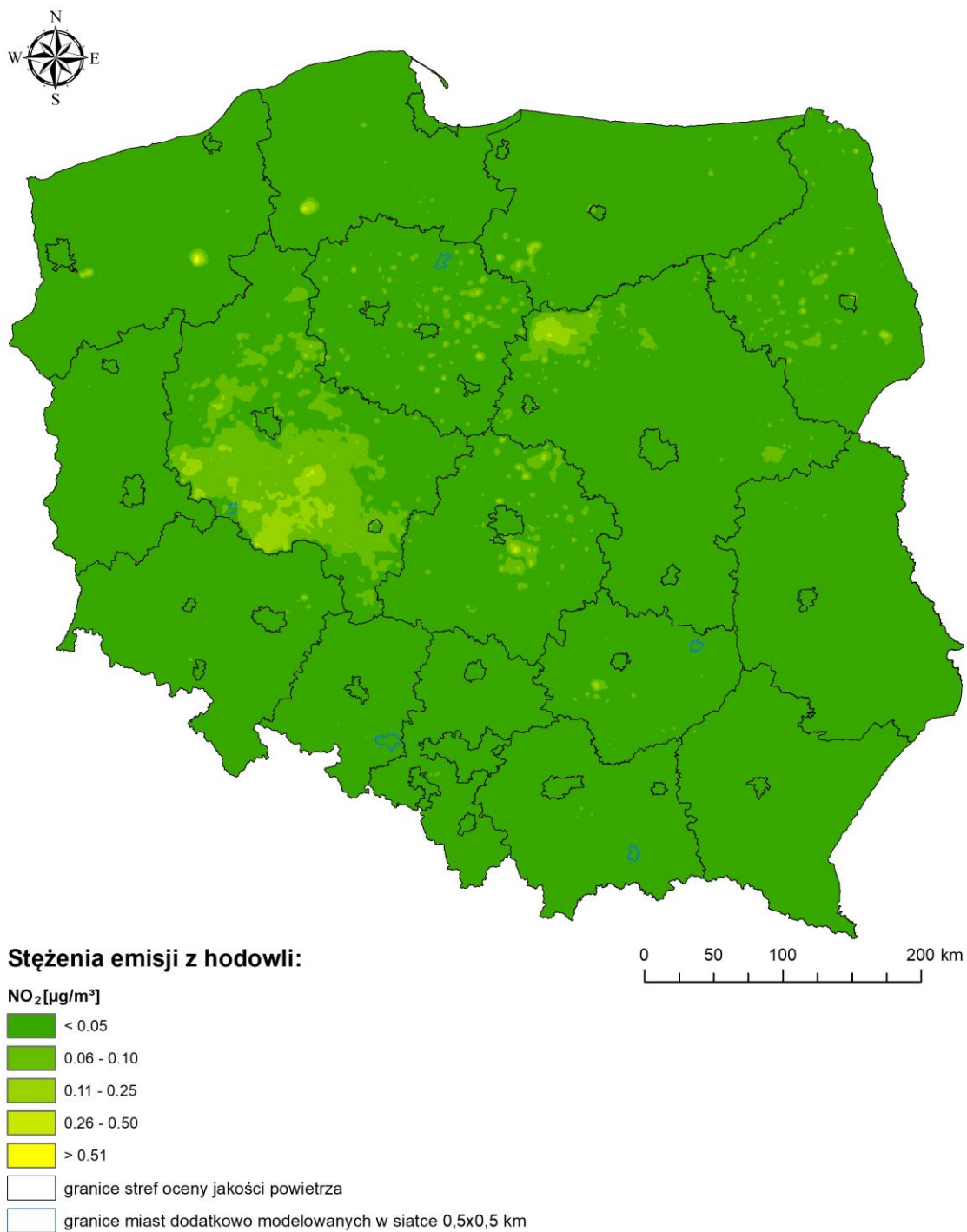
Rysunek 47. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2017 roku ze źródeł z upraw (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5km x 0,5km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 48. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2017 roku ze źródeł z hodowli (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).

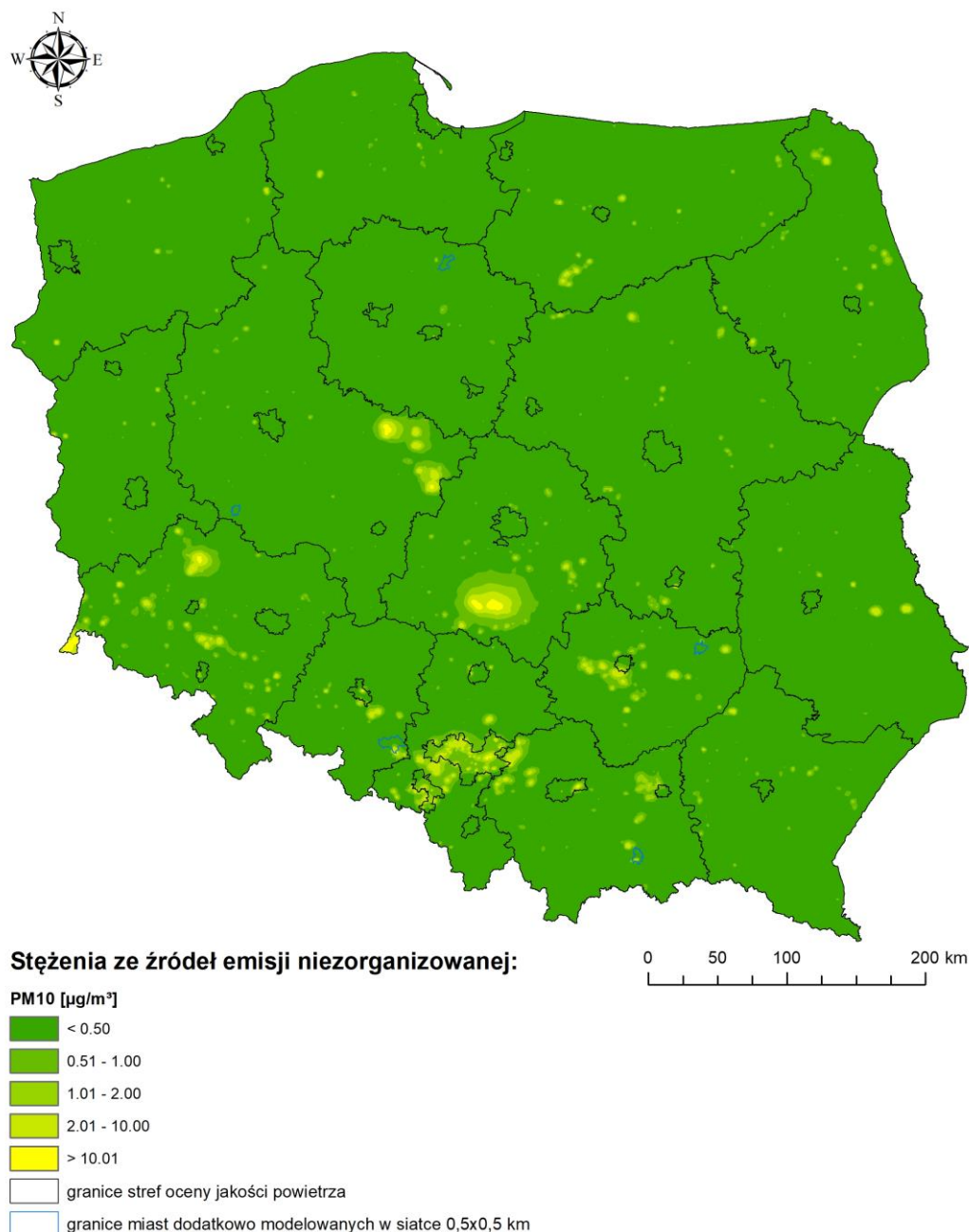


Rysunek 49. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 roku ze źródeł z upraw (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).

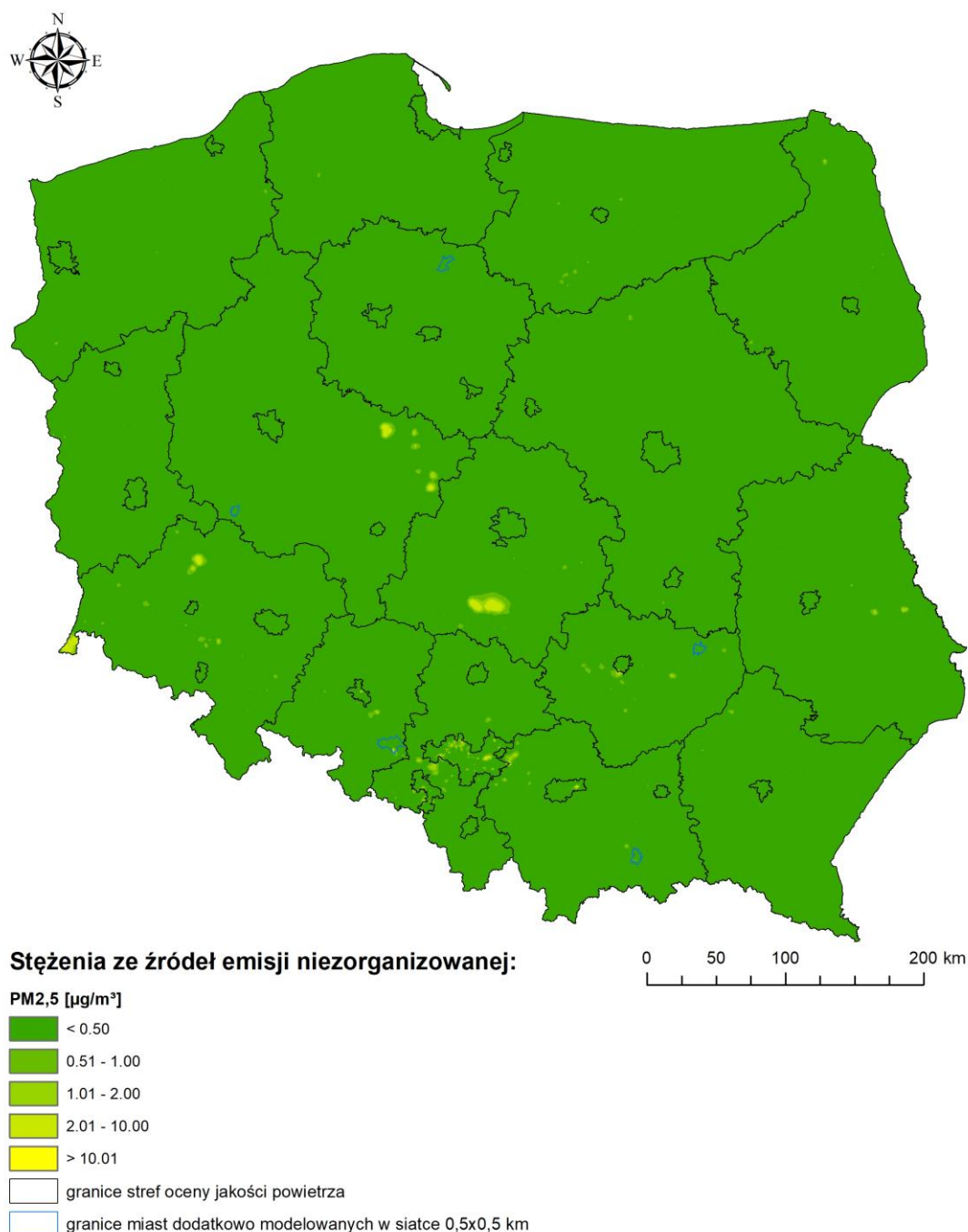


Rysunek 50. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 roku ze źródeł z hodowli (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).

Źródła emisji niezorganizowanej występują na terenie całego kraju bardzo lokalnie i takie mają również oddziaływanie. Największe oddziaływanie tych źródeł widoczne jest na terenie województw łódzkiego, wielkopolskiego, dolnośląskiego, śląskiego, świętokrzyskiego i małopolskiego. W tym obszarach zlokalizowanych jest najwięcej źródeł wielkopowierzchniowych z emisją niezorganizowaną takich jak: kopalnie odkrywkowe, hałdy, składowiska materiałów pokopalnianych i przemysłowych. Najwyższe stężenia z tego rodzaju źródeł występują w województwie łódzkim, dolnośląskim, gdzie w miejscu występowania odpowiedzialne są za występowanie przekroczeń stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ i PM_{2,5}.



Rysunek 51. Stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ dla 2017 roku ze źródeł niezorganizowanych (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).



Rysunek 52. Stężenia średnioroczne pyłu PM_{2,5} dla 2017 roku ze źródeł niezorganizowanych (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).

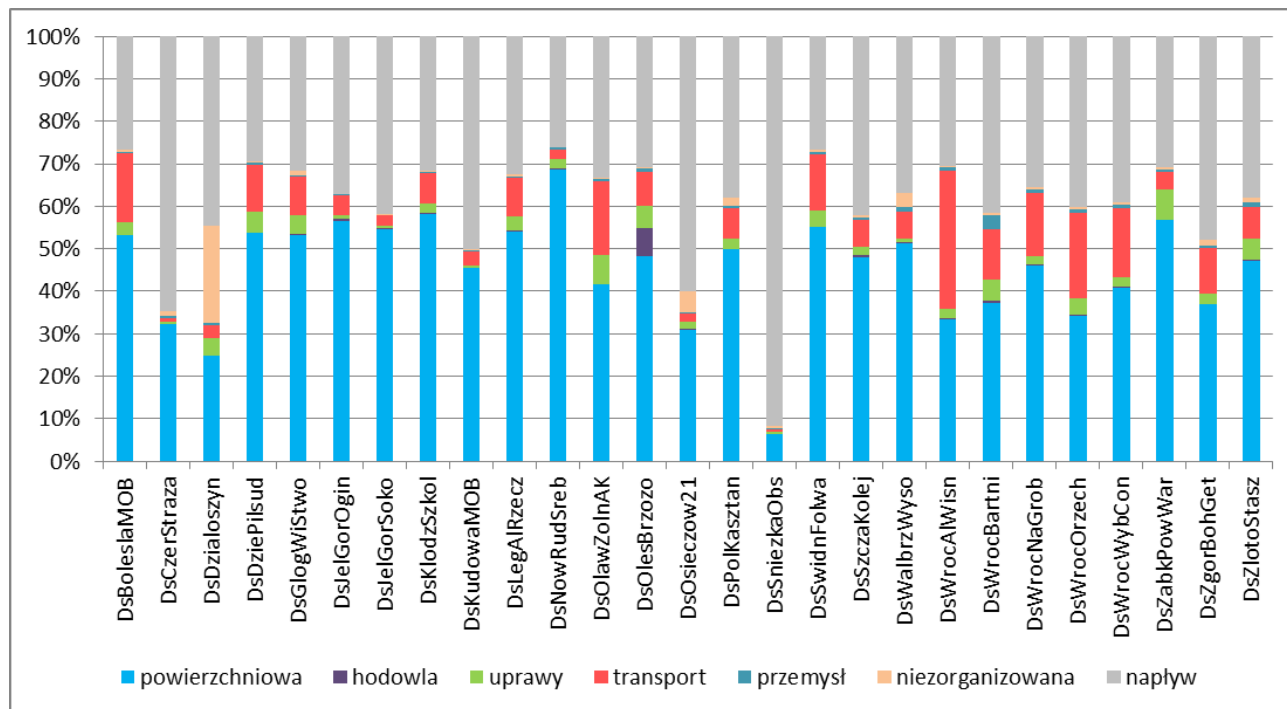
6.1. Udziały źródeł emisji w punktach stacji pomiarowych systemu Państwowego Monitoringu Środowiska

W celu lepszego zobrazowania 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.

Pył zawieszony PM₁₀

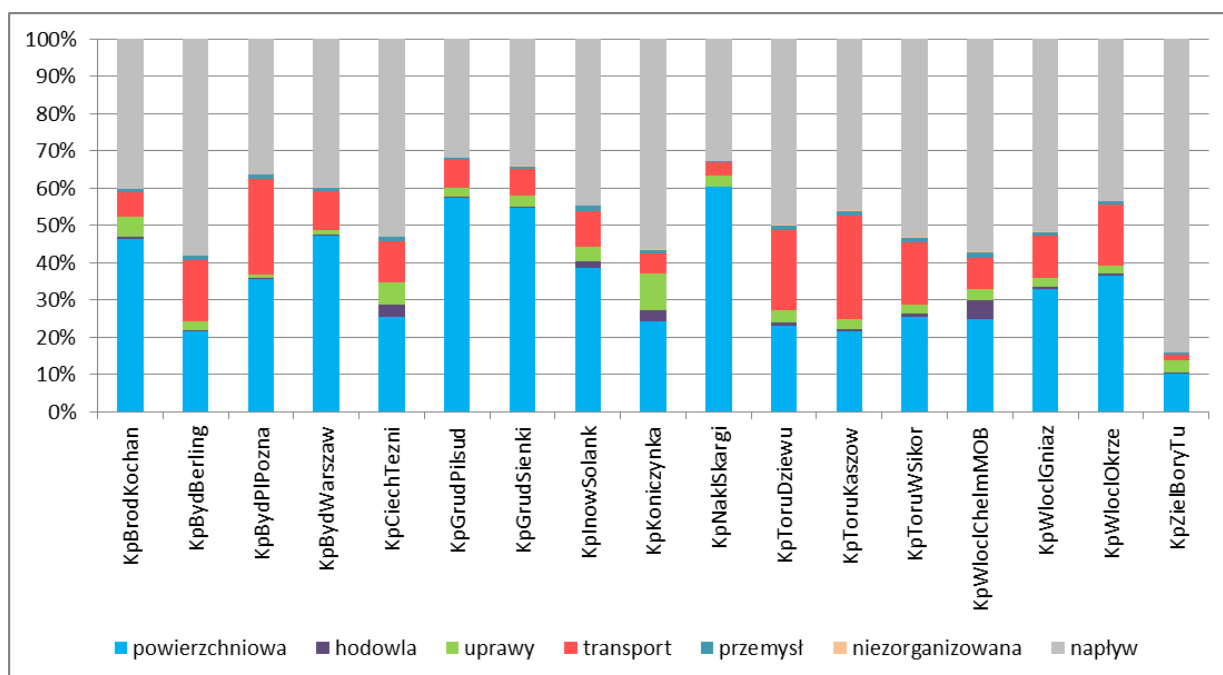
Poniżej przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach średniorocznych pyłu PM₁₀ występujących na stacjach pomiarowych w województwie dolnośląskim i kujawsko-pomorskim. Wyniki uzyskano na podstawie modelowania modelem CALPUFF.



Rysunek 53. 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, ich udział znajduje się w przedziale 30-60%. Wyjątkiem są stacje pozamiejskie, podmiejskie lub komunikacyjne. Dla stacji na Śnieżce widoczny jest dominujący udział emisji napływowej w stężeniach wskazujący na udział źródeł spoza obszaru województwa, natomiast sumaryczny udział źródeł z terenu strefy jest niewielki. Podobnie dla stacji w Osieczowie. Na stacji komunikacyjnej we Wrocławiu widoczny jest również wpływ lokalnych źródeł liniowych, gdzie udział emisji komunikacyjnej jest dominujący (ponad 30%). Na wszystkich stacjach we Wrocławiu udział źródeł liniowych jest znaczący. Na stacji w Działoszynie widoczny jest również wpływ źródeł emisji niezorganizowanej sięgającej 20%.

W przypadku większości stacji pomiarowych w województwie kujawsko-pomorskim nieco większy w stosunku do województwa dolnośląskiego jest udział źródeł z napływu spoza województwa. Nawet na stacjach miejskich w Bydgoszczy udział źródeł spoza strefy jest wyższy niż udział lokalnej emisji. Na stacjach w Grudziądzu, Nakle i Brodnicy dominujący jest udział emisji powierzchniowej. Na stacji pozamiejskiej w Borach Tucholskich udział emisji napływowej w stężeniach stanowi aż 85% udziału wszystkich źródeł, co silnie obrazuje specyfikę województwa.

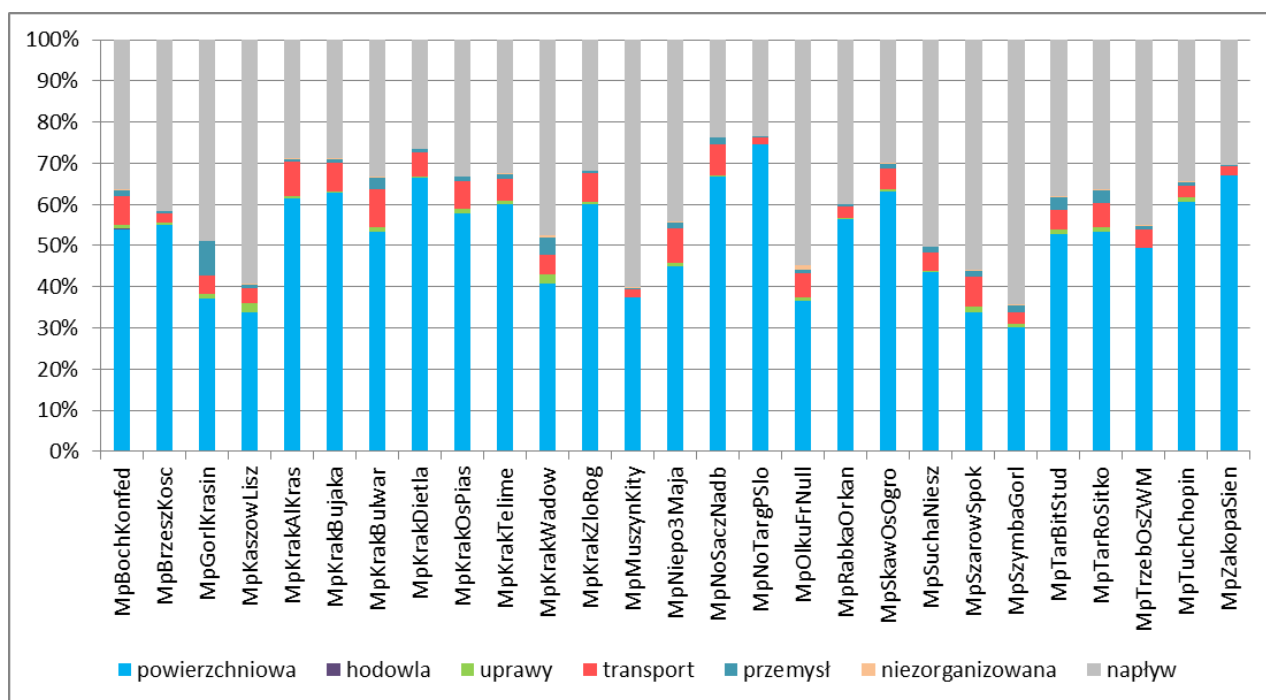


Rysunek 54. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM₁₀ w punktach stacji pomiarowych w województwie kujawsko-pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Pył zawieszony PM_{2,5}

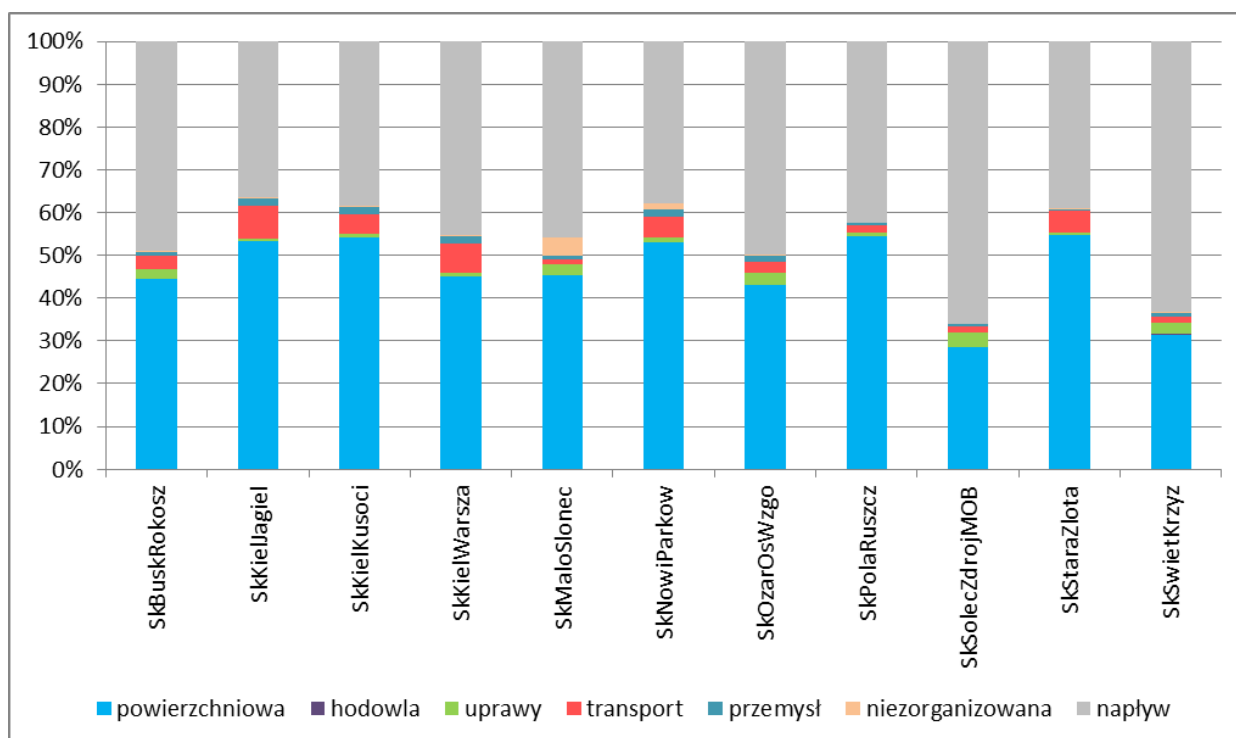
Poniżej przykładowo przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} występujących na stacjach pomiarowych w województwie małopolskim i świętokrzyskim.

W województwie małopolskim podobnie jak w przypadku pyłu zawieszonego PM₁₀ źródła powierzchniowe są źródłami dominującymi w udziałach na większości stacji, a ich wartość sięga 70% stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5}. Najwyższe wartości udziału źródeł powierzchniowych występują południowym rejonie województwa na stacjach zlokalizowanych w Nowym Targu i Zakopanem. Jedynie na stacjach pozamiejskich w Szymbarku i Kaszowie widać dominujący udział źródeł napływowych. Znaczący aczkolwiek niedominujący dla wielu stacji jest również udział źródeł liniowych (około 20%). Na stacji w Gorlicach widać wyraźny udział źródeł przemysłowych, w porównaniu do pozostałych stacji z terenu województwa. Pozostałe źródła nie odgrywają znaczącej roli w kształtowaniu się wysokości stężeń na stacjach pomiarowych.



Rysunek 55. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} w punktach stacji pomiarowych w województwie małopolskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

W województwie świętokrzyskim znaczący udział w imisji pyłu PM_{2,5} stanowią źródła powierzchniowe oraz napływ spoza terenu strefy. Największy udział źródeł napływowych wyznaczono na stacjach podmiejskich w Solcu Zdrój oraz Święty Krzyż. Natomiast na stacjach podmiejskich Nowiny oraz w Kielcach (SkKielKusoci) duży udział w stężeniach stanowią lokalne źródła powierzchniowe, co bezpośrednio związane jest z bliskim otoczeniem źródeł bytowo-komunalnych wokół stacji. Wyraźny udział emisji niezorganizowanej widoczny jest na stacji Małogoszcz, gdzie zlokalizowana jest kopalnia odkrywkowa surowców drogowych.

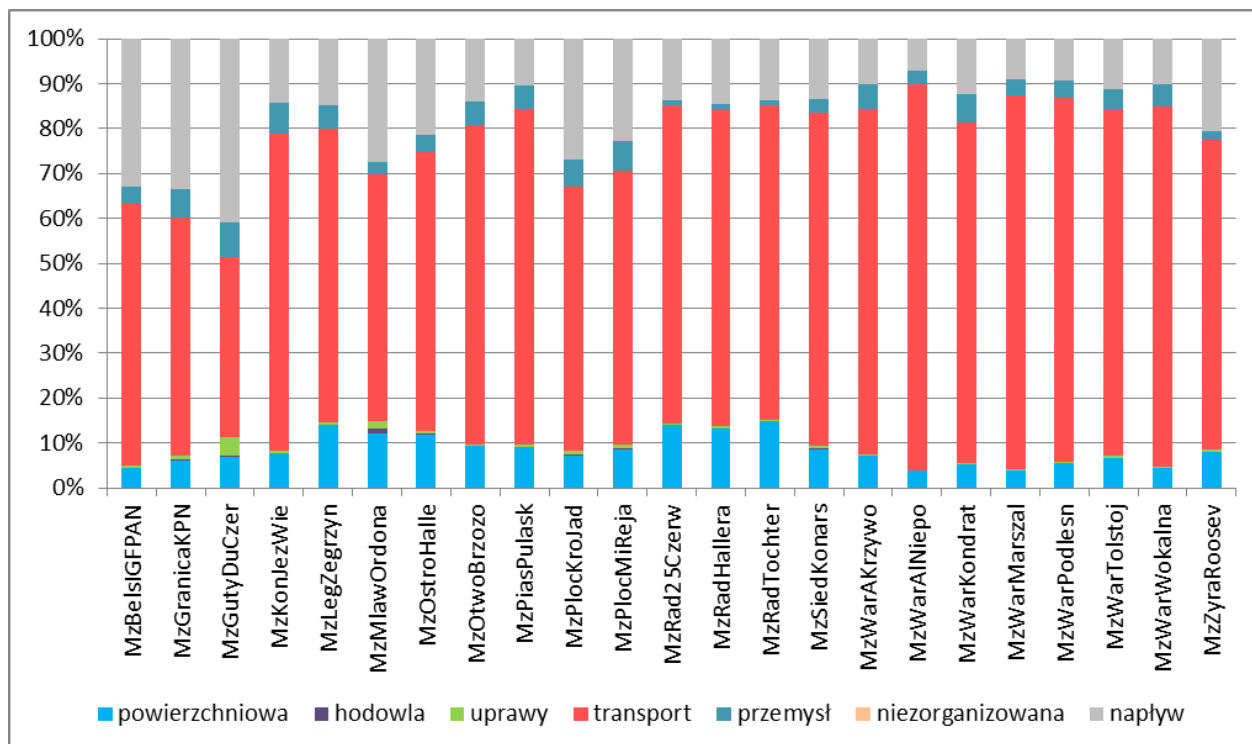


Rysunek 56. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM_{2,5} w punktach stacji pomiarowych w województwie świętokrzyskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Dwutlenek azotu

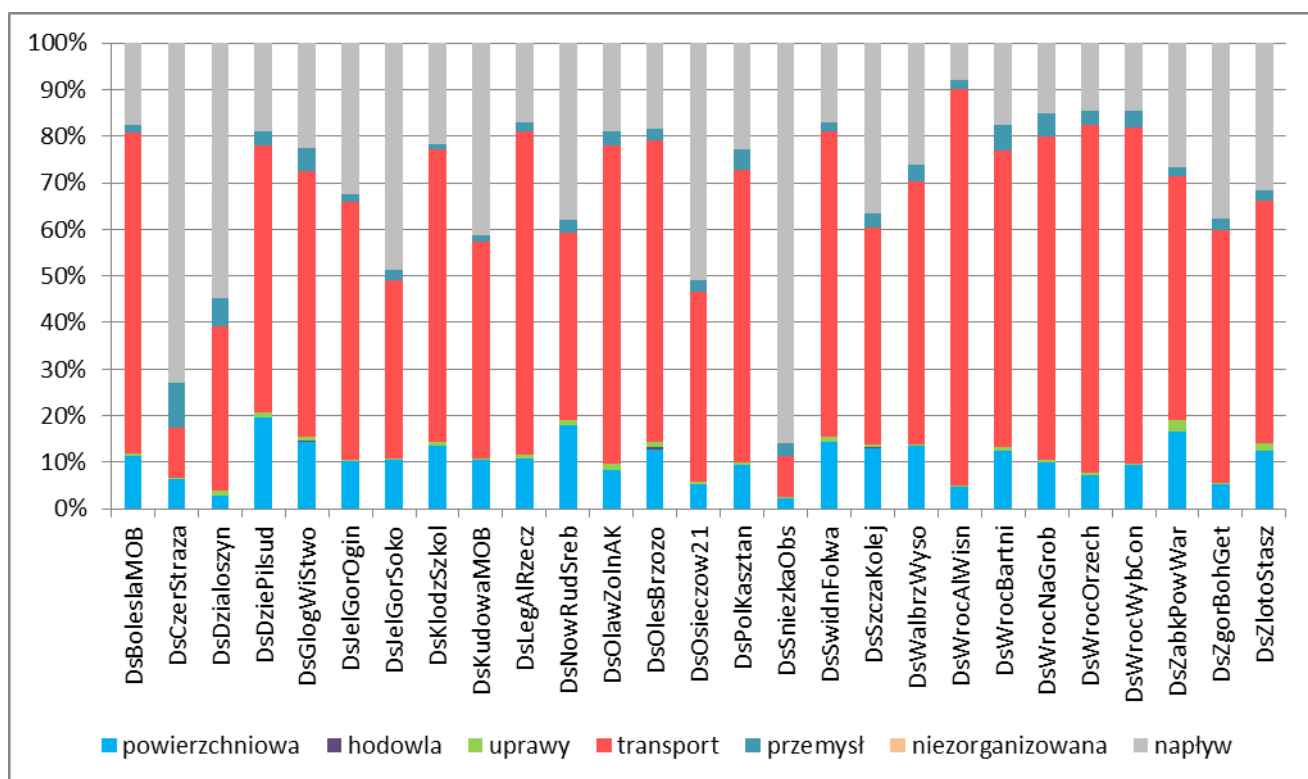
W celu analizy udziałów źródeł w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu przykładowo przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach występujących na stacjach pomiarowych w województwie mazowieckim i śląskim.

Źródłami, które w największym stopniu odpowiadają za wysokość stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w województwie mazowieckim są źródła liniowe związane z transportem. Udział źródeł powierzchniowych jest bardzo mały i sięga maksymalnie 15%, podobnie kształtuje się udział źródeł spoza województwa, jedynie ponad 40% udział napływu wyznaczono dla stacji w Gutach oraz ponad 30% dla stacji w Kampinoskim Parku oraz w Belsku. Udział źródeł punktowych z przemysłu jest również niewielki w stężeniach występujących na stacjach.



Rysunek 57. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie mazowieckim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Źródła emisji liniowej na stacjach w województwie dolnośląskim stanowią również znaczące źródło emisji, gdzie na większości stacji pomiarowych ich udział mieści się w przedziale 40-70%. Wyraźnie niższy udział źródeł komunikacyjnych wyznaczono dla stacji podmiejskich na Śnieżce i w Czerniawie, gdzie widoczny jest dominujący udział emisji napływowej w stężeniach wskazujący na udział źródeł spoza kraju. Udział źródeł powierzchniowych nie przekracza wartości 20%.

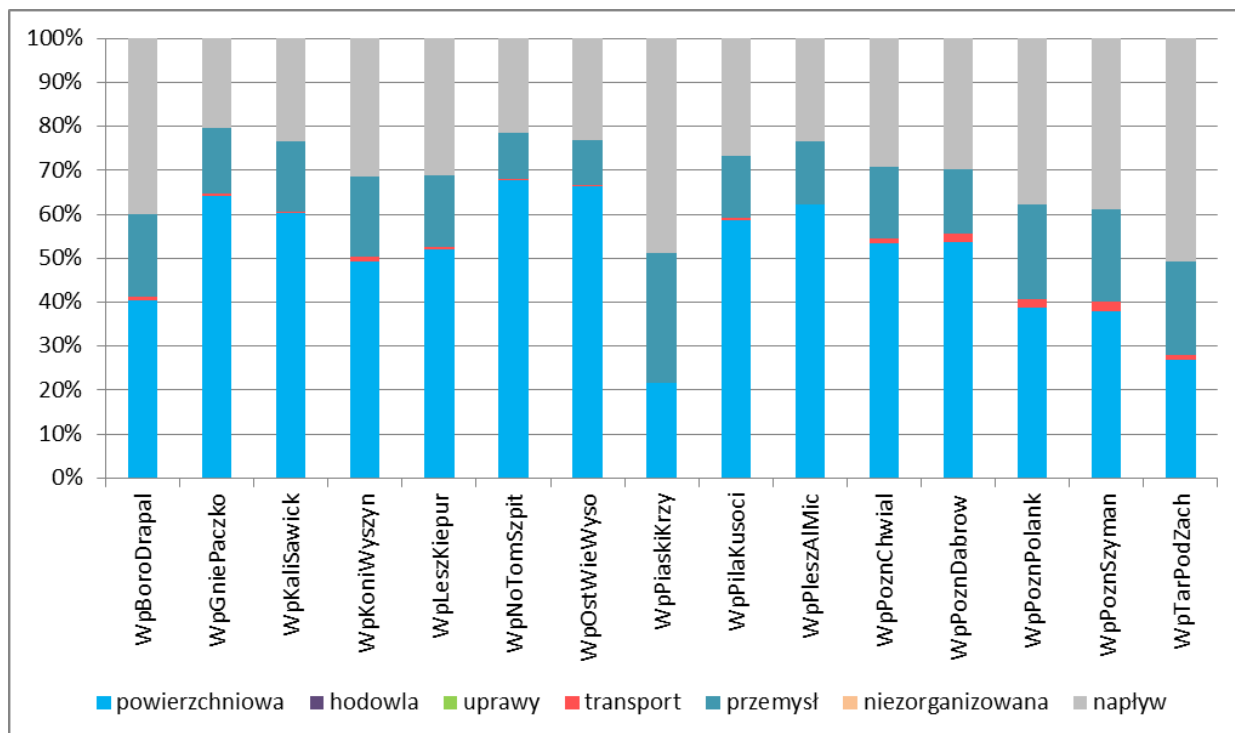


Rysunek 58. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie dolnośląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).

Dwutlenek siarki

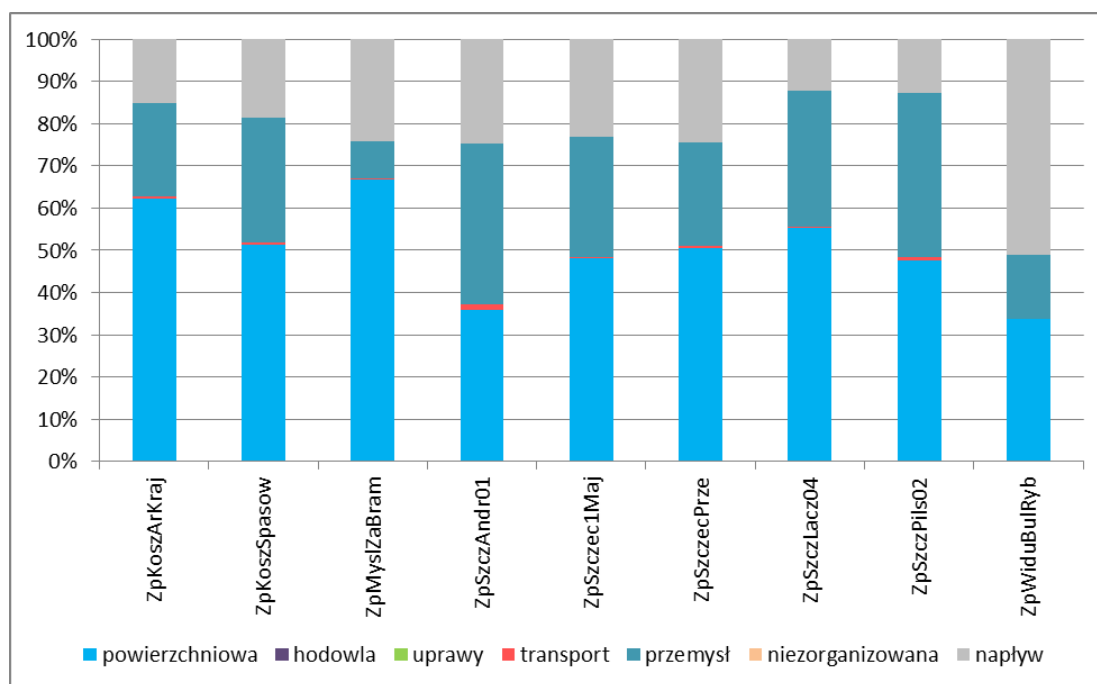
W celu analizy udziałów źródeł w stężeniach dwutlenku siarki przykładowo przedstawiono udziały procentowe poszczególnych rodzajów źródeł w stężeniach występujących na stacjach pomiarowych w województwach wielkopolskim i zachodniopomorskim.

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 20-35% wysokości stężeń na kilku stanowiskach pomiarowych jak np. Piaskach, Poznaniu czy Tarnowie Podgórnym. Udział źródeł spoza województwa kształtuje się podobnie jak w przypadku pozostałych substancji i sięga do 40% wysokości stężenia. Źródła liniowe nie mają znaczącego wpływu na wysokość stężeń na stacjach pomiarowych.



Rysunek 59. 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)

Według poniższego wykresu dla stacji w województwie zachodniopomorskim przeważającym źródłem wpływającym na wysokość stężeń dwutlenku siarki są źródła powierzchniowe (do 60%), chociaż udziały w stacjach w tym województwie są dość zróżnicowane. Podobnie wyraźny jest udział źródeł punktowych, które odpowiadają nawet za 29% stężenia w Szczecinie i Koszalinie. Najwyższy udział źródeł spoza województwa analiza wykazuje dla stacji w Widuchowej, gdzie udział wynosi 52%. Źródła liniowe nie mają wpływu na wysokość stężeń dwutlenku siarki.

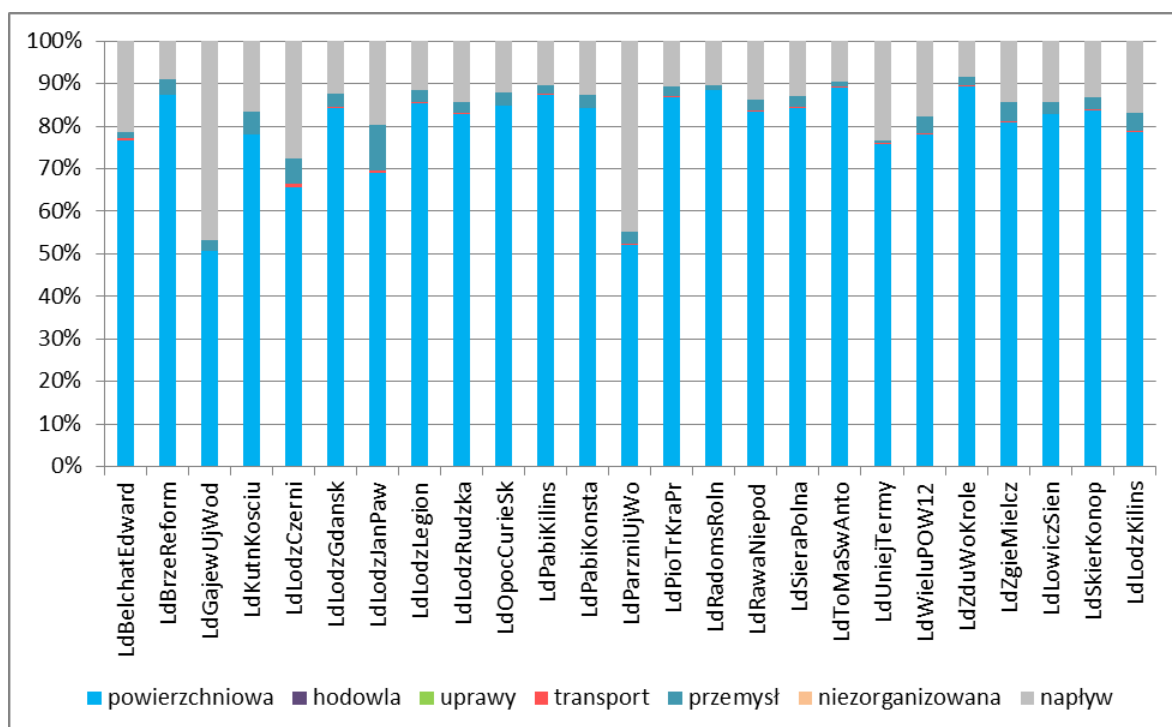


Rysunek 60. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki w punktach stacji pomiarowych w województwie zachodniopomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

Benzo(a)piren

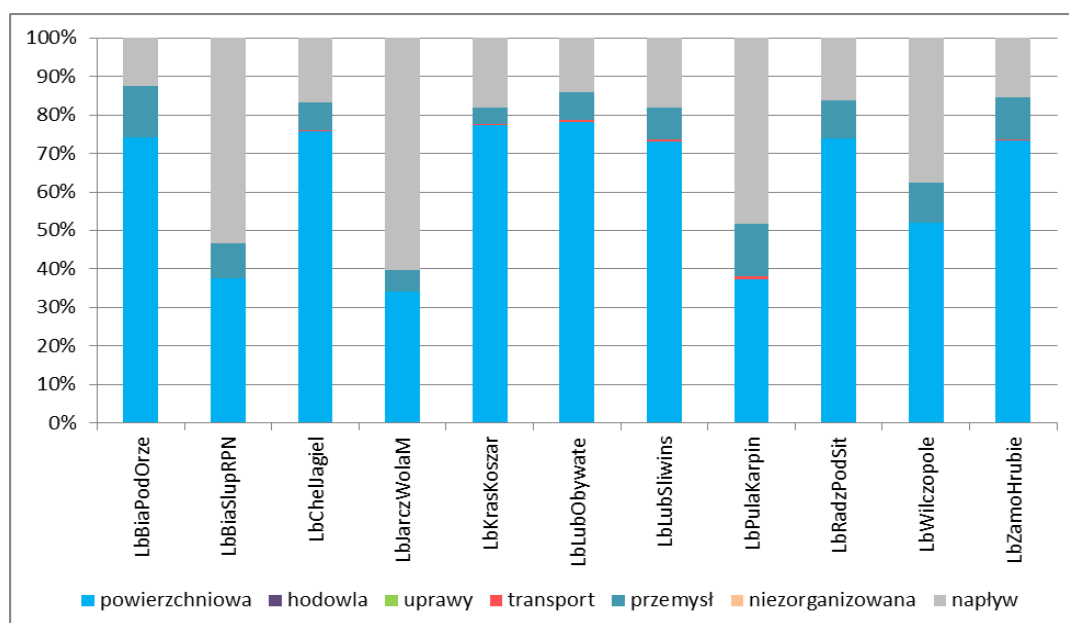
Benzo(a)piren jest zanieczyszczeniem silnie związanym z procesami spalania w indywidualnych źródłach ogrzewania, dlatego prawie zawsze w udziałach dominująca jest przewaga źródeł powierzchniowych. Przykładowo przeanalizowano wyniki z województw: łódzkiego i lubelskiego.

Na wszystkich stacjach pomiarowych udział źródeł powierzchniowych sięga 60-90% stężenia średniorocznego i to te rodzaje źródeł decydują o występowaniu przekroczeń wartości docelowej stężenia. W województwie łódzkim jedynie na stacjach pozamiejskich w Gajewie i Parzniewicach udział źródeł powierzchniowych jest poniżej 50%.



Rysunek 61. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie łódzkim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF)

W województwie lubelskim jedynie w punktach stacji w Białym Stupie, Jarczewie oraz Puławach wpływ źródeł powierzchniowych na stężenia benzo(a)pirenu nie jest dominujący. W pozostałych punktach stanowisk monitoringu źródła emisji powierzchniowej są źródłami dominującymi, tam udział źródeł znajdujących się poza obszarem strefy sięga maksymalnie 25% udziału z wyjątkiem punktu stacji Wilczopole (stacja pozamiejska). Widoczny jest w punktach pomiarowych również wpływ źródeł punktowych (do 10% udziału).



Rysunek 62. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie lubelskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).

Podsumowanie przyczyn występowania przekroczeń

Analiza udziałów źródeł emisji w stężeniach średniorocznych substancji w powietrzu wskazuje na najczęstszą przyczynę występowania przekroczeń norm stężeń substancji. Źródłami, które mają największy wpływ na stężenia zarówno pyłów PM₁₀, PM_{2,5} oraz benzo(a)pirenu są źródła emisji z sektora komunalno-bytowego. Ich lokalizacja oraz zagęszczenie w obszarach aglomeracji i miast wskazuje na konieczność podjęcia działań do ograniczenia ich wpływu na jakość powietrza w skali kraju i każdej ze stref oddzielnie. Wiele małych miast z gęstą zabudową boryka się również z problemem emisji z sektora komunalno-bytowego. Coraz częściej umieszczanie stacji pomiarowych a miejscowościach jak Rabka Zdrój, Muszyna czy Brzeszcze pokazuje skalę problemu występującą nie tylko w dużych miastach, ale również w mniejszych miejscowościach, które do tej pory nie posiadały systemu monitoringu jakości powietrza.

W odniesieniu do stężeń dwutlenku azotu najważniejszym źródłem, które wpływa na występowanie przekroczeń, są źródła związane z transportem zwłaszcza w aglomeracjach. Zwiększająca się liczba pojazdów na drogach oraz zagęszczanie sieci dróg może w przyszłości powodować natężenie problemu z przekroczeniami stężeń dwutlenku azotu.

Na stężenia dwutlenku siarki mają największy wpływ źródła powierzchniowe i punktowe zależnie od lokalizacji. Natomiast występowanie przekroczeń zależne jest tylko od funkcjonowania źródeł związanych z sektorem komunalno-bytowym.

7. Wojewódzka ocena jakości powietrza za rok 2017 - podsumowanie

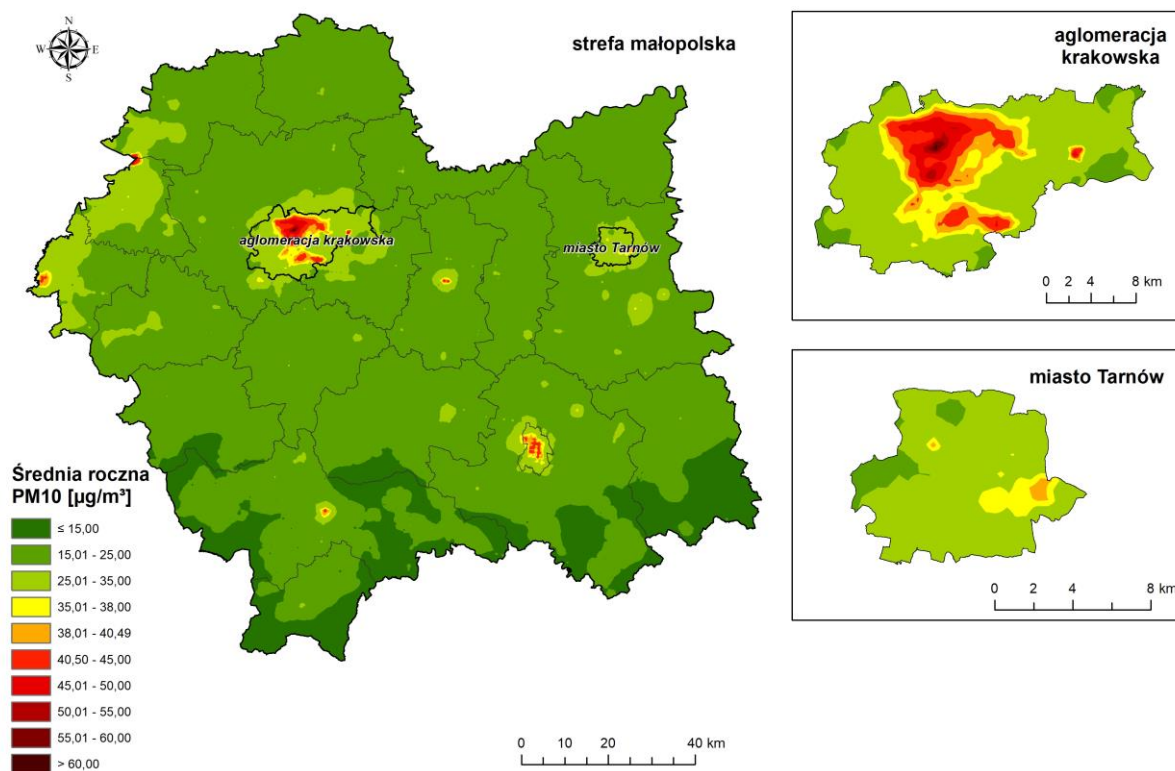
7.1. Przeprowadzone procesy w ramach wspomaganie oceny wojewódzkiej

W ramach wspomaganie 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 CAMx. Siatka swoim zasięgiem obejmowała obszaru 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 siatki receptorów o zmiennym kroku obliczono niezbędne parametry statystyczne odpowiadające wartościom normowanym rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu⁵ dla każdej z modelowanych substancji - PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂ i B(a)P.

⁵ Dz. U. z 2012 r. poz.1031

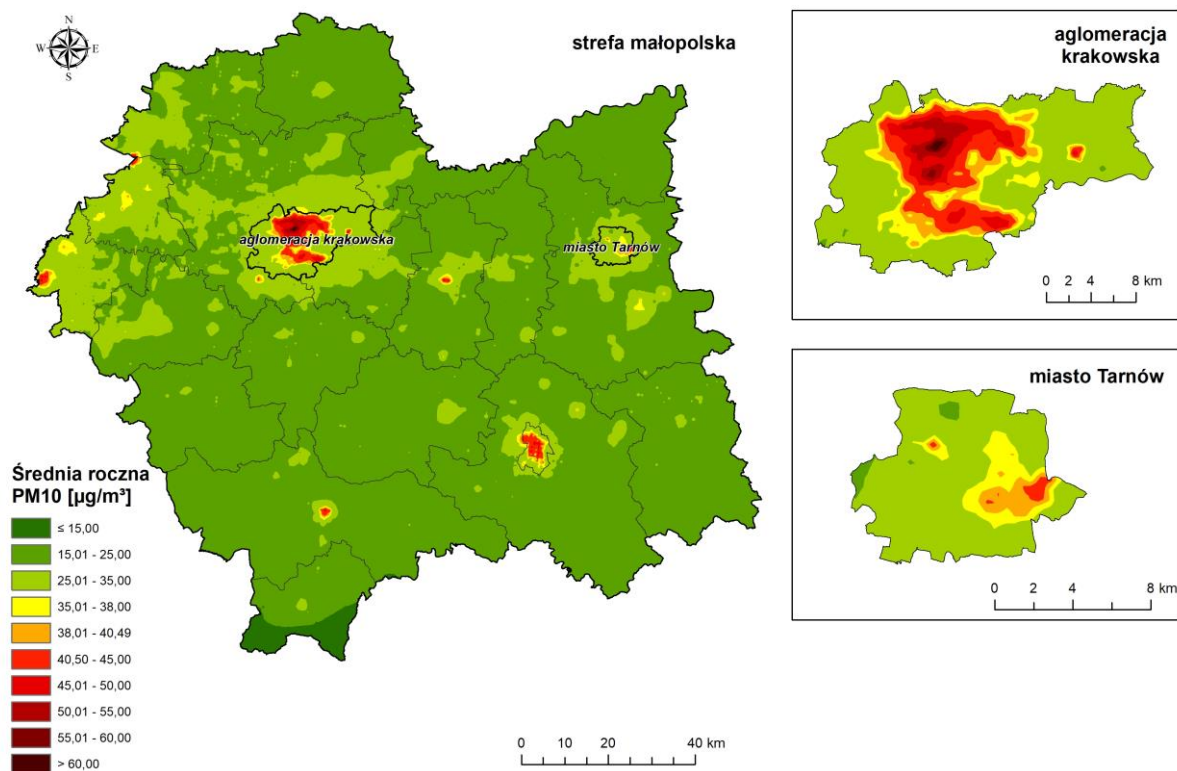
Następnie opracowano wizualizację wyników modelowania. W wariancie I wykonano interpolację danych punktowych z wykorzystaniem metody IDW, której efektem końcowym są rastry o rozdzielczości 250 m. Przykładową mapę z modelowania wojewódzkiego dla pyłu PM₁₀ przedstawia Rysunek 63.



Rysunek 63. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM₁₀ na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I.

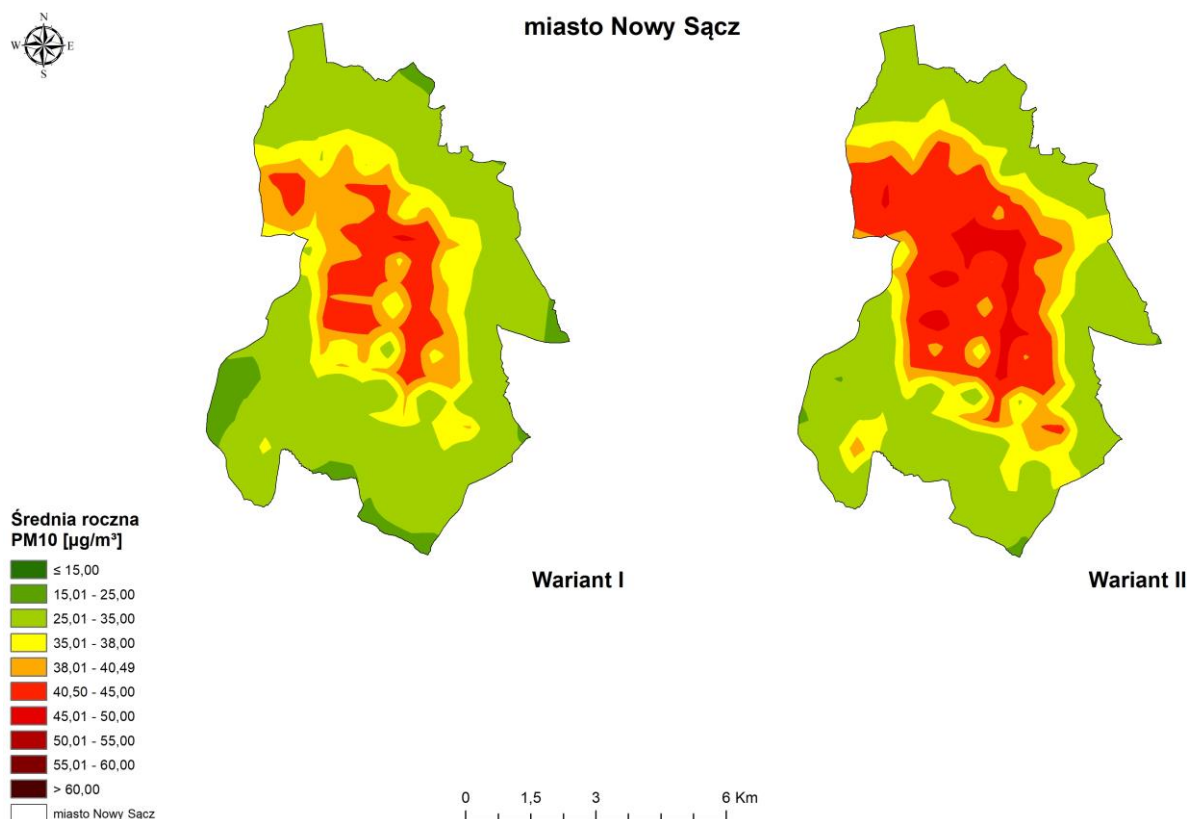
Wariant II obejmował łączenie wyników modelu z wynikami pomiarów otrzymanych ze stacji Państwowego Monitoringu Środowiska z wykorzystaniem analiz przestrzennych w środowisku GIS. Zgodnie ze specyfikacją zamówienia oraz koncepcją opracowania, kalibracja wyników dla każdego województwa przebiegała wieloetapowo, 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 64.



Rysunek 64. 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-Koźła.



Rysunek 65. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarze miasta Nowy Sącz, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantach 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. Poligony z obszarami przekroczeń przygotowane zostały w wersji szczegółowej (z wyodrębnieniem wszystkich obszarów cząstkowych jako osobnych obiektów) oraz zagregowanej do multipolygonów, dla każdej strefy oceny jakości powietrza w danym województwie.

7.2. Analiza wyników wspomaganie wojewódzkiej oceny jakości powietrza dla roku 2017

7.2.1. Wyniki wspomaganie 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. Do stref, w których nie odnotowano przekroczeń tego poziomu na podstawie analizy wyników modelowania, należą: miasto Wałbrzych, aglomeracja Bydgoska, miasto Toruń, miasto Włocławek, strefa kujawsko-pomorska, strefa

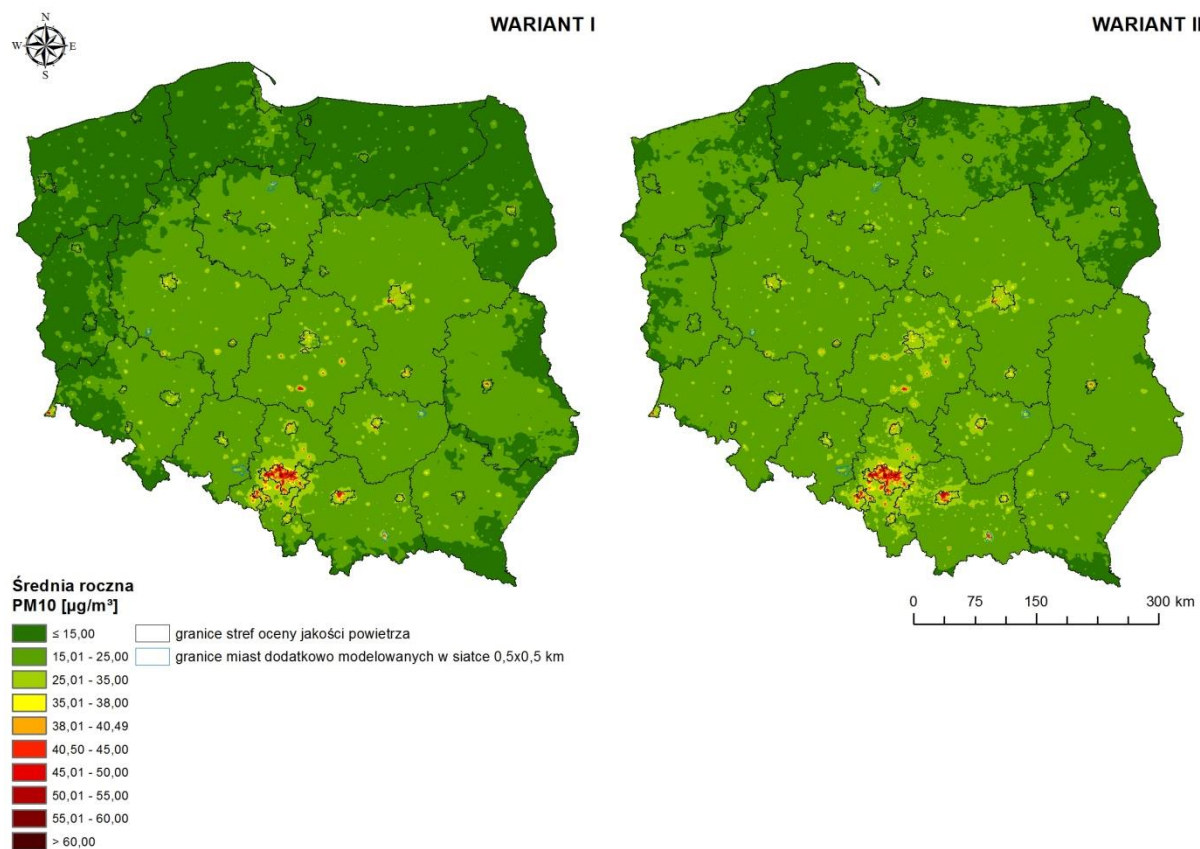
lubelska, miasto Gorzów Wielkopolski, miasto Zielona Góra, strefa lubuska, miasto Płock, strefa opolska, miasto Rzeszów, strefa podkarpacka, aglomeracja Trójmiejska, strefa pomorska, miasto Olsztyn i miasto Elbląg, strefa warmińsko-mazurska, aglomeracja szczecińska, miasto Koszalin i strefa zachodniopomorska. Największa powierzchnia przekroczeń oraz liczba narażonej na ponadnormatywne stężenia ludności występuje w woj. śląskim i małopolskim, w szczególności na terenach aglomeracji górnośląskiej i krakowskiej oraz strefy śląskiej. Łącznie w całym kraju, na podstawie wyników modelowania wyznaczono 661 km² obszarów przekroczeń, a liczbę narażonej ludności oszacowano na blisko 2 mln 353 tys. Po kalibracji (wariant II) liczby te przedstawiały się następująco: 738 km² i 2 mln 714 tys. osób.

Średnie roczne wartości stężeń pyłu PM₁₀ na przeważającym obszarze kraju, według wyników modelowania, mieszczą się w przedziale 15-35 µg/m³. Analizy przestrzenne z wykorzystaniem danych pomiarowych powodują podwyższenie przeciętnych wartości dla obszarów pozamiejskich o około 5 µg/m³. Na obszarach miejskich kalibracja w punktach stacji na ogół powoduje obniżenie wartości stężeń w wyznaczonych obszarach przekroczeń o około 5 µg/m³. Zgodność wyników modelowania z pomiarami jest stosunkowo dobra (odchylenie dla blisko 80% stacji jest mniejsze niż 5 µg/m³). Większe odchylenia występują w związku z niedoszacowaniami.

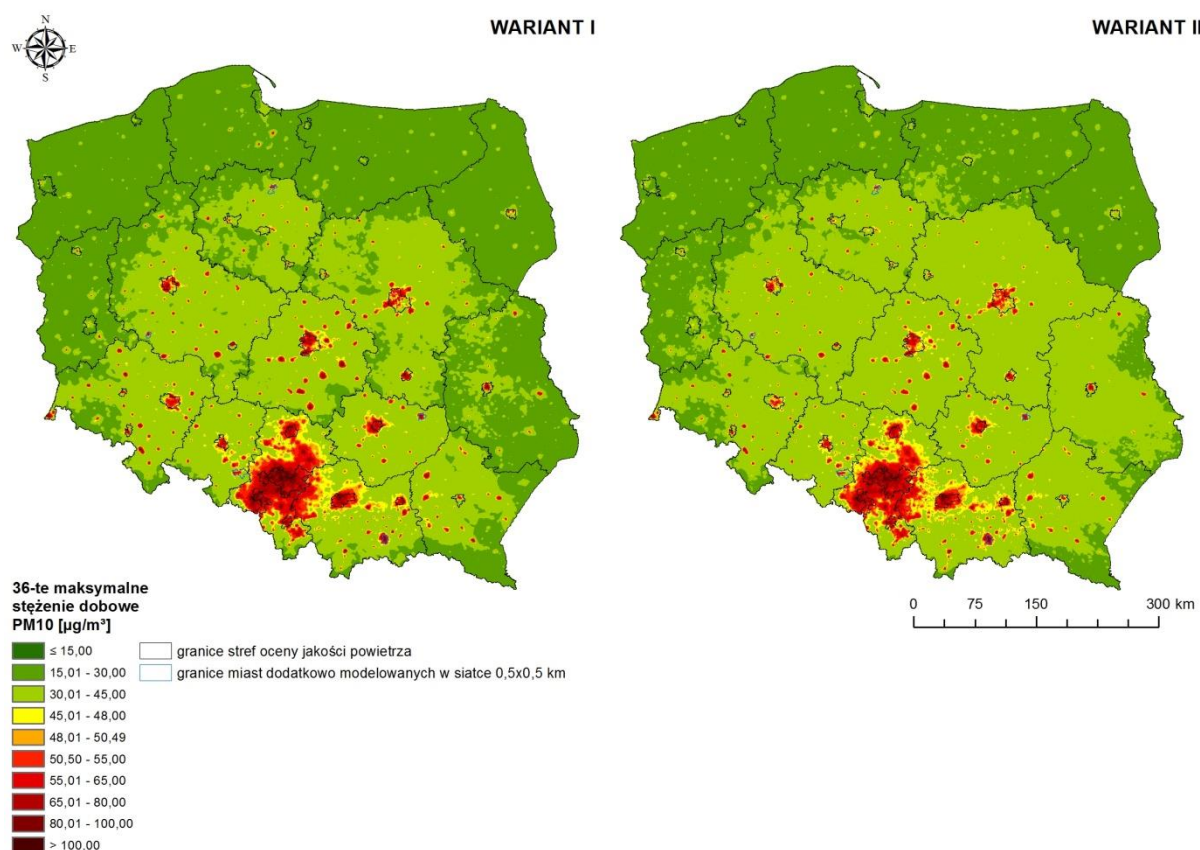
Przekroczenia dobowych wartości stężeń dopuszczalnych pyłu PM₁₀ stanowią jeden z głównych problemów zanieczyszczenia powietrza w Polsce. Skala przestrzenna tego zjawiska jest dużo większa niż w przypadku średnich rocznych stężeń PM₁₀. Ponad 35 dni przekroczeń poziomu dopuszczalnego dla wartości dobowej stężenia odnotowano w modelowaniu w prawie każdej strefie oceny jakości powietrza – wyjątkiem jak w roku 2016, jest miasto Olsztyn oraz aglomeracja trójmiejska. Obszar przekroczeń szacowany na podstawie wyników modelowania jest blisko 17-krotnie większy niż dla wartości średniorocznych (11,3 tys. km²), a liczba narażonych mieszkańców wynosi blisko 13,3 mln osób. Włączenie wyników pomiarów do analiz zmniejsza obszar zagrożony przekroczeniami do 9 889 km², a liczbę mieszkańców do 12,5 mln.

Największe obszary przekroczeń występują w południowej i środkowej części kraju (województwo śląskie, małopolskie, łódzkie, świętokrzyskie, dolnośląskie, wielkopolskie) oraz w rejonie większości dużych miast. Największa liczba ludności narażonej zamieszkuje obszary przekroczeń w aglomeracji górnośląskiej i strefie śląskiej, aglomerację warszawską oraz strefę małopolską.

Podobnie jak w przypadku średnich rocznych stężeń, łączenie wyników modelowania i pomiarowych podnosi wartości 36-tego maksymalnego stężenia dobowego głównie w strefach pozamiejskich i poza obszarami przekroczeń. Na terenach gdzie wyznaczone zostały obszary przekroczeń głównie spadają wartości stężeń przeciętnie o 5-10 µg/m³ co ma przełożenie na zmniejszony zasięg obszarów przekroczeń w wariantie II w stosunku do wariantu I modelowania.



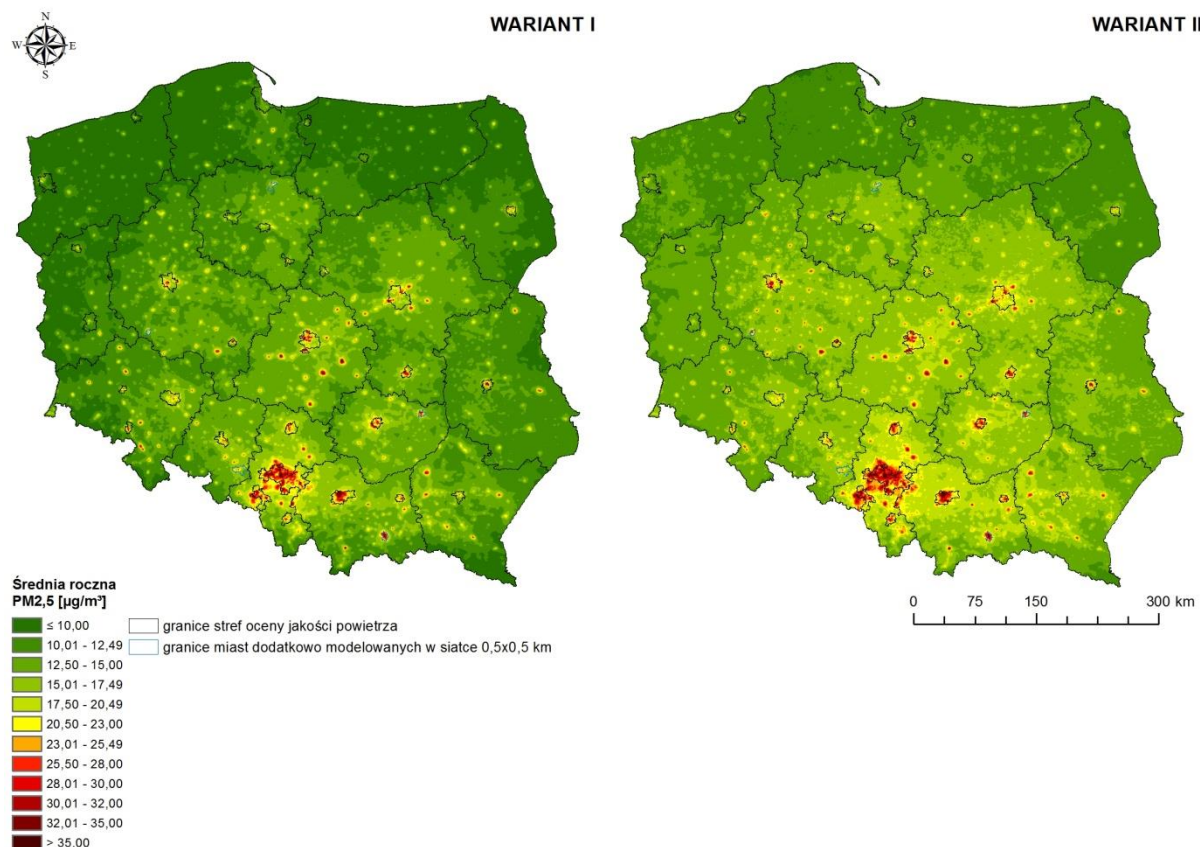
Rysunek 66. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀ na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).



Rysunek 67. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu PM₁₀ wyrażonych jako 36-te maksymalne stężenie dobowe na obszarach województwa, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).

Pył zawieszony PM_{2,5}

Rozkład przestrzenny stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} jest zbliżony do rozkładu obserwowanego dla pyłu PM₁₀, ze szczególną koncentracją obszarów przekroczeń na terenach silnie zurbanizowanych. Strefy, w których nie występują przekroczenia wartości dopuszczalnej to: aglomeracja bydgoska, miasto Toruń, miasto Zielona Góra, strefa podlaska, aglomeracja trójmiejska, wszystkie strefy województwa warmińsko-mazurskiego oraz zachodniopomorskiego. W związku z ostrzejszą normą ze względu na ochronę zdrowia, obszary przekroczeń dla tego zanieczyszczenia obejmują większe powierzchnie aniżeli w przypadku stężeń średniorocznych pyłu PM₁₀. Dla wariantu I obszar przekroczeń w Polsce obejmuje łącznie 1 473 km², a liczba ludności narażonej szacowana jest na 4,76 mln osób. W wariantcie II, podniesienie poziomu stężeń obserwowane jest głównie poza obszarami występowania najwyższych poziomów stężeń, w związku z czym powierzchnia obszarów przekroczeń w wariantcie II jest większa i wynosi 2 305 km², a liczba narażonej ludności szacowana jest na blisko 6 mln.

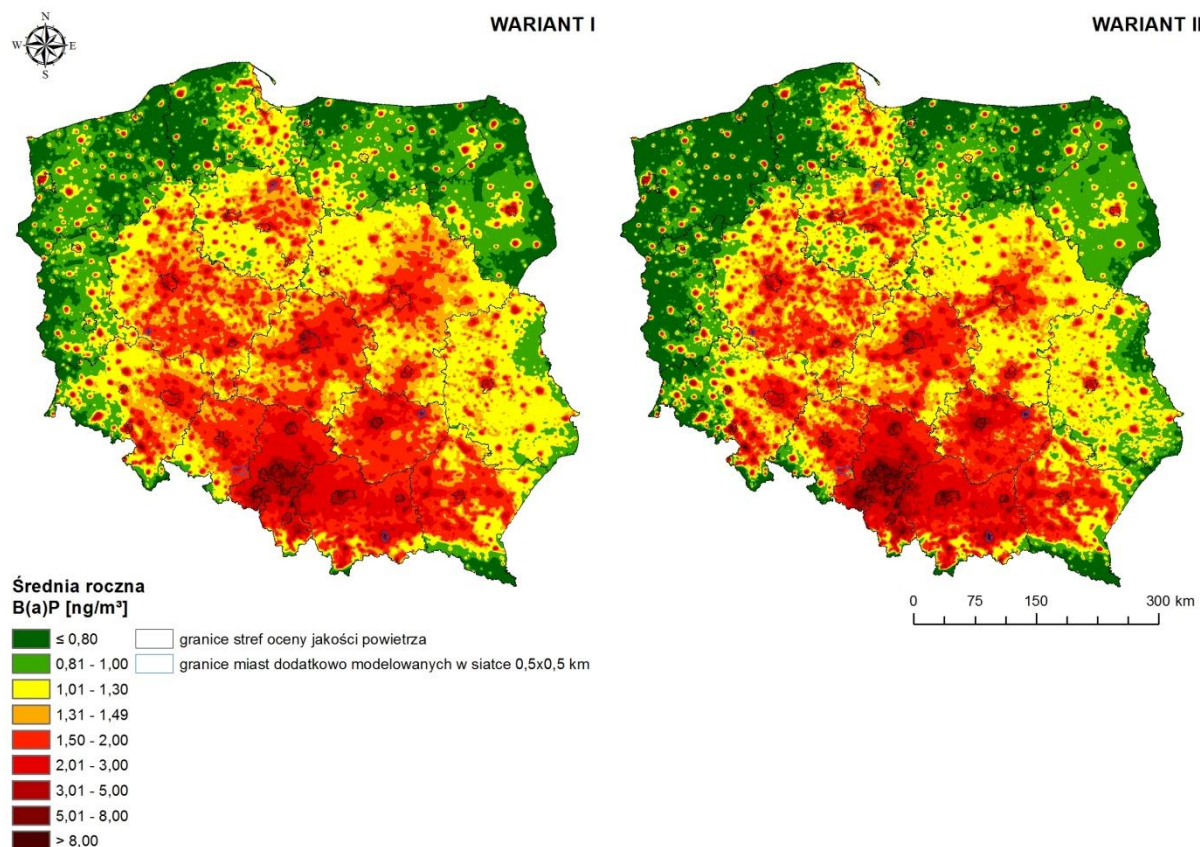


Rysunek 68. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM_{2,5} na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).

Benzo(a)piren

Wysokie średnioroczne stężenia benzo(a)pirenu stanowią największy problem jakości powietrza w Polsce. Dotyczy on absolutnie wszystkich stref oceny jakości powietrza i choć szczególnie jego nasilenie jest obserwowane na obszarach zurbanizowanych, przekroczenia poziomu docelowego występują także na wielu obszarach pozamiejskich. 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.

Według modelowania matematycznego, szacowana łączna powierzchnia obszarów przekroczeń B(a)P w Polsce wynosi 88 327 km², a liczba narażonej ludności to 27,3 mln osób. Włączenie wyników pomiarów do analizy powoduje obniżenie wartości stężeń na obszarach pozamiejskich. W wariantcie II zmniejsza się powierzchnia obszarów przekroczeń do 82 tys. km², a liczba narażonej ludności wynosi 27,08 mln osób.

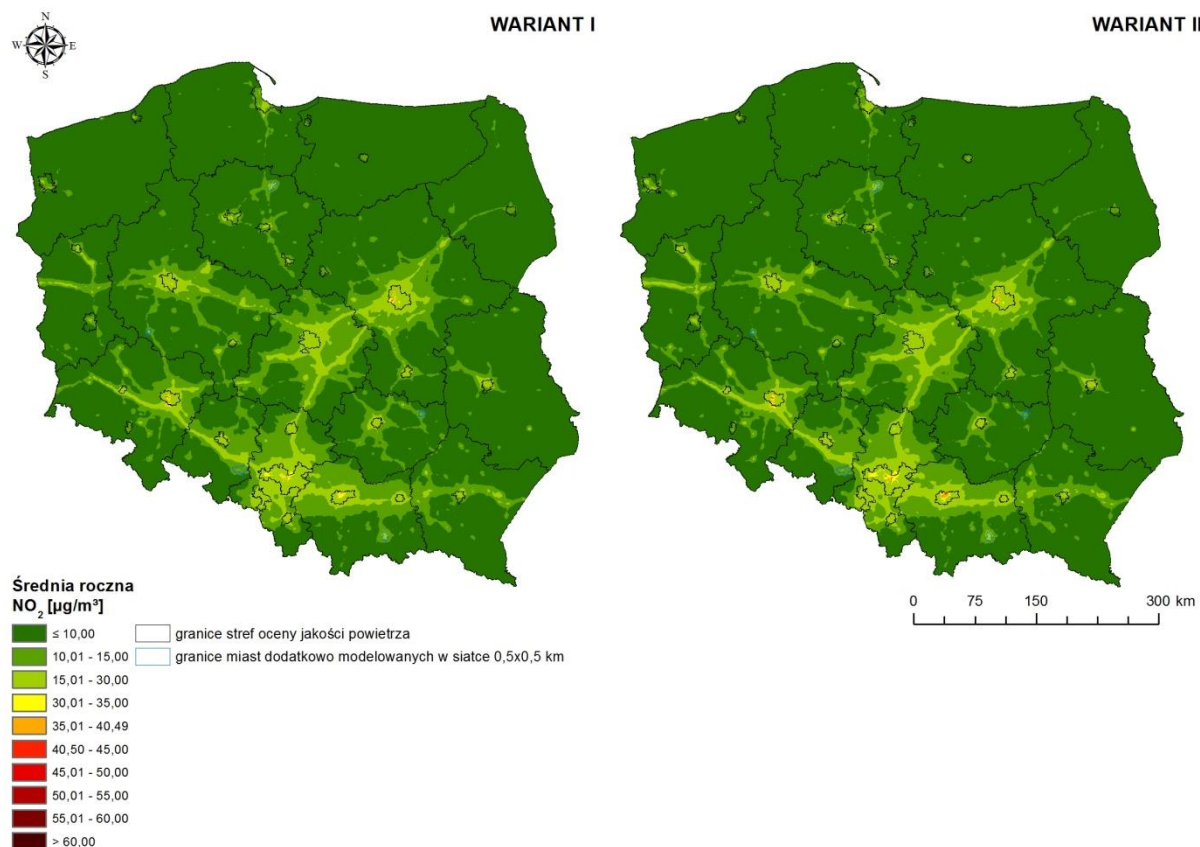


Rysunek 69. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).

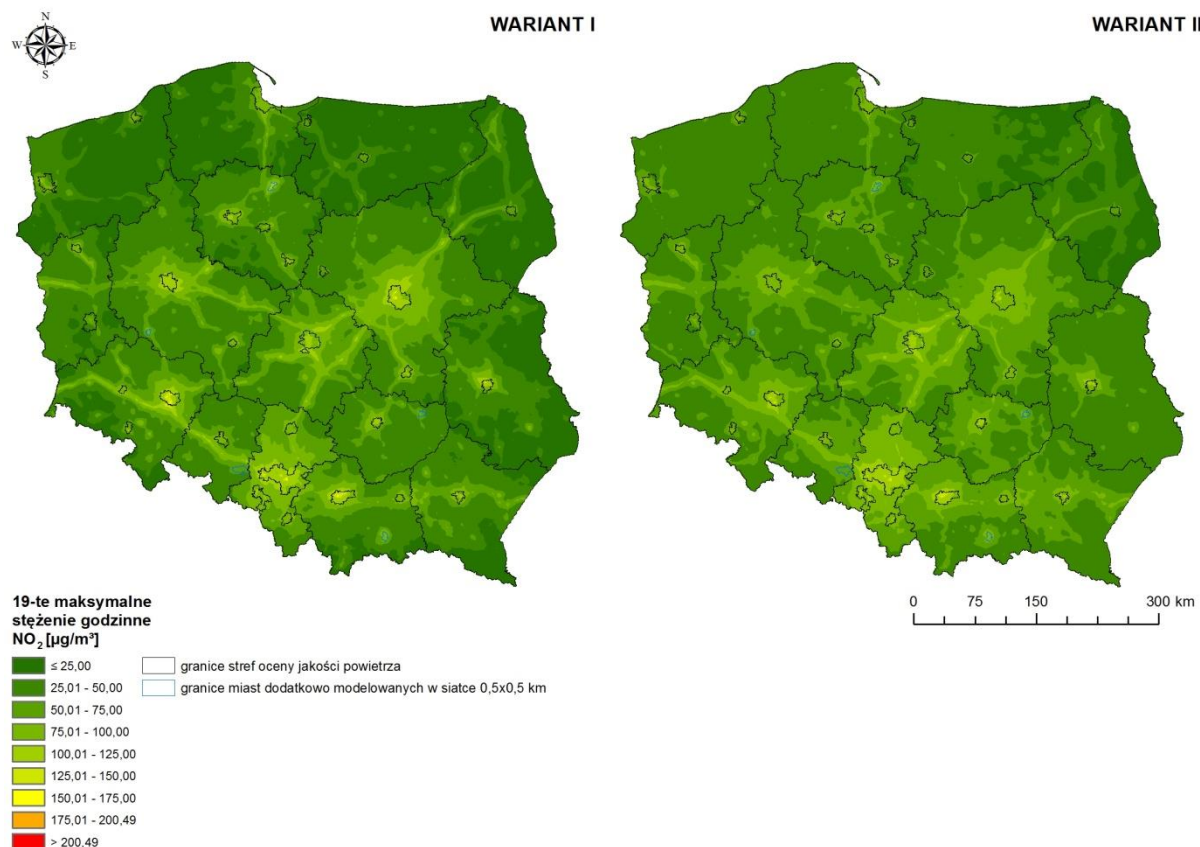
Dwutlenek azotu

Modelowane stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla zdecydowanej większości obszarów i ponad 95% punktów pomiarowych w kraju są poniżej normy, dla ponad 70% stacji i nie przekraczają połowy wartości dopuszczalnej. Ich przestrzenny rozkład wskazuje na silny związek obszarów o wyższych wartościach z występowaniem sieci głównych dróg. Obszary zlokalizowane są w aglomeracjach górnośląskiej, wrocławskiej, krakowskiej i warszawskiej oraz strefie dolnośląskiej (obszary węzłów komunikacyjnych (węzeł autostrady A4: Bielany Wrocławskie, Katowice) i głównych ulic w miastach (Kraków – Al. Krasińskiego, Warszawa – Al. Niepodległości). Przekroczenia normy występują ściśle lokalnie, na obszarze nieprzekraczającym 6,75 km². Łączna powierzchnia obszarów przekroczeń wynosi 19 km², a liczba ludności narażonej wynosi niespełna 78 tys. osób. W wariantie II obszar przekroczeń wynosi 31 km², a liczba narażonej ludności wynosi niespełna 150 tys. mieszkańców.

Modelowanie w zakresie wartości godzinnych wskazuje rozkład bardzo podobny do wartości średniorocznych, gdzie wyższe stężenia nawiązują do przebiegu szlaków komunikacyjnych jednak wartości stężeń nie wskazują na wystąpienie obszarów przekroczeń stężeń godzinnych. Kalibracja powoduje obniżenie wartości stężeń godzinowych w aglomeracjach i strefach miejskich i zwiększenie wartości stężeń na terenach pozamiejskich, niwelując różnice pomiędzy obszarami o wyższych stężeniach.



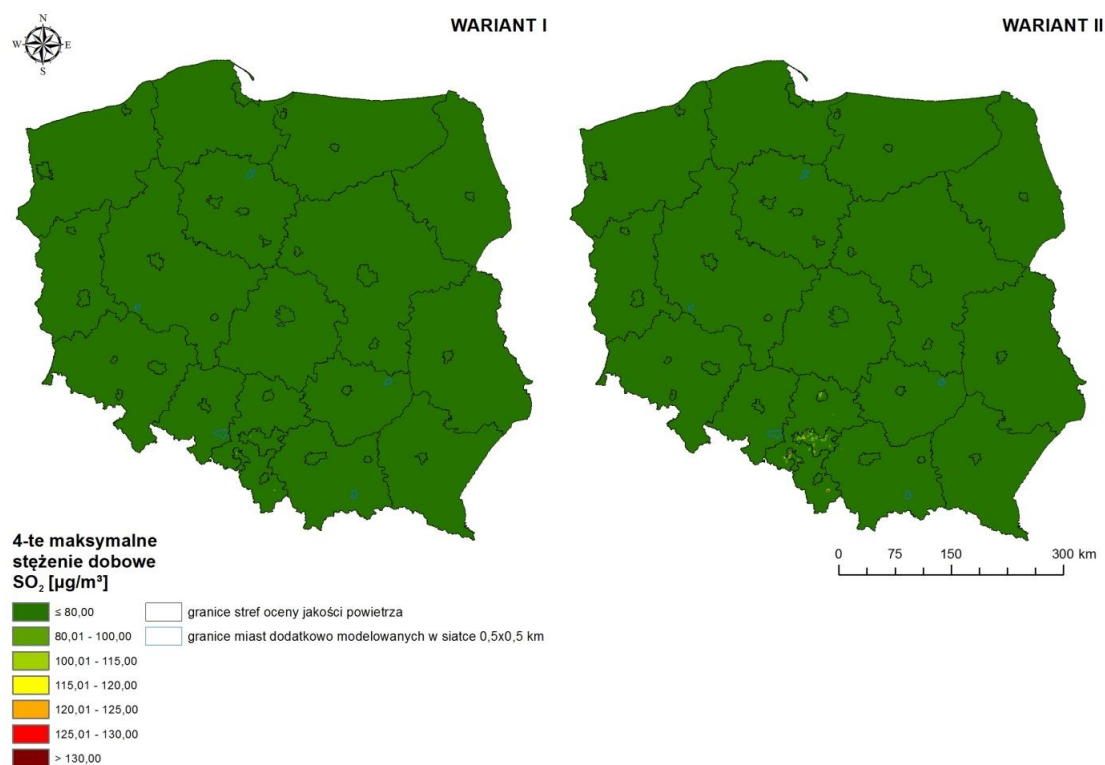
Rysunek 70. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariacie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariacie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).



Rysunek 71. Rozkład stężeń 1 godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako 19 maksymalne stężenie godzinowe na obszarach województwa, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantcie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantcie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km 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. Wyniki modelowania wskazują na wystąpienie jednego obszaru przekroczeń dla stężeń dobowych w strefie śląskiej (powierzchnia 0,25 km² i 136 narażonych osób). Po połączeniu wyników modelowania i pomiarów zauważalny jest wzrost stężeń na obszarach stref miejskich co powoduje identyfikację obszarów przekroczeń we wszystkich strefach województwa śląskiego (oprócz miasta Bielska-Biała). Łączna powierzchnia obszarów przekroczeń stężeń dobowych zwiększyła się do 14 km² z liczbą ludności narażonych na występowanie stężenia na poziomie 37,5 tys. osób. Podwyższone od większości punktów stężenia mają zasięg ściśle lokalny i są związane głównie z emisją punktową i występują jedynie w województwie śląskim.

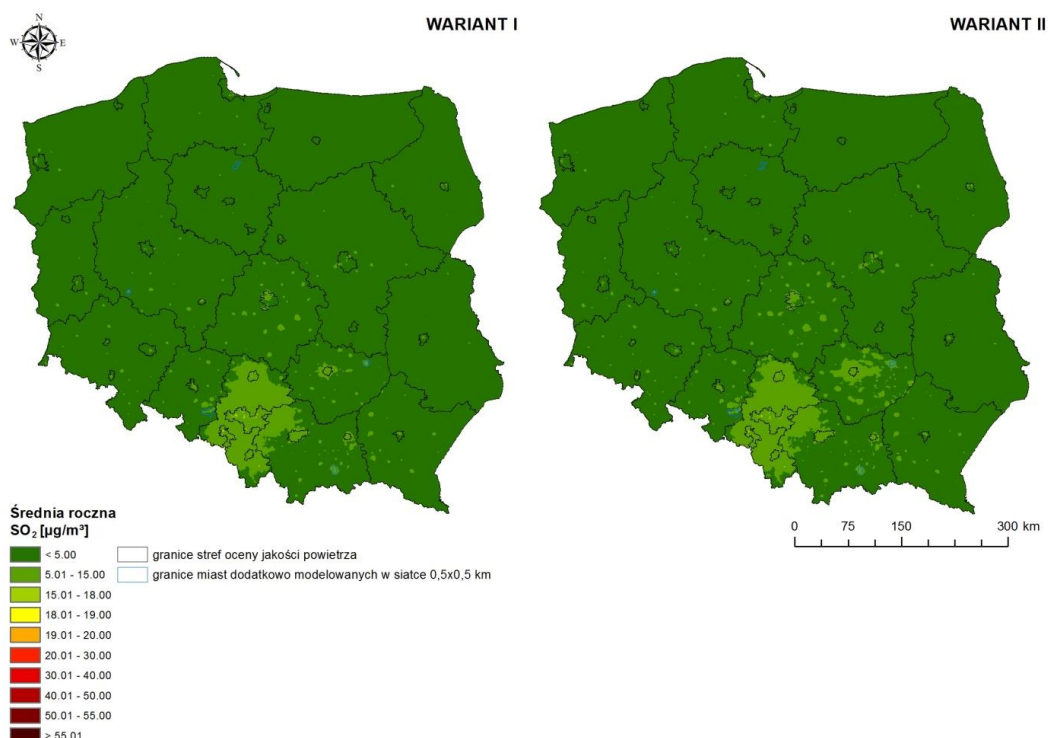


Rysunek 72. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako 4 maksymalne stężenie dobowe na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).

7.2.2. Wyniki wspomagania 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 10 µg/m³. Z klasyfikacji według kryterium ochrony roślin wyłączone są strefy-aglomeracje oraz strefy-miasta. Na pozostałym obszarze kraju wartości przekraczające 19 µg/m³ występują w jednym punkcie w strefie śląskiej. W żadnym punkcie nie zidentyfikowano przekroczenia wartości normowanej 20 µg/m³.



Rysunek 73. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki na obszarach województw, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariantie I oraz na podstawie łączenia wyników modelowania z wynikami pomiarów w wariantie II (modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).

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

Analiza wyników uzyskanych w wariantie II wskazuje na poprawę wzajemnej korelacji pomiędzy wartościami stężeń uzyskanymi z modelowania matematycznego, a wartościami stężeń pochodzącymi z sieci PMŚ. Zastosowana metoda kalibracji w większości przypadków pozwoliła zredukować rozbieżności pomiędzy wynikami stacja-model, zarówno w skali wojewódzkiej, jak i krajowej, zachowując przy tym przestrzenne zróżnicowanie rozkładu stężeń (wyjątkiem są stężenia dwutlenku siarki dla niektórych stacji niespełniające warunku dotrzymania wymaganych warunków zgodności dlatego konieczne jest przyjęcie wariantu I modelowania). Zależność między wynikami ustala się na podstawie równań regresji liniowej, stąd 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 lub też uzyskane serie pomiarowe nie reprezentują faktycznego stanu wielkości stężeń dla całości okresu uśrednianych wyników.

W przypadku, gdy wyniki modelowania zarówno w wariantie I jak i wariantie II nie osiągają tak wysokich poziomów stężeń jak na stacjach, a tym samym nie występują obszary przekroczeń w okolicach stacji, istnieje możliwość wyznaczenia obszaru przekroczeń tylko na podstawie wyników pomiarów przyjmując reprezentatywny obszar stacji pomiarowej jako obszar przekroczeń. 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 wyznaczane są w tzw. obiektywnym szacowaniu. Z takiej możliwości skorzystały w ocenie dla 2017 roku WIOŚ w Opolu, Łodzi i Krakowie. Dla obszarów wyznaczonych metodą obiektywnego szacowania dokonano obliczenia powierzchni i liczby narażonych mieszkańców w analogiczny sposób jak dla pozostałych obszarów.

Jeżeli występowanie obszarów przekroczeń wyznaczonych w modelowaniu 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.

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 szczególnie w przypadku stacji mierzących stężenia benzo(a)pirenu oraz pyłu PM_{2,5}. Niedobór stacji pozamiejskich wpływa istotnie na niepewność oznaczenia dolnego poziomu odniesienia dla wyników modelowania, szczególnie w Polsce południowo – wschodniej.

Analiza wyników stężeń zarejestrowanych w 2017 roku na stacjach Państwowego Monitoringu Środowiska wskazuje, że wyniki dla stacji nie odnotowują wartości, które w znaczny sposób odbiegają od ogólnego trendu dla określonej substancji tak jak to było w roku 2016. W obecnej ocenie jakości powietrza szczególnie odznaczały się wyniki dla stacji w Brzeszczu w województwie małopolskim. Stacja ta nie funkcjonowała wcześniej i dlatego nie można odnieść tego do wyników z lat poprzednich, natomiast wyniki w 2017 roku znacznie odstawały od wyników modelowania. Model nie doszacował stężeń zarówno w pyłe PM₁₀, jak i dla BaP. Sytuacje takie są szczególnie trudne dla modelu matematycznego, gdyż lokalny, krótkotrwały wpływ tego typu źródeł może nie być w pełni uwzględniony przez algorytm, a co za tym idzie udział źródła nie zostanie dostatecznie odwzorowany w wynikach modelowania. Kolejnym elementem analizy wyników pomiarów jest ocena wzajemnych zależności pomiędzy substancjami. Podwyższone lub stosunkowo niskie wartości stężeń pewnych substancji w środowisku wiążą się z podobnym trendem dla innych substancji. W 2017 roku sytuacja tego typu zaistniała na stacji w Łomży przy ul. Sikorskiego gdzie stężenie średnioroczne PM_{2,5} ma taką samą wartość jak odnotowana wielkość stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀. Taka sytuacja nie została odnotowana na żadnej innej stacji w kraju. Natomiast prawidłowością jest występowanie mniejszych różnic w wartościach mierzonych pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} w przypadku stacji miejskich gdzie znaczący udział w stężeniu ma emisja liniowa. Innym elementem, który powinien zostać poddany szczególnej kontroli, jest analiza wyników na stacjach, które cechują wyniki obarczone zwiększoną niepewnością w przestrzeni kilku lat pomiaru. W 2016 roku tak jak w latach wcześniejszych odnotowano wyróżniające się na tle lokalnym wyniki dla stacji Koniczynka w woj. kujawsko-pomorskim, gdzie zarejestrowano podwyższone wielkości benzo(a)pirenu, oraz stacji Święty Krzyż w woj. świętokrzyskim, gdzie ponownie wartość średnioroczna dla NO₂ wykazuje niskie stężenie w stosunku do tła otoczenia.

Kolejnym elementem kontroli wyników pomiarów Państwowego Monitoringu Środowiska jest analiza stacji pod względem stopnia pokrycia roku danymi. Proces kalibracji zakłada możliwość wykorzystania pomiarów ze stacji, dla których stopień pokrycia roku

danymi kształtuje się na poziomie przynajmniej 75%. W warunkach polskich zastosowanie tego kryterium jest jednak niemożliwe m.in. w przypadku benzo(a)pirenu. Spełnienie takiego kryterium wyeliminowałoby wyniki z części liczby stacji na terenie kraju. W związku z tym kryterium bazuje to dodatkowo na wielkości odchyłek względem całej populacji wyników dla danej substancji. W przypadku, gdy wyniki nie stanowią istotnego odchylenia od ogólnego obrazu stężeń w skali lokalnej i regionalnej, lecz nie dopełniają kryterium pokrycia roku danymi, są one wykorzystywane do wykonania kalibracji. Rozwiązaniem problemu niewystarczającej ilości danych lub występowania lokalnych odchyłek w wielkościach pomierzonych stężeń jest określenie głównego trendu zależności pomiędzy wynikami modelu, a wartościami na stacjach w skali regionalnej dla kraju. Wyznaczenie ogólnej zależności pozwala na wykonanie przejścia do bardziej szczegółowej skali lokalnej, gdzie znajomość trendu ogólnego określonej substancji pozwala na zminimalizowanie wpływu punktowych i obciążonych niepewnością odchyłek na stacjach oraz ewentualnych braków informacji wynikających z niewystarczającej ilości danych pozyskanych z pomiarów. Szczególne sytuacje powstają również w przypadku braku części serii pomiarowych przypadających na specyficzny okres dla danej substancji w roku. Taka sytuacja wystąpiła na stacji w Kościerzynie, gdzie braki w serii pomiarowej dwutlenku siarki przypadały na okres zimowy czyli czas występowania najwyższych stężeń. Wówczas modelowane wartości 1-godzinne i średniodobowe są mocno przeszacowane podczas gdy wartości średnioroczne są niedoszacowane.

8. 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. Dodatkowo w latach 2016-2018 przyjmowane były uchwały „antysmogowe”, które wprowadzają ograniczenia w stosowaniu paliw stałych oraz urządzeń na paliwa stałe w województwach. Takimi województwami są województwo małopolskie, śląskie, dolnośląskie, wielkopolskie, opolskie, mazowieckie, łódzkie i podkarpackie. W trakcie konsultacji projektów uchwał są województwa lubuskie i zachodniopomorskie. W województwach małopolskim, śląskim, dolnośląskim, łódzkim, mazowieckim, wielkopolskim i podkarpackim ograniczenia dotyczą zarówno stosowanych paliw jak i urządzeń. Opolska uchwała antysmogowa wprowadza jedynie ograniczenia w stosowaniu złej jakości paliw. W aglomeracji krakowskiej i wrocławskiej jak i niektórych strefach uzdrowiskowych województwa dolnośląskiego uchwały wprowadzają bezwzględny zakaz spalania węgla oraz drewna - z pewnymi ograniczeniami.

Przyjmowane przez sejmiki województw uchwały „antysmogowe” stanowią najefektywniejszy sposób na osiągnięcie zdecydowanej poprawy jakości powietrza. Niejednokrotnie stanowią one wsparcie dla realizacji Programów ochrony powietrza.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 1 sierpnia 2017 roku w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe, od 1 lipca 2018 roku stawiane są wymagania dla wprowadzanych do obrotu i do użytkowania kotłów na paliwo stałe o znamionowej mocy cieplnej nie większej niż 500 kW zgodnie z procedurą zawartą w normie przenoszącej normę europejską EN 303-5:2012 „Kotły grzewcze – Część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW – Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie.” Niniejsze Rozporządzenie rozwiązuje problem nowopowstałych źródeł spalania paliw stałych w kotłach pozaklasowych.

Procedowany jest również projekt nowelizacji ustawy o paliwach stałych mający uregulować jakość węgla kierowanego do odbiorców indywidualnych. Wprowadzenie regulacji uniemożliwiających obrót najgorszej jakości paliwami stałymi będzie istotnym wsparciem dla realizacji podjętych uchwał „antysmogowych”. Dotychczas zakaz stosowania paliw o najgorszych parametrach był trudny do egzekwowania ze względu na stałą podaż i łatwy dostęp do tego rodzaju paliw.

Powyższe przepisy stanowią element realizacji rządowego programu Czyste Powietrze. W ramach programu przyjęto do realizacji program termomodernizacji skierowany początkowo do 23 polskich miast z listy 35 najbardziej zanieczyszczonych. W ramach programu w ciągu najbliższych 10 lat na termomodernizację ma zostać przeznaczonych nawet 30 mld zł.

W niniejszym rozdziale zostały przedstawione działania których wdrożenie pozwoli na 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 mogą mieć charakter legislacyjny, edukacyjny, techniczno-technologiczny, kontrolny oraz finansowy. Najbardziej efektywnym działaniem są działania techniczno-technologiczne i kontrolne, ponieważ przynoszą szybki efekt ekologiczny. Przykładem takiego działania jest wymiana źródeł ciepła z opalanych paliwami stałymi na opalane paliwami gazowymi.

8.1. 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 źródła powierzchniowe 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;
- 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;

Ograniczania 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 postaw 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 wewnątrzmiejski 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.

8.2. 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 końca 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	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 – nowelizacja ustawy jak 4 rozporządzenia wykonawcze przyjęte zostały przez Rząd 6 marca 2018 roku	Parlament RP / ME / MŚ	Krótkoterminowe (do roku 2018)
	Wymagania jakościowe dla paliw stałych stosowanych w instalacjach o nominalnej mocy cieplnej nie większej niż 1,0 MW	ME / 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.	MIR / MŚ	

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
	zm.) w zakresie możliwości wprowadzenia oznakowania stref ograniczonej emisji transportowej		
	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. emisji 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	
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.		Średnioterminowe (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			

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
Poziom lokalny	Czyszczenie ze zraszaniem, w okresie wiosna - jesień (gdy temperatura powietrza w każdej godzinie jest powyżej 3°C, 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)
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)
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			

Szczebel administracyjny, na którym można podjąć dany środek	Opis działania naprawczego	Instytucja odpowiedzialna / koordynator	Ramy czasowe
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			
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)

9. Podsumowanie

Celem tego etapu projektu było opracowanie wyników do wspomagania systemu ocen jakości powietrza w zakresie modelowania matematycznego dla PM10, PM2,5, SO₂, NO₂, B(a)P, w skali kraju oraz poszczególnych województw dla roku 2017. Wyniki etapu IV realizacji projektu stanowiły wkład w wykonanie wojewódzkich ocen jakości powietrza w skali stref jakości powietrza za 2017 rok, a także posłużyły do wykonania krajowej oceny jakości powietrza za 2017 r.

W ramach krajowej oceny jakości powietrza przeprowadzone zostało modelowanie wielkoskalowe modelem CAMx, 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 PM2,5, oraz

średniorocznych i jednogodzinowych NO₂. Brak modelowanych przekroczeń dla dwutlenku siarki ze względu na ochronę zdrowia ludzi i roślin.

Przeprowadzona analiza niepewności modelowania zarówno na poziomie wojewódzkim jak i krajowym wskazuje na dobre dopasowanie wyników modelowania i wyników pomiarów. Zastosowanie narzędzia DELTA TOOL pozwoliło na przedstawienie analizy niepewności z zastosowaniem rekomendowanych do tego celu statystyk i metod. Wskaźniki jakości modelowania mieszczą się w wymaganych Dyrektywą CAFE granicach niepewności, poza nieznacznym przekroczeniem wskaźnika MQI dla modelowania w skali kraju. Dla pyłu PM₁₀ wskaźnik ten nieznacznie przekroczył wartość 1, natomiast dla pozostałych substancji mieści w przedziale nieprzekraczającym wartości 1.

Wyniki wojewódzkich ocen jakości powietrza zostały przekazane Wojewódzkim Inspektoratom Ochrony Środowiska w celu dokonania analizy i wykorzystania w rocznej ocenie jakości powietrza dla 2017 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.

Wyznaczenie obszarów przekroczeń zostało wykonane podwójnie: w pierwszej kolejności dla województw, a następnie dla kraju. Wielkości wyznaczonych obszarów ze względu na różną rozdzielczość i warianty analiz różnią się od siebie co wynika z zastosowanej metodyki modelowania i analiz. Dla obszarów województw wyznaczone obszary przekroczeń są bardziej zróżnicowane przez co w skali kraju zajmują powierzchnię nieco mniejszą aniżeli wyznaczone na podstawie modelowania CAMx dla skali kraju. Podobnie z liczbą narażonej ludności która obliczona dla skali kraju niejednokrotnie jest większa, aniżeli wyliczona na podstawie liczby ludności w obszarach dla województw.

W przypadku przekroczeń, które zostały zarejestrowane na stacjach, a nie są odnotowywane w modelowaniu wykorzystana została możliwość wyznaczenia zasięgu tych przekroczeń na podstawie obszaru reprezentatywnego stacji przez WIOŚ na danym obszarze. Obliczenia powierzchni takich obszarów oraz liczby narażonej ludności zostały wykonane dodatkowo po przekazaniu plików SHP. W niektórych województwach przy zastosowaniu metody obiektywnego szacowania wyznaczone zostały dodatkowe obszary przekroczeń, które nie zostały pierwotnie wyznaczone w wyniku modelowania. Po przekazaniu przez inspektoraty plików SHP wyznaczona została dodatkowo liczba osób narażonych.

W przypadku kiedy wyznaczone na podstawie modelowania i analiz przestrzennych obszary przekroczeń budziły wątpliwości ze strony WIOŚ, obszary takie były wyłączone z oceny rocznej dokonywanej przez WIOŚ. Wątpliwości co do poprawności uzyskanych wyników stanowią jednocześnie podstawę do rewizji danych w bazie emisyjnej (wielkości emisji oraz zastosowanych wskaźników). Zalecane natomiast jest zastosowanie jednego, spójnego dla wszystkich analizowanych substancji, wariantu przy opracowaniu dokumentu Oceny.

Dodatkowo bazując na doświadczeniach z 2016 roku zostały określone dla całego kraju i każdego województwa oddzielnie obszary przekroczeń w postaci warstw SHP, które odnoszą się do wartości dopuszczalnej pyłu PM_{2,5} odniesionej do roku 2020 czyli dla II fazy.

W ramach krajowej oceny jakości powietrza wykonana została również analiza transportu transgranicznego zanieczyszczeń która 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 ma 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.

SPIS TABEL

Tabela 1. Parametry domen obliczeniowych modelu CAMx.....	10
Tabela 2. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych pyłu zawieszonego PM ₁₀ w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.	14
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.	15
Tabela 4. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych dwutlenku azotu w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.	18
Tabela 5. Obszary przekroczeń stężeń normatywnych benzo(a)pirenu w powietrzu dla skali kraju, ze względu na ochronę zdrowia, dla wariantu I i II.	20
Tabela 6. Zestawienie uwag i zagadnień zebranych w trakcie konsultacji z WIOŚ wyników do oceny rocznej. Błąd! Nie zdefiniowano zakładek.	

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Siatka modelu CAMx o rozdzielczości 15 km dla obszaru Europy środkowej - domena D01.....	11
Rysunek 2. Siatka modelu CAMx o rozdzielczości 5 km dla obszaru kraju - domena D02.	11
Rysunek 3. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM ₁₀ w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	13
Rysunek 4. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu PM ₁₀ w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	14
Rysunek 5. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM _{2,5} w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	15
Rysunek 6. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,2 w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	16
Rysunek 7. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako percentyl 99,7 ze stężeń w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	17
Rysunek 8. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	18
Rysunek 9. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako percentyl 99,8 ze stężeń w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	19
Rysunek 10. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	20
Rysunek 11. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki w skali kraju dla 2017 roku - wynik modelowania CAMx w wariantach I i II.	21
Rysunek 12. Rozkład stężeń pochodzących z pomiarów i modelowania z modelu CAMx dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).	22
Rysunek 13. Współczynniki korelacji wyników modelowania dla pyłu PM ₁₀ modelem CAMx w siatce 5 k x 5 km dla roku 2017.	23
Rysunek 14. Diagram celu dla wyników modelowania pyłu PM ₁₀ z modelu CAMx dla skali kraju dla roku 2017.	24
Rysunek 15. Raport podsumowujący analizy wyników modelu CAMx dla skali kraju dla pyłu PM ₁₀ . (źródło: Delta Tool)	25
Rysunek 16. Rozkład stężeń pyłu PM 2,5 z pomiarów i modelowania modelem CAMx w skali kraju dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).	26
Rysunek 17. Współczynniki korelacji wyników modelowania dla pyłu PM _{2,5} modelem CAMx dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).	27
Rysunek 18. Diagram celu dla wyników modelowania pyłu PM _{2,5} z modelu CAMx dla skali kraju dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).	28
Rysunek 19. Raport podsumowujący analizy wyników modelu CAMx dla skali kraju dla pyłu PM _{2,5} dla roku 2017 (źródło: Delta Tool)	29
Rysunek 20. Rozkład stężeń dwutlenku azotu z pomiarów i modelowania modelem CAMx w skali kraju (źródło: Delta Tool).	30
Rysunek 21. Diagram celu dla wyników modelowania dwutlenku azotu z modelu CAMx dla skali kraju dla 2017 roku (Źródło: Delta Tool).	31
Rysunek 22. Raport podsumowujący analizy wyników modelu CAMx dla skali kraju dla pyłu PM _{2,5} dla 2017 roku (źródło: Delta Tool).	32

Rysunek 23. Rozkład stężeń siarki azotu z pomiarów i modelowania modelem CAMx w skali kraju dla roku 2017 (źródło: Delta Tool).	33
Rysunek 24. Raport wartości odchyień BIAS wyników pomiarów i wyników modelu CAMx dwutlenku siarki dla skali kraju dla 2017 roku (źródło: Delta Tool).	34
Rysunek 25. Raport korelacji wyników dwutlenku siarki z wyników pomiarów i wyników modelu CAMx dla skali kraju (źródło: Delta Tool).	35
Rysunek 26. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).	37
Rysunek 27. Stężenia średnioroczne pyłu PM2,5 pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).	38
Rysunek 28. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).	39
Rysunek 29. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).	40
Rysunek 30. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu pochodzącego ze źródeł transgranicznych dla 2017 roku w skali kraju (źródło: wyniki modelowania modelem CAMx).	41
Rysunek 31. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 dla 2017 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).	43
Rysunek 32. Stężenia średnioroczne pyłu PM2,5 dla 2017 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).	44
Rysunek 33. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu dla 2017 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).	45
Rysunek 34. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 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).	46
Rysunek 35. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2017 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).	47
Rysunek 36. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 dla 2017 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).	49
Rysunek 37. Stężenia średnioroczne pyłu PM2,5 dla 2017 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).	50
Rysunek 38. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 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).	51
Rysunek 39. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2017 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).	52
Rysunek 40. Stężenia średnioroczne pyłu PM10 dla 2017 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).	54
Rysunek 41. Stężenia średnioroczne pyłu PM2,5 dla 2017 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).	55
Rysunek 42. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2016 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).	56
Rysunek 43. Stężenia średnioroczne dwutlenku siarki dla 2017 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).	57
Rysunek 44. Stężenia średnioroczne benzo(a)pirenu dla 2017 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).	58

Rysunek 45. Stężenia średnioroczne pyłu PM ₁₀ dla 2017 roku ze źródeł z upraw (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).	60
Rysunek 46. Stężenia średnioroczne pyłu PM ₁₀ dla 2017 roku ze źródeł z hodowli (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).	61
Rysunek 47. Stężenia średnioroczne pyłu PM _{2,5} dla 2017 roku ze źródeł z upraw (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).	62
Rysunek 48. Stężenia średnioroczne pyłu PM _{2,5} dla 2017 roku ze źródeł z hodowli (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).	63
Rysunek 49. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 roku ze źródeł z upraw (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	64
Rysunek 50. Stężenia średnioroczne dwutlenku azotu dla 2017 roku ze źródeł z hodowli (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	65
Rysunek 51. Stężenia średnioroczne pyłu PM ₁₀ dla 2017 roku ze źródeł niezorganizowanych (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	66
Rysunek 52. Stężenia średnioroczne pyłu PM _{2,5} dla 2017 roku ze źródeł niezorganizowanych (źródło: wyniki modelowania modelem CALPUFF: modelowanie w siatce 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1km x 1km dla pozostałych stref).	67
Rysunek 53. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM ₁₀ w punktach stacji pomiarowych w województwie dolnośląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	68
Rysunek 54. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM ₁₀ w punktach stacji pomiarowych w województwie kujawsko-pomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	69
Rysunek 55. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM _{2,5} w punktach stacji pomiarowych w województwie małopolskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	70
Rysunek 56. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych pyłu PM _{2,5} w punktach stacji pomiarowych w województwie świętokrzyskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	71
Rysunek 57. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie mazowieckim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	72
Rysunek 58. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku azotu w punktach stacji pomiarowych w województwie dolnośląskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	73
Rysunek 59. 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).	74
Rysunek 60. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych dwutlenku siarki w punktach stacji pomiarowych w województwie zachodniopomorskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	75
Rysunek 61. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie łódzkim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	76
Rysunek 62. Procentowe udziały źródeł emisji według rodzajów w stężeniach średniorocznych benzo(a)pirenu w punktach stacji pomiarowych w województwie lubelskim (źródło: na podstawie wyników z modelu CALPUFF).	76
Rysunek 63. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM ₁₀ na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I.	78
Rysunek 64. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu zawieszonego PM ₁₀ na obszarze województwa małopolskiego, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie II.	79

Rysunek 65. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu na obszarze miasta Nowy Sącz, na podstawie wyników modelowania modelem CALPUFF w wariancie I i II.....	80
Rysunek 66. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	82
Rysunek 67. Rozkład stężeń 24-godzinnych pyłu PM ₁₀ wyrażonych jako 36-te maksymalne stężenie dobowe 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	83
Rysunek 68. Rozkład stężeń średniorocznych pyłu PM _{2,5} 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	84
Rysunek 69. Rozkład stężeń średniorocznych benzo(a)pirenu 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	85
Rysunek 70. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku azotu 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	86
Rysunek 71. Rozkład stężeń 1-godzinnych dwutlenku azotu wyrażonych jako 19 maksymalne stężenie godzinowe 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	87
Rysunek 72. Rozkład stężeń 24-godzinnych dwutlenku siarki wyrażonych jako 4 maksymalne stężenie dobowe 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	88
Rysunek 73. Rozkład stężeń średniorocznych dwutlenku siarki 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 0,5 km x 0,5 km dla aglomeracji i miast pow. 100 tys. mieszkańców oraz 1 km x 1 km dla pozostałych stref).	89

