

ZAŁĄCZNIK NR 3

**RAPORT (QA/QC) Z OCENY JAKOŚCI OBLICZEŃ
ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ ZA ROK 2015**

Ocena jakości wyników modelowania – raport QA/QC

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 roku w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2012 r., poz. 1032) wyniki modelowania muszą spełniać poniższe warunki:

Tabela 1. Wymagania, jakie powinny spełniać wyniki modelowania

Niepewność	SO ₂ , NO ₂ , NO _x	Pył PM10, Pył PM2,5,Pb	Benzen	Tlenek węgla	Ozon	Arsen, Kadm Nikiel, B(a)P
Stężenie średnie jednogodzinne	50%	-	-	50%	50%	-
Stężenie średnio ośmiogodzinne	50%	-	-	50%	50%	-
Stężenie średnio dobowe	50%	-	-	50%	-	-
Stężenie średnio roczne	30%	50%	50%	30%	-	60%

Podstawowym wskaźnikiem stosowanym w celu sprawdzenia jakości modelowania, zaproponowanym w wymienionym rozporządzeniu Ministra Środowiska (Dz. U. z 2012 r., poz. 1032) jest błąd względny (Bw) określony wzorem:

$$Bw = (S_{ma} - S_{pa}) / S_{pa},$$

gdzie: S_{pa} – wartość parametru wyznaczona pomiarowo,

S_{ma} – wartość parametru wyznaczona modelowo.

Wyniki błędu nie powinny przekraczać wartości określonych w ww. rozporządzeniu.

Natomiast Dyrektywa 2008/50/WE (CAFE) niepewność modelowania definiuje jako **błąd względny RDE (Relative Directive Error)**, który jest określony poprzez maksymalne odchylenie między zmierzonym a obliczonym poziomem stężenia w 90% punktów monitoringu w danym okresie dla wartości dopuszczalnej, z pominięciem sytuacji szczególnych. Błąd RDE ma zastosowanie w zakresie stężeń zbliżonych do odpowiedniej wartości dopuszczalnej. Pomiary stałe, które należy wybrać dla porównania z wynikami modelowania, muszą być reprezentatywne dla skali objętej modelem. Założenie to zostało opisane wzorem:

$$RDE = \frac{(S_{pg} - S_{mg})}{S_g}$$

gdzie: S_{pg} – stężenie zmierzone, najbliższe wartości dopuszczalnej,

S_{mg} – stężenie wyznaczone modelowo, odpowiadające stężeniu zmierzonemu

S_{pg} w odpowiednio posortowanych seriach modelowej i pomiarowej,

S_g – wartość dopuszczalna określona w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 13 września 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012 r., poz. 1031).

Należy podkreślić, iż w tej formie analiza jakości modelowania skupia się jedynie na wynikach modelowania zbliżonych do wartości dopuszczalnej, nie zajmując się czasem ich wystąpienia. Co oznacza, że jakakolwiek czasowa zależność pomiędzy pomiarami a wynikami modelowania jest ignorowana. Całkowite pominięcie wpływu funkcji czasu we wskaźniku RDE powoduje, że potencjalnie poprawny model może nie być w żaden sposób skorelowany z pomiarami. Równocześnie Dyrektywa CAFE dopuszcza stosowanie

modelowania jako alternatywy dla pomiarów, w przypadku gdy poziomy jakości powietrza są poniżej dolnego progu oszacowania. Podczas gdy niepewność modelowania zaproponowana przez Dyrektywę może być zadowalająca jedynie dla wartości zbliżonych do wartości dopuszczalnej, dla wyników modelowania odbiegających od wartości granicznej wskaźnik RDE wskazuje dużą niepewność w stosunku do modelowania.

Obecnie Komisja Europejska proponuje wykonywać ocenę jakości modelowania w oparciu o opracowanie pt. „*Guidance on the use of models for European Air Quality Directive*”. Walidacja wyników modelowania w odniesieniu do wyników pomiarów odbywa się z wykorzystaniem szeregu współczynników statystycznych, których graficzna analiza pozwala określić zdolność systemu modelowania do odzwierciedlenia rzeczywistych pomiarów.

W analizie oceny jakości modelowania zanieczyszczeń powietrza wykorzystano program *DeltaTool* opracowany przez JRC (Joint Research Centre) w ramach działań *Forum For Air Quality Modeling in Europe* (FAIRMODE). Podstawowym kryterium oceny jakości wyników modelowania sformułowanym przez FAIRMODE jest wskaźnik MQO (*Model Quality Objective*), który dla modelu dokładnie odwzorowującego pomiary jakości powietrza powinien być mniejszy od 0,5. Wówczas różnice pomiędzy modelowaniem oraz pomiarem mieszczą się w niepewności pomiaru. Jeżeli wskaźnik MQO jest mniejszy od jedności, to model także poprawnie odwzorowuje rzeczywistość, jednak można jeszcze poprawić niektóre elementy modelowania. O tym, które czynniki modelu wymagają korekty, informują wskaźniki tzw. MPC (*Model Performance Criteria*), które tworzą kolejne trzy kryteria dobrego modelu.

Kryteria MPC tworzą wskaźnik korelacji, odchylenia standardowego i odchylenia średniego. Podobnie jak MQO powinny one być mniejsze od jedności. Warto zauważyć, że wypełnienie wszystkich wymagań nie gwarantuje spełniania podstawowego kryterium, które kwalifikuje model jako prawidłowy. Wprowadzony wskaźnik MQO, który jednoznacznie określa czy stosowany model prawidłowo odwzorowuje stężenia rzeczywiste jest obliczony na podstawie zależności:

$$MQO = \frac{1}{2} \frac{RMSE}{RMS_U} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}}{2RMS_U} \leq 1,$$

$$RMS_U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U(O_i))^2}$$

Dla średnich rocznych wyników współczynnik MQO upraszcza się do formy:

$$MQO = \frac{|BIAS|}{2U(\bar{O})} \leq 1$$

gdzie: $U(O_i)$ - niepewność pomiaru,

O_i - stężenie zmierzone,

M_i - stężenie wyznaczone modelowo.

Jakość wyników modelowania zgodnie z kryterium MQO interpretuje się w następujący sposób:

- $MQO < 0,5$ – wyniki modelowania zawierają się w przedziale określającym niepewność pomiaru, nie jest celowa poprawa jakości modelowania gdyż odwzorowuje w sposób idealny warunki rzeczywiste;
- $0,5 < MQO < 1$ – pierwiastek błędu średniokwadratowego (RMSE) jest większy niż średniokwadratowa niepewność pomiaru, ale mimo to wyniki modelowania mogą być bliższe faktycznej wartości stężeń niż pomiar;
- $1 < MQO$ – wyniki modelowania oraz pomiaru nie wykazują zgodności, w tym przypadku uwzględniany jest jedynie pomiar.

Wprowadzone pomocnicze wskaźniki tworzące kryteria jakości modelu MPC, dają odpowiedź, które elementy modelu wymagają poprawy, w celu spełnienia głównego kryterium. Wszystkie parametry zostały znormalizowane, tak żeby pokrywały się z warunkami MQO.

- Błąd $BIAS = \frac{|BIAS|}{2RMS_U} \leq 1$, który mówi czy uzyskane wyniki w analizowanym ciągu są niższe lub wyższe w stosunku do pomiarów;
- Korelacja $r = \frac{(1-R)\sigma_0^2}{2RMS_U^2} \leq 1$, która mówi, w jakim stopniu uzyskane wyniki w analizowanym ciągu odzwierciedlają tendencję czasową;
- Odchylenie standardowe $\sigma = \frac{|\sigma_M - \sigma_O|}{2RMS_U} \leq 1$, które mówi o rozrzucie wyników modelu w analizowanym ciągu w stosunku do wartości średniej.

W wersji dostępnej narzędzie Delta Tool ma jednakże ograniczony zakres analizowanych substancji. Analizowane są w nim substancje, z którymi generalnie występują problemy na obszarze Europy, czyli pył PM10 i PM2,5 oraz dwutlenek azotu i ozon.

Kryterium MQO graficznie opisuje diagram Target Plot, który w sposób syntetyczny przedstawia jakość wyników modelowania. Wykres jest tak skonstruowany, żeby jednocześnie wskazać, który element modelowania należy poprawić, żeby otrzymać lepszą zgodność. Diagram podzielony jest na cztery obszary, a każdy z nich opisuje główne źródło błędu jakim może być:

- dodatni błąd $BIAS$ ($BIAS/2RMS_U$) – górna część diagramu, który mówi, iż uzyskane wyniki w analizowanym ciągu są wyższe w stosunku do pomiarów;
- ujemny błąd $BIAS$ ($BIAS/2RMS_U$) – dolna część diagramu, który mówi, iż uzyskane wyniki w analizowanym ciągu są niższe w stosunku do pomiarów;
- korelacja R – lewa strona diagramu, która mówi w jakim stopniu uzyskane wyniki w analizowanym ciągu odzwierciedlają tendencję czasową;
- odchylenie standardowe SD – prawa strona diagramu, która mówi o rozrzucie wyników modelu w analizowanym ciągu w stosunku do wartości średniej.

O tym czy decydujący wpływ na błąd modelowania ma korelacja, czy odchylenie standardowe decyduje zależność:

$$\frac{\sigma_M - \sigma_O}{\sqrt{2\sigma_M\sigma_O(1-R)}} > 1 \Rightarrow SD$$

$$\frac{\sigma_M - \sigma_O}{\sqrt{2\sigma_M\sigma_O(1-R)}} < 1 \Rightarrow R$$

W górnym lewym rogu rysunku umieszczona jest informacja, jaka część stacji spełnia kryteria MQO. Przyjęto, że kryterium dla dobrej jakości wyników modelowania $MQO < 1$ powinno być spełnione przynajmniej dla 90% stacji. Z prawej strony diagramu znajdują się stałe współczynniki, na podstawie których oszacowano niepewność pomiaru. Przerywana linia w kształcie elipsy ogranicza punkty spełniające zależność: $MQO = RMSE/RMSU < 0,5$, a ciągła linia: $MQO < 1$.

Uzupełnieniem diagramu Target Plot jest raport podsumowujący, który składa się z następujących elementów:

- Dwa pierwsze wiersze dotyczą tylko informacji o pomiarach. Pierwszy wiersz reprezentuje średnie roczne stężenia otrzymane z jednogodzinnych wyników pomiarów. Drugi wskazuje liczbę terminów, w których nastąpiło przekroczenie granicznej wartości stężenia;
- kolejne cztery wiersze (od 3 do 6) przedstawiają czasowe statystyki takie jak: BIAS, korelację R, odchylenie standardowe oraz informacje o zdolności modelu do wskazywania stężeń najwyższych rzędów. Każdy z punktów reprezentuje jedną stację. Wartości współczynników, które spełniają kryteria dobrego modelu znajdują się na polach zaciemnionych na kolor zielony, bądź pomarańczowy. Pomimo, że spełnione mogą być warunki dla każdego z wymienionych błędów osobno, to jednak nie oznacza, że wskaźnik MQO oparty na RMSE jest poprawny;
- dwa następne wiersze (7 i 8) przedstawiają przestrzenne statystyki: korelację R i odchylenie standardowe. Dla każdej stacji wyznaczana jest średnia wartości z wybranego okresu. Następnie na podstawie otrzymanych średnich dla wszystkich stacji wyznaczany jest przestrzenny współczynnik korelacji i odchylenie standardowe. Dla tych wartości sprawdzane są kryteria poprawności modelu. Wynikiem jest tylko jeden punkt reprezentujący korelację przestrzenną.

Stężenia tlenu węgla

Tabela 2. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania 8-godzinnej średniej kroczącej stężeń CO w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m3]	Model* [µg/m3]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m3]	Bw** [%]	RDE** [%]
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzcPils02	2378	2392	1	0	1546	-35	8

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu.

Stężenia benzenu

Tabela 3. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia C₆H₆ w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m3]	Model* [µg/m3]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m3]	Bw** [%]	RDE** [%]
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzcPils02	0,9	0,5	-38	7	0,9	0	0

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu.

Stężenia dwutlenku azotu

Tabela 4. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego 1-godzinnego stężenia NO_2 w 2015 r.

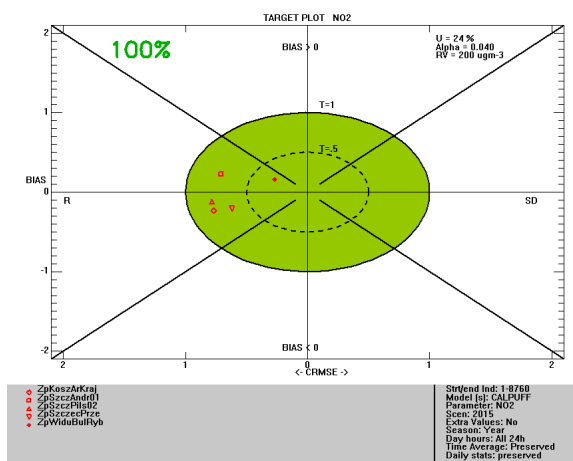
Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Model* [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	95,6	101,4	6	28	86,2	-10	23
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	75,3	77,9	3	17	54,7	-27	11
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	97,7	96,7	-1	1	90,7	-7	13
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	78,2	41,6	-47	26	44,3	-43	20
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	26,7	25,4	-5	4	36,0	35	4

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu.

Rysunek 1. Diagram Target Plot oraz raport podsumowujący dla godzinowych stężeń dwutlenku azotu w 2015 roku

Model CALPUFF



Model CALPUFF po reanalizie

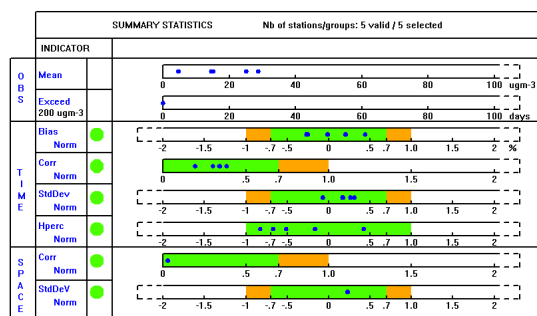
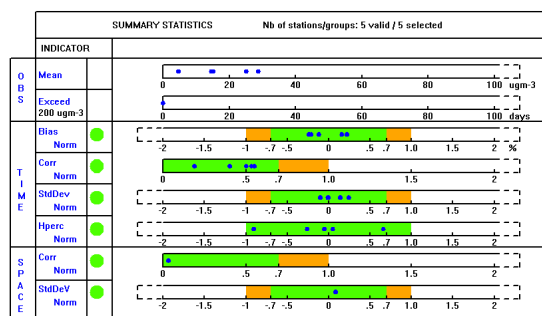
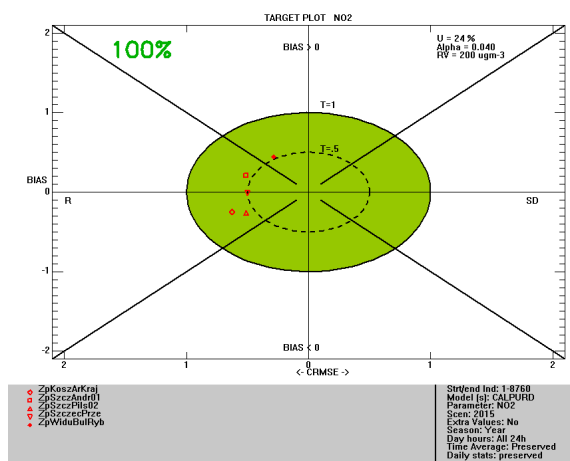


Tabela 5. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia NO_2 w 2015 r.

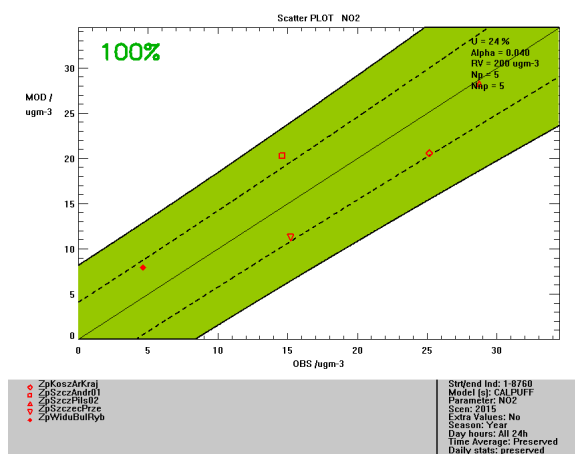
Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Model* [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	25,1	22,7	-10	6	21,0	-16	10
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	14,6	13,6	-7	2	16,4	12	4
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	28,7	25,9	-10	7	22,2	-23	16
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	15,2	10,8	-29	11	15,0	-2	1
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	4,6	7,8	67	8	13,3	186	22

* Stężenia bez kalibracji modelu.

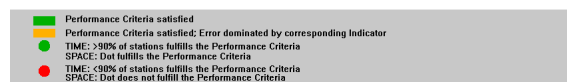
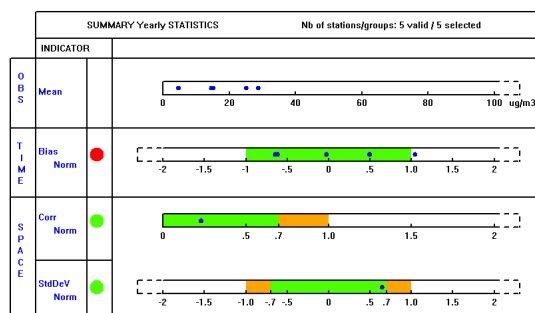
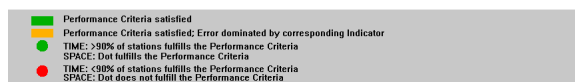
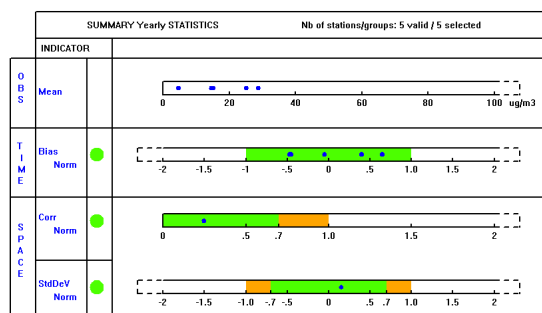
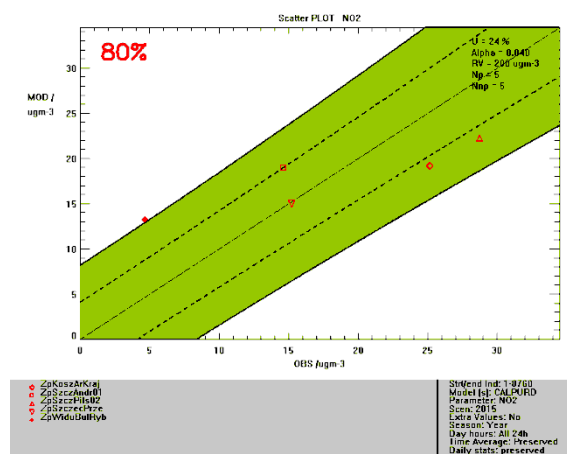
** Stężenia po kalibracji modelu

Rysunek 1. Wykres rozproszenia oraz raport podsumowujący dla godzinowych stężeń dwutlenku azotu w 2015 roku

Model CALPUFF



Model CALPUFF po reanalizie



Stężenia tlenków azotu

Tabela 6. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia NO_x w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	50,8	35,8	-30	50	34,9	-31	53
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	21,5	23,3	8	6	26,5	23	17
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	46,5	43,9	-6	9	38,9	-16	25
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	22,8	13,9	-39	29	22,8	0	0
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	5,8	9,8	70	13	22,4	289	55

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Stężenia dwutlenku siarki

Tabela 7. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego 1-godzinnego stężenia SO₂ w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	13,0	12,7	-2	4	8,2	-36	4
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	21,4	22,1	3	5	10,1	-53	9
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	25,0	52,3	109	18	15,4	-38	9
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	19,2	23,8	24	0	8,8	-54	5
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	16,4	5,9	-64	8	7,9	-52	7

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Tabela 8. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego dobowego stężenia SO₂ w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	8,4	7,1	-16	1	7,5	-10	1
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	9,5	9,9	4	6	7,7	-19	4
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	8,7	25,3	192	30	8,6	-1	1
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	10,2	11,2	10	4	7,6	-26	2
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	7,6	3,4	-55	4	6,6	-13	1

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Tabela 9. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia SO_2 w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Model* [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	3,3	2,6	-21	3	2,8	-15	2
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	2,3	2,7	21	2	2,7	22	2
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	3,6	5,4	52	9	3,2	-9	2
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	2,9	3,1	6	1	2,8	-3	0
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	2,1	1,2	-45	5	2,7	26	3

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Stężenia pyłu zawieszonego PM10

Tabela 10. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w 2015 r.

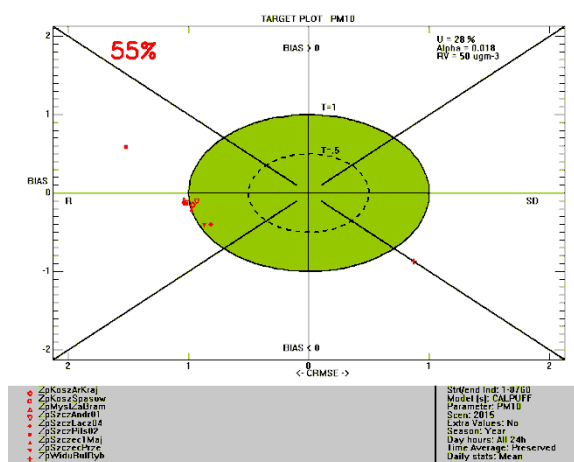
Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m3]	Model* [µg/m3]	Bw* [%]	RDE* [%]	Liczba przechr. - pomiar	Liczba przechr. - model*	Model** [µg/m3]	Bw** [%]	RDE** [%]	Liczba przechr. – model**
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj(auto)	43,4	44,0	1		22	19	42,8	-2	2	20
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj(man)	42,5	44,0	4	16	21	19	42,8	1		20
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	36,7	34,3	-6	13	19	13	40,2	10	3	19
Mysłibórz, ul. Za Bramką	ZpMyslZaBram	55,5	58,2	5	7	45	49	46,7	-16	17	27
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01(auto)	40,9	29,9	-27		20	8	40,9	0		21
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01(man)	41,7	29,9	-28	20	22	8	40,9	-2	2	21
Szczecin, ul. Łączna	ZpSzczLacz04	39,8	38,6	-3	3	19	20	41,4	4	2	19
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	45,4	45,8	1	64	25	33	45,4	0	5	27
Szczecinek, ul. 1 Maja 22	ZpSzczec1Maj	43,8	44,3	1	4	23	23	42,9	-2	2	22
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze(auto)	49,4	41,6	-16		31	23	41,7	-16		20
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze(man)	41,7	41,6	0	18	15	17	41,6	0	15	18
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	42,8	16,5	-62	64	18	0	37,9	-11	8	15

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Rysunek 2. Diagram Target Plot i raport podsumowujący dla średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM10 w 2015 roku

Model CALPUFF



Model CALPUFF po reanalizie

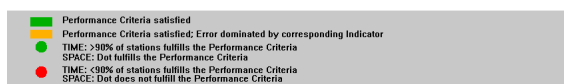
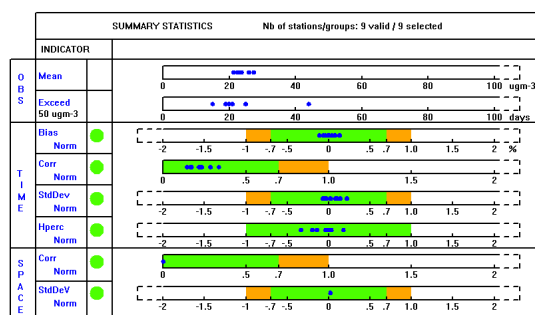
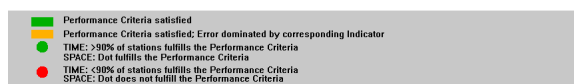
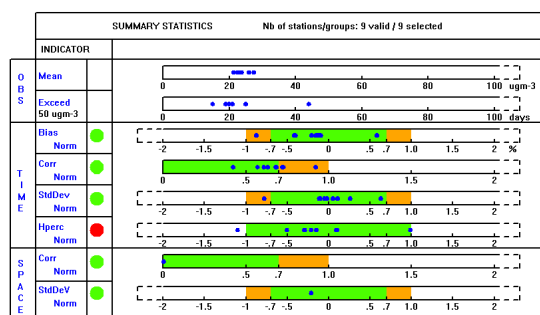
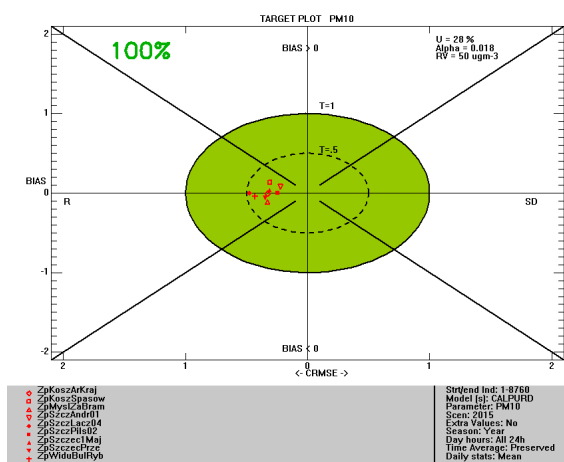


Tabela 11. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m³]	Model* [µg/m³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	23,5	24,8	5	3	23,4	-1	0
Koszalin, ul. Armii Krajowej	ZpKoszArKraj	23,5	24,8	6	3	23,4	0	0
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	21,4	20,3	-5	3	23,2	8	4
Myślibórz, ul. Za Bramką	ZpMyslZaBram	27,6	25,5	-7	5	25,4	-8	5
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	22,5	18,4	-18	4	23,0	2	1
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	22,6	18,4	-19	5	23,0	2	1
Szczecin, ul. Łączna	ZpSzczLacz04	23,8	17,7	-26	11	23,9	0	0
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	26,1	22,4	-14	1	26,0	0	0
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	23,6	20,3	-14	8	23,6	0	0

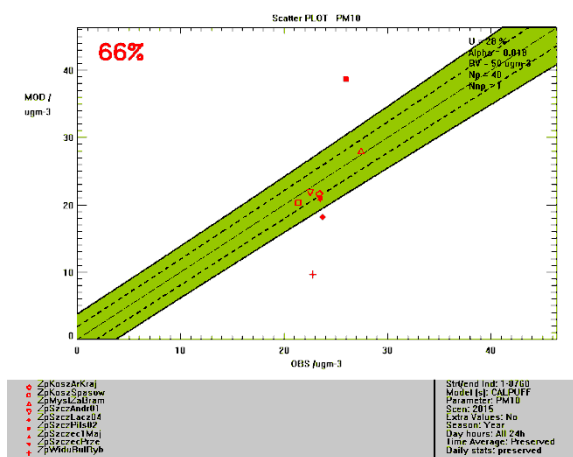
Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	26,0	19,9	-23	15	23,9	-8	5
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	23,6	19,9	-15	9	23,8	1	0
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	22,8	9,4	-59	34	22,2	-3	2

* Stężenia bez kalibracji modelu.

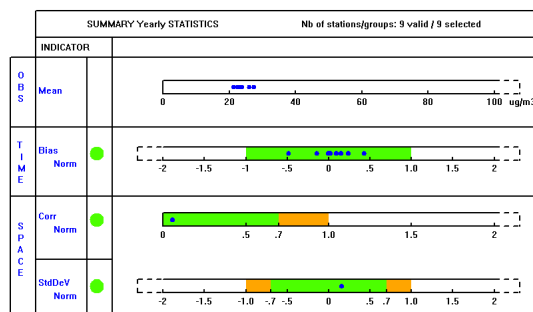
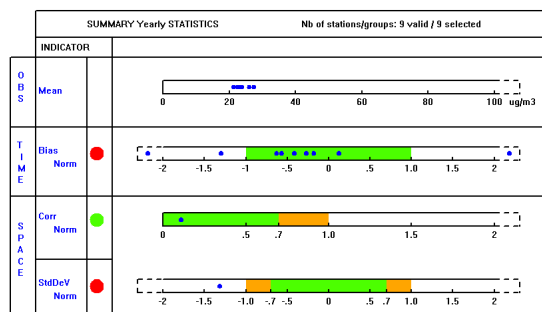
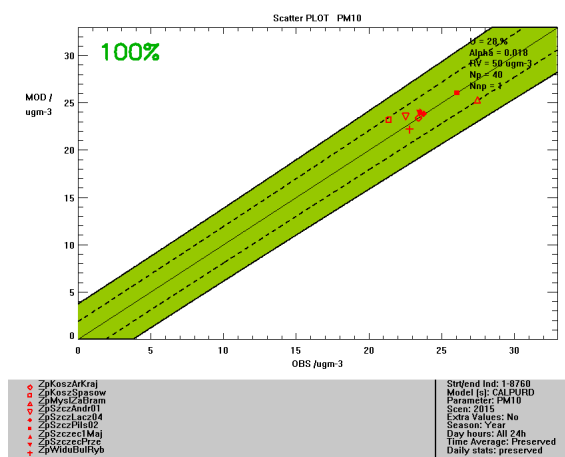
** Stężenia po kalibracji modelu

Rysunek 3. Wykres rozproszenia oraz raport podsumowujący dla rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 w 2015 roku

Model CALPUFF



Model CALPUFF po reanalizie



Performance Criteria satisfied

Performance Criteria satisfied; Error dominated by corresponding Indicator

TIME: >90% of stations fulfills the Performance Criteria

SPACE: Dot fulfills the Performance Criteria

TIME: <90% of stations fulfills the Performance Criteria

SPACE: Dot does not fulfill the Performance Criteria

Performance Criteria satisfied

Performance Criteria satisfied; Error dominated by corresponding Indicator

TIME: >90% of stations fulfills the Performance Criteria

SPACE: Dot fulfills the Performance Criteria

TIME: <90% of stations fulfills the Performance Criteria

SPACE: Dot does not fulfill the Performance Criteria

Stężenia pyłu zawieszonego PM2,5

Tabela 12. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia pyłu zawieszonego PM2,5 w 2015 r.

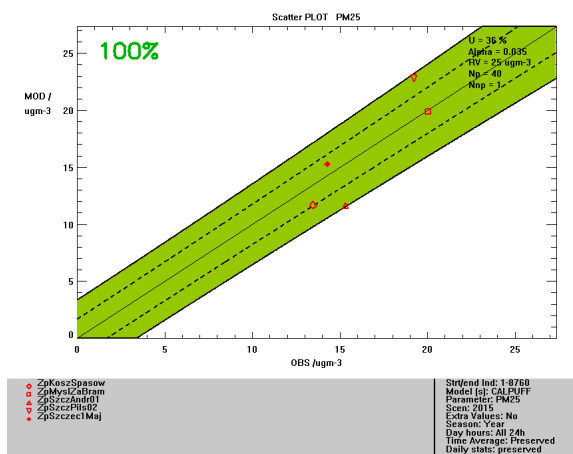
Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model* * [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	13,5	12,2	-9	5	14,8	10	5
Mysłibórz ul. Za Bramką	ZpMyslZaBram	20,1	19,9	-1	1	18,0	-11	9
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	15,2	11,6	-24	14	15,1	-1	0
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	15,4	11,6	-24	15	15,1	-1	1
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	19,3	21,7	13	10	18,4	-4	3
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	14,3	14,3	0	0	16,1	13	7

* Stężenia bez kalibracji modelu.

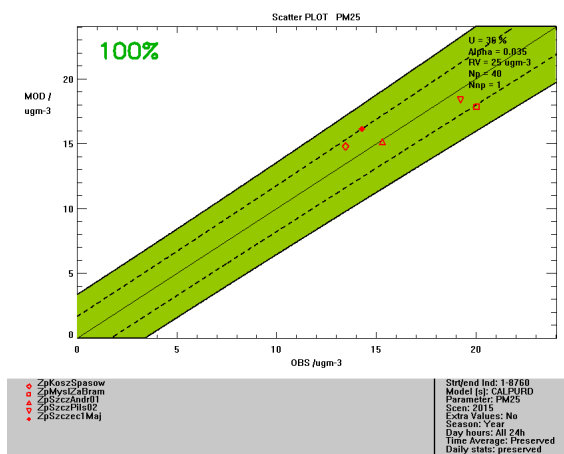
** Stężenia po kalibracji modelu

Rysunek 4. Wykres rozproszenia dla średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM2,5 w 2015 roku

Model CALPUFF



Model CALPUFF po reanalizie



Stężenia benzo(a)pirenu

Tabela 13. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia B(a)P w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model* * [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	0,9	1,0	4	4	1,8	91	85
Myślibórz, ul. Za Bramką	ZpMyslZaBram	4,8	2,8	-41	197	2,6	-45	212
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	1,6	1,1	-30	47	1,8	12	19
Szczecin, ul. Piłsudskiego	ZpSzczPils02	1,8	2,1	20	35	2,4	34	60
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	2,5	2,2	-14	35	2,4	-7	18
Szczecinek, ul. Przemysłowa	ZpSzczecPrze	2,3	2,0	-13	29	2,3	0	1
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	1,5	0,4	-76	117	1,5	-2	2

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Stężenia ołowiu

Tabela 14. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia ołowiu w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model* * [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	0,004	0,008	109	1	0,004	9	0
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	0,004	0,008	90	1	0,005	5	0
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	0,005	0,010	88	1	0,005	-16	0
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	0,004	0,001	-65	0	0,004	-8	0

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Stężenia arsenu

Tabela 15. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia arsenu w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m ³]	Model* [µg/m ³]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model* * [µg/m ³]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	0,67	0,39	-41	5	0,68	1	0
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	0,58	0,57	-1	0	0,70	21	2
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	0,64	0,63	-2	0	0,70	9	1
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	0,85	0,09	-90	13	0,65	-24	4

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Stężenia kadmu

Tabela 16. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia kadmu w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m3]	Model* [µg/m3]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model** [µg/m3]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	0,17	0,19	15	1	0,15	-9	0
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	0,13	0,17	36	1	0,15	14	0
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	0,15	0,22	43	1	0,15	0	0
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	0,15	0,08	-43	1	0,13	-10	0

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Stężenia niklu

Tabela 17. Porównanie wyników pomiaru oraz modelowania średniego rocznego stężenia niklu w 2015 r.

Nazwa stacji	Kod stacji	Pomiar [µg/m3]	Model* [µg/m3]	Bw* [%]	RDE* [%]	Model* * [µg/m3]	Bw** [%]	RDE** [%]
Koszalin, ul. Spasowskiego	ZpKoszSpasow	1,61	1,33	-18	1	1,08	-33	3
Szczecin, ul. Andrzejewskiego	ZpSzczAndr01	0,58	0,83	43	1	1,07	84	2
Szczecinek, ul. 1 Maja	ZpSzczec1Maj	0,64	0,75	17	1	1,11	72	2
Widuchowa, ul. Bulwary Rybackie	ZpWiduBulRyb	1,56	0,12	-92	7	1,17	-25	2

* Stężenia bez kalibracji modelu.

** Stężenia po kalibracji modelu

Podsumowując należy stwierdzić, iż nie we wszystkich przypadkach dokonanie reanalizy wyników modelowania doprowadziło do poprawy zgodności wyników modelowania z pomiarami. Uzależnione jest to w głównej mierze od ilości i rodzaju zastosowanych do wyznaczenia algorytmu stanowisk. Równocześnie przy niektórych zanieczyszczeniach np. SO₂, PM_{2,5} czy Pb wprowadzenie reanalizy spowodowało znaczące wypłaszczenie przestrzenne uzyskanych wartości.