

**WOJEWÓDZKI INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA
W SZCZECINIE**

**WYNIKI OBLICZEŃ ROZPRZESTRZENIANIA ZANIECZYSZCZEŃ
W POWIETRZU ATMOSFERYCZNYM W STREFACH
WOJEWÓDZTWA ZACHODNIOPOMORSKIEGO W ROKU 2011***

Zatwierdził:

**ZACHODNIOPOMORSKI
WOJEWÓDZKI INSPEKTOR
OCHRONY ŚRODOWISKA**

mgr inż. Andrzej Miluch

Szczecin, czerwiec 2012 r.

- - aneks do raportu „Roczna ocena jakości powietrza w województwie zachodniopomorskim za 2011 rok – wykonana według zasad określonych w art. 89 ustawy Prawo ochrony środowiska”

Spis treści

Wstęp.....	5
1. Emisja zanieczyszczeń do powietrza w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.	6
1.1. Inwentaryzacja emisji	6
1.2. Metody obliczeń oraz szacowania ładunków emisji punktowej, powierzchniowej i liniowej na obszarze województwa zachodniopomorskiego.....	6
1.3. Charakterystyka wielkości emisji ze źródeł punktowych, powierzchniowych i liniowych...	10
2. Charakterystyka warunków meteorologicznych wykorzystanych do obliczeń modelowych za rok 2011.....	13
3. Ocena wyników modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu w województwie zachodniopomorskim.....	20
4. Ocena jakości modelowania.....	27
5. Podsumowanie.....	30

WSTĘP

W roku 2011, podobnie jak w latach poprzednich, ważny element systemu oceny jakości powietrza stanowiły obliczenia rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Obliczenia dostarczyły istotnych informacji o występujących stężeniach zanieczyszczeń w układzie przestrzennym na obszarze stref, gdzie nie były prowadzone pomiary. Obliczenia przeprowadzone zostały według nowego układu stref (obowiązującego od roku 2011) i następujących substancji: SO₂, NO₂, NO_x, CO, pył PM₁₀, PM_{2,5} oraz Pb, As, Cd, Ni, B(a)P w PM₁₀. Uwzględniono w nich przemiany chemiczne związków siarki i azotu.

Obliczenia wykonano za pomocą modeli CALMET/CALPUFF, wykorzystano również mezoskalowy model meteorologiczny WRF (The Weather Research and Forecasting Model), zaprojektowany do symulacji i prognozowania cyrkulacji atmosferycznej. W obliczeniach uwzględniono napływ zanieczyszczeń spoza województwa, wpływ dużych źródeł punktowych (o wysokości emitora powyżej 30 m) z obszaru województwa oraz emitory punktowe niskie, emitory komunikacyjne (emisja liniowa) i komunalne (emisja powierzchniowa). Modelowanie prowadzono w siatkach obliczeniowych: 1x1 km dla obszaru województwa zachodniopomorskiego oraz 250 x 250 m dla miast powiatowych.

Model został poddany weryfikacji przy pomocy wyników pomiarów. Wymagania, jakie powinny spełniać wyniki modelowania określone są w załączniku nr 6 rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U z 2009 r. Nr 5, poz.31). Niepewność modelowania, definiowana jako maksymalne odchylenie mierzonych i obliczanych poziomów substancji, powinna wynosić, w zależności od rodzaju substancji i czasu uśredniania stężeń, od 30% (dla średniorocznych stężeń SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀) do 60% (dla średniorocznych stężeń B(a)P, As, Cd i Ni).

Wizualizacje wyników obliczeń modelowych, przygotowane zgodnie z załącznikiem nr 6 rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu, zamieszczono w Załączniku nr 1.

1. Emisja zanieczyszczeń do powietrza w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.

1.1. Inwentaryzacja emisji

Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń do powietrza za rok 2011 została przeprowadzona na potrzeby rocznej oceny jakości powietrza. W tym roku dokonano aktualizacji inwentaryzacji emisji punktowej, liniowej i powierzchniowej dla następujących zanieczyszczeń: dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, pyłu zawieszanego (całkowity- TSP, oraz frakcje drobne: PM10 i PM2,5), tlenku węgla, benzenu, ołowiu, a także benzo(a)pirenu oraz metali ciężkich (arsen, kadm, nikiel).

Prace wykonano kierując się „Wskazówkami do wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza” (Warszawa 2003), w oparciu o możliwe do uzyskania informacje:

- ewidencja emisji za 2010 i 2011 r., opracowana na podstawie sprawozdań przekazanych przez użytkowników środowiska Marszałkowi Województwa Zachodniopomorskiego i Zachodniopomorskiemu Wojewódzkiemu Inspektorowi Ochrony Środowiska, zgodnie z art. 286 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 roku, Nr 25, poz.150 z późn. zmianami)
- dane Głównego Urzędu Statystycznego, SEC Sp. z o.o., dane Zakładów Energetyki Ciepłej z miast powiatowych województwa oraz założenia do projektów planu zaopatrzenia gmin w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe (wykorzystane głównie do uzyskania informacji niezbędnych do obliczenia emisji powierzchniowej z obszarów poszczególnych gmin),
- dane z pomiarów monitoringowych hałasu komunikacyjnego, wykonanych przez WIOŚ w Szczecinie oraz informacje o natężeniu ruchu na drogach krajowych (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad), na drogach wojewódzkich (Zarząd Dróg Wojewódzkich w Koszalinie), informacje nadesłane przez Zarząd Dróg i Transportu Miejskiego w Szczecinie, a także przez zarządy dróg powiatowych w województwie (informacje wykorzystano do obliczenia emisji zanieczyszczeń z transportu samochodowego - emisja liniowa),
- baza danych ferm hodowlanych zwierząt o ilości sztuk powyżej 40 DJP opracowana przez WIOŚ w Szczecinie,
- dane o emisji napływowej z terenów przygranicznych Niemiec (Meklemburgia-Pomorze Przednie, Brandenburgia).

1.2. Metody obliczeń oraz szacowania ładunków emisji punktowej, powierzchniowej i liniowej na obszarze województwa zachodniopomorskiego

Emisja punktowa

Do wyznaczenia emisji punktowej BaP oraz metali ciężkich wykorzystano zestaw wskaźników pochodzących z opracowania „Inwentaryzacja emisji do powietrza SO_2 , NO_2 , CO , NH_3 , pyłów, metali ciężkich, NMLZO i TZO w Polsce w roku 2008”, KASZUE-KOBIZE, Warszawa, 2010, skategoryzowane według klasyfikacji źródeł emisji SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Emisja powierzchniowa

Do wyznaczenia emisji powierzchniowej wykorzystano zestaw wskaźników opracowanych przez GIOŚ oraz przez Krajowego Administratora Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji (KASHUE) („Inwentaryzacja emisji do powietrza SO_2 , NO_2 , CO , NH_3 , pyłów, metali ciężkich, NMLZO i TZO w Polsce za rok 2008”, Warszawa, luty 2009, „Wskazówki do wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza”, Warszawa 2003), a także wskaźniki opracowane przez firmę Ekometria Sp. z o.o. W poniższych tabelach zestawiono wykorzystane wskaźniki emisji.

Tabela 1.2.1. Wskaźniki emisji dla gazów, pyłów oraz dla niemetanowych związków organicznych

Paliwo	Emisja substancji [Mg/rok/m ²]					
	SO ₂	NO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2,5}	NMLZO
Węgiel	0.517600	0.269600	1.528000	1.146000	0.572765	0.579360
Koks	0.192000	0.060000	0.130500	0.091350	0.078300	0.514248
Olej	0.057000	0.065000	0.010843	0.009000	0.016200	0.002771
Gaz	0.000000	0.032000	0.000168	0.000168	0.000168	0.002537
Drewno	0.068000	0.060000	0.677083	0.650000	0.629688	0.147245
LPG	0.001764	0.105821	0.000441	0.000441	0.000441	0.003531
ekogroszek	0.298120	0.218080	0.071920	0.037398	0.009350	0.000000
pelety	0.005292	0.032508	0.004032	0.003629	0.003515	0.016422

Udział frakcji pyłu w pyle całkowitym przyjęto zgodnie z raportem „Poland’s Informative Inventory Report 2012”, KOBIZE, Warszawa, 2012, w którym zakłada się udział PM10 w TSP rzędu 75%, a PM_{2,5} – 25%.

Emisję powierzchniową uaktualniono stosując współczynnik zależności emisji powierzchniowej od temperatury powietrza według metodyki opracowanej w roku 2003 przez firmę Ekometria Sp. z o.o. Przyjęto, że sezon grzewczy trwa od października do kwietnia i wówczas dla średnich miesięcznych temperatur określa się wartość współczynnika według poniższej tabeli.

Tabela 1.2.2. Współczynnik zależności emisji powierzchniowej od temperatury.

Nr	Temperatura	K
1	temp ≤ -5°C	1,20
2	-5°C < temp ≤ 0°C	1,00
3	0°C < temp ≤ 5°C	0,80
4	5°C < temp ≤ 9°C	0,70
5	9°C < temp ≤ 12°C	0,60
6	12°C < temp ≤ 14.5°C	0,30
7	temp > 14.5°C	0,00

Dodatkowo zakłada się, że jeżeli temperatura zawiera się w przedziale: 12°C < temp ≤ 14,5°C w miesiącach maju lub wrześniu, współczynnik K=0, a jeżeli w miesiącach zimowych (od października do kwietnia) temp > 12°C, współczynnik K=0,3. W ten sposób określono współczynnik bazowy dla roku 2003, który wyniósł K=0,91.

Określono średni współczynnik K dla poszczególnych miesięcy sezonu grzewczego 2011 r. w oparciu o pomiary temperatury na kilku stacjach WIOŚ w województwie zachodniopomorskim. Następnie wyznaczono średni współczynnik osłabienia emisji w stosunku do roku bazowego 2003. Średni K dla roku 2011 wyniósł 0,88.

Tabela 1.2.3. Współczynnik K dla roku 2011 na stacjach województwa zachodniopomorskiego.

miesiąc	Szczecin Andrzejewskiego Temp[°C]	K	Szczecin Piłsudskiego Temp[°C]	K	Widuchowa Temp[°C]	K	Szczecin Łączna Temp[°C]	K	Koszalin Temp[°C]	K	Szczecinek Temp[°C]	K
styczeń	-0,90	1,00	-1,60	1,00	-0,50	1,00	-0,80	1,00	1,40	0,80	-0,70	1,00
luty	-1,50	1,00	-3,50	1,00	-2,20	1,00	-2,80	1,00	-0,90	1,00	-4,00	1,00
marzec	5,60	0,70	2,60	0,80	2,60	0,80	2,80	0,80	4,20	0,80	2,60	0,80
kwiecień	13,60	0,30	11,00	0,60	10,60	0,60	10,40	0,60	11,00	0,60	10,40	0,60
październik			8,70	0,70	10,00	0,60	8,40	0,70	10,70	0,60	8,70	0,70
listopad			2,80	0,80	4,50	0,80	2,90	0,80	6,10	0,70	3,10	0,80
grudzień	5,30	0,70	2,00	0,80	4,60	0,80	2,00	0,80	4,70	0,80	2,50	0,80
średni K2011		0,74		0,81		0,80		0,81		0,76		0,81
K2011/K2003		0,81		0,89		0,88		0,89		0,83		0,89

Emisja liniowa

Do wyznaczenia emisji liniowej na poszczególnych odcinkach dróg posłużyła informacja o natężeniu i strukturze ruchu, osiągalna dzięki przeprowadzonym pomiarom oraz kilka zestawów wskaźników. Pierwszy zestaw to wskaźniki emisji pochodzącej ze spalania paliw w silniku opracowane przez prof. Z. Chłopka. Wskaźniki te są zatwierdzone przez Krajowe Centrum Inwentaryzacji Emisji. Uzupełnienie informacji o prędkościach poszczególnych typów pojazdów pozwoliło na oszacowanie ładunku emisji liniowej. Założone prędkości pojazdów zestawiono w tabeli poniżej:

Tabela 1.2.4. Tabela prędkości pojazdów przyjętych do obliczeń

Typ pojazdu	Prędkość poza miastem [m/s]	Prędkość w mieście [m/s]
Osobowe	70	35
Dostawcze	60	30
Ciężarowe	45	30
Ciężarowe z przyczepą	45	30
Autobusy	50	25
Motocykle	70	50

Kolejny zestaw wskaźników wykorzystany do wyznaczania emisji pochodzi z systemu RAINS, a są to wskaźniki dotyczące pyłu pochodzącego ze ścierania opon, okładzin hamulcowych oraz nawierzchni jezdni. Wskaźniki te są uzależnione od typu pojazdów i podawane są w [g/km] drogi.

Ostatni zestaw wskaźników dotyczy emisji pochodzącej z zabrudzenia jezdni. Metodyka szacowania pyłu została oparta o zasady zawarte w opracowaniu „WRAP Fugitive Dust Handbook” (2004. Denver), wykorzystujące między innymi założenia modelu emisji komunikacyjnej Mobile 6.2 (EPA). W opracowaniu tym zaproponowano równanie empiryczne wiążące wskaźnik emisji pyłu PM_{2.5} i PM₁₀ z ruchem pojazdów:

$$E = \left[k \left(\frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right]$$

gdzie,

E – wskaźnik emisji pyłu o dowolnym rozmiarze cząstki, w g/km,

k – współczynnik zależny od wielkości cząsteczki (tab. 1),

sL – wskaźnik nanosu (brudu) na powierzchnię jezdni w g/m²,

W – średnia waga pojazdu w tonach, wyznaczana dla danego odcinka drogi (emitora),
C – suma wskaźników emisji z rury wydechowej (ze spalania paliw) oraz pyłu z tarcia opon, okładzin hamulcowych i jezdni.

Tabela 1.2.5. Wartości współczynnika *k* dla poszczególnych wielkości cząsteczki pyłu

Rozmiar cząstki pyłu	k[g/km/pojazd]
PM _{2.5}	1.1
PM ₁₀	4.6
PM ₁₅	5.5
PM ₃₀	24

Wskaźnik nanosu brudu na powierzchnię jezdni *sL* waha się w granicach od 0.03 do 400 g/m². Badania przeprowadzone przez California Air Resources Board (CARB) umożliwiły wyznaczenie wartości wskaźnika *sL* dla trzech kategorii dróg: 0.02 g/m² dla autostrad, 0.035 g/m² dla głównych dróg oraz 0.32 g/m² dla dróg lokalnych. Biorąc pod uwagę nie najlepszy stan czystości polskich dróg i ulic miejskich w dalszych obliczeniach przyjęto *sL* = 0.16 g/m² w miastach oraz *sL* = 0.08 g/m² na pozostałych drogach.

Ponadto założono uśrednioną wagę pojazdów (*W*):

- samochody osobowe: 1.3 tony
- samochody dostawcze: 3.6 tony
- autobusy i samochody ciężarowe: 10 ton.

Bardzo istotny wpływ na emisje pyłu związanego z zabrudzeniem jezdni ma wysokość opadu. W opracowaniu „WRAP Fugitive Dust Handbook” zaproponowane zostało uzależnienie wskaźnika emisji od opadu zgodnie z poniższym wzorem:

$$E = \left[k \left(\frac{sL}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{W}{3} \right)^{1.5} - C \right] \left(1 - \frac{P}{4N} \right)$$

gdzie,

P – liczba dni z opadem o wysokości co najmniej 0.254 mm, w badanym okresie,

N – liczba dni w badanym okresie np. 365 (366) dla roku.

Po wyznaczeniu emisji na odcinkach opomiarowanych, kolejnym krokiem było wyznaczenie emisji na odcinkach dróg nie objętych pomiarem natężenia ruchu. W aglomeracji szczecińskiej wykorzystano metodykę opracowaną przez firmę Ekometria Sp. z o. o., opartą o uzupełnienie katastru emisji liniowej. Wyróżniono dwa rodzaje pól katastru wymagające uzupełnienia:

- pola, w których emisja pyłu związana z natężeniem i strukturą ruchu określona jest na części odcinków ulic, lub na wszystkich ulicach,
- pola, w których brak jest jakiegokolwiek informacji o emisji pyłu (natężeniu i strukturze ruchu).

W pierwszym przypadku odcinkom ulic, na których nie określono emisji, przypisano emisję równą 20% wcześniej wyznaczonej emisji na pozostałych odcinkach w danym polu katastru (wskaźnik na 1km ulicy).

W drugim przypadku założono, że natężenie ruchu, a więc i emisja maleje wraz z odległością od drogi, na której znany jest ruch pojazdów (emisja) zgodnie z zależnością:

$$E_{wyn} = 0.2 * E_{znana} * L_k / L$$

gdzie:

E_{wyn} – emisja w badanym polu,

E_{znana} – emisja określona w polu najbliższym w stosunku do pola badanego,

L_k – bok kwadratu (pola) – 250 m,

L – odległość pola badanego od najbliższego pola z emisją.

Natomiast emisję B(a)P z komunikacji określono na podstawie wskaźników („Emission Inventory GuideBook”, EEA, 1999):

Tabela 1.2.6. Wskaźniki emisji benzo(a)pirenu z komunikacji

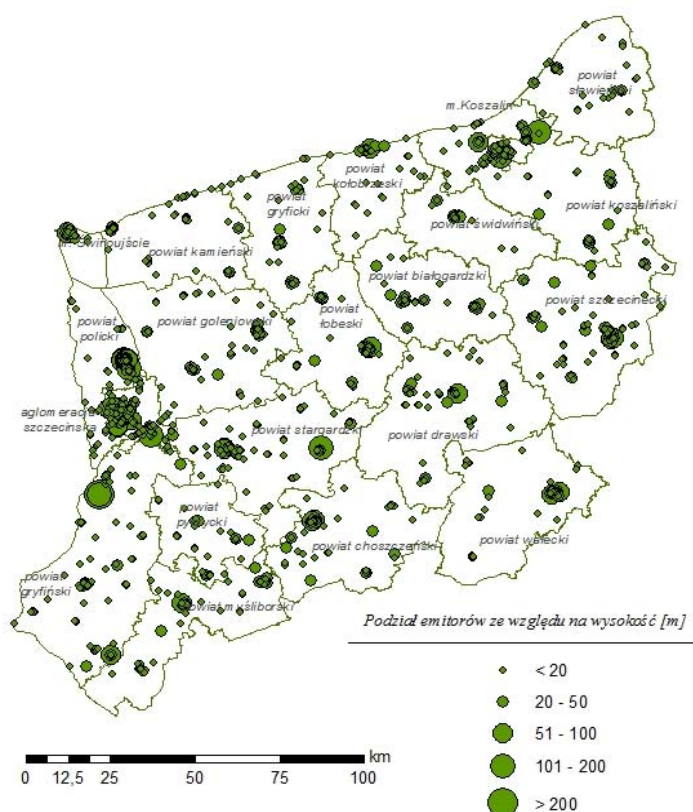
Lp.	Typ pojazdu	Wskaźnik emisji BaP
1	Samochód osobowy z silnikiem benzynowym	1.1
2	Samochód osobowy z silnikiem benzynowym z katalizatorem	0.4
3	Samochód osobowy z silnikiem diesla	0.7
4	Samochód osobowy z silnikiem diesla z bezpośrednim diesla	2.8
5	Ciężkie pojazdy	1.0

1.3. Charakterystyka wielkości emisji ze źródeł punktowych, powierzchniowych i liniowych

Według danych WIOŚ, w 2011 roku z emitatorów punktowych znajdujących się na terenie województwa zachodniopomorskiego, wyemitowano 23 641 Mg SO₂, 15 042 Mg NO₂, 4016,51 Mg CO, 2 035,82 Mg PM10 oraz 682,4 kg B(a)P. Do zakładów emitujących najwięcej zanieczyszczeń w województwie zachodniopomorskim należą: PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. - Oddział Zespół Elektrowni Dolna Odra, Zakłady Chemiczne „POLICE” S.A., Szczecińska Energetyka Ciepła Sp. z o.o., zakłady należące do Grupy KRONO, Telefonika Kable S.A.

Rysunek 1.3.1. Rozmieszczenie emitatorów punktowych w województwie zachodniopomorskim.

Źródło: opracowanie własne WIOŚ w Szczecinie



Znaczny wpływ na jakość powietrza mają także zanieczyszczenia emitowane ze spalania paliw, tzn. emisja niska pochodząca z sektora komunalno-bytowego. W wielu powiatach o charakterze rolniczym i atrakcyjnych pod względem turystycznym, z niewielką produkcją przemysłową, udział emisji powierzchniowej w emisji całkowitej znacznie przekracza 50%. Emisja powierzchniowa pochodzi z niskich emitorów odprowadzających gazowe produkty spalania z domowych palenisk i lokalnych kotłowni węglowych. Na wielkość tej emisji pośrednio wpływa wzrost cen paliw „czystych” (gaz, energia elektryczna). Powoduje to, iż do opalania domostw stosowane są paliwa gorszej jakości (węgiel, drewno), generujące znaczne ładunki zanieczyszczeń. Spora liczba emitorów oraz fakt, że wyprowadzanie zanieczyszczeń następuje z kominów o niewielkiej wysokości powodują, że zjawisko to może być szczególnie uciążliwe. Stara zabudowa w centrum większych miast ma charakter zwarty, co utrudnia proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Prowadzi to do kumulowania się zanieczyszczeń na stosunkowo niewielkim obszarze o dużej gęstości zaludnienia. Według danych WIOŚ w Szczecinie, w 2011 roku z obszaru województwa zachodniopomorskiego wyemitowano ze źródeł powierzchniowych 6 106,2 Mg SO₂, 3 445,3 Mg NO₂, 10 326 Mg CO, 14 431 Mg pyłu PM10 oraz 7 958 kg B(a)P.

Całkowita emisja dwutlenku siarki, charakteryzująca się największym udziałem procentowym w emisji punktowej, w ujęciu przestrzennym wykazuje jednak pewne odchylenia. W Szczecinie, Koszalinie oraz w powiatach polickim i gryfińskim - znaczący udział przypada na emisję punktową, co należy tłumaczyć obecnością dużych zakładów przemysłowych (wśród nich Zakłady Chemiczne „Police” S.A), a także największych źródeł energetycznych (PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. - Oddział Zespół Elektrowni Dolna Odra). Natomiast, w pozostałej części województwa największy procentowy udział emisji w dwutlenku siarki ma emisja ze źródeł powierzchniowych.

Coraz większy wpływ na jakość powietrza, szczególnie w miastach mają zanieczyszczenia pochodzące ze spalin samochodowych (emisja liniowa). Wzrost liczby samochodów, zły stan nawierzchni oraz powstawanie nowych odcinków dróg wiąże się ze wzrostem emisji, w szczególności tlenków azotu, tlenku węgla jak również drobnego pyłu przedostającego się do powietrza w wyniku ścierania okładzin hamulcowych, opon oraz nawierzchni jezdni. Z dróg województwa zachodniopomorskiego emituje się rocznie 50 981,1 Mg CO, 14 558,1 Mg NO₂, 47,3 Mg SO₂, 5 805 Mg pyłu PM10 oraz 110,1 kg B(a)P. Największe poziomy zanieczyszczenia pochodzących z transportu pokrywają się z głównymi węzłami komunikacji miasta Szczecina, Koszalina, Stargardu i Świnoujścia.

Pozyskanie pełnej informacji o emisji powierzchniowej i liniowej jest nadal zadaniem trudnym, tym bardziej, iż brakuje ogólnie przyjętej metodyki do obliczenia emisji z tych źródeł. Jednym z problemów jest dobór wskaźników emisji, które ulegają zmianom w wyniku przekształceń w poszczególnych branżach. Na ich wartość mają wpływ m.in. przeprowadzane procesy modernizacji w przemyśle, zmiany surowcowe oraz wyposażenie zakładów w wysokosprawne instalacje redukcji zanieczyszczeń.

Sumy emisji liniowej, punktowej, powierzchniowej oraz emisji całkowitej w województwie zachodniopomorskim w 2011 r. w podziale na strefy przedstawiono w *Tabelach 1.3.1-1.3.8.*

Tabela 1.3.1. Sumy emisji powierzchniowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku

STREFA	SO ₂	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}
aglomeracja szczecińska	442,7,13	311,1	865,6	1 126,3	653,3
miasto Koszalin	197,2	120,8	345,4	482,2	269,3
strefa zachodniopomorska	5 466,4	3 013,3	9 115,4	12 822,7	7 035,7
województwo	6 106,2	3 445,3	10 326,4	1 4431,1	7 958,3

Tabela 1.3.2. Sumy emisji powierzchniowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku

STREFA	Cd	As	Ni	B(a)P	Pb	C ₆ H ₆
aglomeracja szczecińska	109,6	75	345,4	131,6	690	35,1
miasto Koszalin	49,5	33,9	156	52,0	312	15
strefa zachodniopomorska	1 380,7	922,9	4 354,7	1 352,9	8 667,1	411,2
województwo	1 539,8	1 031,8	4 856,2	1 537,1	9 669,9	461,4

Tabela 1.3.3. Sumy emisji liniowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku

STREFA	SO ₂	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}
aglomeracja szczecińska	4,9	1 292,2	6 249,3	711,7	170,2
miasto Koszalin	0,7	175,7	853,1	81,5	19,5
strefa zachodniopomorska	41,7	13 090,2	43 878,7	5 011,7	1 198,5
województwo	47,3	14 558,1	50 981,1	5 805,0	1 388,2

Tabela 1.3.4. Sumy emisji liniowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku

STREFA	Cd	Ni	B(a)P	Pb	C ₆ H ₆
aglomeracja szczecińska	4,2	42,2	9,3	305,9	32 071,2
miasto Koszalin	0,46	4,9	1,3	43,9	4 309,8
strefa zachodniopomorska	37	370,3	99,4	2 493,2	213 138,7
województwo	41,7	417,4	110,1	2 843,0	249 519,7

Tabela 1.3.5. Sumy emisji punktowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku

STREFA	SO ₂	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}
aglomeracja szczecińska	3 588,4	1 844,31	277,69	402,14	129,46
miasto Koszalin	338,18	198,13	52,99	46,4	18,30
strefa zachodniopomorska	19 714,58	12 999,67	3 685,85	1584,28	739,97
województwo	23 641	15 042,11	4 016,51	2 035,82	887,73

Tabela 1.3.6. Sumy emisji punktowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku

STREFA	Cd	As	Ni	B(a)P	Pb
aglomeracja szczecińska	1,33	1,28	29,20	35,11	1,73
miasto Koszalin	0,31	0,28	6,42	40,50	0,82
strefa zachodniopomorska	6,97	7,03	184,49	606,78	11,1
województwo	8,61	8,6	220,11	682,4	13,65

Tabela 1.3.7. Sumy emisji całkowitej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku

STREFA	SO ₂	NO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}
aglomeracja szczecińska	4036,02	3447,57	7392,58	2 239,3	952,93
miasto Koszalin	536,04	494,68	1251,52	610,1	307,1
strefa zachodniopomorska	25222,63	29 103,2	56679,87	19 418,7	8974,17
województwo	29 794,69	33 045,45	65 323,97	22 268	10 234,23

Tabela 1.3.8. Sumy emisji całkowitej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku

STREFA	Cd	As	Ni	B(a)P	Pb	C ₆ H ₆
aglomeracja szczecińska	227,69	76,28	416,8	281,94	1 025,1	32 106,34
miasto Koszalin	100,03	34,17	167,32	107,9	362	4 324,81
strefa zachodniopomorska	2 835,45	929,96	4909,4	2 904,61	11 344,8	213 549,92
województwo	3 163,17	1 040,41	5493,62	3 294,44	12 735	249 981,07

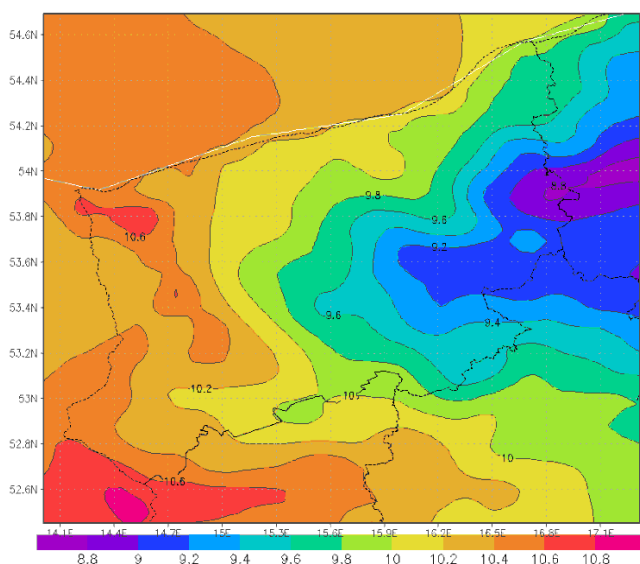
2. Charakterystyka warunków meteorologicznych wykorzystanych do obliczeń modelowych za rok 2011

Analizę podstawowych elementów i zjawisk meteorologicznych wykonano dla pól meteorologicznych uzyskanych za pomocą modeli WRF/CALMET, obejmujących obszar województwa zachodniopomorskiego. Analiza dotyczy prędkości i kierunku wiatru, temperatury, opadów atmosferycznych, wilgotności względnej, klas równowagi atmosfery i wysokości warstwy inwersji. Elementy te są wymagane przez model CALPUFF, który wyznacza przestrzenny rozkład stężeń zanieczyszczeń.

Ponadto w analizach uwzględniono przebiegi poszczególnych parametrów meteorologicznych wyznaczonych dla oczek siatki meteorologicznej odpowiadającym położeniu wybranych stacji meteorologicznych z sieci IMGW – wybrano stanowiska w Szczecinie-Dąbiu, Świnoujściu, Koszalinie, Resku i Szczecinku.

Temperatura powietrza

Rysunek 2.1.1 Rozkład średniej rocznej wartości temperatury powietrza [°C] w województwie zachodniopomorskim w 2011 r



Na podstawie informacji o polach meteorologicznych uzyskanych z programów WRF/CALMET wyznaczono średnie roczne wartości temperatury powietrza (na poziomie 2 m n.p.g.). Na obszarze województwa zachodniopomorskiego występuje zróżnicowanie średniej wartości temperatury. Średnia temperatura wahała się od 8,8 °C we wschodniej części województwa do 10,8 °C na terenach w zachodniej i północno-zachodniej części województwa (graniczących z Zalewem Szczecińskim).

Najchłodniejszym miesiącem, w województwie zachodniopomorskim, w 2011 roku był luty – na wszystkich stanowiskach wystąpiła ujemna wartość temperatury od -0,7 °C w Świnoujściu do -3,3 °C w Szczecinku. Najcieplejszymi miesiącami były lipiec i sierpień, wysokie średnie miesięczne wartości temperatury powietrza, kształtujące się w przedziale od 17,6 do 18,4°C, wystąpiły ponadto w czerwcu.

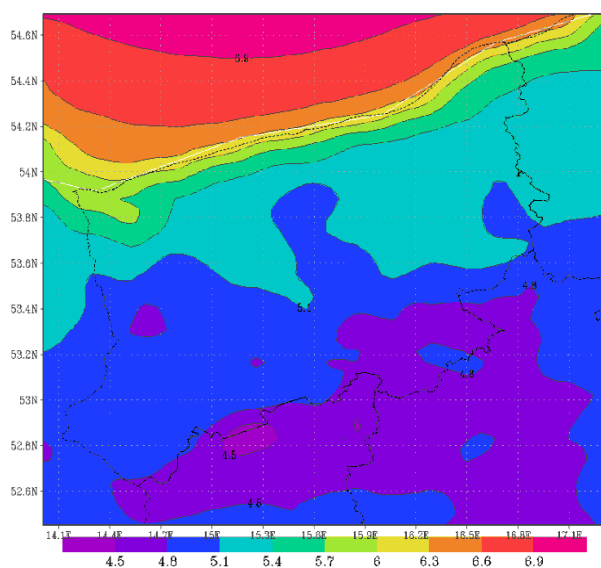
Tabela 2.1.1. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w roku 2011 na stanowiskach IMGW

T[°C]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Szczecin	1,2	-1,3	4,7	12,5	15,1	18,4	18,6	18,8	16,1	10,7	5,1	4,0	10,4
Koszalin	1,0	-2,2	3,6	10,8	14,2	17,6	18,7	18,4	15,8	10,6	5,4	3,7	9,9
Świnoujście	2,0	-0,7	4,6	11,3	14,6	18,2	18,8	18,9	16,4	11,4	6,3	4,9	10,6
Szczecinek	-0,1	-3,3	3,1	10,9	14,1	17,6	18,2	17,9	15,0	9,5	4,1	2,5	9,2
Resko	0,8	-2,1	4,0	11,7	14,7	18,0	18,4	18,4	15,8	10,4	5,0	3,6	10,0

Wiatr

Na rozprzestrzenianie się substancji zanieczyszczających znaczny wpływ mają prędkości oraz kierunki wiatrów. Cisze wiatrowe i małe prędkości wiatru pogarszają poziomą wentylację powietrza, co przyczynia się do wzrostu stężeń zanieczyszczeń. Prędkość wiatru wpływa na tempo przemieszczania zanieczyszczeń powietrza, natomiast kierunek decyduje o trasie ich transportu.

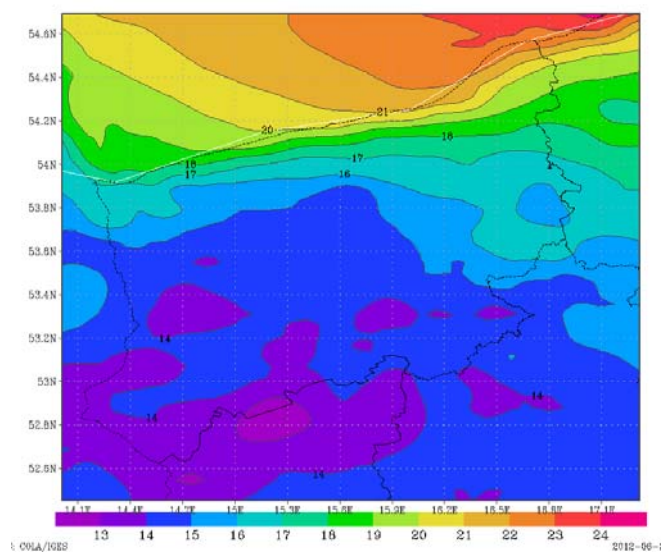
Rysunek 2.1.2. Średnia roczna wartość prędkość wiatru w województwie zachodniopomorskim w roku 2011



Prędkość wiatru w odniesieniu do wyników modelowania analizuje się poprzez podanie jej średnich wartości jednogodzinnych, stąd też trudne jest odniesienie do mierzonych wartości prędkości wiatru na stacjach synoptycznych, gdzie uśredniane są wartości jednonominutowe. Dodatkowo prędkość wiatru w znacznym stopniu zależy od lokalnych warunków terenowych takich jak: kanion uliczny, obecność przeszkód itp., które pole meteorologiczne o oczku 5km x 5km uwzględnia w bardzo ogólnym zarysie. Rysunek 2.1.2. przedstawia średnie prędkości wiatru na wysokości 10 m n.p.g. w roku 2011. Na przeważającym obszarze województwa zachodniopomorskiego

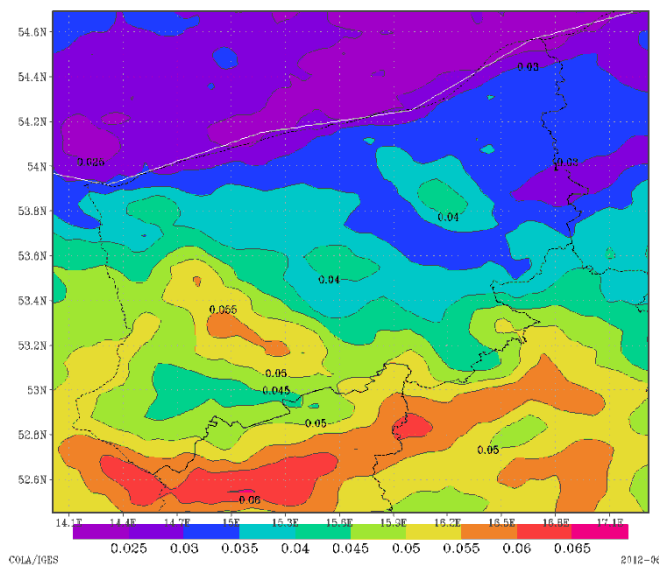
średnia prędkość wiatru wahała się pomiędzy 4,5 – 5,7 m/s. Średnie prędkości wiatru wzdłuż linii brzegowej są nieco wyższe i kształtują się na poziomie 6-6,3 m/s.

Rysunek 2.1.3. Rozkład maksymalnych wartości prędkości wiatru [m/s] w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.



Rozkład maksymalnych prędkości wiatru (Rysunek 2.1.3.) wskazuje, na występowanie najwyższych prędkości na poziomie 20-23 m/s w północnej części województwa, wzdłuż wybrzeża Bałtyku. Na przeważającym obszarze województwa zachodniopomorskiego maksymalne prędkości wiatru wynoszą około 14-17 m/s.

Rysunek 2.1.4. Częstość występowania cisz atmosferycznych dla województwa zachodniopomorskiego w roku 2011

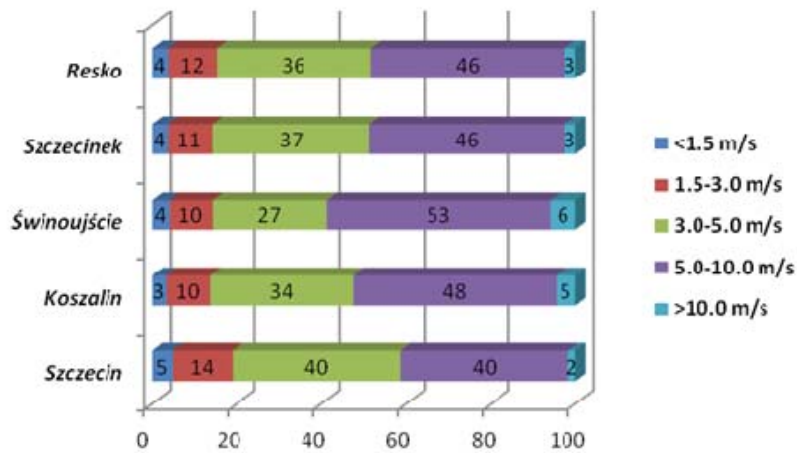


Za ciszę uznano prędkość wiatru nie przekraczającą 1,5 m/s. Z obliczeń wynika, że na terenie powiatu goleniowskiego, występuje największy procent cisz sięgający do 6,5%. Z kolei obszar nadmorski oraz obszar powiatu szczecińskiego charakteryzuje się najmniejszym prawdopodobieństwem wystąpienia cizy.

Dokonano klasyfikacji prędkości wiatru i określono częstość występowania wiatrów w określonym przedziale prędkości (Rysunek 2.1.4). Na terenie województwa zachodniopomorskiego najczęściej występują wiatry o prędkościach z zakresu 5-10 m/s (40-53% w roku) oraz wiatry

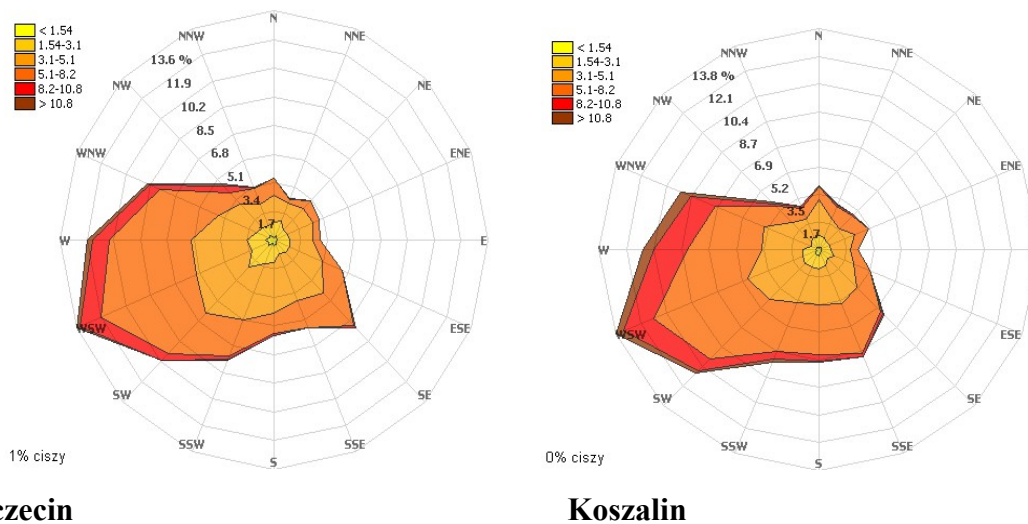
o prędkościach z zakresu 3-5 m/s (27-40% w roku). Spośród analizowanych stacji, Świnoujście oraz Koszalin odznaczają się najwyższym udziałem wiatrów silnych, o prędkości przewyższającej 10 m/s, natomiast Szczecin wyróżnia się największym udziałem cisz atmosferycznych (5%) i wiatrów o małych prędkościach (14%).

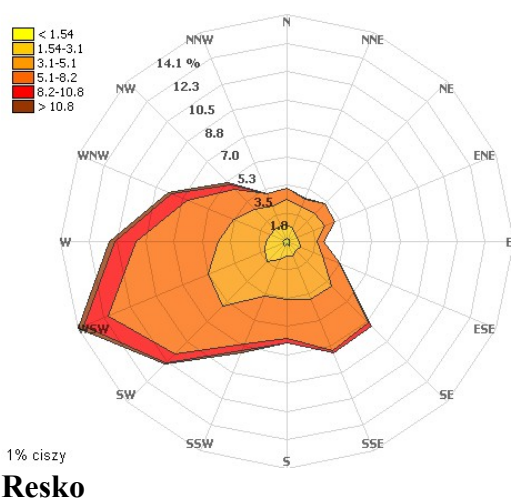
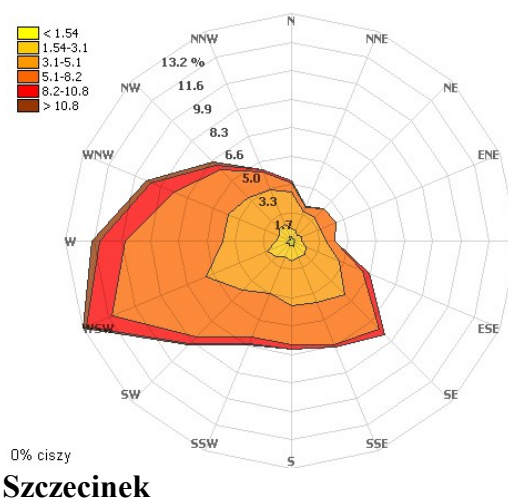
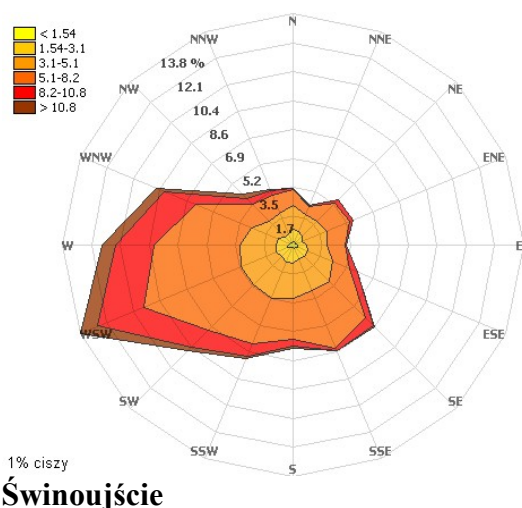
Rysunek 2.1.5. Procentowy rozkład prawdopodobieństwa występowania prędkości wiatru w określonych przedziałach w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.



Dla wybranych stacji pomiarowych wyznaczono w modelu WRF odpowiadające im oczka siatki (5 km x 5km) i dla nich wykonano róże wiatru. Widać wyraźnie, że w województwie zachodniopomorskim dominują wiatry z sektora zachodniego, a najczęściej występującym kierunkiem wiatru jest kierunek zachód-południowy-zachód (WSW). Najrzadziej w województwie występują wiatry z kierunków północno-wschodnich.

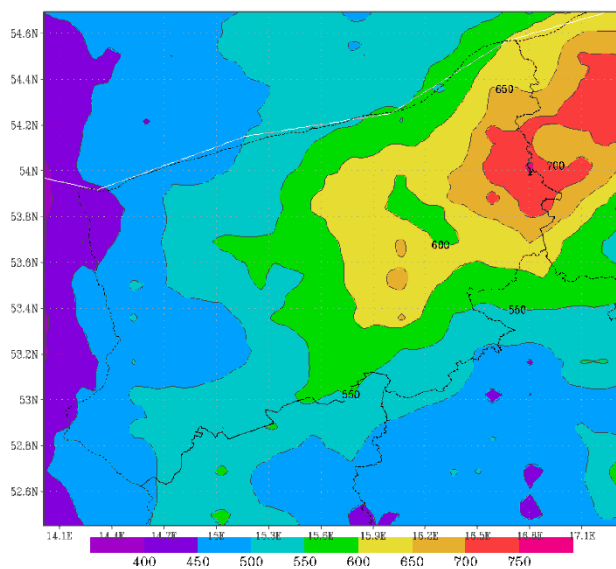
Rysunek 2.1.6. Roczne róże wiatrów dla oczka siatki meteorologicznej dla wybranych stacji w województwie zachodniopomorskim w 2010 roku





Opad atmosferyczny

Rysunek 2.1.7. Suma opadów atmosferycznych w województwie zachodniopomorskim w roku 2011



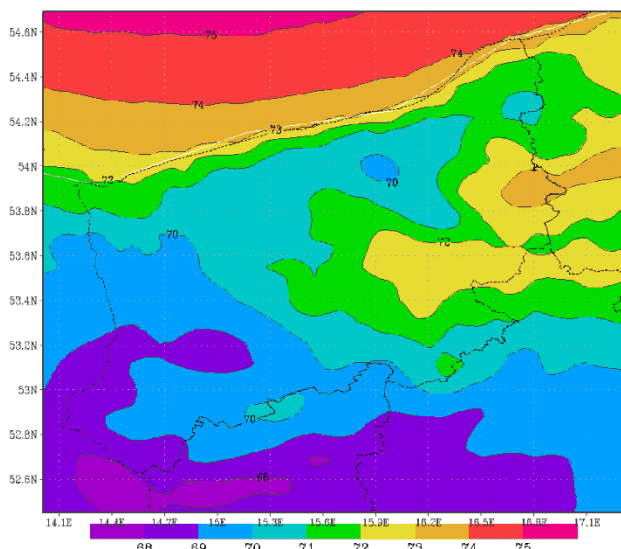
Rozkład rocznej sumy opadów atmosferycznych w województwie zachodniopomorskim wskazuje na występowanie wartości w przedziale od około 450 mm do około 700 mm. Najniższe sumy opadów charakteryzują północno-zachodnią część województwa – Świnoujście i część powiatu polickiego, a najwyższe część wschodnią – powiaty koszaliński i szczecinecki.

Przebieg opadów w ciągu roku wskazuje na występowanie najwyższych sum opadów na wszystkich stacjach w lipcu (140-160 mm) oraz wysokich sum w grudniu (75-100 mm). Najniższe sumy opadów wyróżniają listopad, kiedy

znotowano w województwie zachodniopomorskim od 1 do 6 mm opadów.

Wilgotność powietrza

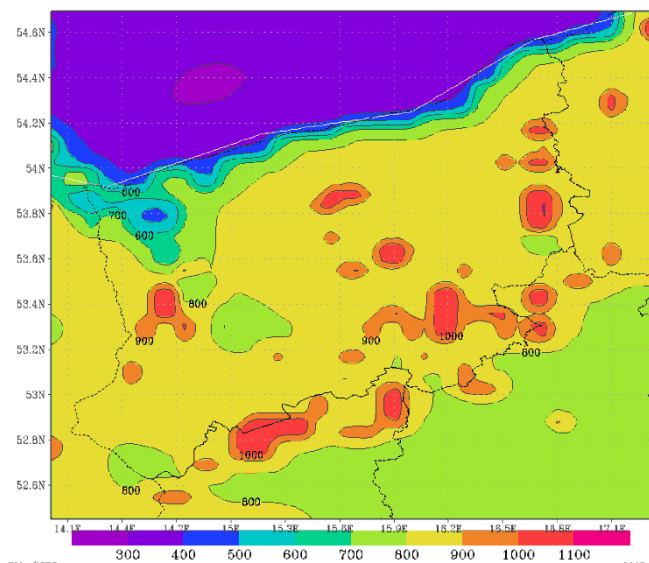
Rysunek 2.1.8. Średnia roczna wartość wilgotności względnej dla województwa zachodniopomorskiego w roku 2011



Przestrzenny rozkład średniej rocznej wartości wilgotności względnej powietrza na obszarze województwa zachodniopomorskiego w 2011 roku wskazuje na zmienność parametru w przedziale od 68% do 74%. Najniższa wartość parametru występuje w południowo-zachodniej części województwa, na terenie powiatów pyrzyckiego, gryfińskiego i myśliborskiego, a najwyższa we wschodniej części województwa, w powiecie szczecineckim.

Wysokość warstwy mieszania

Rysunek 2.1.9. Rozkład średniej rocznej wartości wysokości warstwy mieszania [m] w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.



Na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń duży wpływ ma wysokość warstwy inwersyjnej. Niskie położenie warstwy inwersyjnej utrudnia dyspersję zanieczyszczeń pochodzących głównie od komunikacji oraz ogrzewania indywidualnego.

Na terenie województwa zachodniopomorskiego średnia roczna wysokość warstwy mieszania utrzymuje się na poziomie 800-900 m (Rysunek 2.1.9.). Tereny nadmorskie mają znacznie obniżoną wysokość warstwy inwersyjnej w stosunku do pozostałej części województwa.

Klasa równowagi atmosfery

Istotnym parametrem dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń jest klasa równowagi atmosfery Pasquilla, która opisuje pionowe ruchy powietrza związane z gradientem temperatury i prędkością wiatru, a które z kolei decydują o ruchu zanieczyszczonego powietrza w smudze.

W zależności od różnicy temperatur powietrza wznoszącego się i powietrza otaczającego wyróżnia się w atmosferze trzy podstawowe stany równowagi: chwiejną, obojętną i stałą. Pomiędzy nimi wyróżnia się stany pośrednie.

W ochronie środowiska powszechnie przyjęty jest podział na 6 klas równowagi atmosfery:

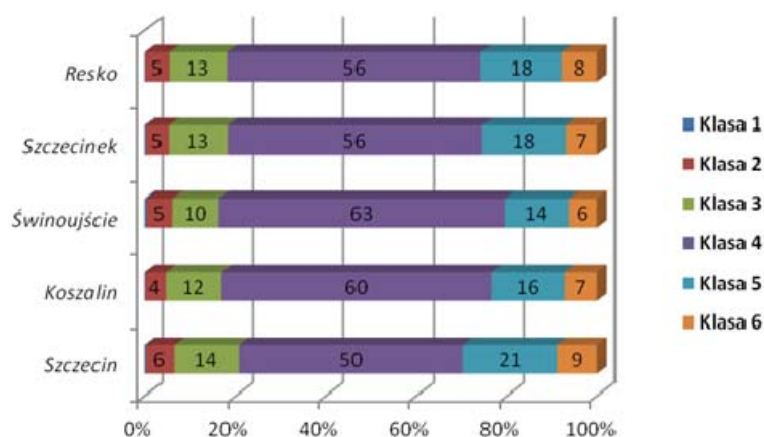
1 – ekstremalnie niestabilne warunki (równowaga bardzo chwiejna)

- 2 – umiarkowanie niestabilne warunki (równowaga chwiejna)
- 3 – nieznacznie niestabilne warunki (równowaga nieznacznie chwiejna)
- 4 – neutralne warunki (równowaga obojętna)
- 5 – nieznacznie stabilne warunki (równowaga stała)
- 6 – umiarkowanie stabilne warunki (równowaga bardzo stała),

z których niezbyt korzystne dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń są klasy – 1 i 2, ze względu na to, iż smuga spalin na skutek intensywnych ruchów powietrza to wznosi się to opada, a bardzo niekorzystne są klasy 5 i 6, przy których występują warunki inwersyjne i zanieczyszczenia utrzymują się na niskich wysokościach (nie mają warunków do rozproszenia).

Najczęściej występującą klasą równowagi atmosfery jest klasa 4, która jest zdecydowanie najkorzystniejsza – od 50% przypadków w roku w Szczecinie do 63% w Świnoujściu (Rysunek 2.1.10.). Udział klasy 1 jest we wszystkich przypadkach poniżej 1%. Warunki bardzo niekorzystne (klasy 5 i 6) stanowią łącznie od 21% przypadków w roku w Świnoujściu do 30% w Szczecinie.

Rysunek 2.1.10. Rozkład prawdopodobieństwa występowania klas równowagi atmosfery w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.



3. Ocena wyników modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu w województwie zachodniopomorskim

Pył PM10

Ocenę poziomów pyłu PM10 w 2011 roku przeprowadzono w oparciu o wyniki pomiarów manualnych i automatycznych wykonywane przez WIOŚ w Szczecinie.

W 2011 r. przekroczenia dopuszczalnych stężeń 24-godzinnych pyłu PM10 powyżej dozwolonej ilości dni stwierdzono na sześciu stanowiskach w województwie: w Szczecinie (3 stanowiska), w Szczecinku (2 stanowiska), w Widuchowej (1 stanowisko).

Rysunek 3.1.1. Aglomeracja Szczecińska – stężenia pyłu PM10 – percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń 24-godzinnych

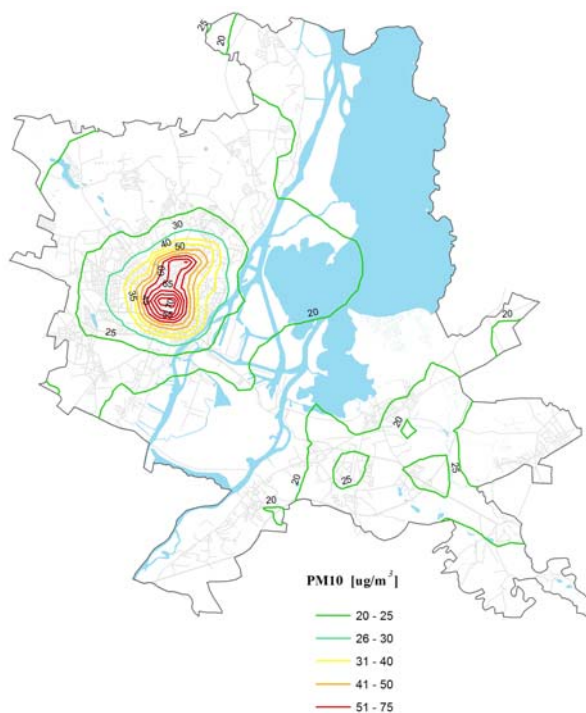
W roku 2011 liczba dni z przekroczeniami stężeń dobowych pyłu PM10 nie różniła się w sposób istotny od liczby takich dni dla 2010 roku. Na wszystkich stanowiskach najczęściej dni z przekroczeniami poziomu dopuszczalnego zarejestrowano w okresie zimowym. Potencjalne przyczyny wysokich stężeń to emisja pyłu z procesów związanych z indywidualnym ogrzewaniem mieszkań oraz emisja ze źródeł przemysłowych i komunikacyjnych, dodatkowo potęgowane przez niekorzystne warunki klimatyczne oraz lokalne warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

W związku z powyższym dwie strefy w województwie (aglomeracja szczecińska oraz strefa zachodniopomorska) zostały zaliczone do klasy C i niezbędne jest przeprowadzenie na ich obszarze działań na rzecz poprawy jakości powietrza. Jedynie w strefie miasto Koszalin nie został przekroczony obowiązujący dla pyłu PM10 standard jakości powietrza.

Wyniki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń potwierdziły występowanie wysokich wartości stężeń tego zanieczyszczenia (duże miasta powiatowe np. Myślibórz), a także jego przekroczeń (aglomeracja szczecińska).

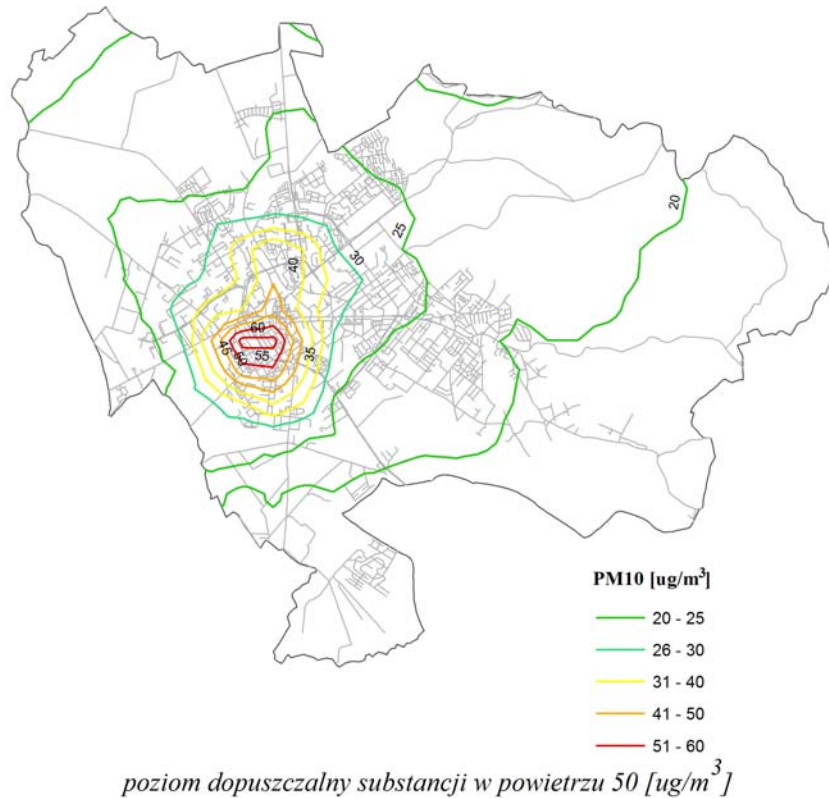
Warto zwrócić uwagę na fakt, iż pomimo braku przekroczeń pyłu PM10 (w wynikach pomiarów na stacji tła miejskiego przy ul. Spasowskiego) w Koszalinie, obliczenia modelowe rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wskazują obszar ponadnormatywnych stężeń 24-godzinnych. Oznacza to możliwość wystąpienia przekroczeń w rejonie ulic: Zwycięstwa, Krakusa i Wandy.

Potencjalną przyczyną przekroczeń może stanowić problem indywidualnego ogrzewania paliwami gorszej jakości (tzw. niska emisja), zwarta zabudowa utrudniająca przewietrzanie oraz sąsiedztwo ulic o dużym natężeniu ruchu. Sytuację tą przedstawiono na rysunku 3.1.2.

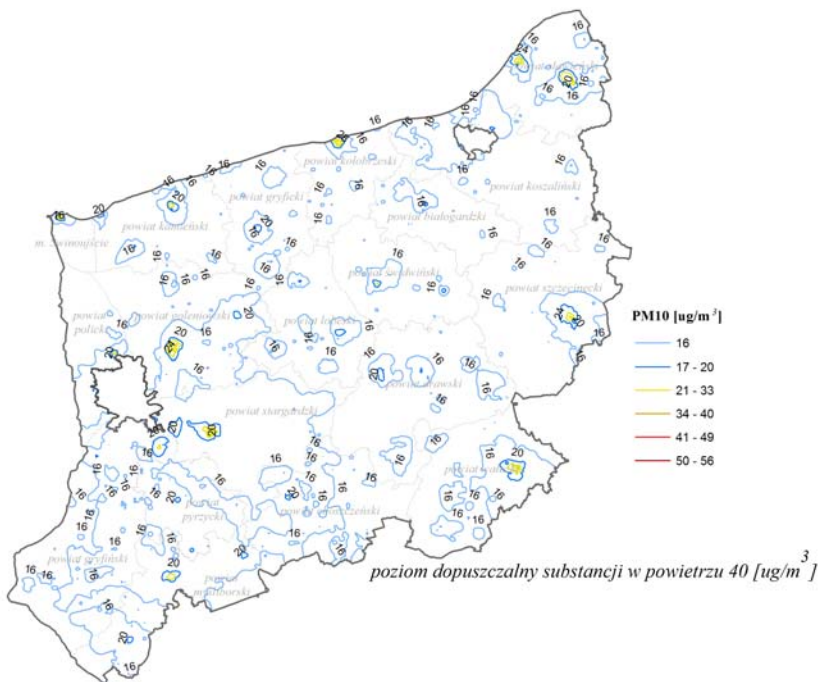


poziom dopuszczalny substancji w powietrzu 50 [µg/m³]

Rysunek 3.1.2. Koszalin – stężenia pyłu PM10 – percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń 24-godzinnych



Rysunek 3.1.3. – strefa zachodniopomorska pył PM10 – stężenia średnie roczne



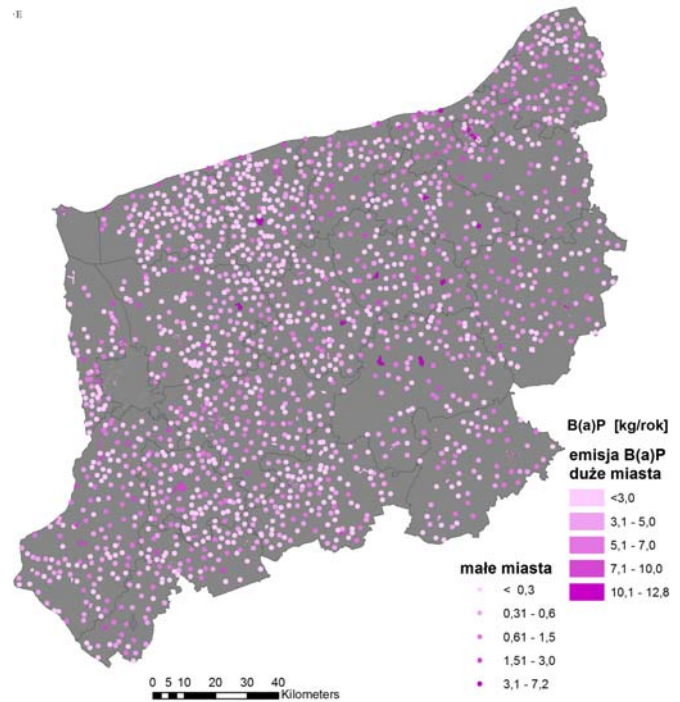
Przeprowadzone obliczenia wykazały, iż w przypadku pyłu PM10, podobnie jak w latach ubiegłych, na przeważającym obszarze województwa, średnioroczne stężenie PM10 wynosi 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. około 40% wartości kryterialnej, a w większych miastach województwa stężenie to osiąga wartość do 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (około 60% wartości dopuszczalnej). Wyniki obliczeń modelowych zamieszczono na mapach 6 i 7 (aglomeracja szczecińska), 20-21 (miasto Koszalin, mapa nr 36 i 37 (strefa zachodniopomorska) w Załączniku nr 1.

Benzo(a)piren

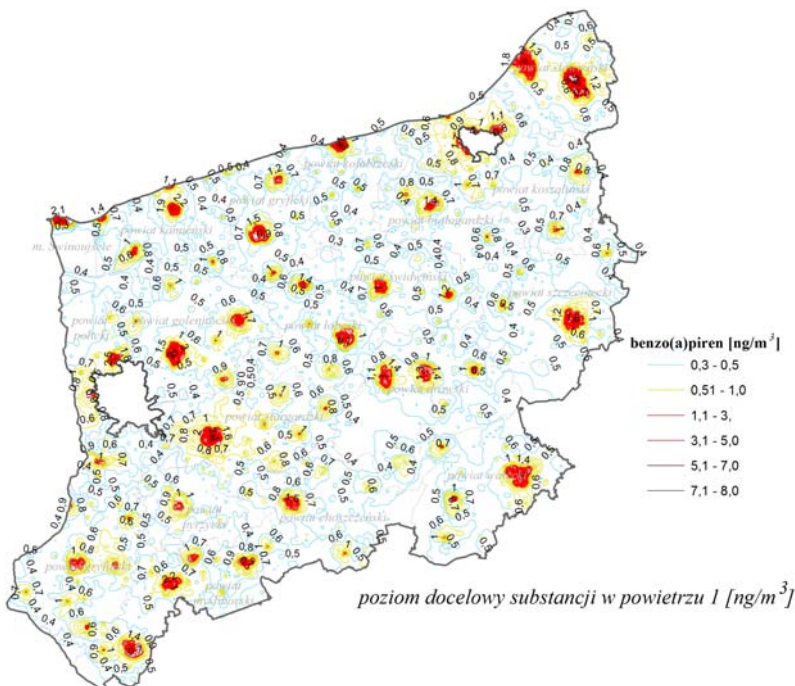
W 2011 roku zanotowano przekroczenia wartości docelowych dla benzo(a)pirenu we wszystkich punktach pomiarowych w województwie zachodniopomorskim. Źródłem tego zanieczyszczenia są przede wszystkim procesy niepełnego spalania paliw stałych w paleniskach domowych. Najwyższe stężenia benzo(a)pirenu obserwuje się w okresach zimowych (szczególnie przy bardzo niskich temperaturach powietrza).

Rysunek 3.1.4. Rozkład emisji powierzchniowej B(a)P w województwie zachodniopomorskim w roku 2011

Rozkład ładunków emisji B(a)P ze źródeł powierzchniowych wskazuje, iż największe wartości dla tego zanieczyszczenia występują w miastach powiatowych i średnich miejscowościach, gdzie dominuje indywidualne ogrzewanie mieszkań - Rysunek 3.1.4.



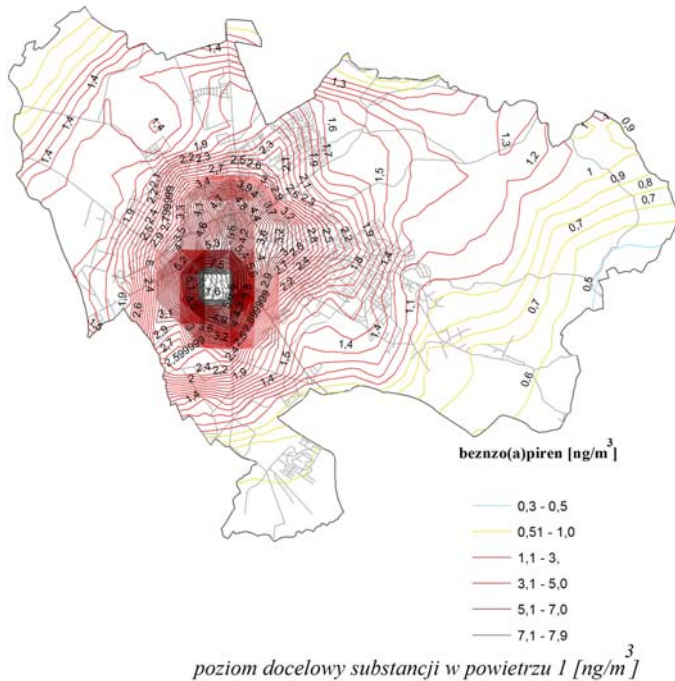
Rysunek 3.1.5. Strefa zachodniopomorska - B(a)P w pyle PM10- stężenie średnie roczne



Przeprowadzone obliczenia wykazały, iż w przypadku benzo(a)pirenu zawartego w pyle PM10, na przeważającym obszarze województwa, średnioroczne stężenie B(a)P wynosi około 1,0 ng/m³, to znaczy iż osiąga wartość kryterialną, a w większych miastach województwa stężenie to znacznie przekracza wartość docelową. Wyniki obliczeń modelowych zamieszczono na mapach: 14 (aglomeracja szczecińska), 28 (miasto Koszalin, mapa nr 43 (strefa zachodniopomorska) w Załączniku nr 1.

W strefie miasto Koszalin stwierdzono przekroczenie poziomu docelowego przez średnioroczne stężenie benzo(a)pirenu na stanowisku zlokalizowanym na ul. Spasowskiego. Również obliczenia modelowe wskazują przekroczenia, nawet z uwzględnieniem wyższych wartości niż wskazane w pomiarach.

Rysunek 3.1.6. Miasto Koszalin - B(a)P w pyłe PM10- stężenie średnie roczne

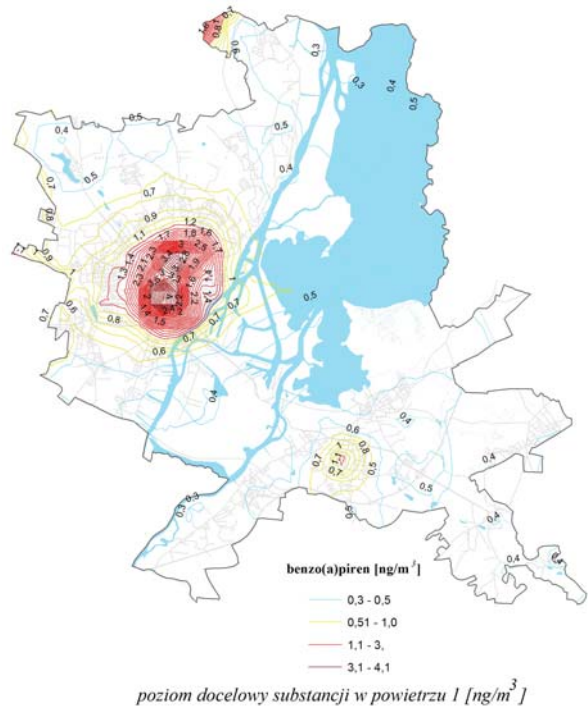


Prawdopodobne jest występowanie wysokich stężeń B(a)P w obszarze ścisłego centrum miasta (osiedle „Śródmieście”), w rejonie ulicy Zwycięstwa, Krakusa i Wandy, Lechickiej (Rysunek 3.1.6.). Jako główną potencjalną przyczynę wystąpienia przekroczeń wskazuje się emisję z sektora komunalnego. Indywidualne ogrzewanie mieszkań, w szczególności paliwami stałymi gorszej jakości powoduje znaczną emisję zanieczyszczeń pyłowych i zwarte w nim benzo(a)pirenu. Przyczyny dodatkowe, to oddziaływanie emisji z zakładów przemysłowych i ciepłowni, oraz niekorzystne warunki meteorologiczne w okresach grzewczych (niska temperatura powietrza, mała prędkość wiatru). Dla Koszalina obowiązuje już Program

Ochrony Powietrza (POP) dla benzo(a)pirenu sporządzony na podstawie rocznej oceny za 2007 r. Program ten został uchwalony przez Sejmik Województwa Zachodniopomorskiego w marcu 2010 r.

Rysunek 3.1.7. Aglomeracja szczecińska - B(a)P w pyłe PM10- stężenie średnie roczne

Analogiczną sytuację stwierdzono na terenie aglomeracji szczecińskiej, gdzie obliczenia modelowe potwierdziły występowanie ponadnormatywnych stężeń B(a)P w rejonie ścisłego centrum miasta wraz z tzw. Starym Śródmieściem, północne dzielnice Szczecina (Niebuszewo, Bukowo), Pogodno oraz znaczny obszar Prawobrzeża (Dąbie, Zdroje, os. Słoneczne i Majowe). Jako główną potencjalną przyczynę przekroczeń wskazano także emisję powierzchniową, dodatkowo: oddziaływanie ruchu pojazdów w centrum miasta z intensywnym ruchem drogowym, emisja z zakładów przemysłowych (ciepłowni, elektrowni) oraz niekorzystne warunki klimatyczne w okresach grzewczych. Dla Szczecina obowiązuje już POP dla benzo(a)pirenu sporządzony na podstawie rocznej oceny za 2007 r. Program ten został uchwalony przez Sejmik Województwa Zachodniopomorskiego w marcu 2010 r.



Dwutlenek azotu (NO₂)

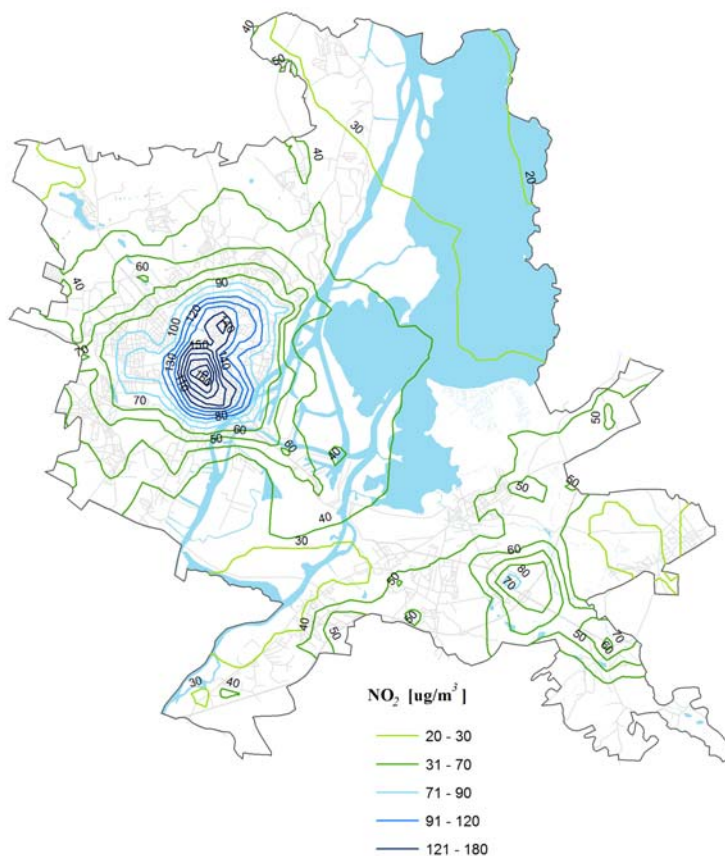
W ocenie jakości powietrza za rok 2011, podobnie jak w ocenach za lata poprzednie, wszystkie strefy województwa otrzymały klasę A dla dwutlenku azotu. Poziom dopuszczalny określony dla stężeń 1-godzinnych i dla stężenia średniorocznego nie został przekroczony. Jednak prowadzone pomiary automatyczne oraz pomiary wskaźnikowe (manualne i pasywne) wykazują wysokie stężenia NO₂ w powietrzu, szczególnie na zabudowanych obszarach miast, w pobliżu szlaków komunikacyjnych. Dwutlenek azotu jest zanieczyszczeniem, którego głównym źródłem w obszarach miejskich są spaliny samochodowe.

Stężenia NO₂ w 2011 roku na obszarze województwa, stwierdzone na podstawie pomiarów automatycznych i pasywnych są zróżnicowane – najniższe wartości osiągają w obszarach wiejskich, z dala od ciągów komunikacyjnych, największe natomiast w dużych miastach i w pobliżu dróg o intensywnym ruchu samochodowym. Dotyczy to aglomeracji szczecińskiej, w której stężenie średnioroczne w rejonach obciążonych komunikacyjnie, osiąga wartość do 75% poziomu dopuszczalnego. Szczególnie zagrożonymi obszarami Szczecina pozostają rejon: Bramy Portowej, Pl. Rodła, Turzyna oraz ulicy Struga w prawobrzeżnej części miasta.

Rysunek 3.1.8. Aglomeracja szczecińska – stężenia NO₂ – percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń 1 godzinnych

Przeprowadzone obliczenia modelowe rozprzestrzenia się zanieczyszczeń dla NO₂ również potwierdzają, iż stężenia tego zanieczyszczenia zbliżają się do wartości kryterialnych i mogą stanowić poważny problem w przyszłości. Przykładem może być rozkład izolinii stężeń dla wartości 1godzinnych NO₂ w aglomeracji szczecińskiej (Rysunek 3.1.8.). Uzyskana z obliczeń wartość percentylu 99,8 z rocznej serii stężeń 1godzinnych wynosi do 180 µg/m³, przy wartości dopuszczalnej 200 µg/m³.

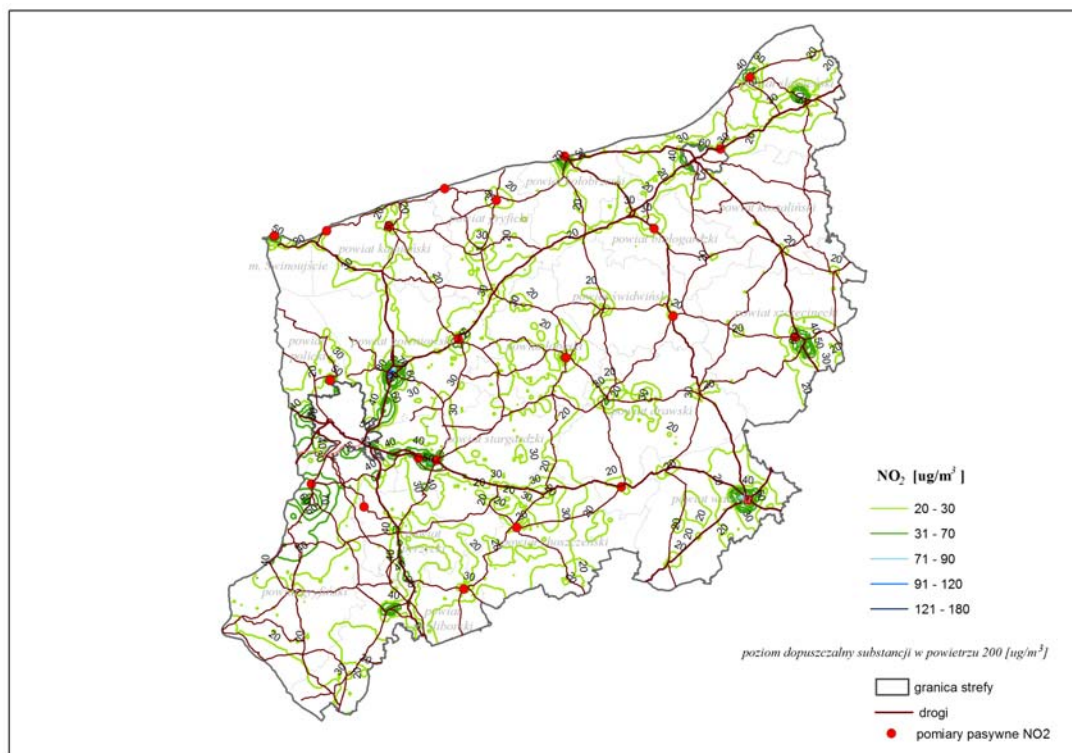
Na pozostałym obszarze województwa również widoczne są wyższe wartości stężeń NO₂ wzdłuż najważniejszych ciągów komunikacyjnych, z uwagi na istotny wpływ emisji pochodzącej z transportu na wysokość stężeń dwutlenku azotu. (Rysunek 3.1.9.)



poziom dopuszczalny substancji w powietrzu 200 [ug/m³]

Wyniki obliczeń modelowych zamieszczono na mapach 4-5 (aglomeracja szczecińska), 18-19 (miasto Koszalin, mapa nr 32-33 (strefa zachodniopomorska) w Załączniku nr 1.

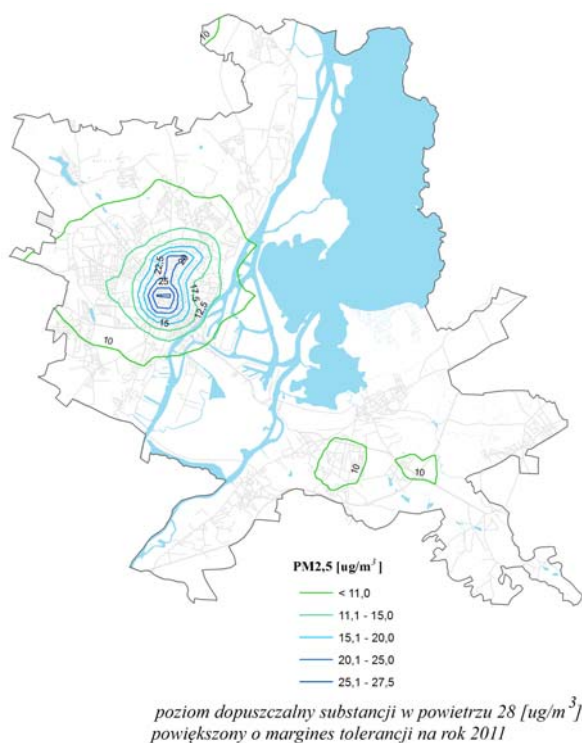
Rysunek 3.1.9. Strefa zachodniopomorska – stężenia NO_2 – percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń 1 godzinnych



Pył PM_{2,5}

Stężenia pyłu PM_{2,5} na obszarze wszystkich stref województwa nie przekraczają wartości kryterialnych. Dlatego też strefom przyznano **klasę A** pod kątem tego zanieczyszczenia.

Rysunek 3.1.10 – Aglomeracja szczecińska – pył PM_{2,5} – stężenie średnie roczne

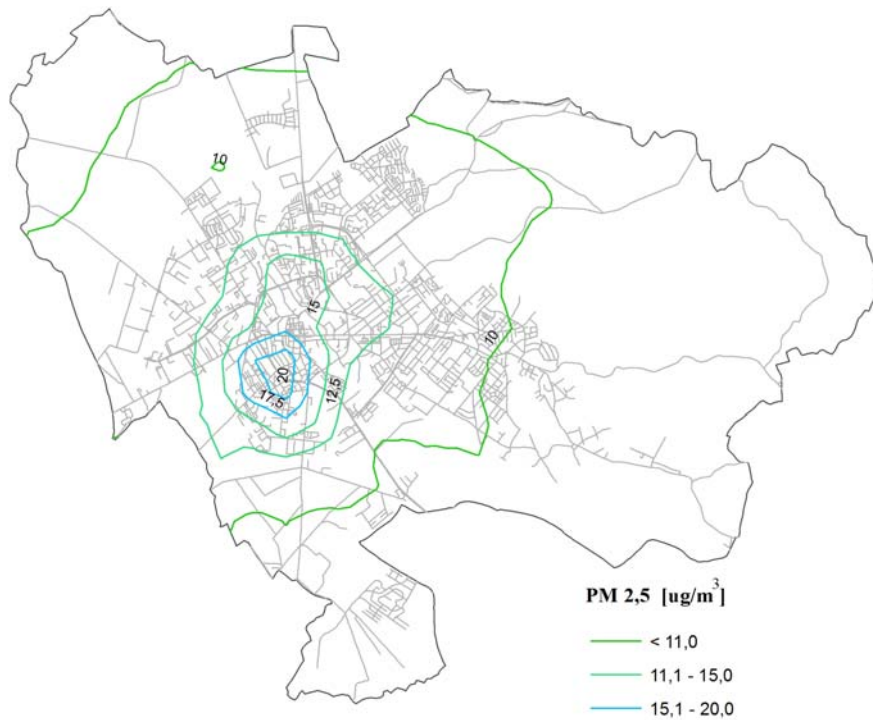


Przeprowadzone obliczenia wykazały, iż w przypadku pyłu PM_{2,5} na przeważającym obszarze województwa, średnioroczne stężenie wynosi 10 do 12 µg/m³, to znaczy iż osiąga około 40% wartości kryterialnej, a w większych miastach województwa osiąga stężenia powyżej 12 µg/m³. Rozkłady stężeń pyłu PM_{2,5} zamieszczono na mapach: 8 (aglomeracja szczecińska), 22 (miasto Koszalin, mapa nr 37 (strefa zachodniopomorska) w Załączniku nr 1.

Wyniki obliczeń modelowych wskazują, iż można spodziewać się wysokich stężeń pyłu PM_{2,5} na obszarze aglomeracji szczecińskiej w rejonie ścisłego centrum miasta charakteryzującego się zwartą zabudową, w strefie intensywnego ruchu samochodowego.

Również w Koszalinie, na obszarze osiedla „Śródmieście” możliwe jest wystąpienie wysokich stężeń pyłu PM_{2,5}.

Rysunek 3.1.11. Miasto Koszalin pył PM_{2,5} – stężenie średnie roczne



poziom dopuszczalny substancji w powietrzu 28 [ug/m³],
powiększony o margines tolerancji na rok 2011

4. Ocena jakości modelowania

Po wykonaniu obliczeń modelem CALMET/CALPUFF wykonano ocenę jakości modelowania, porównując wyniki pomiarów na stanowiskach pomiaru substancji w powietrzu z wynikami obliczeń modelowych.

Zgodnie z prawem polskim i Unii Europejskiej podstawą do oceny jakości powietrza w strefach jest pomiar stężeń zanieczyszczeń gazowych i pyłowych na terenie strefy.

Obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu wykorzystywane są przede wszystkim w procesie analizowania występowania wysokich stężeń zanieczyszczeń i wskazywania obszarów potencjalnych przekroczeń w miejscach, gdzie brak jest pomiarów. Stanowią również metodę uzupełniającą w ramach systemu oceny na obszarze „czystych” stref. Natomiast w trakcie realizacji programów ochrony powietrza modelowanie staje się podstawowym narzędziem analitycznym. Dotyczy to zarówno etapu diagnozy stanu w całym obszarze strefy, ale przede wszystkim etapu wskazania źródeł odpowiedzialnych za przekroczenia i konstruowania wariantów działań naprawczych oraz oceny ich skuteczności.

Zgodnie z Dyrektywą CAFE: „Niepewność modelowania interpretuje się jako mającą zastosowanie w zakresie stężeń zbliżonych do odpowiedniej wartości dopuszczalnej (lub wartości docelowej w przypadku ozonu). Pomiary stałe, które należy wybrać dla porównania z wynikami modelowania, muszą być reprezentatywne dla skali objętej modelem”.

Dyrektywa CAFE oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 5, poz. 31) określa wymagania, jakie spełnić mają wyniki modelowania.

Tabela 4.1.1. Dopuszczalna niepewność modelowania

Dokładność	SO ₂ , NO ₂ , NO _x	Pył zawieszony PM ₁₀ i Pb	Benzen	CO	Ozon
Stężenie średnie godzinowe	50%	-	-	-	50% w dzień
Stężenie średnie ośmiogodzinne	-	-	-	50%	50%
Stężenie średnie dobowe	50%	-	-	-	-
Stężenie średnie roczne	30%	50%	50%	-	-

Zamieszczone tabele (Tabela 4.1.2. do 4.1.4.) wskazują na dobrą zgodność wyników modelowania z pomiarami. Należy podkreślić, że porównywanie wyników modelowania z wynikami pomiarów jest słuszne jedynie w obszarach reprezentatywności stanowisk pomiarów substancji w powietrzu. Stanowiska pomiarowe nie zawsze są lokalizowane w miejscach występowania najwyższych stężeń, w związku z tym może się zdarzyć, że stężenia wyznaczone przez modelowanie znacznie przewyższają stężenia pomierzone.

Tabela 4.1.2. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów SO₂, NO₂ i NO_x w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku

Nazwa stacji	Lokalizacja stacji	SO ₂ 1h [µg/m ³]			SO ₂ 24h [µg/m ³]			SO ₂ rok [µg/m ³]			NO ₂ 1h [µg/m ³]			NO ₂ rok [µg/m ³]		
		Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd
ZpSzczecin002	Szczecin, ul. Piłsudskiego (A)	42.1	57.4	36	19.3	19.9	3	5.3	6.0	14	101.0	100.8	0	29.2	18.7	36
ZpSzczecinDO	Szczecin, ul. Żółkiewskiego	31.0	61.9	100	15.9	21.7	37	4.7	5.8	24	96.0	98.0	2	27.4	18.3	33
ZpKoszalin005	Koszalin, ul. Armii Krajowej	17.4	48.0	176	10.5	18.0	71	2.7	4.3	60	88.0	92.8	5	20.3	11.1	45
ZpSzcSzczecinek010	Szczecinek ul. Przemysłowa	23.8	24.0	1	14.8	14.8	0	4.1	4.1	1	93.0	82.7	11	18.1	10.7	41
ZpGryfMarwiceDO	Marwice	19.0	140.1	637	14.7	38.9	165	2.8	7.1	152	37.0	39.4	7	7.7	5.3	31
ZpSzcStorkowoDO	Storkowo	17.0	17.2	1	13.0	7.9	40	3.6	2.7	25	27.0	13.6	50	4.9	3.9	21
ZpGryfWiduchowa003	Widuchowa	27.9	132.2	374	20.5	42.2	106	5.5	8.1	47	42.0	34.5	18	9.1	5.6	39

Tabela 4.1.3. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów PM₁₀, PM_{2,5} i CO w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku

Nazwa stacji	Lokalizacja stacji	PM ₁₀ 24h [ng/m ³]			PM ₁₀ rok [ng/m ³]			PM _{2,5} rok [ng/m ³]			CO 8h [ng/m ³]		
		Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd
ZpSzczecin001	Szczecin, ul. Andrzejewskiego (A)	57.7	35.4	39	28.0	23.4	16						
ZpSzczecin001	Szczecin, ul. Andrzejewskiego (M)	57.7	35.4	39	28.0	23.4	16						
ZpSzczecin002	Szczecin, ul. Piłsudskiego (A)							20.6	20.9	1	2311.4	1673.4	28
ZpSzczecin002M	Szczecin, ul. Piłsudskiego (M)	61.4	61.0	1	32.2	32.0	1						
ZpSzczecin004	Szczecin, ul. Łączna (A)	53.0	31.4	41	25.4	20.0	21						
ZpSzczecin004	Szczecin, ul. Łączna (M)	53.0	31.4	41	25.4	20.0	21						
ZpSzczecinDO	Szczecin, ul. Żółkiewskiego										2737.5	1369.3	50
ZpKoszalin006	Koszalin ul. Spasowskiego	48.0	39.1	19	25.9	24.2	6	12.7	13.8	8			
ZpSzcSzczecinek010	Szczecinek ul. Przemysłowa	67.4	49.7	26	35.8	30.4	15						
ZpSzcSzczecinekPSSE	Szczecinek, ul. Artyleryjska	70.7	49.7	30	35.8	30.4	15						
ZpSzcSzczecinek008	Szczecinek ul. 1 Maja	50.0	46.7	7	27.4	28.0	2	17.7	17.5	1			
ZpGryfMarwiceDO	Marwice	34.2	22.6	34	16.6	15.3	8						
ZpGryfStokiDO	Stoki	25.2	22.9	9	13.8	15.0	9						
ZpGryfWiduchowa003	Widuchowa	51.2	23.1	55	25.9	16.0	38						
ZpMysMysliborz007	Myślibórz ul. Za Bramką							23.2	16.6	29			

Tabela 4.1.4. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów B(a)P i metali ciężkich w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku

Nazwa stacji	Lokalizacja stacji	As rok [ng/m ³]			Cd rok [ng/m ³]			Ni rok [ng/m ³]			Pb rok [ng/m ³]			B(a)P rok [µg/m ³]		
		Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd	Pomiar	Model	Błąd
ZpSzczecin001	Szczecin, ul. Andrzejewskiego	1.010	0.725	28	0.364	0.258	29	1.790	1.806	1	0.016	0.005	67	2.60	1.08	59
ZpSzczecin002	Szczecin, ul. Piłsudskiego													2.30	2.19	5
ZpKoszalin006	Koszalin ul. Spasowskiego	0.810	0.809	0	0.329	0.301	8	1.810	1.604	11	0.014	0.006	58	1.63	2.02	24
ZpSzcSzczecinekPSSE	Szczecinek, ul. Artyleryjska													5.37	4.30	20
ZpSzcSzczecinek008	Szczecinek ul. 1 Maja	0.760	0.744	2	0.443	0.438	1	1.680	1.629	3	0.016	0.008	48	3.04	3.16	4
ZpGryfWiduchowa003	Widuchowa	0.780	0.089	89	0.230	0.045	80	1.710	2.220	30	0.011	0.001	93	2.18	0.46	79

4. Podsumowanie

Istotnym elementem uszczegółowienia rocznej oceny jakości powietrza są obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu (modelowanie) wykonywane w oparciu o inwentaryzację emisji (punktowej, powierzchniowej i liniowej) oraz o występujące w danym roku kalendarzowym warunki meteorologiczne. Obliczenia takie umożliwiają przedstawienie przestrzennych rozkładów stężeń substancji w powietrzu w województwie oraz wskazanie obszarów potencjalnych przekroczeń, głównie na obszarach, gdzie brak jest pomiarów. Są także podstawą do wskazania w strefie obszarów wymagających wzmocnienia systemu pomiarowego.

Obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wykonane za rok 2011 potwierdziły wyniki oceny jakości powietrza za rok 2011 w strefach, przeprowadzonej w marcu 2012 roku.

W przypadku wszystkich tzw. „nieproblemowych” zanieczyszczeń, tj.: SO₂, CO, C₆H₆, oraz metali zawartych w pyłe PM₁₀, zanieczyszczenia osiągają niskie wartości, zarówno w aglomeracji szczecińskiej, w mieście Koszalin oraz w dużej strefie zachodniopomorskiej.

Obliczenia modelowe, przeprowadzone na podstawie inwentaryzacji oraz szacowania emisji ze źródeł punktowych, powierzchniowych i liniowych potwierdziły również występowanie wyższych stężeń (także powyżej wartości kryterialnych) we wszystkich strefach województwa zachodniopomorskiego. Z rozkładu izolinii wynika, iż istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia przekroczeń standardów jakości powietrza dla pyłu PM₁₀, oraz benzo(a)pirenu w niektórych obszarach województwa. Oprócz dużych miast, takich jak Szczecin i Koszalin, (w których przekroczenia już występują), są to większe miasta będące stolicami powiatów o dużych skupiskach ludności, gdzie na jakość powietrza ma wpływ przede wszystkim emisja pochodząca z ogrzewania indywidualnego. Aktualizowana corocznie inwentaryzacja emisji wskazuje na największy udział tego źródła w całej emisji tych zanieczyszczeń.

Należy również mieć na uwadze możliwość wystąpienia wysokich stężeń lub przekroczenia poziomu dopuszczalnego dla pyłu PM_{2,5} który, podobnie jak pył PM₁₀, może stanowić duży problem na obszarze całego województwa zachodniopomorskiego.

W przypadku NO₂ obserwuje się znaczący wpływ emisji ze źródeł liniowych. Rozkład izolinii stężeń dla tego zanieczyszczenia nie przekracza wartości kryterialnych, ale wskazuje wyniki zbliżone do tych wartości. Oznacza to, iż w przyszłości mogą wystąpić przekroczenia tego zanieczyszczenia wzdłuż głównych szlaków komunikacyjnych oraz w dużych miastach (w punktach o dużym natężeniu ruchu i słabym rozpraszaniu ładunków emisji), w związku ze stałą tendencją wzrostu liczby pojazdów.

<i>Tabela 1.2.1. Wskaźniki emisji dla gazów, pyłów oraz dla niemetanowych związków organicznych</i>	7
<i>Tabela 2.2.2. Współczynnik zależności emisji powierzchniowej od temperatury</i>	7
<i>Tabela 1.2.3. Współczynnik K dla roku 2011 na stacjach województwa zachodniopomorskiego</i>	8
<i>Tabela 1.2.4. Tabela prędkości pojazdów przyjętych do obliczeń</i>	8
<i>Tabela 1.2.5. Wartości współczynnika k dla poszczególnych wielkości cząsteczki pyłu</i>	9
<i>Tabela 1.2.6. Wskaźniki emisji benzo(a)pirenu z komunikacji</i>	10
<i>Tabela 1.3.1. Sumy emisji powierzchniowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.2. Sumy emisji powierzchniowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.3. Sumy emisji liniowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.4. Sumy emisji liniowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.5. Sumy emisji punktowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.6. Sumy emisji punktowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.7. Sumy emisji całkowitej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.8. Sumy emisji całkowitej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	13
<i>Tabela 2.1.1. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w roku 2011 na stanowiskach IMGW</i>	14
<i>Tabela 4.1.1. Dopuszczalna niepewność modelowania</i>	27
<i>Tabela 4.1.2. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów SO₂, NO₂ i NO_x w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	28
<i>Tabela 4.1.3. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów PM₁₀, PM_{2,5} i CO w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	28
<i>Tabela 4.1.4. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów B(a)P i metali ciężkich w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	29

SPIS RYSUNKÓW

<i>Rysunek 2.1.1. Rozkład średniej rocznej wartości temperatury powietrza [°C] w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	13
<i>Rysunek 2.1.2. Średnia roczna wartość prędkość wiatru w województwie zachodniopomorskim w roku 2011</i>	14
<i>Rysunek 2.1.3. Rozkład maksymalnych wartości prędkość wiatru [m/s] w woj. zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	15
<i>Rysunek 2.1.4. Częstość występowania cisz atmosferycznych dla woj. zachodniopomorskiego w roku 2011</i>	15
<i>Rysunek 2.1.5. Procentowy rozkład prawdopodobieństwa występowania prędkości wiatru w określonych przedziałach w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	16
<i>Rysunek 2.1.6. Roczne różnice wiatrów dla oczka siatki meteorologicznej dla wybranych stacji w województwie zachodniopomorskim w 2010 roku</i>	16
<i>Rysunek 2.1.7. Suma opadów atmosferycznych w województwie zachodniopomorskim w roku 2011</i>	17
<i>Rysunek 2.1.8. Średnia roczna wartość wilgotności względnej dla województwa zachodniopomorskiego w roku 2011</i>	18
<i>Rysunek 2.3.9. Rozkład średniej rocznej wartości wysokości warstwy mieszania [m] w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	18
<i>Rysunek 4.1.10. Rozkład prawdopodobieństwa występowania klas równowagi atmosfery w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	19
<i>Rysunek 3.1.1. Aglomeracja Szczecińska – stężenia pyłu PM₁₀ – percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń 24 godzinnych</i>	20
<i>Rysunek 3.1.2. Koszalin – stężenia pyłu PM₁₀ – percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń 24-godzinnych</i>	21
<i>Rysunek 3.1.3. Strefa zachodniopomorska pył PM₁₀ – stężenia średnie roczne</i>	21
<i>Rysunek 3.1.4. Rozkład emisji B(a)P w województwie zachodniopomorskim w roku 2011</i>	22
<i>Rysunek 3.1.5. Strefa zachodniopomorska - B(a)P w pyłe PM₁₀ - stężenie średnie roczne</i>	22
<i>Rysunek 3.1.6. Miasto Koszalin-B(a)P w pyłe PM₁₀- stężenie średnie roczne</i>	23
<i>Rysunek 3.1.7. Aglomeracja szczecińska - B(a)P w pyłe PM₁₀- stężenie średnie roczne</i>	23
<i>Rysunek 3.1.8. Aglomeracja szczecińska – stężenia NO₂ – percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń 1 godzinnych</i> ...	24
<i>Rysunek 3.1.9. Strefa zachodniopomorska – stężenia NO₂ – percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń 1 godzinnych</i> ...	25
<i>Rysunek 3.1.10. Aglomeracja szczecińska – pył PM_{2,5} – stężenie średnie roczne</i>	25
<i>Rysunek 3.1.11. Miasto Koszalin pył PM_{2,5} – stężenie średnie roczne</i>	26

SPIS TABEL

Str.

<i>Tabela 1.2.1. Wskaźniki emisji dla gazów, pyłów oraz dla niemetanowych związków organicznych</i>	7
<i>Tabela 1.2.2. Współczynnik zależności emisji powierzchniowej od temperatury</i>	7
<i>Tabela 1.2.3. Współczynnik K dla roku 2011 na stacjach województwa zachodniopomorskiego</i>	8
<i>Tabela 1.2.4. Tabela prędkości pojazdów przyjętych do obliczeń</i>	8
<i>Tabela 1.2.5. Wartości współczynnika k dla poszczególnych wielkości cząsteczki pyłu</i>	9
<i>Tabela 1.2.6. Wskaźniki emisji benzo(a)pirenu z komunikacji</i>	10
<i>Tabela 1.3.1. Sumy emisji powierzchniowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.2. Sumy emisji powierzchniowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.3. Sumy emisji liniowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.4. Sumy emisji liniowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.5. Sumy emisji punktowej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.6. Sumy emisji punktowej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.7. Sumy emisji całkowitej [Mg/rok] gazów i pyłu w 2011 roku</i>	12
<i>Tabela 1.3.8. Sumy emisji całkowitej [kg/rok] B(a)P i metali ciężkich w 2011 roku</i>	13
<i>Tabela 2.1.1. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w roku 2011 na stanowiskach IMGW</i>	14
<i>Tabela 4.1.1. Dopuszczalna niepewność modelowania</i>	27
<i>Tabela 4.1.2. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów SO₂, NO₂ i NO_x w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	28
<i>Tabela 4.1.3. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów PM₁₀, PM_{2,5} i CO w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	28
<i>Tabela 4.1.4. Porównanie wyników modelowania z wynikami pomiarów B(a)P i metali ciężkich w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	29

SPIS RYSUNKÓW

<i>Rysunek 2.1.1. Rozkład średniej rocznej wartości temperatury powietrza [°C] w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	13
<i>Rysunek 2.1.2. Średnia roczna wartość prędkość wiatru w województwie zachodniopomorskim w roku 2011</i>	14
<i>Rysunek 2.1.3. Rozkład maksymalnych wartości prędkość wiatru [m/s] w woj. zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	15
<i>Rysunek 2.1.4. Częstość występowania cisz atmosferycznych dla woj. zachodniopomorskiego w roku 2011</i>	15
<i>Rysunek 2.1.5. Procentowy rozkład prawdopodobieństwa występowania prędkości wiatru w określonych przedziałach w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	16
<i>Rysunek 2.1.6. Roczne różnice wiatrów dla oczka siatki meteorologicznej dla wybranych stacji w województwie zachodniopomorskim w 2010 roku</i>	16
<i>Rysunek 2.1.7. Suma opadów atmosferycznych w województwie zachodniopomorskim w roku 2011</i>	17
<i>Rysunek 2.1.8. Średnia roczna wartość wilgotności względnej dla województwa zachodniopomorskiego w roku 2011</i>	18
<i>Rysunek 2.1.9. Rozkład średniej rocznej wartości wysokości warstwy mieszania [m] w województwie zachodniopomorskim w 2011 roku</i>	18
<i>Rysunek 2.1.10. Rozkład prawdopodobieństwa występowania klas równowagi atmosfery w województwie zachodniopomorskim w 2011 r.</i>	19
<i>Rysunek 3.1.1. Aglomeracja Szczecińska – stężenia pyłu PM₁₀ – percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń 24 godzinnych</i>	20
<i>Rysunek 3.1.2. Koszalin – stężenia pyłu PM₁₀ – percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń 24-godzinnych</i>	21
<i>Rysunek 3.1.3. Strefa zachodniopomorska pył PM₁₀ – stężenia średnie roczne</i>	21
<i>Rysunek 3.1.4. Rozkład emisji B(a)P w województwie zachodniopomorskim w roku 2011</i>	22
<i>Rysunek 3.1.5. Strefa zachodniopomorska - B(a)P w pyłe PM₁₀ - stężenie średnie roczne</i>	22
<i>Rysunek 3.1.6. Miasto Koszalin-B(a)P w pyłe PM₁₀- stężenie średnie roczne</i>	23
<i>Rysunek 3.1.7. Aglomeracja szczecińska - B(a)P w pyłe PM₁₀- stężenie średnie roczne</i>	23
<i>Rysunek 3.1.8. Aglomeracja szczecińska – stężenia NO₂ – percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń 1 godzinnych</i>	24
<i>Rysunek 3.1.9. Strefa zachodniopomorska – stężenia NO₂ – percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń 1 godzinnych</i>	25
<i>Rysunek 3.1.10. Aglomeracja szczecińska – pył PM_{2,5} – stężenie średnie roczne</i>	25
<i>Rysunek 3.1.11. Miasto Koszalin pył PM_{2,5} – stężenie średnie roczne</i>	26