

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska

Rozprawa doktorska

***Ocena przydatności wybranych modeli
gaussowskich w obliczeniach stanu
zanieczyszczenia powietrza***

Przemysław Szczygłowski

Promotor: prof. dr hab. inż. Marian Mazur

Kraków, 2007

*Szanownemu Panu
Profesorowi Marianowi Mazurowi składam
podziękowania za pomoc udzieloną w czasie
pisanie niniejszej pracy*

Autor

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	5
2. CELE I ZAKRES PRACY	6
3. CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH NA DYSPERSJĘ ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU.....	8
3.1. PROCESY TERMODYNAMICZNE W ATMOSFERZE.....	9
3.2. WIATR.....	14
4. MODELOWANIE ROZPRZESTRZENIANIA ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU Z WYKORZYSTANIEM GAUSSOWSKIEGO MODELU OBŁOKU	19
4.1. PREPROCESOR METEOROLOGICZNY (CALMET)	20
4.1.1. Pole wiatru	20
4.1.2. Parametry mikrometeorologiczne	29
4.2. MODEL DYSPERSJI (CALPUFF)	30
4.2.1. Współczynniki dyspersji.....	31
4.2.2. Rozciąganie i podział obłoków	38
4.2.3. Wyniesienie smugi	40
4.3. UKSZTAŁTOWANIE TERENU	44
5. METODYKA OBLICZEŃ	49
5.1. DANE WEJŚCIOWE DO MODELU	49
5.1.1. Informacja o terenie	49
5.1.2. Dane meteorologiczne	53
5.1.3. Model dyspersji	55
5.2. APLIKACJA METEOROLOGIA.....	55
5.2.1. Opis programu.....	56
5.2.2. Dane ze stacji naziemnych.....	58
5.2.3. Dane ze stacji aerologicznych	59
5.3. ANALIZA STATYSTYCZNA	60
5.3.1. Podstawowe wskaźniki statystyczne	60
5.3.2. Właściwości obliczanych wskaźników statystycznych	63
5.3.3. Interpretacja wybranych wskaźników statystycznych.....	67
6. OKREŚLENIE WPLYWU POSZCZEGÓLNYCH CZYNNIKÓW NA WYNIKI OBLICZEŃ MODELOWANIA.....	70
6.1. CZYNNIKI METEOROLOGICZNE	70
6.1.1 Dane wejściowe.....	70
6.1.2 Wyniki obliczeń.....	73
6.1.3 Analiza statystyczna.....	83
6.2. RZEŻBA TERENU (PREPROCESOR CALMET).....	97
6.2.1 Dane wejściowe.....	97
6.2.2 Wyniki obliczeń.....	99
6.2.3 Analiza statystyczna.....	103
6.3. RZEŻBA TERENU (CALPUFF)	116
6.3.1 Dane wejściowe.....	116
6.3.2 Wyniki obliczeń.....	117
6.3.3 Analiza statystyczna.....	120
7. OPTIMALIZACJA WYBORU OPCJI MODELU	127
7. 1. OPIS FUNKCJONALNOŚCI PROGRAMU	127
7.1.1 Blok CALMET	128
7.1.2 Blok CALPUFF	133

7.1.3 Całkowity wskaźnik modelowania	136
7. 2. INTERFEJS APLIKACJI	136
7. 3. PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIE	141
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE	144
LITERATURA	147
ZAŁĄCZNIKI	152

1. WPROWADZENIE

Ocena jakości powietrza jest dokonywana poprzez bezpośrednie pomiary stężeń zanieczyszczeń oraz modelowania dyspersji emitowanych do powietrza substancji. Ten drugi sposób odgrywa dominującą rolę w przypadku sporządzania prognoz oddziaływania poszczególnych źródeł emisji na stan zanieczyszczeń powietrza.

Krajowa praktyka modelowania transportu zanieczyszczeń atmosfery od kilku dekad oparta jest przede wszystkim na gaussowskim klimatologicznym modelu smugi. Model ten stosowany jest jako podstawowe narzędzie przy wydawaniu pozwoleń na emisję substancji do powietrza. Szczegółowy opis modelu możemy znaleźć w Rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. Z 8 stycznia 2003r., Nr 1, poz. 12). Niestety warunki, dla których może być on zastosowany, są bardzo ograniczone gdyż sprowadzają się do obliczeń dyspersji zanieczyszczeń jedynie na płaskich obszarach (o uproszczonej rzeźbie terenu). Z uwagi na fakt, iż model ten zakłada stałe warunki meteorologiczne w całym obszarze obliczeniowym, może być on stosowany tylko dla stosunkowo niewielkiego obszaru.

Naprzeciw tym potrzebom wychodzi gaussowski model obłoków uwzględniający znacznie większe spektrum danych i metod badawczych w porównaniu do aplikacji stosujących wyłącznie wskazany wyżej model smugi. Fakt, że aplikacje uwzględniające te modele są lepszym narzędziem obliczeń stanu zanieczyszczenia powietrza w zestawieniu z rozwiązaniami obecnie stosowanymi, wymusza przyjęcie założenia - które można potraktować jako założenie wstępne niniejszej pracy - że jakiegokolwiek porównanie ww. aplikacji nie wniosłoby nic nowego do istniejącego dorobku nauki. Efektem takiego porównania mogłoby być wyłącznie wykazanie oczywistej wyższości jednych aplikacji nad drugimi, co nie byłoby w żaden sposób przydatne dla rozwoju badań w omawianym zakresie. Zakres pracy ograniczono zatem do gaussowskiego modelu obłoku (CALMET/CALPUFF) pod kątem badania oceny przydatności tego modelu w obliczeniach stanu zanieczyszczenia powietrza.

Odnosząc się do użytego w tytule pracy pojęcia modeli gaussowskich należy wyjaśnić, że mieści ono w sobie modele, w których rozkład stężeń zanieczyszczeń wewnątrz smugi lub obłoku opisuje się za pomocą równania Gaussa.

2. CELE I ZAKRES PRACY

Głównym celem pracy było uzasadnienie tezy, **że właściwy dobór parametrów modelu dyspersji zanieczyszczeń powietrza pozwala na zoptymalizowanie procesu obliczeń poziomu emisji substancji.**

Realizacja tego celu związana była z opracowaniem zagadnień teoretycznych, jak również przeprowadzeniem szeregu analiz i obliczeń, które stanowiły szczegółowe cele pracy. Prace te oparte były na analizie aktualnej wiedzy pochodzącej z literatury polskiej i zagranicznej oraz na podstawie badań własnych. Szczegółowe cele pracy można ująć jako:

- zebranie informacji związanych z zagadnieniem modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu,
- analiza wpływu czynników meteorologicznych na wyniki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń,
- analiza wpływu ukształtowania terenu na wyniki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń,
- określenie wpływu poszczególnych parametrów modelu na wyniki obliczeń stanu zanieczyszczeń,
- stworzenie narzędzi przetwarzających i formatujących dane meteorologiczne,
- ocena użyteczności zastosowanych metod obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.
- zaproponowanie procedur mających ułatwić dobór odpowiednich opcji modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w zależności od warunków.

Dla realizacji zaplanowanych celów na wstępie dokonano wyboru modelu propagacji zanieczyszczeń. Uwzględniając uwarunkowania wskazane we wprowadzeniu do niniejszej pracy, badania oparto na gaussowskim modelu obłoków, użytym w aplikacji CAL-MET/CALPUFF.

Pracę podzielono na dwie części – teoretyczną i badawczą.

W części teoretycznej, po przestudiowaniu wybranych parametrów modelu, a także szeregu preprocesorów (przygotowujących dane wejściowe do modelu) i postprocesorów (opracowujących bądź wizualizujących wyniki obliczeń) przystąpiono do określenia ich wpływu na wyniki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

W dalszej części opisano metodykę stosowaną do oceny statystycznej wyników rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Metodyka ta została oparta o wskaźniki statystyczne rekomendowane przez U.S. EPA (Environmental Protection Agency) [38, 46].

Ustalenia części teoretycznej stanowiły punkt wyjścia dla części badawczej, poświęconej kilku odrębnym zagadnieniom. Część ta miała na celu pogłębienie i weryfikację danych literaturowych w tych aspektach obliczania dyspersji zanieczyszczeń, które mają największy wpływ na wyniki wskazanych obliczeń.

Do badań własnych wykorzystano dane o emisji pochodzące z Elektrociepłowni Bielesko-Biała. Lokalizacja tego obiektu na obszarze o zróżnicowanej rzeźbie, pozwoliła na określenie stopnia, w jakim ukształtowanie terenu wpływa na wyniki obliczeń jakości powietrza.

W pierwszej grupie badań dokonano oceny wpływu ilości danych meteorologicznych na wyniki obliczeń rozkładu stężeń zanieczyszczeń. Przyjęto założenie, że taka ocena może przyczynić się do optymalizacji ilości danych meteorologicznych niezbędnych do wykonania obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Celem tej części pracy było ustalenie, czy i w jakich sytuacjach możliwa jest rezygnacja z konieczności posiadania niektórych danych pochodzących z naziemnych bądź aerologicznych stacji meteorologicznych.

W dalszej kolejności przeprowadzono analizy wpływu rzeźby terenu na wyniki obliczeń dyspersji zanieczyszczeń. W tym obszarze skoncentrowano się na dwóch zagadnieniach, istotnych z punktu widzenia przydatności dokonywanych obliczeń: aspekcie dotyczącym parametrów wyznaczania pola wiatru oraz aspekcie związanym z zachowaniem się smugi/obłoku zanieczyszczeń w momencie napotkania na przeszkodę w terenie. Wyodrębnienie tego zagadnienia uznano za celowe z uwagi na niewystarczające uwzględnienie czynnika rzeźby terenu w stosowanych aplikacjach, opartych wyłącznie o gaussowski model smugi.

W oparciu o analizę wyników badań oraz danych literaturowych opisanych w części teoretycznej pracy, opracowano autorski system ekspercki wspomagający wybór właściwych opcji modelu CALMET/CALPUFF w zależności od parametrów wejściowych i oczekiwań użytkownika.

Wszystkie wykonane obliczenia i analizy, a także zaprojektowane i zaimplementowane aplikacje: wspomagająca zbieranie danych meteorologicznych – „*meteorologia*” i system ekspercki – „*optymalizacja*”, stanowiły podstawę do zweryfikowania postawionej tezy i osiągnięcia założonych celów pracy.

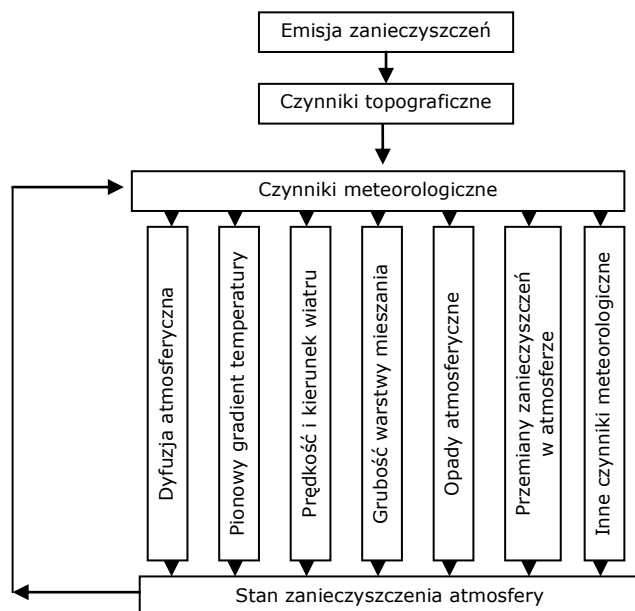
3. CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH NA DYSPERSJĘ ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU

Przez dyspersję zanieczyszczeń w powietrzu rozumiemy ruch różnego rodzaju substancji (cząstek stałych, aerozoli, gazów) w dużych masach atmosfery. Ponieważ właściwości powietrza „czystego” jak i zanieczyszczonego są do siebie bardzo zbliżone przyjmuje się, że największy wpływ na to zjawisko mają te same czynniki, które decydują o charakterze i dynamice ruchu mas powietrza atmosferycznego. To uproszczenie jest prawdziwe dla większości przypadków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń z wyjątkiem dużych cząstek stałych czy aerozoli, które ze względu na silne oddziaływanie grawitacji podlegają innym procesom propagacji. Kolejnym wyjątkiem jest moment wylotu zanieczyszczeń zawartych w gazach odlotowych emitora. Duże nagromadzenie ciepła w spalinach powoduje odmienne zachowanie tych gazów w stosunku do otaczających je mas powietrza.

Na stan zanieczyszczeń powietrza wpływ mają takie czynniki jak [13, 39, 48]:

- pole emisji zanieczyszczeń,
- czynniki meteorologiczne warunkujących transport i przemiany chemiczne zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza,
- czynniki topograficzne.

Wzajemne powiązanie tych czynników przedstawia rysunek 3.1



Rys. 3.1. Czynniki wpływające na stan zanieczyszczenia atmosfery [39]

3.1. PROCESY TERMODYNAMICZNE W ATMOSFERZE

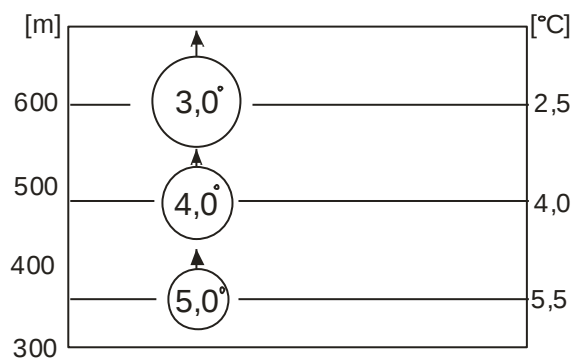
Podstawowym parametrem charakteryzującym stan atmosfery jest jej temperatura. Jej wartość zależy od prędkości wymiany ciepła (dzięki promieniowaniu, przewodnictwu bądź mieszaniu mas powietrznych) pomiędzy powierzchnią Ziemi, warstwami atmosfery i przestrzenią kosmiczną. Zmiana temperatury może wystąpić również w przypadku rozprężaniu bądź sprężaniu mas powietrza w czasie jego ruchów pionowych. W przypadku, gdy ustalona objętość powietrza zaczyna się unosić maleje jego ciśnienie, następuje rozprężanie adiabatyczne a wraz z nim spadek temperatury. Odwrotny ruch powietrza powoduje wzrost ciśnienia, a wraz z nim wzrost temperatury (sprężanie adiabatyczne).

Pojęciem charakteryzującym powyższe zmiany (dla powietrza, w którym para wodna nie występuje bądź występuje w niewielkich ilościach) jest gradient suchoadiabatyczny (γ_s). Wynosi on $\gamma_s=1^\circ\text{C}$ na każde 100 m wysokości. W przypadku powietrza nasyconego parą wodną mówimy o gradiencie wilgotnoadiabatycznym (γ_w), który wynosi $\gamma_w=0,6^\circ\text{C}/100\text{ m}$. Różnicę tą tłumaczy się wyzwaniem ciepła zawartego w parze wodnej, które zużywane jest na ogrzanie otoczenia.

Do określenia, w jakiej równowadze termiczno-dynamicznej znajduje się dana część atmosfery potrzebne jest wyznaczenie rzeczywistego gradientu pionowego temperatury (γ). W zależności od wzajemnego stosunku suchego bądź wilgotnego gradientu adiabatycznego do gradientu rzeczywistego wyróżniamy następujące możliwości [52]:

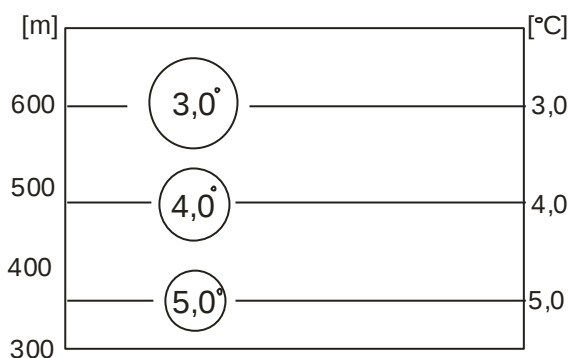
- gradient rzeczywisty większy od gradientu adiabatycznego,
- gradient rzeczywisty równy gradientowi adiabatycznemu,
- gradient rzeczywisty mniejszy od gradientu adiabatycznego.

Gdy zmiana temperatury na każde 100 m wysokości przekracza wartość gradientu adiabatycznego określona objętość powietrza unoszącego się adiabatycznie będzie miała wyższą temperaturę niż otoczenie. Wraz ze zwiększoną temperaturą objętość ta będzie lżejsza, a zatem będzie intensywnie wynoszona. Analogicznie w przypadku opadania wydzielona objętość powietrza będzie miała zawsze niższą temperaturę niż otoczenie, co sprawi, że będzie cięższa i przyspieszy jej osiadanie. Wszelkie ruchy pionowe będą znacznie ułatwione. Stan ten nazywa się równowagą chwiejną powodującą wykształcanie się pionowych prądów wstępujących. Powyższe zachowanie przedstawia rysunek 3.2 (przy założeniu gradientu suchoadiabatycznego).



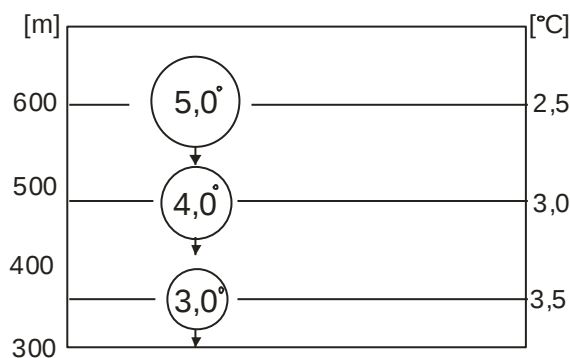
Rys. 3.2. Równowaga chwiejna $\gamma=1,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, $\gamma_s=1,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

Gdy zmiana temperatury na każde 100 m wysokości jest równa wartości gradientu adiabatycznego określona objętość powietrza unoszącego się adiabatycznie będzie miała jednakową temperaturę jak otoczenie. Zatem objętość ta nie ma tendencji ani do wynoszenia ani od opadania. Stan ten przedstawiony na rysunku 3.3 (przy założeniu gradientu suchoadiabatycznego) nazywany jest równowagą obojętną.



Rys. 3.3. Równowaga obojętna $\gamma=1,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, $\gamma_s=1,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

Gdy zmiana temperatury na każde 100m wysokości przekracza wartość gradientu adiabatycznego określona objętość powietrza unoszącego się adiabatycznie będzie miała niższą temperaturę niż otoczenie. Chłodniejsze powietrze będzie miało trudności z dalszym unoszeniem. Podobnie w przypadku opadania wydzielona objętość powietrza będzie miała zawsze wyższą temperaturę niż otoczenie, co sprawi, że będzie lżejsza, więc nastąpi spowolnienie osiadania. Wszelkie ruchy pionowe będą znacznie utrudnione. Stan ten nazywany równowagą stałą przedstawia rysunek 3.4 (przy założeniu gradientu suchoadiabatycznego).



Rys. 3.4. Równowaga stała $\gamma=0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, $\gamma_s=1,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

Stany równowagi atmosfery powstają w określonych warunkach meteorologicznych. Równowaga chwiejna występuje najczęściej w czasie słonecznej pogody, wiatry charakteryzują się niewielką prędkością, występuje również podwyższone ciśnienie. W takich warunkach następuje szybkie ogrzanie powierzchni terenu, a następnie przekazanie zgromadzonej energii zalegającym warstwą powietrza. Powoduje to znaczną różnicę temperatur pomiędzy kolejnymi warstwami powietrza (zwiększony pionowy gradient temperatury). W związku z tym równowaga taka bardzo rzadko występuje w nocy (od 10 do 20% wszystkich obserwacji) [54].

Równowaga stała obserwowana jest przede wszystkim w porze wieczornej i nocnej, kiedy następuje wypromieniowanie ciepła z podłoża i obniżenie różnicy pomiędzy poszczególnymi warstwami atmosfery. Powstaje ona również, gdy na wychłodzone podłoże napływają ciepłe masy powietrza (adwekcja).

Właściwą klasyfikację stanów równowagi atmosfery można określić na podstawie różnych zestawów danych [56]:

- prędkość wiatru, intensywność promieniowania słonecznego oraz stopień zachmurzenia nieba,
- pomiary fluktuacji kierunku wiatru,
- pionowy gradient temperatury,
- gradientowa liczba Richardsona,
- ogólna liczba Richardsona (bulk Richardson number),
- skala długości Monina-Obukhova i współczynnik szorstkości terenu,
- stosunek prędkości wiatru na dwóch wysokościach.

Najbardziej popularna klasyfikacja oparta na podstawie pośrednich pomiarów i obserwacji podał Pasquill [56, 80]. Tabela 3.1 przedstawia 6 stanów równowagi zaproponowanych przez Pasquilla.

Tabela 3.1. Klasyfikacja stanów równowagi [56]

Prędkość wiatru [m/s]	Dzień			Noc	
	Intensywność promieniowania Słońca			Zachmurzenie	
	Silna	Umiarkowana	słaba	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$
< 2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

gdzie:

A – równowaga silnie chwiejna,

B – równowaga chwiejna,

C – równowaga lekko chwiejna,

D – równowaga obojętna,

E – równowaga lekko stała,

F – równowaga stała.

Czasami przyjmuje się również dodatkową kategorię G oznaczającą silnie stałą równowagę atmosfery.

Klasyfikacja ta nie była jednak wyraźnie sprecyzowana. Nie określała w sposób jednoznaczny stopnia intensywności promieniowania słonecznego. Tabela 3.2 przedstawia zmodyfikowaną klasyfikację Pasquilla wykorzystywaną przez IMGW jako obowiązującą w Polsce metodę określania stanów równowagi atmosfery.

Tabela 3.2. Klasyfikacja stanów równowagi wg modyfikacji Turnera [3, 70]

Prędkość wiatru [m/s]	Dzień				Dzień i noc zachmurzenie 8/8 chmury $\leq 2000\text{m}$	Noc	
	Intensywność promieniowania Słońca					Zachmurzenie	
	Silna $\alpha > 60^\circ$	Umiarkowana $35^\circ < \alpha < 60^\circ$	mała $15^\circ < \alpha < 35^\circ$	słaba $\alpha < 15^\circ$	słaba	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$
0-0,5	A	A	B	C	D	F	F (G)
1-1,5	A	A	A	C	D	F	F (G)
2-2,5	A	B	C	D	D	E	F
3	B	B	C	D	D	E	F
3,5	B	B	C	D	D	D	E
4-4,5	B	C	C	D	D	D	E
5	C	C	D	D	D	D	E
5,5	C	C	D	D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D	D	D

gdzie:

α - wysokość położenia słońca nad horyzontem.

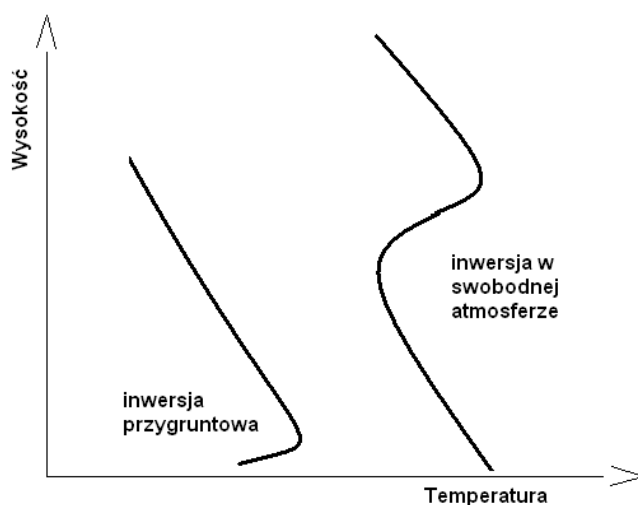
Dodatkowo jeżeli zachmurzenie jest większe niż 4/8 należy uwzględnić następujące poprawki:

- przy pułapie chmur poniżej 5000m należy zmniejszyć klasę insolacji o dwie jednostki,
- przy pułapie chmur większym od 5000m należy zmniejszyć klasę insolacji o jedną jednostkę jedynie w przypadku zachmurzenia 8/8.

Przez termiczną warstwę hamującą rozumiemy warstwę powietrza, w której następuje wzrost temperatury wraz ze wzrostem wysokości (tzw. inwersja termiczna), temperatura nie zmienia się, bądź następuje spadek temperatury o mniej niż $0,2^{\circ}\text{C}$ na każde 100m. Wytworzenie się takiej warstwy utrudnia pionowe ruchy masy powietrza, a zatem również znacząco zmniejsza możliwość rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

W zależności od wysokości pojawiania się inwersji możemy wyróżnić inwersję dolną i górną. Inwersja górna występuje na wysokości od kilkuset do ponad tysiąca metrów nad poziomem morza. Jej wysokość determinuje grubość tzw. warstwy mieszania czyli objętości atmosfery, w której substancje zanieczyszczające ulegają rozprzestrzenianiu. Dolna warstwa inwersji pojawia się bezpośrednio w warstwie przyziemnej znacznie ograniczając możliwości dyfuzji zanieczyszczeń (rys. 3.5).

Inwersje termiczne są warstwami o wybitnie silnym stanie równowagi stabilnej. Dlatego zapobiegają rozwojowi procesów, którym sprzyjają pionowe ruchy powietrza [40].



Rys. 3.5. Inwersja przygruntowa i inwersja w swobodnej atmosferze

Poza ruchami pionowymi oraz poziomym przemieszczaniem się powietrza, które nazywamy wiatrem, w atmosferze istnieje nieuporządkowany, zmieniający się losowo ruch, określany mianem turbulencji. Towarzyszy on zarówno pionowym, jak i poziomym prądom powietrza i stanowi zawsze mniej lub bardziej znaczącą składową rzeczywistych prędkości poruszających się porcji powietrza.

Turbulencyjne zakłócenia powstają w ruchu płynów (gazów i cieczy) przy pewnej krytycznej prędkości, która powoduje, że ruch laminarny – równoległe przemieszczanie się cząstek płynu – zmienia się w burzliwy ruch turbulencyjny. Mechaniczną przyczyną turbulencji jest wewnętrzna lepkość płynu, powodująca, iż sąsiednie, przemieszczające się względem siebie cząstki, mają zdolność wymiany pędu [40].

Przyrost energii, tzn. rozwój pionowej wymiany turbulencyjnej, zależy w pierwszym rzędzie od liczby Richardsona, wyznaczonej na podstawie wzoru:

$$Ri = \frac{g \cdot (\gamma_a - \gamma)}{T \cdot \left(\frac{du}{dz}\right)^2} \quad (3.1)$$

gdzie:

- g – przyspieszenie ziemskie,
- γ_a – gradient adiabatyczny,
- γ – pionowy gradient temperatury w atmosferze,
- T – temperatura,
- du/dz – gradient wiatru.

Liczbę Richardsona (Ri) porównuje się do wyrażenia A_x/A , które określa stosunek wymiany masy w kierunku poziomym, do pionowej wymiany masy. Gdy Ri jest większa od A_x/A to energia ruchów pionowych maleje, natomiast gdy Ri nie przekracza A_x/A , energia ta wzrasta [40].

Dla swobodnej atmosfery przyjmuje się, że liczba Richardsona w granicach 0,5 – 4 oznacza słaby rozwój turbulencji, 0,0 – 0,5 – umiarkowaną turbulencję, a $Ri < 0$ – silną turbulencję [67].

3.2. WIATR

Przez wiatr rozumiemy jako postępowy, strumieniowy ruch powietrza równoległy w stosunku do powierzchni Ziemi. Na powstawanie wiatrów wpływają takie siły jak:

- siła gradientowa ciśnienia (GC),

- siła Coriolisa (SC),
- siła tarcia,
- siła ciężenia.

Gradientowa siła ciśnienia (GC) pojawia się gdy obok siebie występują układy niskiego i wysokiego ciśnienia. Wyznacza się ją na podstawie wzoru 3.2 [40].

$$GC = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (3.2)$$

gdzie:

ρ – gęstość powietrza,

Δp – zmiana ciśnienia na odcinku Δx prostopadłym do izobary. Znak – oznacza, że siła ta skierowana jest w stronę niższego ciśnienia.

Siła Coriolisa (SC) związana jest z obrotowym ruchem Ziemi, jeżeli obiekt porusza się na półkuli północnej działa na niego siła odchylająca w prawo od kierunku ruchu o wartości zależnej od szerokości geograficznej punktu i prędkości poruszającego się ciała. Wyznacza się ją zgodnie z wzorem 3.3 [80].

$$SC = 2mv\omega \sin \varphi \quad (3.3)$$

gdzie:

m – masa ciała (cząstki powietrza),

ω – prędkość ruchu obrotowego Ziemi,

v – prędkość poruszania się ciała,

φ – szerokość geograficzna miejsca, w którym znajduje się ciało.

Dla obiektów znajdujących się na równiku przyspieszenie Coriolisa wynosi 0 ($\sin 0^\circ = 0$), natomiast maksymalne wartości przyjmuje w pobliżu biegunów.

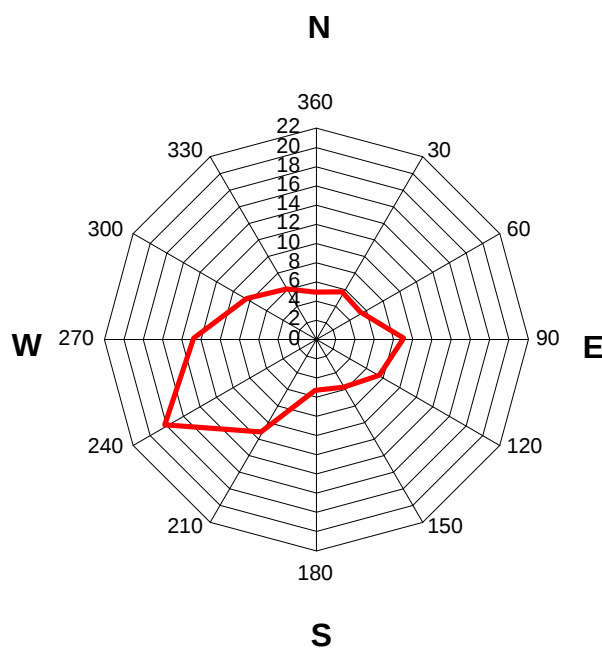
Na wszystkie poruszające się masy powietrza działa również siła tarcia. Wraz ze wzrostem wysokości maleje jej oddziaływanie. Około 1km nad podłożem jej wpływ można całkowicie pominąć. Siła tarcia działa zawsze w kierunku przeciwnym do prędkości poruszania się powietrza. Pojawia się ona na granicy dwóch ośrodków: nieruchomej powierzchni Ziemi i poruszającego się powietrza. Jej wartość zależy od szorstkości powierzchni, w praktyce opisywanej np. za pomocą aerodynamicznej szorstkości terenu z_0 [40].

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi wiatr jest jego kierunek oraz prędkość. W rzeczywistości wiatr bardzo szybko zmienia kierunek, z tego powodu wyróżnia

się chwilowy i średni kierunek wiatru. Przy małej oscylacji wokół średniego kierunku wiatru powodują, że smuga zanieczyszczeń ma zwarty charakter.

Wpływ prędkości wiatru na rozprzestrzenianie zanieczyszczeń może mieć różnorodny charakter. Wzrost prędkości wiatru korzystnie wpływa na lokalny stan zanieczyszczenia powietrza. Dzięki niej określona ilość zanieczyszczeń ulega niejako „rozcieńczeniu”. Z drugiej strony prędkość wiatru wpływa na daleki transport zanieczyszczeń, a zatem zwiększa ich oddziaływanie. Jednak duże prędkości wiatru powodują zmniejszanie wyniesienia termiczno-dynamicznego smugi zanieczyszczeń. W przypadku niskich emitorów większa prędkość wiatru ma jednoznacznie korzystny wpływ na poziom stężeń zanieczyszczeń.

Najczęściej rozkład kierunku i prędkości wiatru w danym punkcie określa się graficznie za pomocą róży wiatrów. Przykładową różę wiatrów przedstawia rysunek 3.6.



Rys. 3.6. Roczna róża wiatrów dla rejonu Katowic

W opracowaniach klimatologicznych prędkości wiatru można rozpatrywać w następujących przedziałach [40, 80]:

- cisza – prędkość 0 m/s,
- wiatry bardzo słabe – prędkość 1 ÷ 2 m/s,
- wiatry słabe – prędkość 3 ÷ 5 m/s,
- wiatry umiarkowane – prędkość 6 ÷ 10 m/s,

- wiatry silne – prędkość $11 \div 15$ m/s,
- wiatry bardzo silne – prędkość powyżej 15 m/s.

Najbardziej niekorzystne warunki dla rozprzestrzeniania zanieczyszczeń są cisze i słabe wiatry charakterystyczne dla podgórskich i górskich miejscowości znajdujących się w kotlinach.

Na skutek tarcia powietrza o powierzchnie Ziemi następuje zwolnienie prędkości wiatru, jednocześnie obserwuje się jego skręt. Pionowy profil prędkości wiatru najczęściej określa się zależnością Hollanda [52]:

$$u = u_1 \cdot \left(\frac{z}{z_1} \right)^m \quad (3.4)$$

gdzie:

- u – poszukiwana prędkość wiatru w m/s na poziomie z metrów,
- u_1 – znana prędkość wiatru w m/s na poziomie z_1 metrów,
- m – współczynnik meteorologiczny zależny od stanu termiczno-dynamicznej pionowej równowagi powietrza.

Zarówno ukształtowanie i pokrycie terenu może znacząco wpływać na dyspersję zanieczyszczeń w powietrzu. Wpływ ten może być bezpośredni lub pośredni. Wszelkiego rodzaju wyniesienia terenu powodują zaburzenia kierunku i prędkości wiatru, szczególnie po stronie zawietrznej. Wielkość tego wpływu ściśle zależy od odległości źródła emisji od przeszkody, jej wysokości i szerokości, a także rodzaju pokrycia. Pośrednio topografia wpływa na warunki klimatyczne np. obserwowanie szybszego ochładzania się zboczy dolin od ich dna powoduje zastoisko chłodnego powietrza [79].

Obserwuje się istotny wpływ dużych zbiorników wodnych na warunki termiczne obszarów przyległych. Różnica w prędkości nagrzewania powierzchni wody i lądu powoduje zjawisko bryzy (jeziornej lub morskiej), która znacznie polepsza przewietrzanie. Bryza powstaje tam, gdzie sąsiadują ze sobą obszary o skrajnie różnej temperaturze podłoża. W ciągu dnia, gdy ląd ogrzewa się znacznie szybciej, nagrzane warstwy powietrza unoszą się do góry, spływając następnie nad powierzchnią wody. Od powierzchni wodnej w kierunku lądu zaczynają przemieszczać się chłodne i wilgotne masy powietrza. W nocy masy powietrza zaczynają poruszać się w przeciwną stronę – przy powierzchni ziemi wieje bryza lądowa – skierowana od lądu w kierunku zbiornika wodnego.

W górach występują również wiatry zmieniające swój kierunek w cyklu dobowym. W dzień powierzchnie gór nagrzewają się bardzo szybko tworząc strefę niskiego ciśnienia,

masy te poruszają się wzdłuż stoku (wiatr dolinowy). Wraz ze wznoszeniem się powietrza ulega ono rozprężeniu i ochłodzeniu, co dodatkowo powoduje powstawanie chmur konwekcyjnych. W nocy zbocza ulegają szybkiemu wychłodzeniu, masy powietrza spływają wzdłuż stoków powodując występowanie wiatru górskiego.

W warunkach górskich występują również wiatry związane z równaniem Bernoulliego. Wiatr napotykający przeszkodę terenową np.: przełęcz górska, dolinę, przerwę pomiędzy wysokimi budynkami musi zwiększyć prędkość, aby suma ciśnienia statycznego i dynamicznego wzdłuż strugi przepływającego powietrza była stała.

$$p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} \text{const} \quad (3.5)$$

gdzie:

ρ – gęstość powietrza,

v_1, v_2 – prędkość wiatru przed i wewnątrz przewężenia,

p_1, p_2 – ciśnienie przed i wewnątrz przewężenia.

4. MODELOWANIE ROZPRZESTRZENIANIA ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU Z WYKORZYSTANIEM GAUSSOWSKIEGO MODELU OBŁOKU

Gaussowski model obłoku (Calmet/Calpuff) jest modelem ostatniej generacji uwzględniającym rzeźbę terenu oraz czasową i przestrzenną zmienność warunków meteorologicznych w trzech wymiarach. Jest to wielowarstwowy, niestacjonarny model w układzie Lagrange'a [19, 20]. W modelu tym, przyjmuje się założenie, iż emitowany ładunek zanieczyszczeń dzielony jest na ładunki cząstkowe wprowadzane do powietrza w pewnych przedziałach czasu Δt . Ładunki te (zwane obłokami), poruszają się niezależnie od siebie zgodnie z lokalnymi warunkami meteorologicznymi [69]. Właściwość ta pozwala na bardzo dokładny opis zmienności pola emisji (każdy obłok może zawierać inny ładunek zanieczyszczeń), jak również rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń. Każdy wyemitowany obłok zanieczyszczeń porusza się niezależnie od pozostałych w całej siatce obliczeniowej. Z tego powodu, w tym modelu bardzo często wykorzystuje się dodatkowe preprocesory meteorologiczne, których zadaniem jest jak najdokładniejsze opisanie lokalnych parametrów meteorologicznych.

Zarówno preprocesor meteorologiczny Calmet jak i właściwy model Calpuff wymaga następujących danych: kategorię użytkowania terenu, rzędne terenu, współczynnik szorstkości terenu, albedo (stosunek ilości promieniowania odbitego do padającego), liczba Bowena (stosunek ciepła pobranego przez powierzchnię wody do ilości ciepła zużytego na parowanie), strumień ciepła w gruncie, antropogeniczny strumień ciepła, indeks biologicznej aktywności.

Dane te należy przygotować dla punktów pokrywających się z siatką współrzędnych, w których wyznaczane będą parametry meteorologiczne.

Model Calmet wykonuje obliczenia w układzie współrzędnym zależnym od pionowej współrzędnej terenu.

$$Z = z - h_t \quad (4.1)$$

gdzie:

Z – wyznaczana współrzędna pionowa [m],

z – pionowa współrzędna terenu [m],

h_t – wysokość terenu [m].

Pionowa prędkość wiatru wyznaczana we współrzędnych zależnych od pionowej współrzędnej terenu obliczana jest zgodnie z wzorem 4.2.

$$W = w - u \frac{\partial h_t}{\partial x} - v \frac{\partial h_t}{\partial y} \quad (4.2)$$

gdzie:

W – pionowa prędkość wiatru [m/s],

w – pionowa składowa prędkości wiatru w układzie kartezjańskim [m/s],

u, v – poziome składowe prędkości wiatru [m/s].

4.1. PREPROCESOR METEOROLOGICZNY (CALMET)

Zadaniem preprocesora meteorologicznego jest wyznaczenie szeregu parametrów meteorologicznych w każdym z punktów siatki obliczeniowej. Największą rolę we właściwym modelowaniu transportu i rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń odgrywa zmienne w czasie i przestrzeni pole wiatru. Dodatkowo wyznacza się parametry mikrometeorologiczne, takie jak wysokość warstwy mieszania czy pole temperatury.

4.1.1. Pole wiatru

Zmienne w czasie i przestrzeni pole wiatru wyznaczane jest w dwóch krokach przybliżenia. Wstępne pole wiatru ustalone jest na podstawie:

- kinematycznego wpływu terenu,
- pochyłości terenu,
- ewentualnych przeszkód terenowych,
- minimalizacji rozbieżności w 3 wymiarach.

W drugim kroku wyznaczone wstępnie pole wiatru modyfikuje się na podstawie danych obserwacyjnych. Krok ten składa się z następujących procedur [15]:

- interpolacji,
- wygładzania,
- wyznaczania prędkości wiatru na różnych wysokościach,
- minimalizacji rozbieżności w 3 wymiarach.

Effekt kinematyczny, czyli wznos kierunku wiatru oraz jego przyspieszenie pod wpływem przeszkód terenowych oparty jest na przybliżeniu Liu and Yocke [41]. Pionowa składowa prędkości wiatru w układzie kartezjańskim wyznaczana jest jako:

$$w = (V \cdot \nabla h_t) \exp(-kz) \quad (4.3)$$

gdzie:

w – pionowa składowa prędkości wiatru w układzie kartezjańskim [m/s],

V – średnia prędkość wiatru w domenie [m/s],

h_t – wysokość terenu [m],

k – współczynnik zależny od stanu równowagi atmosfery [1/m],

z – współrzędna pionowa [m].

Współczynnik k , wyznaczany jest z zależności:

$$k = \frac{N}{|V|} \quad (4.4)$$

$$N = \left[\left(\frac{g}{\theta} \right) \frac{d\theta}{dz} \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

gdzie:

N – częstotliwość Brunta-Vaisali (fin. Brunta-Väisälä) w warstwie przyziemnej, opisująca częstotliwość oscylacji cząstki powietrza odchylonej od stanu równowagi w stabilnej atmosferze [1/s],

θ – temperatura potencjalna [K],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],

$|V|$ – średnia prędkość wiatru w domenie [m/s].

Wyznaczona na tej podstawie pionowa składowa prędkości wiatru (w) podstawiana jest do wzoru 4.2, w celu obliczenia pionowej prędkości wiatru we współrzędnych terenowych (W).

Tak wyznaczona pionowa prędkość wiatru jest poddawana procedurze minimalizacji rozbieżności aż do osiągnięcia zakładanej wartości.

Preprocesor Calmet pozwala na uwzględnienie wpływu rzeźby terenu na pole wiatru. W tym celu do wektorów prędkości wiatru wyznaczonych w poprzedniej procedurze dodaje się składowe związane ze *spływem mas powietrza ze wzgórz*. Metoda ta bazuje na pracy Mahrt'a [43]. Zakłada ona jednostajność spływu w całej przyjętej głębokości i niezmiennie nachylenie zbocza. Wektor spływu mas powietrza określany jest zgodnie z kierunkiem swobodnego spływu grawitacyjnego. Następnie dodawany jest do pierwotnych prędkości pola wiatru zgodnie z wzorami 4.6 i 4.7.

$$u_1' = u_1 + u_s \quad (4.6)$$

$$v_1' = v_1 + v_s \quad (4.7)$$

gdzie:

(u_1, v_1) – komponent składowy wiatru przed uwzględnieniem wzgórz,

(u_s, v_s) – komponent składowy wiatru związany ze spływem mas powietrza,

(u_1', v_1') – komponent składowy wiatru po uwzględnieniu wzgórz.

Pochylenie poprzeczne stoku jak również efekt Coriolisa są pomijane. Przy tych założeniach prędkość spływu wyznaczana jest z zależności 4.8 – 4.10.

$$S = S_e [1 - \exp(-x / L_e)]^{\frac{1}{2}} \quad (4.8)$$

$$S_e = [hg(\Delta\theta / \theta) \sin \alpha / (C_D + k)]^{\frac{1}{2}} \quad (4.9)$$

$$L_e = h / (C_D + k) \quad (4.10)$$

gdzie:

S_e – równowagowa prędkość spływu mas powietrza,

L_e – równowagowa długość skali,

x – odległość do szczytu wzgórza,

$\Delta\theta$ – deficyt temperatury potencjalnej w stosunku do otoczenia [K],

θ – temperatura potencjalna [K],

C_D – współczynnik oporu powierzchni,

h – głębokość warstwy spływu,

α – kąt nachylenia zbocza,

k – współczynnik porywu na szczycie warstwy spływu,

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

Równowagowa prędkość spływu mas powietrza (S_e) wyznacza górną granicę prędkości spływu mas powietrza. Osiągana jest ona asymptotycznie w dużej odległości od szczytu wzgórza. Równowagowa długość skali (L_e) jest odległością przy której prędkość spływu osiąga 80% prędkości S_e .

W trakcie opadania masy powietrza ulegają ochłodzeniu. Deficyt temperatury potencjalnej ($\Delta\theta$) jest funkcją lokalnego strumienia ciepła (Q_h) na powierzchni i odległości od szczytu (x). Przy założeniu stałości h i Q_h otrzymujemy:

$$d(h\Delta\theta) / dt = Q_h \theta / (\rho_p T) \quad (4.11)$$

Przyjmując założenie $d/dt = Sd/dx$ i całkując wzdłuż zbocza otrzymujemy:

$$d(h\Delta\theta)/dt = Q_h\theta/(\rho c_p T) \quad (4.12)$$

Po podstawieniu równania 4.12 do równania 4.9, a następnie do 4.8 otrzymujemy wzór na prędkość spływu ze zbocza:

$$S = \left\{ Q_h g x \sin \alpha / [(\rho c_p T)(C_D + k)] \right\}^{\frac{1}{3}} [1 - \exp(-x/L_e)]^{\frac{1}{3}} \quad (4.13)$$

Dla okresu wegetacyjnego wartości współczynników C_D i k przyjmuje się na poziomie 0,04 [4, 26, 43].

Preprocesor CALMET modeluje również wiatry wiejące w górę zboczy. Wiatry te, nie przyspieszają tak gwałtownie jak te wiejące w dół. W tych warunkach wyrażenie $(C_D + k)$ w przybliżeniu wynosi 1 [4]. Po podstawieniu powyższego uproszczenia do wzoru 4.13 otrzymujemy wzór 4.14.

$$S = [Q_h g \Delta Z / (\rho c_p T)]^{\frac{1}{3}} \quad (4.14)$$

gdzie:

ΔZ – różnicą wysokości pomiędzy dnem doliny a szczytem wzgórza.

Termodynamiczny efekt blokowania mas powietrza przez przeszkody terenowe (Blocking Effects) jest charakteryzowany przez lokalną liczbę Froude'a. Wyznacza się ją zgodnie z wzorem [1]:

$$Fr = \frac{V}{N \Delta h_t} \quad (4.15)$$

$$\Delta h_t = (h_{\max})_{ij} - (z)_{ijk} \quad (4.16)$$

gdzie:

Fr – lokalna liczba Froude'a,

V – prędkość wiatru (m/s),

N – częstotliwość Brunt-Väisälä zdefiniowana wg wzoru 4.5,

Δh_t – efektywna wysokość przeszkody (m),

$(h_{\max})_{ij}$ – najwyższy punkt terenu w promieniu ustalonym przez użytkownika,

$(z)_{ijk}$ – wysokość warstwy k nad terenem.

Lokalna liczba Froude'a wyznaczana jest dla każdego punktu obliczeniowego. Gdy liczba ta jest mniejsza od krytycznej wartości oraz wiatr w danym punkcie ma pionową

składową prędkości to kierunek wiatru zmienia się na styczny do terenu. Natomiast prędkość wiatru nie ulega zmianie. W przypadku gdy Fr przekracza krytyczną wartość, kierunek i prędkość wiatru nie ulega zmianie.

Początkowe pole wiatru wyznaczone po uwzględnieniu kinematycznego wpływu terenu, pochyłości terenu czy ewentualnych przeszkód terenowych, jest modyfikowane o dane pochodzące z meteorologicznych stacji pomiarowych. Dane te modyfikują wynikowe pole wiatru zgodnie z kwadratem odległości pomiędzy stacją meteorologiczną a punktem obliczeniowym. Dodatkowo określa się wagę wyników pochodzących z pierwszego kroku obliczeniowego [62]. Zależność tą przedstawia wzór 4.17.

$$(u, v)'_2 = \frac{\frac{(u, v)_1}{R^2} + \sum_k \frac{(u_{obs}, v_{obs})_k}{R_k^2}}{\frac{1}{R^2} + \sum_k \frac{1}{R_k^2}} \quad (4.17)$$

gdzie:

- $(u_{obs}, v_{obs})_k$ – dane obserwacyjne z k stacji pomiarowej,
- $(u, v)_1$ – prędkości wiatru ustalone w pierwszym kroku obliczeń,
- $(u, v)'_2$ – wyznaczane prędkości wiatru,
- R_k – odległość stacji pomiarowej od punktu siatki,
- R – parametr charakteryzujący wagę pierwszego kroku obliczeń pola wiatru.

Parametr R można definiować osobno dla warstwy powierzchniowej jak i powyższych. Dodatkowo istnieje możliwość wyłączania wpływu odległych stacji na obliczenia.

Preprocesor Calmet umożliwia ekstrapolowanie wartości prędkości wiatru w pionowych warstwach atmosfery na podstawie obserwacji pochodzących ze stacji naziemnych. Możliwe opcje to:

- brak ekstrapolacji danych naziemnych,
- ekstrapolacja wykorzystująca funkcję potęgową,
- ekstrapolacja zdefiniowana przez użytkownika,
- ekstrapolacja wykorzystująca teorię podobieństwa.

Ekstrapolacja wykorzystująca funkcję potęgową oparta jest o wzór 4.18 [62].

$$u_z = u_m \cdot \left(\frac{z}{z_m} \right)^P \quad (4.18)$$

gdzie:

z – wysokość punktu, dla którego dokonuje się obliczeń [m],

z_m – wysokość na której zlokalizowany jest anemometr [m],

u_m – zmierzona prędkość wiatru [m/s],

u_z – ekstrapolowana prędkość wiatru na wysokości z [m/s],

P – wykładnik potęgi.

Wartości wykładnika potęgi wynoszą odpowiednio: 0,143 dla powierzchni lądu i 0,286 dla terenu nad powierzchnią wody (w Polsce zmienna P – zależy od stanu równowagi atmosfery i waha się od 0,08 do 0,44) [15]. Analogiczne równanie obowiązuje dla wektora prędkości wiatru v .

Ekstrapolacja prędkości wiatru zdefiniowana przez użytkownika oparta jest o wzór 4.19 [58].

$$u_i = u_1 \cdot FEXTRP_i \quad (4.19)$$

gdzie:

i – numer pionowej warstwy, w której dokonuje się obliczeń,

u_1 – prędkość wiatru na powierzchni terenu [m/s],

u_i – ekstrapolowana prędkość wiatru w i -tej warstwie [m/s].

$FEXTRP_i$ – współczynnik korygujący dla i -tej warstwy.

Ostatnia opcja wyznaczania pola wiatru w poszczególnych warstwach obliczeń oparta jest o teorię podobieństwa. Podstawy teoretyczne oparte są na pracy van Uldena i Holstlaga [73]. Zarówno prędkość jak i kierunek wiatru wyznaczone są do wysokości 200m zgodnie z wzorem 4.20. W przypadku gdy wysokość warstwy mieszania jest niższa, wzór ten stosuje się do jej wysokości.

$$\frac{D(z)}{D(h)} = d_1 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{d_2 z}{h}\right) \right) \quad (4.20)$$

gdzie:

$D(z)$ – kąt skrętu wiatru w środku warstwy obliczeniowej,

$D(h)$ – kąt skrętu na wysokości h (200m),

d_1, d_2 – stałe wyznaczone empirycznie ($d_1=1,58$, $d_2=1,00$)

Skręt wiatru związany z długością Monina-Obukhova przedstawia tabela nr 4.1 (na wysokości 200m).

Tabela 4.1. Zależność skreću wiatru od długości Monina-Obukhova [73]

Długość Monin-Obukhova [m]	Kąt skreću [°]
-30	12
-100	10
-370	9
10 ⁴	12
350	18
130	28
60	35
20	38
9	39

Pionowy rozkład prędkości wyznaczany jest na podstawie teorii podobieństwa na podstawie wzoru 4.21 [73].

$$U(z) = \frac{\left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_M\left(\frac{z}{L}\right) \right]}{\left[\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right) - \psi_M\left(\frac{z_1}{L}\right) \right]} \quad (4.21)$$

gdzie:

$U(z)$ – prędkość wiatru na wysokości z [m/s],

$U(z_1)$ – prędkość wiatru na wysokości anemometru [m/s],

z_0 – współczynnik szorstkości [m],

z_1 – wysokość anemometru [m],

Ψ_M – funkcja klasy stabilności atmosfery.

Dla chwiejnego stanu równowagi atmosfery funkcja klasy stabilności atmosfery przyjmuje wyznaczana jest z wzoru 4.22 [73].

$$\psi_M = 2 \ln\left(\frac{1+x}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(x) + \pi / 2 \quad (4.22)$$

gdzie x wyznacza się z wzoru 4.23.

$$x = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.23)$$

Natomiast dla obojętnej i stałej równowagi atmosfery funkcję tą wyznacza się z wzoru 4.24 [73].

$$\psi_M = -17 \left[1 - \exp \left(-0,29 \frac{z}{L} \right) \right] \quad (4.24)$$

Wprowadzenie danych obserwacyjnych do pola wiatru wyznaczonego na podstawie danych topograficznych powoduje występowanie lokalnych nieciągłości w wielu miejscach siatki obliczeniowej. Konieczne jest zatem wygładzenie wartości poziomych składowych prędkości wiatru. Wygładzanie to oparte jest na uwzględnieniu wartości obliczonych prędkości wiatru w punktach wokół punktu aktualnie wyznaczanego zgodnie z wzorem 4.25 [62].

$$(u_{i,j})_2'' = 0,5u_{i,j} + 0,125[u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1}] \quad (4.25)$$

gdzie:

$(u_{i,j})_2''$ – prędkość wiatru w siatce współrzędnych (i,j) po wygładzeniu

$(u_{i,j})$ – prędkość wiatru w siatce współrzędnych (i,j) przed wygładzeniem

Analogiczna formuła obowiązuje dla składowej v prędkości wiatru.

Wyliczanie pionowej prędkości wiatru możliwe jest przy wykorzystaniu dwóch algorytmów. Pierwszy oparty jest na założeniu nieściśliwości objętości powietrza (przy niezmiennej masie). Co przedstawia wzór 4.26.

$$\frac{du''}{dx} + \frac{dv''}{dy} + \frac{dw_1''}{dz} = 0 \quad (4.26)$$

gdzie:

w_1 – pionowa prędkość wiatru, w układzie lokalnym układzie współrzędnym [m/s],

u'' , v'' – prędkości poziome wiatru po wygładzeniu [m/s].

Procedura ta, może prowadzić do nierealnie wysokich prędkości wiatru w górnych warstwach siatki obliczeniowej [21]. W celu rozwiązania tego problemu możliwe jest wykorzystanie procedury opracowanej przez O'Brien'a [51]. Modyfikuje ona wartość pionowej składowej prędkości (w) tak, aby na wysokości granicznej (z_{top}) przyjmowała wartość równo 0, zgodnie z wzorem 4.27.

$$w_2(z) = w_1(z) - (z / z_{top})w_2(z = z_{top}) \quad (4.27)$$

gdzie:

w_2 – wyznacza pionowa prędkość wiatru, w układzie lokalnym układzie współrzędnym [m/s],

z_{top} – maksymalna wysokość siatki obliczeniowej [m].

Wyznaczone pionowe prędkości wiatru poddawane są następnie procedurze minimalizacji rozbieżności. Procedura ta zmienia w sposób iteracyjny poziome prędkości wiatru (u i v) w każdym punkcie siatki obliczeniowej aż do uzyskania błędu mniejszego od przyjętego. Pionowa prędkość wiatru w pozostaje niezmienną [22].

$$\frac{du''}{dx} + \frac{dv''}{dy} + \frac{dw''}{dz} < \varepsilon \quad (4.28)$$

gdzie:

u, v – prędkości poziome wiatru [m/s],

w – pionowa prędkość wiatru [m/s].

ε - maksymalna dozwolona rozbieżność.

Odchyłkę D w punkcie o współrzędnych (i,j,k) wyznacza się za pomocą równania:

$$D_{i,j,k} = \frac{w_{i,j,k+1/2} - w_{i,j,k-1/2}}{z_{k+1/2} - z_{k-1/2}} + \frac{u_{i+1,j,k} - u_{i-1,j,k}}{2\Delta x} + \frac{v_{i,j+1,k} - v_{i,j-1,k}}{2\Delta y} \quad (4.29)$$

gdzie:

$\Delta x, \Delta y$ - wielkości komórek siatki odpowiednio w kierunkach x i y .

Dopasowane prędkości (u_{adj}, v_{adj}) wyznaczane są następująco:

$$u_{adj} = \frac{-D_{ijk}\Delta x}{2} \quad (4.30)$$

$$v_{adj} = \frac{-D_{ijk}\Delta y}{2} \quad (4.31)$$

Nowe prędkości poziome wiatru wyznaczane są wg wzorów:

$$(u_{new})_{i+1,j,k} = u_{i+1,j,k} + u_{adj} \quad (4.32)$$

$$(u_{new})_{i-1,j,k} = u_{i-1,j,k} - u_{adj} \quad (4.33)$$

$$(v_{new})_{i,j+1,k} = v_{i,j+1,k} + v_{adj} \quad (4.34)$$

$$(v_{new})_{i,j-1,k} = v_{i,j-1,k} - v_{adj} \quad (4.35)$$

Powyższa procedura powtarzana jest tak długo, aż odchyłki w każdym punkcie siatki nie będą przekraczały maksymalnej dozwolonej rozbieżności (ε).

4.1.2. Parametry mikrometeorologiczne

Wyznaczenie wysokości warstwy mieszania w modelu CALMET opiera się na wykorzystaniu równania bilansu energii do wyznaczenia takich parametrów jak prędkość dynamiczna (u_*) czy długość Monina-Obukhova (L). W dalszej kolejności wyznaczana jest wysokość warstwy mieszania. Dla pory dziennej wysokość warstwy mieszania wyznaczana jest na podstawie dwóch metod. Zmodyfikowanej metody Carson'a (wzory 4.36 i 4.37) i metody Venkatram'a (4.38) [8, 47, 75]. Metoda Carson'a pozwala na wyznaczenie wysokości warstwy mieszania w poszczególnych odstępach czasu na podstawie informacji o pionowych profilach temperatury. Wcześniejsze obliczenia h_t przyjmowane są do wyznaczenia następnych wartości wysokości warstwy mieszania w czasie $t+dt$. Preprocesor CALMET jako obowiązującą wysokość warstwę mieszania przyjmuje większą z wartości obliczonych na podstawie wzorów 4.36 i 4.38.

$$h_{t+dt} = \left[h_t^2 + \frac{2 \cdot Q_h \cdot (1+E)dt}{\psi_1 \cdot \rho \cdot c_p} - \frac{2 \cdot d\theta_t h_t}{\psi_1} \right]^{1/2} + \frac{d\theta_{t+dt}}{\psi_1} \quad (4.36)$$

$$d\theta_{t+dt} = \left[\frac{2 \cdot \psi_1 \cdot E \cdot Q_h \cdot d\theta_t}{\rho \cdot c_p} \right]^{1/2} \quad (4.37)$$

gdzie:

Q_h – strumień ciepła odczuwalnego,

h_t - wysokość warstwy mieszania w czasie t ,

Ψ_1 – potencjalna temperatura w warstwie powyżej h_t ,

$d\theta$ – skok temperatury na szczycie warstwy mieszania,

E – stała wynosząca 0.15.

c_p – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu

ρ - gęstość powietrza

$$h = \frac{B \cdot u_*}{[f \cdot N_B]^{1/2}} \quad (4.38)$$

gdzie:

h - wysokość warstwy mieszania,

u_* – prędkość dynamiczna,
 B – stała $2^{1/2}$,
 N_B – częstotliwość Brunta-Vaisali,
 f – parametr Coriolisa 10^{-4} .

Dla pory nocnej (gdy dolna warstwa atmosfery znajduje się w stałej równowadze termiczno-dynamicznej) wysokość warstwy mieszania wyznaczana jest na podstawie prędkości dynamicznej (wzór 4.39) bądź prędkości dynamicznej i długości Monina-Obukhova (wzór 4.40) [43, 74]. Preprocesor CALMET jako rzeczywistą wysokość warstwy mieszania przyjmuje mniejszą z liczb h_1 , h_2 wyznaczonych na podstawie poniższych wzorów.

$$h_1 = B_2 \cdot u_*^{3/2} \quad (4.39)$$

gdzie:

h_1 - wysokość warstwy mieszania,
 u_* – prędkość dynamiczna,
 B_2 – stała wynosząca 2400.

$$h_2 = 0.4 \cdot \sqrt{\frac{u_* L}{f}} \quad (4.40)$$

gdzie:

h_2 - wysokość warstwy mieszania,
 u_* – prędkość dynamiczna,
 L – długość Monina-Obukhova,
 f – parametr Coriolisa 10^{-4} .

Wyznaczenie trójwymiarowego pola temperatury opiera się na danych z pionowych sądowań atmosfery i danych pochodzących z naziemnych stacji meteorologicznych. Dane te są następnie interpolowane wewnątrz założonej siatki obliczeniowej w zależności od odległości od stacji meteorologicznej (zgodnie z rozkładem $1/r^2$).

4.2. MODEL DYSPERSJI (CALPUFF)

Podstawowe równanie opisujące rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń wewnątrz obłoku można opisać równaniami 4.41 i 4.42 [31, 61]. W równaniu tym dyfuzję zanieczyszczeń wewnątrz obłoku opisują odchylenia standardowe rozkładu stężenia zanieczyszczenia σ_x , σ_y , σ_z , odpowiednio w kierunku x, y i z [46].

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-d_a^2/(2\sigma_x^2)\right] \exp\left[-d_c^2/(2\sigma_y^2)\right] \quad (4.41)$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \exp\left[-(H_e + 2nh)^2/(2\sigma_z^2)\right] \quad (4.42)$$

gdzie:

C – stężenie zanieczyszczenia na poziomie gruntu (g/m^3),

Q – ładunek zanieczyszczeń w obłoku (g),

σ_x – odchylenie standardowe rozkładu stężeń zanieczyszczenia w kierunku wiatru (m),

σ_y – odchylenie standardowe rozkładu stężeń zanieczyszczenia w kierunku prostopadłym do wektora wiatru (m),

σ_z – odchylenie standardowe rozkładu stężeń zanieczyszczenia w kierunku pionowym (m),

d_a – odległość od środka obłoku do receptora (zgodnie z kierunkiem wiatru) (m),

d_c – odległość od środka obłoku do receptora (w kierunku prostopadłym do kierunku wiatru) (m),

g – pionowa składowa równania Gaussa,

H – efektywna wysokość środka obłoku od powierzchni gruntu,

h – grubość warstwy mieszania.

4.2.1. Współczynniki dyspersji

Zwiększanie obłoków zanieczyszczeń względem otoczenia można opisać jako funkcję zależną od czasu lub odległości. W tym celu wprowadzona jest metryka ξ odpowiadająca obu przypadkom.

Współczynniki dyspersji zależne od zmiany metryki $\Delta\xi$ wynoszą odpowiednio:

$$\sigma_{2y,n}(\Delta\xi_y) = \sigma_{2yt}(\xi_{yn} + \Delta\xi_y) + \sigma_{2ys} + \sigma_{2yb} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{2z,n}(\Delta\xi_z) = \sigma_{2zt}(\xi_{zn} + \Delta\xi_z) + \sigma_{2zb} \quad (4.44)$$

gdzie:

$\sigma_{y,n}, \sigma_{z,n}$ – poziome i pionowe współczynniki dyspersji w pozycji y, n w kroku n ,

σ_{yt}, σ_{zt} – funkcyjne formy współczynników dyspersji σ_y, σ_z zależne od turbulencji atmosferycznych,

σ_{yb}, σ_{zb} – składowe współczynników dyspersji σ_y, σ_z zależne od wyporu wewnątrz obłoku w czasie uwolnienia,

σ_{ys} – składowa poziomego współczynnika dyspersji zależna od poprzecznej skali źródła powierzchniowego.

Podstawową zasadą stosowaną w modelu dyspersyjnym Calpuff jest założenie prowadzenia obliczeń w oparciu o *współczynniki dyfuzji*, które mogą być wyznaczane w różny sposób. W zależności od dostępnych danych można wybrać następujące opcje:

1. Współczynniki dyfuzji wyznaczane z pomiarów turbulencji σ_v i σ_w .
2. Współczynniki dyfuzji wyznaczane z wewnętrznej kalkulacji σ_v i σ_w przy użyciu takich zmiennych meteorologicznych jak u^* , w^* , L .
3. Współczynniki dyfuzji Pasquill’a Gifford’a dla obszarów wiejskich i współczynniki dyfuzji wg McElroy-Pooler’a w obszarach miejskich.
4. Współczynniki dyfuzji wyliczane przy pomocy równań MESOPUFF II.
5. Współczynniki dyfuzji wyznaczane z pomiarów turbulencji σ_v i σ_w (dla obojętnych i stałych warunków). Natomiast dla równowagi chwiejnej współczynniki wyznaczane są zgodnie z opcją 3.

Ogólne formy współczynników dyspersji σ_{yt} , σ_{zt} dla opcji 1, 2 i 5 wyznaczane są z wzorów 4.45 i 4.46 [24].

$$\sigma_{yt} = \sigma_v t f_y(t/t_{ly}) \quad (4.45)$$

$$\sigma_{zt} = \sigma_w t f_z(t/t_{lz}) \quad (4.46)$$

gdzie:

σ_v – odchylenie standardowe poprzecznej składowej wiatru [m/s],

σ_w – odchylenie standardowe pionowej składowej wiatru [m/s],

t – czas transportu obłoku (smugi) do receptora [s],

t_{ly} , t_{lz} – pozioma i pionowa skala czasu Lagrange’a [s].

Równania te mogą być również wyrażone w postaci poziomego i pionowego natężenia turbulencji zgodnie z równaniami 4.47 i 4.48 [24].

$$i_y = \sigma_v / u \cong \sigma_\theta \quad (4.47)$$

$$i_z = \sigma_w / u \cong \sigma_\varphi \quad (4.48)$$

gdzie:

u – prędkość wiatru [m/s],

σ_v – odchylenie standardowe poprzecznego kąta kierunku wiatru,

σ_w – odchylenie standardowe pionowego kąta kierunku wiatru.

Najbardziej pożądanym podejściem jest bezpośrednie powiązanie współczynników dyspersji z mierzonymi wartościami wariancji prędkości turbulencji (σ_v , σ_w) lub składowymi natężeniami (i_y , i_z). Jednak bardzo ważne jest aby dane wprowadzane do modelu były zgodne z rzeczywistością. W praktyce bardzo trudno precyzyjnie określić wartość współczynnika i_z , może to prowadzić do mniej dokładnych wyników modelowania.

Rekomendowaną opcją jest wyznaczanie współczynników dyspersji na podstawie danych meteorologicznych z wykorzystaniem teorii podobieństwa. Badania konwekcyjnej warstwy granicznej pozwoliły na wyróżnienie charakterystyki turbulencji w trzech podwarstwach [25, 77]:

Warstwa przy powierzchniowa – wysokość $z \leq 0,1 h$

σ_v – parametr stały z wysokością,

σ_w – zwiększa się z wysokością.

Warstwa mieszania – wysokość $0,1 h < z < 0,8 h$

σ_v – parametr stały z wysokością,

σ_w – parametr stały z wysokością.

Warstwa porywania – wysokość $z > 0,8 h$

σ_v – parametr maleje wraz z wysokością,

σ_w – parametr maleje wraz z wysokością.

Dla neutralnej stałej równowagi atmosfery w warstwie przy powierzchniowej wartość powyższych parametrów oblicza się wg wzorów 4.49 – 4.51 dla $L \leq 0$ [53]:

$$\sigma_v = [4u_*^2 a_n^2 + 0.35w_*^2]^{1/2} \quad (4.49)$$

$$\sigma_w = [1.6u_*^2 a_n^2 + 2.9u_*^2 (-z/L)^{2/3}]^{1/2} \quad (4.50)$$

$$a_n = \exp[-0.9(z/h)] \quad (4.51)$$

gdzie:

u_* - prędkość tarcia (prędkość dynamiczna) [m/s],

L – skala długości Monina-Obukhova [m].

W warstwie mieszania (dla $L \leq 0$) [32]:

$$\sigma_v = [4u_*^2 a_n^2 + 0.35w_*^2]^{1/2} \quad (4.52)$$

$$\sigma_w = [1.15u_*^2 a_n^2 + 0.35w_*^2]^{1/2} \quad (4.53)$$

W warstwie porywania dla $L \leq 0$ [32]:

$$\sigma_v = [4u_*^2 a_n^2 + 0.35w_*^2]^{1/2} \quad (4.54)$$

Dla $0,8 h < z < 1 h$

$$\sigma_w = [1.15u_*^2 a_n^2 + a_{c1} 0.35w_*^2]^{1/2} \quad (4.55)$$

$$a_{c1} = [1/2 + (h - z)/(0.4h)] \quad (4.56)$$

Dla $1 h < z < 1.2 h$

$$\sigma_w = [1.15u_*^2 a_n^2 + a_{c2} 0.35w_*^2]^{1/2} \quad (4.57)$$

$$a_{c2} = [1/3 + (1.2h - z)/(1.2h)] \quad (4.58)$$

Natomiast dla stabilnej stałej równowagi atmosfery parametry σ_v , σ_w wyznaczają się z wzorów 4.59 – 4.61 (dla $L > 0$) [9].

$$\sigma_v = u_* [(1.6C_s(z/L) + 1.8a_n) / (1 + z/L)] \quad (4.59)$$

$$\sigma_w = 1.3u_* [(C_s(z/L) + a_n) / (1 + z/L)] \quad (4.60)$$

$$C_s = (1 - z/h)^{3/4} \quad (4.61)$$

Natomiast funkcje f_z i f_y dla opcji 1 i 2 wyznaczają się na podstawie równań 4.62 – 4.64 [16, 35]:

$$f_y = [1 + 0.9(t/1000)^{1/2}]^{-1} \quad (4.62)$$

$$f_z = [1 + 0.9(t/500)^{1/2}]^{-1} \quad \text{dla } L < 0 \quad (4.63)$$

$$f_z = [1 + 0.945(t/100)^{0.806}]^{-1} \quad \text{dla } L > 0 \quad (4.64)$$

W przypadku opcji 5 i dla $L > 0$ funkcje te przyjmuje się zgodnie z wzorami 4.65 – 4.66 [57]:

$$f_y = \left[1 + \frac{ut}{20000} \right]^{-1/2} \quad (4.65)$$

$$f_z = \left[1 + \sigma_w t \left(\frac{1}{0.72z} + \frac{N}{0.54\sigma_w} \right) \right]^{-1/2} \quad (4.66)$$

gdzie:

z – wysokość nad poziomem gruntu,

N – częstotliwość Brunt-Vaisala.

Opcja 3 opiera się na współczynnikach dyfuzji Pasquill’a Gifford’a dla obszarów wiejskich i współczynników dyfuzji McElroy-Pooler w obszarach miejskich (tab. 4.2) [49, 71, 72].

Tabela 4.2 Wzory na wyznaczenie współczynników dyfuzji dla obszarów miejskich zgodnie z metodą McElroy-Pooler’a [49]

Klasa równowagi atmosfery	σ_y	σ_z
A	$0.32 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-0.5}$	$0.24 \times (1.0 + 0.001 x)^{0.5}$
B	$0.32 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-0.5}$	$0.24 \times (1.0 + 0.001 x)^{0.5}$
C	$0.22 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-0.5}$	$0.20 \times$
D	$0.16 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-0.5}$	$0.14 \times (1.0 + 0.0003 x)^{-0.5}$
E	$0.11 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-0.5}$	$0.08 \times (1.0 + 0.0015 x)^{-0.5}$
F	$0.11 \times (1.0 + 0.0004 x)^{-0.5}$	$0.08 \times (1.0 + 0.0015 x)^{-0.5}$

Dla obszarów wiejskich współczynniki dyfuzji wyznacza się na podstawie wzorów Pasquill’a Gifford’a [72].

$$\sigma_y = 465.11628(x) \tan(\theta) \text{ [m]} \quad (4.67)$$

$$\sigma_z = ax^b \text{ [m]} \quad (4.68)$$

$$\theta = 0.017453293(c - d \ln(x)) \quad (4.69)$$

Parametry do powyższych równań przyjmuje się w zależności od klasy równowagi atmosfery i odległości od źródła emisji x . Tabela 4.3. zawiera parametry a , b , tabela 4.4 zawiera parametry c , d .

Tabela 4.3. Parametry a, b używane przy wyznaczeniu współczynników dyfuzji Pasquill'a Gifford'a [72]

Klasa równowagi atmosfery	x (km)	a	b
A	< .10	122.800	0.94470
	0.10 - 0.15	158.080	1.05420
	0.16 - 0.20	170.220	1.09320
	0.21 - 0.25	179.520	1.12620
	0.26 - 0.30	217.410	1.26440
	0.31 - 0.40	258.890	1.40940
	0.41 - 0.50	346.750	1.72830
	0.51 - 3.11	453.850	2.11660
	> 3.11	*	*
B*	< .20	90.673	0.93198
	0.21 - 0.40	98.483	0.98332
	> 0.40	109.300	1.09710
C**	Dowolne wartości	61.141	0.91465
D	< .30	34.459	0.86974
	0.31 - 1.00	32.093	0.81066
	1.01 - 3.00	32.093	0.64403
	3.01 - 10.00	33.504	0.60486
	10.01 - 30.00	36.650	0.56589
	> 30.00	44.053	0.51179
E	< .10	24.260	0.83660
	0.10 - 0.30	23.331	0.81956
	0.31 - 1.00	21.628	0.75660
	1.01 - 2.00	21.628	0.63077
	2.01 - 4.00	22.534	0.57154
	4.01 - 10.00	24.703	0.50527
	10.01 - 20.00	26.970	0.46713
	20.01 - 40.00	35.420	0.37615
	> 40.00	47.618	0.29592
F	< .20	15.209	0.81558
	0.21 - 0.70	14.457	0.78407
	0.70 - 1.00	13.953	0.68465
	1.01 - 2.00	13.953	0.63227
	2.01 - 3.00	14.823	0.54503
	3.01 - 7.00	16.187	0.46490
	7.01 - 15.00	17.836	0.41507
	15.01 - 30.00	22.651	0.32681
	30.01 - 60.00	27.074	0.27436
	> 60.00	34.219	0.21716

Tabela 4.4. Parametry c, d używane przy wyznaczeniu współczynników dyfuzji Pasquill'a Gifford'a [72]

Klasa równowagi atmosfery	c	d
A	24,167	2.5334
B	18,333	1,8096
C	12,5	1,0857
D	8,333	0,72382
E	6,25	0,54287
F	4,1667	0,36191

Opcja 4 opiera się o współczynniki dyfuzji wyliczane przy pomocy równań MESOPUFF II [60].

Współczynnik poziomej dyfuzji atmosferycznej (σ_y):

$$\sigma_y = a_y \cdot x^{b_y} \quad (4.70)$$

Współczynnik pionowej dyfuzji atmosferycznej (σ_z):

$$\sigma_z = a_z \cdot x^{b_z} \quad (4.71)$$

gdzie współczynniki a_y , a_z , b_y , b_z przyjmowane są zgodnie z tabelą 4.5.

Tabela 4.5. Parametry a_y , a_z , b_y , b_z używane przy wyznaczeniu współczynników dyfuzji MESOPUFF II [60]

Klasa równowagi atmosfery	a_y	b_y	a_z	b_z
A	0,36	0,9	0,00023	2,10
B	0,25	0,9	0,058	1,09
C	0,19	0,9	0,11	0,91
D	0,13	0,9	0,57	0,58
E	0,096	0,9	0,85	0,47
F	0,063	0,9	0,77	0,42

Uwzględnienie szorstkości powierzchni możliwe jest dla metody ISC w terenach wiejskich oraz MESOPUFF II. Pozostałe metody takie jak McElroy-Pooler, czy bazujące na teorii podobieństwa uwzględniają szorstkość terenu bezpośrednio w swojej procedurze. Właściwy zakres stosowania poniższych wzorów dotyczy stosunkowo niskich emitatorów (nie przekraczających wysokości 100 m), w pozostałych przypadkach nie należy ich stosować. Współczynniki dyspersji wyznaczane są z wzorów 4.72 – 4.77 [64].

$$\sigma'_y = \sigma_y \left(z_0 / z_{0(ref)} \right)^{0.2} \quad (4.72)$$

$$\sigma'_z = a' x^{b'} \quad (4.73)$$

$$a' = a \cdot \{1.585(1000)^\beta z_0^{0.1301}\} \quad (4.75)$$

$$b' = b - \beta \quad (4.76)$$

$$\beta = 0.0777 + 0.0215 \ln(z_0) \quad (4.77)$$

gdzie:

z_0 – współczynnik szorstkości,

$z_{0(\text{ref})}$ – referencyjny współczynnik szorstkości wynoszący 0,03 m

x – odległość od źródła emisji,

a, b – współczynniki Pasquill'a Gillforda przyjęte z tabeli 4.4.

Efekt wyporu hydrostatycznego smugi wylotowych uwzględniony jest poprzez wprowadzenie poprawki na współczynniki dyspersji [36, 55]. Poprawka ta wprowadzana jest dla każdej opcji obliczania współczynników dyspersji.

$$\sigma_{yb} = \Delta H / 3.5 \quad (4.78)$$

$$\sigma_{zb} = \Delta H / 3.5 \quad (4.79)$$

gdzie:

ΔH – wysokość smugi [m].

4.2.2. Rozciąganie i podział obłoków

Duże odległości pomiędzy kolejnymi warstwami przyjętej siatki obliczeniowej mogą spowodować sytuację, w której będą występowały znaczne różnice w pionowej prędkości wiatru. W związku z tym obłok zanieczyszczeń rozprzestrzeniający się pomiędzy dwoma przyjętymi warstwami obliczeniowymi ulegałby nienaturalnej deformacji. W celu uniknięcia tego typu sytuacji w model CALPUFF zastosowano następującą procedurę. Po pierwsze, wyznacza różnicę w pionowych prędkościach wiatru i uśrednia jej wartość wewnątrz warstwy danej warstwy zgodnie z wzorem 4.80.

$$\frac{dw}{dz}_n = \frac{w(z_{n+1}) - w(z_n)}{z_{n+1} - z_n} \quad (4.80)$$

gdzie:

n – numer kolejne warstwy,

$w(z)$ – pionowa prędkość wiatru w warstwie z .

Na tej podstawie wyznacza się średnią różnicę prędkości wiatru wewnątrz obłoku (p) zgodnie z wzorem 4.81.

$$\frac{dw}{dz} p = \frac{1}{z_t - z_b} \int_{z_b}^{z_t} \frac{dw}{dz}(z) dz \quad (4.81)$$

gdzie:

z_t – wysokość szczytu obłoku,

z_b – wysokość środka obłoku.

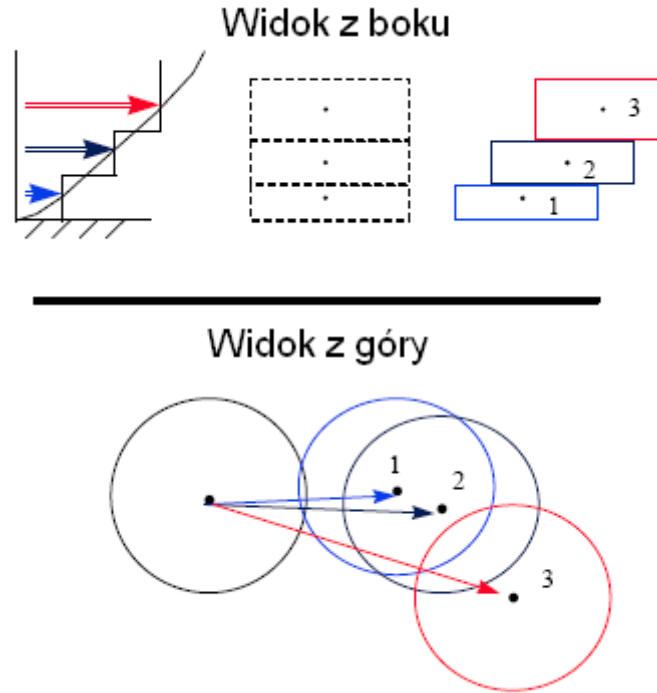
Ta średnia rozbieżność prędkości wiatru służy do wyznaczenia poprawionego pionowego współczynnika dyfuzji σ_z zgodnie z wzorem 4.82.

$$\sigma'_z = \sigma_z \left(1 + \Delta t \frac{dw}{dz} p \right) \quad (4.82)$$

gdzie:

Δt – kolejny krok obliczeniowy.

Różnice w prędkości wiatru w pionie mogą w istotny sposób wpływać na transport i dyspersję zanieczyszczeń. Zmiana prędkości i kierunku wiatru wraz z wysokością powoduje zmiany rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń emitowanych na różnych wysokościach. Również w przypadku emisji zanieczyszczeń ze jednego źródła, na skutek powiększania się obłoku zanieczyszczeń jego część może znaleźć się w całkiem innych warunkach meteorologicznych. Dzięki opcji „podział obłoków” możliwe jest niezależny transport obłoków zgodnie z lokalnymi warunkami takimi jak: prędkość wiatru i jego kierunek. Rysunek 4.1 przedstawia podział obłoku w przypadku niespełnienia warunku gaussowskiego rozkładu zanieczyszczeń w jego wnętrzu.



Rys. 4.1. Schemat podziału obłoku

4.2.3. Wyniesienie smugi

Właściwy model dyspersji Calpuff pozwala na uwzględnienie szeregu procesów takich jak odchylenie strugi zanieczyszczeń na szczycie emitora, częściowy zanik smugi w warstwie inwersji czy ścięcie smugi, które mogą znacząco wpływać na parametry wyniesienia smugi (w szczególności jego wysokość). Wysokość wyniesienia smugi wyznaczane jest na podstawie formuły Briggsa [6].

$$z_n = \left[\left(\frac{3F_m x}{(\beta_j^2 u_s^2)} \right) + \left(\frac{3F x^2}{(2\beta_1^2 u_s^3)} \right) \right]^{1/3} \quad (4.83)$$

$$\beta_j = \frac{1}{3} + \frac{u_s}{w} \quad (4.84)$$

gdzie:

z_n – wyniesienie smugi [m],

F_m – strumień pędu [m^4/s^2],

F – strumień wyporu hydrostatycznego [m^4/s^3],

u_s – prędkość wiatru na wysokości emitora [m/s],

x – odległość od emitora [m],

β_1 – parametr porywania wynoszący 0.6,

β_j – współczynnik porywania (wtryskowy),

w – prędkość gazów wylotowych [m/s].

Odległość do maksymalnego wyniesienia smugi zanieczyszczeń x_f wyznacza jest z wzoru 4.85.

$$x_f = \begin{cases} 3.5x^* & dla \quad F > 0 \\ 4D(w + 3u_s)^2 / (u_s w) & dla \quad F = 0 \end{cases} \quad (4.85)$$

$$x^* = \begin{cases} 14F^{5/8} & dla \quad F \leq 55 \\ 34F^{2/5} & dla \quad F > 55 \end{cases} \quad (4.86)$$

gdzie:

x_f – odległość maksymalnego wyniesienia smugi [m],

D – średnica emitora [m].

Wysokość wyniesienia smugi w warunkach stałej równowagi atmosfery wyznaczana jest na podstawie wzoru 4.83 aż do osiągnięcia maksymalnej wartości wyniesienia z_{sf} obliczanej z wzoru 4.87.

$$z_{sf} = \left[\left(\frac{3F_m}{(\beta_j^2 u_s^2 S^{1/2})} \right) + \left(\frac{6F}{(\beta_2^2 u_s S)} \right) \right]^{1/3} \quad (4.87)$$

$$S = \left(\frac{g}{T_a} \right) \left(\frac{d\theta}{dz} \right) \quad (4.88)$$

gdzie:

z_{sf} – maksymalne wyniesienie smugi (stała równowaga atmosfery) [m],

S – parametr stałości temperatury,

g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],

T_a – temperatura otoczenia [K],

$\Delta\theta/dz$ – gradient temperatury potencjalnej w stosunku do otoczenia [K/m],

β_2 – parametr porywania wynoszący 0.36.

Na szczycie emitora może następować odchylenie strugi gazów wylotowych. Do takiej sytuacji może dojść gdy stosunek prędkości gazów wylotowych do prędkości wiatru na szczycie emitora jest mniejszy niż 1.5, wówczas smuga zanieczyszczeń może być pociągnięta w kierunku zawietrznej emitora. W celu uwzględnienia tego efektu, wysokość wyniesienia wyznacza się na podstawie wzoru 4.89 [5, 59].

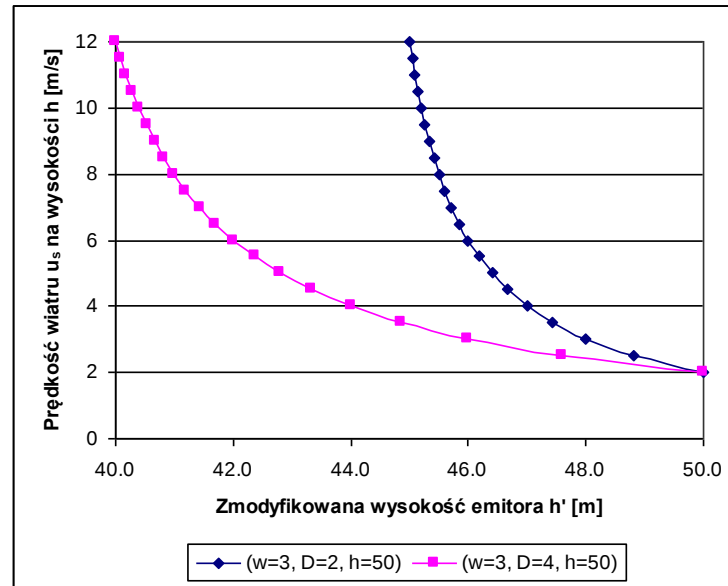
$$h' = \begin{cases} h + 2D \cdot (w/u_s - 1.5) & \text{dla } w/u_s < 1.5 \\ h & \text{dla } w/u_s \geq 1.5 \end{cases} \quad (4.89)$$

gdzie:

D – średnica emitora [m],

h' – poprawiona wysokość emitora [m].

Rysunek 4.2 przedstawia wykres zależności prędkości wiatru na wysokości emitora na pozorną wysokość emitora h' (wysokość emitora $h=50\text{m}$, prędkość gazów wylotowych $w=3\text{m/s}$ i średnica emitora $D=2\text{m}$ lub $D=4\text{m}$).



Rys. 4.2. Wykres zależności wpływu prędkości wiatru na pozorną wysokość emitora

Częściowa penetracja smugi - smuga zanieczyszczeń pochodząca z wysokich emitatorów może często oddziaływać z podstawą inwersji na szczycie warstwy mieszania. Część zanieczyszczeń będzie penetrować warstwę inwersji co sprawia, że zanieczyszczenia te nie osiągną powierzchni ziemi. Parametr penetracji P i odpowiadający ułamek f dla smugi pozostającej poniżej warstwy inwersji wynosi [44]:

$$P = \frac{F_b}{u_s b_i (h - h_s)^2} \quad (4.90)$$

$$f = \begin{cases} 1 & \text{dla } (P < 0.08) \\ \frac{0.08}{P} - P + 0.08 & \text{dla } (0.08 < P \leq 0.3) \\ 0 & \text{dla } (P > 0.3) \end{cases} \quad (4.91)$$

gdzie:

u_s – prędkość wiatru na wysokości emitora

F_b – początkowy parametr wyporu (siła wyporu) emisji z komina

h – wysokość warstwy inwersji

h_s – wysokość emitora,

b_i – parametr charakteryzujący siłę inwersji ($b_i = g\Delta T_i/T_a$),

ΔT_i – różnica temperatur wewnątrz warstwy inwersji,

T_a – temperatura otoczenia,

g – przyspieszenie ziemskie.

Oznacza to, że dla $P < 0.08$ penetracja nie występuje, natomiast dla $P > 0.3$ cała smuga zanieczyszczeń przechodzi przez warstwę inwersji. Na podstawie badań wyznaczono wzory na ostateczną wysokość smugi zarówno pod jak i nad warstwą inwersji [45].

$$z_{p1} = \left(1 - \frac{f}{3}\right)(h - h_s) \quad (4.92)$$

$$z_{p2} = (2 - f)(h - h_s) \quad (4.93)$$

Wzory te są prawdziwe dla częściowej penetracji, natomiast dla $P > 0.3$, wysokość smugi wyznaczana jest z wzoru Briggs'a [6]:

$$z_p = \left[1.8(h - h_s) + 18.25 \left(\frac{F}{(u_s S)}\right)\right]^{1/3} \quad (4.94)$$

Większość rozwiązań zakłada stałość prędkości wiatru powyżej wysokości emitora. To rozwiązanie jest uzasadnione dla średnich i wysokich emitorów. Natomiast zmiana prędkości wiatru dla niskich emitorów, może spowodować znaczącą redukcję wysokości wyniesienia smugi [59]. Wysokość smugi zanieczyszczeń dla niskich emitorów możemy wyznaczyć z wzoru 4.96 (dla obojętnego i chwiejnego stanu atmosfery), bądź z wzoru 4.97 (dla stałego stanu atmosfery). Wzory te są dobrym przybliżeniem rzeczywistości w przypadku gdy pionową prędkość wiatru wyznacza się na podstawie wzoru 4.95, który zawodzi w przypadku wysokich emitorów.

$$u(z) = u_s \cdot \left(\frac{z}{h_s}\right)^p \quad (4.95)$$

$$z_w = \left[\left(\frac{e^2}{(6+2p)} \right) \left(\frac{Fz_m^{3p}}{(\beta_1^2 u_m^3)} \right) \right]^{1/e} x^{2/e} \quad (4.96)$$

$$z_w = \left[\left(\frac{2(3+p)Fz_m^p}{(\beta_2^2 u_m^3 S)} \right) \right]^{1/(3+p)} \quad (4.97)$$

$$e = 3 + 3p \quad (4.98)$$

gdzie:

z – wysokość punktu, dla którego dokonuje się obliczeń [m],

h_s – wysokość emitora [m],

u_s – prędkość wiatru na szczycie emitora [m/s],

$u(z)$ – prędkość wiatru na wysokości z [m/s],

p – wykładnik potęgi.

Okresy ciszy występują wtedy, gdy prędkość wiatru jest mniejsza od przyjętej granicznej wartości (najczęściej przyjmowanej jako 0,5 m/s). W tych warunkach gaussowski model smugi nie potrafi wyznaczyć rozkładu zanieczyszczeń. Powoduje to sytuację, w której potencjalnie najbardziej niekorzystne warunki meteorologiczne (minimalna prędkość wiatru) nie są przez niego modelowane. Natomiast gaussowskie modele obłoków są w stanie modelować rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń nawet w takich warunkach, przy czym wymagają one odpowiednich modyfikacji. W szczególności cała masa zanieczyszczeń emitowana w danej godzinie ciszy kumulowana jest do jednego obłoku, a parametry dyspersji zanieczyszczeń wewnątrz obłoku (σ_y i σ_z) bazują na czasie, a nie odległości, którą przebyła dana porcja zanieczyszczeń.

4.3. UKSZTAŁTOWANIE TERENU

Wpływ rzeźby terenu na stężenie zanieczyszczeń powietrza na powierzchni w modelu CALMET/CALPUFF można określić w dwóch skalach. Oddziaływanie w dużej skali modelowane jest w preprocesorze meteorologicznym CALMET, który modeluje pole wiatru w zależności od przeszkód terenowych takich jak wzgórza czy góry. Uwzględnia on między innymi:

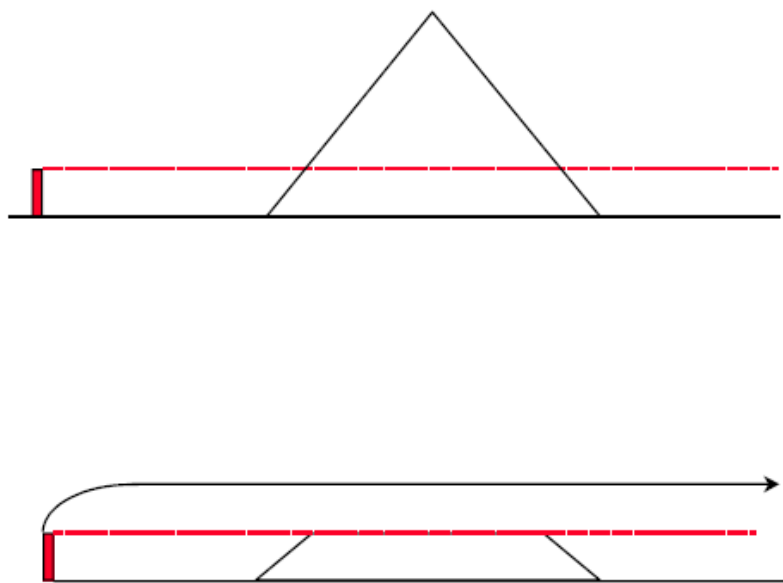
- efekt kinematyczny (str. 20),
- spływ mas powietrza ze wzgórz (str. 21),
- termodynamiczny efekt blokowania mas powietrza (str. 23).

Dla mniejszej skali możliwe są różne opcje uwzględnienia ukształtowania terenu na rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu (wewnątrz aplikacji Calpuff) takie jak:

- metoda ISC,
- metoda częściowej smugi,
- metoda Calpuff.

Uwzględnienie tych efektów zarówno w makro i mikro skali pozwala na znacząco polepszenie jakości modelowania.

W oryginalnej metodyce wykorzystanej w modelu ISC (Industrial Source Complex Model) nie przewidziano możliwości obliczenia stężeń zanieczyszczeń w receptorach znajdujących się powyżej wysokości emitora [71, 72]. Metoda ta stosowana jest najczęściej w gaussowskich modelach smugi. Zakłada ona, że wszystkie receptory znajdujące się powyżej wysokości komina obniżane są do jego wysokości. Wysokość warstwy mieszania również nie jest modyfikowana w zależności od aktualnego ukształtowania terenu. Środek masy obłoku bądź smugi porusza się na stałej wysokości w zależności od wcześniej obliczonej wysokości wyniesienia. Rysunek 4.3 przedstawia trasę przebiegu zanieczyszczeń podczas napotkania przeszkody terenowej.



Rys. 4.3. Trasa przebiegu obłoku/smugi zanieczyszczeń po napotkaniu przeszkody terenowej – metoda ISC [61]

W metodzie częściowej smugi wysokość smugi zanieczyszczeń ściśle uzależniona jest od wysokości terenu nad którym aktualnie się ona znajduje. W zależności od stanu rów-

nowagi atmosfery wysokość smugi koryguje się o odpowiedni współczynnik C . Dla warunków stabilnych $C=0.35$, dla reszty $C=0.5$. Wysokość warstwy mieszania nie jest modyfikowana tak długo jak efektywna wysokość obłoku nie przekroczy jej wysokości. W tym momencie jej wysokość ustalana jest na maksymalną wartość. Gdy punkty siatki obliczeniowej znajdują się powyżej podstawy emitora względną wysokość środka smugi/obłoku wyznacza się na podstawie wzoru 4.99, sytuację tą przedstawia rysunek 4.4. Natomiast gdy receptory znajdują się poniżej wysokości podstawy emitora wysokość środka smugi/obłoku wyznacza się z wzoru 4.100.

$$H_p = H_{po} \cdot C \quad (4.99)$$

$$H_p = H_{po} - (H_r - H_s)(1 - C) \quad (4.100)$$

gdzie:

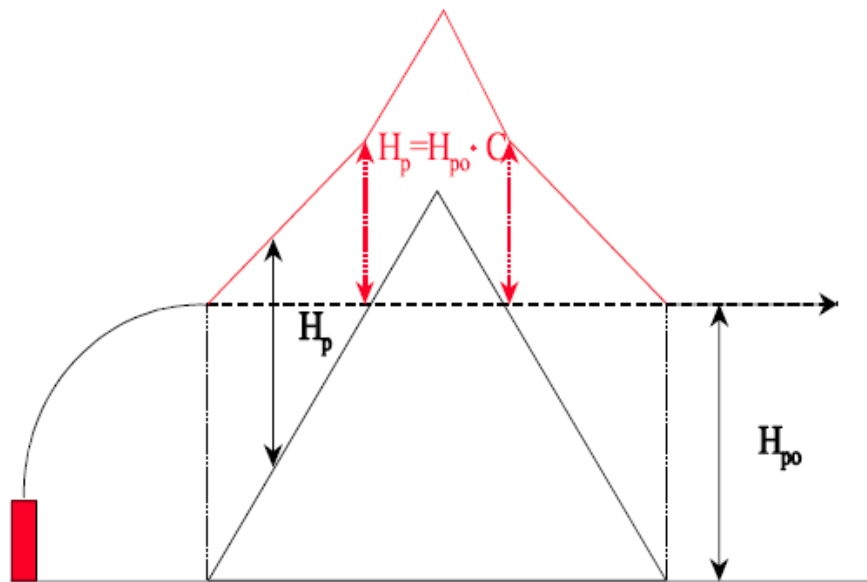
H_p – wysokość względną środka smugi/obłoku nad teren [m],

H_{po} – wysokość środka smugi/obłoku nad teren uwzględniająca wyniesienie [m],

H_r – wysokość receptora [m n.p.m.],

H_s – wysokość podstawy emitora [m n.p.m.],

C – współczynnik korygujący.



Rys. 4.4. Trasa przebiegu obłoku/smugi zanieczyszczeń po napotkaniu przeszkody terenowej – metoda częściowej smugi [61]

Model Calpuff posiada możliwość podsiatkowego traktowania strumienia zanieczyszczeń powietrza [68]. Smuga, bądź obłok poruszająca się powyżej wysokości H_d (wysokość podziału obłoku, otrzymywana z profilu prędkości wiatru i temperatury np. częstotliwość Brunt-Vaisala N) przepływa ponad wzgórzami i powoduje zmianę rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Natomiast poniżej wysokości H_d obłok odchyła się na skutek kontaktu ze wzgórzem lub dzieli się i opływa wokół wzgórza. Moduł ten bazuje na przybliżeniu użytym w Complex Terrain Dispersion Model (CTDMPLUS) [57]. Kolizja obłoku zanieczyszczeń ze wzgórzem powoduje jego podział na niezależnie poruszające się obłoki.

Obłok traktowany jest jako złożenie dwóch warstw. Górna jego część ma wystarczająco dużo energii, aby przetransportować porcje zanieczyszczeń ponad wzgórzem. Natomiast jego dolna część zmuszona jest do opływu wzniesienia. Koncepcja ta oparta jest na teoretycznych pracach Drazin'a i Sheppard'a [17, 63], a następnie poparta eksperymentami laboratoryjnymi [7, 34, 58, 65, 66]. Wysokość podziału H_d wyznaczana jest dla każdego wzgórza przez zlokalizowanie najniższej wysokości, przy której energia kinetyczna obłoku jest równoważona przez energię potencjalną osiąganą przez górną część obłoku od tej wysokości do szczytu wzgórza. Równowagę tą przedstawia równanie 4.101.

$$0.5u^2(H_d) = \int_{H_d}^H N^2(z)[H - z]dz \quad (4.101)$$

gdzie:

$u(H_d)$ – prędkość wiatru na wysokości $z = H_d$,

H – wysokość wzgórza,

$N(z)$ – częstotliwość Brunta-Vaisala na wysokości z .

W praktyce całkę po prawej stronie wylicza się jako sumę warstw, w których wartość N jest stała. Wartość H_d , wyznacza się poprzez porównanie lewej strony równania z prawą stroną poczynawszy od najwyższej warstwy (szczytu wzgórza). W przypadku, kiedy H_d przyjmuje wartość większą od zera obłok ulega podziałowi na tej wysokości w momencie napotkania wzgórza. Zanieczyszczenia znajdujące się w centrum obłoku mogą bezpośrednio osiągnąć powierzchnię terenu bez dalszego rozcieńczania [33].

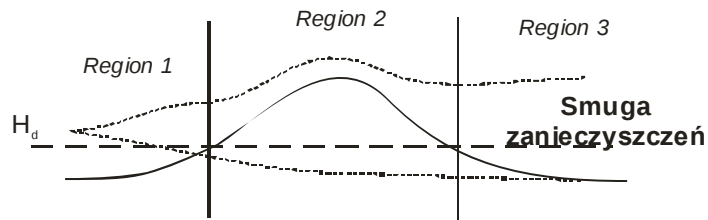
Zanieczyszczenia znajdujące się w dolnej części obłoku poruszają się w płaszczyźnie dwuwymiarowej. Rysunki 4.5 i 4.6 przedstawiają podział obłoku w trakcie napotkania wzgórza.

Wyróżniono 3 regiony, w których smuga zachowuje się w różny sposób:

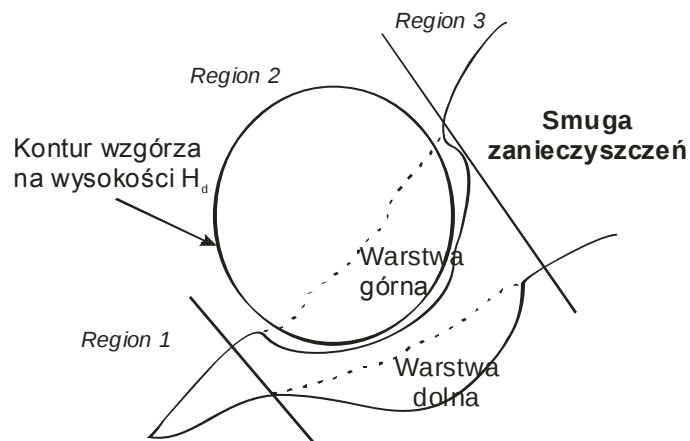
- region 1 – smuga nie rozdzielona,

- region 2 – smuga podzielona na część przepływającą z boku i nad wzgórzem,
- region 3 – ponowne połączenie smugi.

Do wysokości H_d , wzgórze modelowana są jako fragment elipsy, natomiast powyżej jako wzgórze o kształcie rozkładu Gaussa.



Rys. 4.5. Widok podziału smugi zanieczyszczeń po napotkaniu przeszkody terenowej (widok z boku)



Rys. 4.6. Widok podziału smugi zanieczyszczeń po napotkaniu przeszkody terenowej (widok z góry)

5. METODYKA OBLICZEŃ

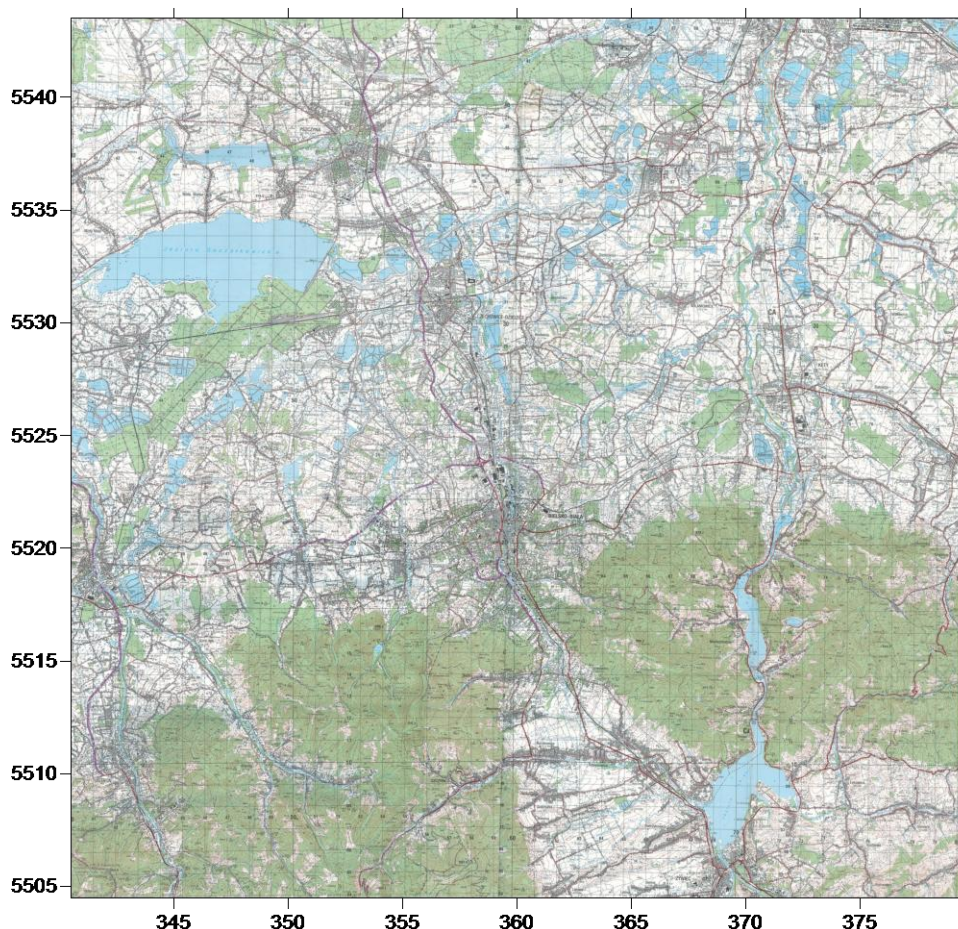
5.1. DANE WEJŚCIOWE DO MODELU

Uruchomienie modelu CALMET/CALPUFF wymagało opracowania szeregu danych wejściowych niezbędnych do przeprowadzenia obliczeń. Dane te, to przede wszystkim informacja o terenie (rzeźba i użytkowanie terenu), bazy danych zawierające parametry meteorologiczne atmosfery, danych o emisji. Po przetworzeniu przez preprocesory wykorzystywano je następnie do właściwych aplikacji: CALMET (dane o rzeźbie i użytkowaniu terenu, dane meteorologiczne), CALPUFF (plik wyjściowy aplikacji CALMET, dane o emisji). W szczególności wymagało to opracowania programu komputerowego, który na podstawie stworzonej metodyki przekształcał dostępne dane meteorologiczne do formatu zgodne z wymaganiem. Uruchomienie poszczególnych preprocesorów wymaga wcześniejszego przygotowania plików wejściowych (z rozszerzeniem *.inp), znajdujących się w załącznikach 1 – 5.

5.1.1. Informacja o terenie

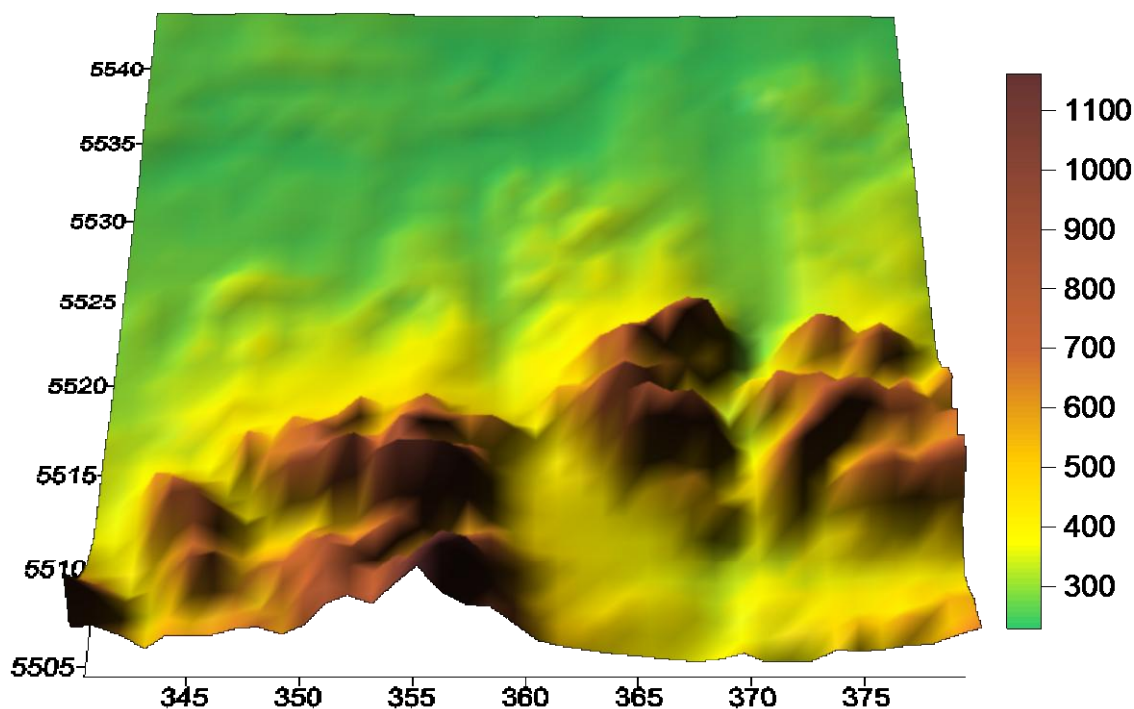
Niezbędne dane o terenie dla którego wykonano obliczenia zebrano na podstawie istniejących globalnych baz danych. Dane te wymagają pewnego przetworzenia, w szczególności „wycięcia” z nich obszaru obliczeniowego i przeliczenia współrzędnych geograficznych na prostokątny układ współrzędnych, w którym wykonywane są dalsze obliczenia. Dla wyznaczenia rzędnych terenu obliczeniowego jak i kategorii użytkowania wyznaczono prostokątny układ współrzędnych o powierzchni 40 km x 40 km oparty na systemie Universal Transverse Mercator (UTM). Jako jego początek przyjęto 34, północną strefę UTM o współrzędnych $(x,y) = (340.0, 5504.0)$ co odpowiadało szerokości geogr. 49.6672882N i długości geogr. 18.7826294E. Obszar ten charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością rzeźby terenu. W północnej części obszaru dominuje teren niezróżnicowany (minimalna wysokość 229 m.n.p.m.), a w części południowej przeważają stosunkowo wysokie góry Beskidu Śląskiego i Żywieckiego (maksymalna wysokość 1161 m.n.p.m.). Obszar ten charakteryzuje się zmienną topografią, w północnej części przeważają tereny rolne, w południowej lasy. Dodatkowo na terenie tym występuje stosunkowo duży obszar terenów zurbanizowanych (m.in. Bielsko-Biała, Czechowice – Dziedzice, Żywiec, Pszczyzna) i pokrytych wodą (m.in. zbiorniki zaporowe: Goczałkowickie, Żywieckie, Międzybrodzkie). Na obszarze tym występuje również rolniczo wykorzystywana kotlina śródgór-

ska (Kotlina Żywiecka). Rysunek 5.1 przedstawia mapę topograficzną terenu, w którym wykonywano obliczenia.



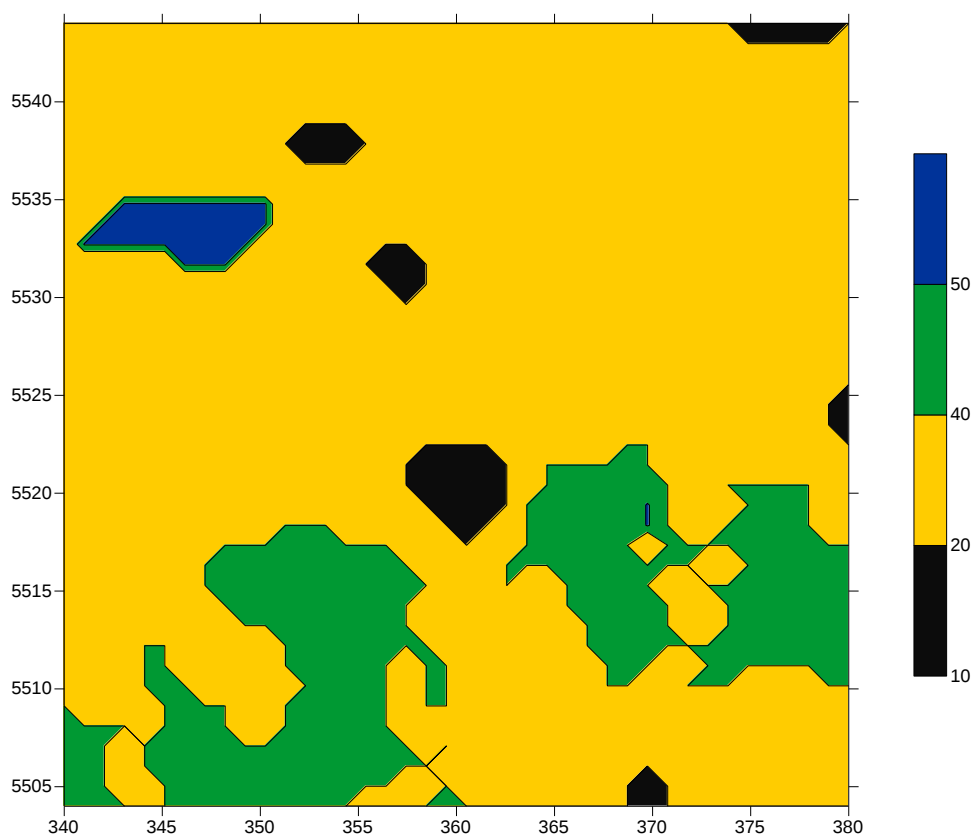
Rysunek 5.1. Mapa topograficzna wybranego terenu obliczeń.

Przetworzenie danych o rzeźbie terenu przeprowadzono wykorzystując preprocesor „*terrel*”. Źródłem numerycznego modelu terenu (DEM – Digital Elevation Model) były dane z globalnej bazy danych GTOPO30 o rozdzielczości 30" (około 900 m) [27]. Model ten został opracowany przez U.S. Geological Survey. Na jego podstawie preprocesor „*terrel*” wygenerował siatkę 40km x 40km z rzędnymi terenu z założoną rozdzielczością 1km x 1km. Jej trójwymiarowa wizualizacja przedstawia rysunek 5.2. W przypadku modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń rozdzielczość ta jest wystarczająca do odzwierciedlenia charakterystycznych przeszkód znajdujących się w terenie (takich jak góry, wzgórza), mających wpływ pole wiatru. Plik wejściowy, w oparciu o który dokonano powyższych operacji znajduje się w załączniku nr 1.



Rysunek 5.2. Trójwymiarowa wizualizacja terenu obliczeń

Przetworzeniem danych o kategoriach użytkowania terenu zajmuje się preprocesor „ctgproc”. Źródłem informacji o topografii wybranego terenu obliczeniowego stanowiła baza danych Global Land Cover Characteristics w wersji 2.0 opracowana przez U.S. Geological Survey. Baza ta zawiera dane o 38 kategoriach użytkowania terenu zebranych z rozdzielczością około 1km [28]. Na jej podstawie preprocesor ctgproc wygenerował siatkę 40km x 40km z kategoriami użytkowania z założoną rozdzielczością 1km x 1km (Rys. 5.3). W praktyce modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń rozróżnia się znacznie mniej kategorii. Rozdzielczość zebranych danych nie jest zbyt duża, pozwala ona jednak na wyróżnienie charakterystycznych cech analizowanego obszaru (takich jak występowanie dużych kompleksów rolnych, leśnych czy obszarów zurbanizowanych). W przypadku wybranego terenu obliczeniowego wystąpiły jedynie 4 główne kategorie (10 – teren zurbanizowany, 20 – teren rolniczy, 40 – lasy, 50 – wody). Plik wejściowy, w oparciu o który dokonano powyższych operacji znajduje się w załączniku nr 2.



Rysunek 5.3. Mapa kategorii użytkowania

Pliki wynikowe powstałe z preprocesorów „*terrel*” i „*ctgrpoc*” posłużyły jako pliki wsadowe do preprocesora „*makegeo*”. Preprocesor ten tworzy plik geofizyczny zawierający współrzędne wysokościowe jak również uproszczone do kilku kategorii informacje o użytkowaniu terenu. Na podstawie zredukowanej kategorii użytkowania terenu każdemu punktowi siatki przypisuje on szereg parametrów takich jak: współczynnik szorstkości terenu, albedo (stosunek ilości promieniowania odbitego do padającego), liczbę Bowena (stosunek ciepła pobranego przez powierzchnię wody do ilości ciepła zużytego na parowanie), strumień ciepła w gruncie, antropogeniczny strumień ciepła, indeks biologicznej aktywności. Wartości powyższych parametrów w zależności od kategorii użytkowania terenu przedstawia tabela 5.1. Dane te będą niezbędne dla prawidłowego wyznaczenia parametrów meteorologicznych przez preprocesor CALMET. Plik wejściowy, w oparciu o który dokonano powyższych operacji znajduje się w załączniku nr 3.

Tabela 5.1. Wybrane parametry geofizyczne związane z podstawowymi kategoriami użytkowania terenu [28]

Kategoria użytkowania terenu	Współczynnik szorstkości	Albedo	Liczba Bowena	Strumień ciepła w gruncie	Indeks biologicznej aktywności
Teren zabudowany	1	0,18	1,5	0,25	0,2
Teren rolniczy	0,25	0,15	1,0	0,15	3,0
Lasy	1	0,1	1,0	0,15	7,0
Woda	0,001	0,1	0,0	1,00	0,0

5.1.2. Dane meteorologiczne

Preprocesor meteorologiczny CALMET może wyznaczyć czasową zmienność warunków meteorologicznych w każdym z punktów siatki obliczeniowej. Wymaga jednak bardzo dużej ilości danych wejściowych takich jak informacje o terenie przygotowanych przez preprocesor „makegeo” i danych ze stacji meteorologicznych. Ponieważ preprocesor CALMET wyznacza parametry meteorologiczne również w górnych warstwach atmosfery, poza standardowymi danymi pochodzącymi z naziemnych stacji synoptycznych wymaga również danych pochodzących z pomiarów pionowych profili atmosfery (sondaże aerologiczne). Plik wejściowy zbudowany jest z kilku części, w których podaje się szereg parametrów, najważniejsze z nich to:

- Grupa 0 – w grupie tej określa się ścieżki dostępu do danych geofizycznych, danych meteorologicznych (ze stacji naziemnych i aerologicznych), ścieżka pliku wynikowego z wyliczonym polem meteorologicznym.
- Grupa 1 – w grupie tej podaje się początek obliczeń jak również czas symulacji.
- Grupa 2 – określa się w niej parametry siatki obliczeniowej (początek i wielkość przyjętego układu współrzędnych jego rozdzielczość, ilość pionowych warstw obliczeniowych)
- Grupa 3 – definiuje się w niej rodzaje i parametry plików wynikowych (np. parametry meteorologiczne dla danej warstwy siatki obliczeniowej).
- Grupa 4 – podaje się w niej ilość stacji meteorologicznych i ich format.
- Grupa 5 – definiuje się w niej parametry pola wiatru (uwzględnienie efektu kinematycznego, efektu bloku, spływu wiatru ze wzgórz).
- Grupa 6 – definiuje się w niej parametry warstwy mieszania i pola temperatury.
- Grupa 7 – określa się w niej współrzędne naziemnych stacji meteorologicznych.

Grupa 8 – określa się w niej współrzędne aerologicznych stacji meteorologicznych.

Grupa 9 – określa się w niej współrzędne stacji mierzących wysokość opadów, w przypadku gdy są wykorzystywane.

Przykładowy plik wejściowy znajduje się w załączniku nr 4

Podstawowe dane meteorologiczne wymagane ze stacji synoptycznych powinny być zgromadzone w jednym pliku o ustalonym formacie. Nagłówek pliku powinien zawierać początek i koniec okresu w którym prezentowane są dane oraz ilość stacji meteorologicznych. Właściwa część pliku powinna zawierać datę i godzinę pomiaru, prędkość i kierunek wiatru, wysokość podstawy chmur, zachmurzenie, temperaturę powietrza, wilgotność względną i ciśnienie atmosferyczne. Powyższe parametry meteorologiczne wymagane są w 1 godzinnych szeregach czasowych (przynajmniej dla jednej ze stacji). Przykładowy plik zawierający dane z naziemnych stacji meteorologicznych przedstawia załącznik nr 5.

Do przygotowania powyższego pliku wykorzystano autorską aplikację „*Meteorologia*” (rozdział 5.2), która przetwarza dane zgromadzone na serwerach meteorologicznych (w formacie METAR) do formatu zgodnego z wymaganiem przez preprocesor CALMET [29]. Dodatkowo wymagało to stworzenia metodyki postępowania w celu właściwego określenia wysokości chmur jak i stopnia pokrycia nieba. Metodyka ta opisana jest w rozdziale poświęconym aplikacji „*Meteorologia*” (rozdział 5.2).

Dane meteorologiczne pochodzące ze stacji aerologicznych muszą być wprowadzone w postaci pliku o ustalonym formacie. Każdy plik zawiera dane pochodzące tylko z jednej stacji. Dla każdej stacji wymagane są co najmniej 2 sondowania w ciągu doby. W nagłówku należy zawrzeć m.in. informacje o początku i końcu okresu pomiarowego, informacje o sposobie traktowania pomiarów w przypadku braku jednej z danych, nr stacji i ilość poziomów sondaży. Właściwa treść pliku powinna zawierać dane o wysokości ciśnienia atmosferycznego i wysokości na której ono wystąpiło, temperaturę powietrza a także prędkość i kierunek wiatru. Przykładowy plik zawierający dane pochodzące z jednej stacji aerologicznej zawiera załącznik nr 6. Podobnie jak w przypadku danych ze stacji naziemnych do przygotowania pliku z danymi aerologicznymi konieczne było wykorzystanie autorskiej aplikacji „*Meteorologia*”, która przetwarza dane zgromadzone na serwerze Uniwersytetu Wyoming do formatu zgodnego z wymaganiem przez preprocesor CALMET [30].

5.1.3. Model dyspersji

Model dyspersji „ukryty” jest w aplikacji CALPUFF. Plik wejściowy zbudowany jest z kilku części, w których podaje się szereg parametrów niezbędnych do wykonania obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, najważniejsze z nich to:

Grupa 0 – w grupie tej określa się ścieżki dostępu do wcześniej przygotowanego pliku z danymi meteorologicznymi (preprocesor CALMET), ścieżka pliku wynikowego z wyliczonym polem imisji.

Grupa 1 – w grupie tej podaje się początek obliczeń jak również czas symulacji.

Grupa 2 – określa się w niej parametry związane z rzeźbą terenu, podziałem obłoków, czas uśredniania itp.

Grupa 3 – definiuje się w niej liczbę i rodzaj zanieczyszczeń.

Grupa 4 – określa się w niej parametry siatki obliczeniowej (początek i wielkość przyjętego układu współrzędnych jego rozdzielczość, ilość pionowych warstw obliczeniowych, jak również parametry pola meteorologicznego.

Grupa 12 – zawiera techniczne parametry dyspersji, współczynników dyspersji itp.

Grupa 13 – określa się w niej parametry emitatorów punktowych i wielkość emisji.

Przykładowy plik wejściowy zawiera załącznik nr 7.

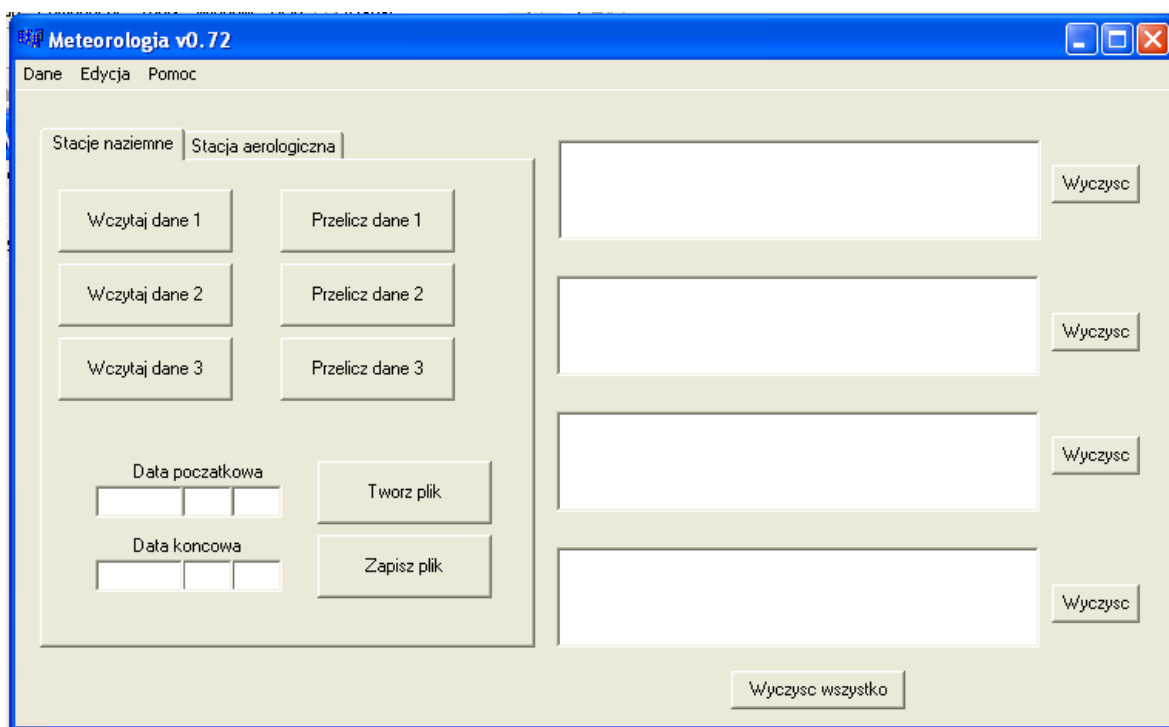
Przetworzeniem wyników obliczeń aplikacji CALPUFF zajmuje się postprocesor „calpost”. Umożliwia on wyznaczenie stężeń maksymalnych, uśrednia wyliczone stężenia do określonych czasów (np. stężeń 8h, 24h), a także przygotowuje rozkłady stężeń zanieczyszczeń do drukowania. W pliku wejściowym postprocesora określa się ścieżkę dostępu do binarnego pliku zawierającego dane o imisji zanieczyszczeń, nazwy plików wynikowych, czasy uśredniania. Przykładowy plik wejściowy zawiera załącznik nr 8.

5.2. APLIKACJA METEOROLOGIA

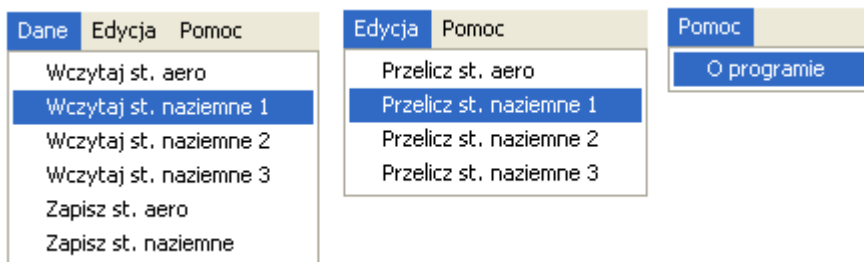
Podstawową funkcją autorskiej aplikacji meteorologia jest przetworzenie danych ze stacji meteorologicznych, a następnie zapisanie ich do plików zgodnych z formatem wymagany przez preprocesor CALMET. Program „Meteorologia” został zaprojektowany, a następnie zaimplementowany w języku programowania C++ w środowisku programistycznym Borland C++ Builder 6.0.

5.2.1. Opis programu

Główne okno aplikacji składa się z dwóch części, po lewej stronie znajdują się przyciski uruchamiające poszczególne funkcjonalności, po prawej znajdują się pola w których wyświetlane są przygotowywane dane (rys. 5.4). Prawa strona aplikacji służy głównie celom informacyjnym, w razie konieczności poprawy wczytywanych danych istnieje możliwość ich edycji w poszczególnych polach. Przy każdym z pól znajduje się przycisk „wyczyść” który umożliwia skasowanie zawartości danego pola dodatkowo w dolnej części znajduje się przycisk „wyczyść wszystko” kasujący dane z wszystkich pól. Lewa część głównego okna zbudowana jest z dwóch zakładek: stacje naziemne, stacja aerologiczna. Zgodnie z nazewnictwem, zakładka „stacje naziemne” służy do przygotowania danych meteorologicznych pochodzących ze naziemnych stacji meteorologicznych. Zakładka „stacja aerologiczna” służy do przygotowania pliku z danymi pochodzącymi ze stacji aerologicznej. W menu znajdującym się w górnej części okna umieszczone są wszystkie komendy z powyższych zakładek oraz informacje o programie (rys. 5.5).

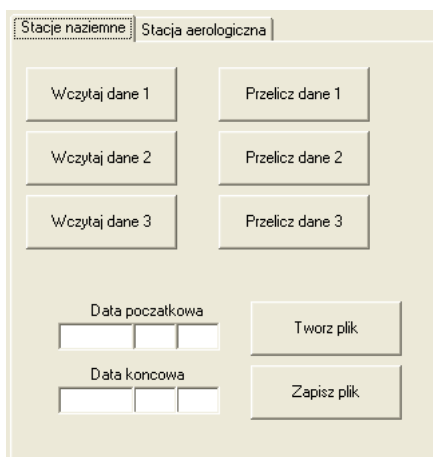


Rysunek 5.4. Główne okno aplikacji meteorologia



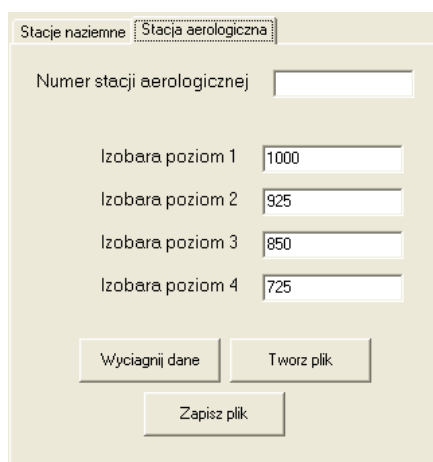
Rysunek 5.5. Menu aplikacji meteorologia

W zakładce „stacje naziemne” (rys. 5.6) znajdują się przyciski „wczytaj dane”. Aplikacja zakłada budowę pliku z maksymalnie 3 naziemnych stacji meteorologicznych. Po wczytaniu danych z 1, 2 lub 3 plików należy użyć przycisku „przelicz dane”, który przetwarza wczytane dane zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 5.2.2. Następnie należy uzupełnić pola daty (początkowej i końcowej) i przycisnąć klawisz „Twórz plik”. Po jego przyciśnięciu powstaje plik z danymi meteorologicznymi, który należy jeszcze zapisać (korzystając z przycisku „zapisz plik”).



Rysunek 5.6. Zakładka „stacje naziemne”

W zakładce „stacja aerologiczna” (rys. 5.7) znajdują się przyciski „wczytaj dane”. Po wczytaniu danych z pliku należy uzupełnić pola „numer stacji aerologicznej” oraz pola izobar (od 1 do 4). Pola te pozwalają na wskazanie poziomów ciśnienia, z których odczytane zostaną dane meteorologiczne. Następnie należy kliknąć przycisk „wyciągnij dane”, który przetwarza wczytane dane zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 5.2.3. Po przyciśnięciu guzika „Twórz plik” powstaje plik wraz z nagłówkiem i danymi meteorologicznymi, który należy jeszcze zapisać (korzystając z przycisku „zapisz plik”).



Rysunek 5.7. Zakładka „stacje aerologiczne”

5.2.2. Dane ze stacji naziemnych

Plik zawierający dane z naziemnych stacji meteorologicznych powinien mieć postać pliku tekstowego, w którym kolejne wiersze zawierają wyniki pomiarów z danej godziny zgodne z formatem METAR. Każdy wiersz zawierający dane meteorologiczne składa się z następujących części: nazwa stacji meteorologicznej, czas pomiaru, prędkość i kierunek wiatru, widzialność, rodzaje chmur i wysokość ich podstawy, temperaturę powietrza, ciśnienie [18].

Podstawowe dane takie jak czas pomiaru, prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, ciśnienie atmosferyczne mogą być bezpośrednio wykorzystane do stworzenia pliku wynikowego zgodnego z wymaganym przez preprocesor CALMET. Problemem jest określenie zachmurzenia i wysokości podstawy chmur ponieważ bardzo często zdarza się, że występuje kilka warstw chmur na różnych wysokościach (dla stacji automatycznych wyróżnia się do 3 warstw). W takim wypadku jako wysokość podstawy chmur przyjmuje się wysokość chmur o największym pokryciu (np. zapis w rekordzie FEW040 BKN050 będzie interpretowany jako BKN050). Tabela 5.2 przedstawia rodzaje pokrycia nieba wraz z odpowiadającym im ułamkiem pokrycia (zgodne z formatem METAR).

W celu stworzenia pliku wejściowego zawierającego wszystkie wymagane dane należy wczytać surowe pliki zawierające dane meteorologiczne. W zależności od ilości stacji należy wykorzystać przyciski „wyciągnij dane” od nr 1 do 3. Następnie dla każdej ze stacji przycisnąć przycisk „przelicz dane”, dzięki czemu surowe dane zostaną przetworzone na zgodnie z powyższą metodyką. W celu połączenia wszystkich stacji w jeden plik należy wypełnić pole daty i przycisnąć klawisz „twórz plik”. Powstanie plik wraz z nagłówkiem

określającym datę początku i końca pomiaru, ilości i nazwy naziemnych stacji meteorologicznych, który może być odczytany przez preprocesor CALMET.

Tabela 5.2. Rodzaj pokrycia nieba zgodne z metodyką METAR [18]

Skrót pokrycia	Zachmurzenie	Ułamek pokrycia
VV	Brak widzialności w poziomie	8/8
SKC lub CLR ¹	Brak lub powyżej	0
FEW ²	Niewielkie	1/8 – 2/8
SCT	Rozproszone	3/8 – 4/8
BKN	Częściowe	5/8 – 7/8
OVC	Całkowite	8/8

¹ Skrót CLR używany jest gdy stacja automatyczna nie wykryje chmur na wysokości do 12000 stóp

² Skrót FEW używany jest również przy pokryciu mniejszym niż 1/8.

5.2.3. Dane ze stacji aerologicznych

Dane ze stacji aerologicznej powinny mieć postać pliku tekstowego, w którym w kolejnych wierszach zapisane są wyniki sondowań. Standardowo mierzone są takie parametry jak ciśnienie wraz z wysokością na jakiej wystąpiło, temperatura powietrza, wilgotność względna, prędkość i kierunek wiatru.

Podstawowym zadaniem aplikacji meteorologia jest wybranie ze wszystkich wyników sondowań jedynie te, które zostały określone przez użytkownika w zakładce „stacja aerologiczna” (np. dla ciśnienia 700, 850, 900 mb). Następuje to po wybraniu przycisku „wyciągnij dane”. Brak danych dla danego poziomu sondowania sygnalizowany jest wpisaniem wartości 9999. W przypadku gdy w surowych danych nie występuje najwyższy wybrany poziom, do pliku wynikowego wprowadza się dane z najbliższego poziomu (np. zamiast danych z poziomu 900 wczytywane są dane z poziomu 895). Tak wstępnie przetworzone dane wyświetlane są po prawej stronie okna aplikacji. Przyciśnięcie klawisza „twórz plik” dołącza poprawny nagłówek pliku, w którym dodatkowo określona jest data początku i końca pomiarów. Dane ze stacji aerologicznych nie są łączone tylko zapisywane do osobnego pliku, dlatego powyższą procedurę należy powtórzyć dla każdej z wykorzystanych stacji aerologicznych.

5.3. ANALIZA STATYSTYCZNA

5.3.1. Podstawowe wskaźniki statystyczne

Metodyka porównywania poszczególnych opcji modeli oparta jest na wskaźnikach statystycznych opracowanych dla modeli rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Wskaźniki te zebrano w pakiecie statystycznym BOOT Statistical Model Evaluation Software Package, Version 2.0 [38]. Podstawowe wskaźniki statystyczne wykorzystywane w porównaniach zostały zarekomendowane przez EPA (Environmental Protection Agency), a następnie zebrane w aplikacji BOOT [2, 14].

FB – błąd systematyczny (Fractional Bias)

$$FB = \frac{(\overline{C_O} - \overline{C_P})}{0.5 \cdot (\overline{C_O} + \overline{C_P})} \quad (5.1)$$

MG – geometryczny błąd średni (Geometric Mean bias)

$$MG = \exp(\overline{\ln C_O} - \overline{\ln C_P}) \quad (5.2)$$

NMSE – względne odchylenie standardowe (Normalized Mean Square Error)

$$NMSE = \frac{(\overline{C_O - C_P})^2}{\overline{C_O} \cdot \overline{C_P}} \quad (5.3)$$

VG – geometryczna średnia wariancja (Geometric Variance)

$$VG = \exp\left[\overline{(\ln C_O - \ln C_P)^2}\right] \quad (5.4)$$

R – współczynnik korelacji (correlation coefficient)

$$R = \frac{(\overline{C_O - C_O})(\overline{C_P - C_P})}{\sigma_{C_P} \cdot \sigma_{C_O}} \quad (5.5)$$

FAC2 – wskaźnik charakteryzujący jakość modelu

$$FAC2 = \frac{\text{liczba obserwacji} \left\{ 0.5 \leq \frac{C_P}{C_O} \leq 2 \right\}}{\text{całkowita liczba obserwacji}} \quad (5.6)$$

gdzie:

C_P – stężenie wyznaczone przez model,

C_O – stężenie rzeczywiste,

$\bar{}$ (górną kreską) – średnia arytmetyczna wyliczona z danych znajdujących się pod nią,

σ_{C_P} - odchylenie standardowe wyznaczone z danych wyznaczonych przez model,

σ_{C_O} - odchylenie standardowe wyznaczone z danych obserwacyjnych.

Poza podstawowymi sześcioma podstawowymi wskaźnikami zdefiniowanymi powyżej wyznaczono również dodatkowe wskaźniki takie jak:

FB_{FN} – ujemny komponent FB (*false-negative*), tzn. rozpatruje tylko te pary (C_O , C_P), w których $C_P < C_O$

$$FB_{FN} = \frac{0.5 \cdot \sum_i [|C_{Oi} - C_{Pi}| + (C_{Oi} - C_{Pi})]}{0.5 \cdot \sum_i (C_{Oi} - C_{Pi})} \quad (5.7)$$

FB_{FP} – dodatni komponent FB (*false-positive*), tzn. rozpatruje tylko te pary (C_O , C_P), w których $C_P > C_O$

$$FB_{FP} = \frac{0.5 \cdot \sum_i [|C_{Oi} - C_{Pi}| + (C_{Pi} - C_{Oi})]}{0.5 \cdot \sum_i (C_{Pi} - C_{Oi})} \quad (5.8)$$

FB możemy zdefiniować jako różnicę pomiędzy FB_{FN} i FB_{FP}

$$FB = FB_{FN} - FB_{FP} \quad (5.9)$$

Natomiast suma FB_{FN} i FB_{FP} nazywana jest *całkowitym błędem systematycznym (absolute fractional bias, AFB)* [2]

$$AFB = FB_{FN} + FB_{FP} \quad (5.10)$$

W podobny sposób można wyznaczyć ujemny (MG_{FN}) i dodatni (MG_{FP}) komponent geometrycznego błędu średniego MG .

$$MG_{FN} = \exp \left[\frac{1}{2N} \sum_i [|\ln C_{Oi} - \ln C_{Pi}| + (\ln C_{Oi} - \ln C_{Pi})] \right] \quad (5.11)$$

$$MG_{FP} = \exp \left[\frac{1}{2N} \sum_i [|\ln C_{Oi} - \ln C_{Pi}| + (\ln C_{Pi} - \ln C_{Oi})] \right] \quad (5.12)$$

MG możemy zdefiniować również jako iloraz MG_{FN} i MG_{FP}

$$MG = \frac{MG_{FN}}{MG_{FP}} \quad (5.13)$$

Zdefiniowano również *dwuwymiarową miarę efektywności MOE (Measure of Effectiveness)*, w której składowa MOE_{FN} mierzy stopień niedoszacowania (under-prediction), a MOE_{FP} stopień przeszacowania (over-prediction) modelu w stosunku do obserwacji.

$$\begin{aligned} (2-D)MOE &= (MOE_{FN}, MOE_{FP}) = \left(\frac{A_P \cap A_O}{A_O}, \frac{A_P \cap A_O}{A_P} \right) \\ &= \left(\frac{A_P \cap A_O}{A_P \cap A_O + A_{FN}}, \frac{A_P \cap A_O}{A_P \cap A_O + A_{FP}} \right) \end{aligned} \quad (5.14)$$

gdzie:

A_P – obszar przewidywanych stężeń,

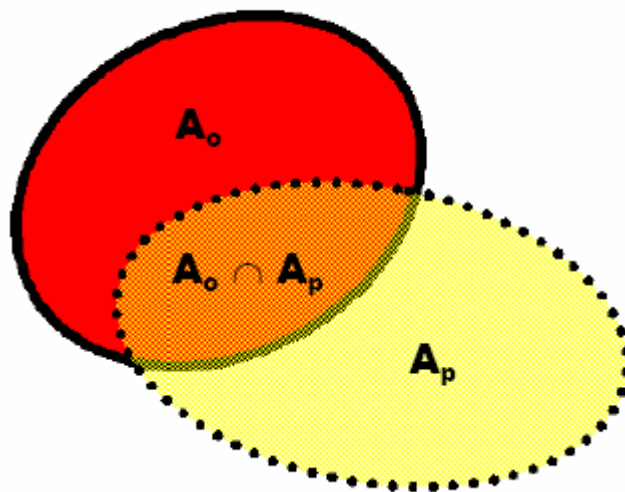
A_O – obszar obserwowanych stężeń,

A_{FN} – obszar obserwowanych stężeń nie przewidzianych przez model

A_{FP} – obszar przewidywanych stężeń nie występujących w rzeczywistości,

$(A_P \cap A_O)$ – obszar pokrywania się stężeń przewidywanych i obserwowanych.

Rysunek 5.1. przedstawia obszary obserwowanych i przewidywanych stężeń. Strefa pomarańczowa w środku określa obszar pokrywania się stężeń przewidywanych i obserwowanych. Strefa czerwona jest obszarem stężeń niedoszacowanych przez model, natomiast strefa żółta jest obszarem stężeń przeszacowanych przez model.



Rys. 5.1. Przedstawienie zależności pomiędzy A_O i A_P [2]

W praktyce trudno zdefiniować rzeczywisty kontur obszarów A_{FN} i A_{FP} , najczęściej stosuje się następujące przybliżenia [12, 76]:

$$A_{FN} = A_{FP} = \frac{1}{2} \sum_i [|C_{Oi} - C_{Pi}| + (C_{Oi} - C_{Pi})] \quad (5.15)$$

Przy czym do obliczenia A_{FN} wybiera się tylko te pary (C_O, C_P) w których $C_P < C_O$, a do wyznaczenia A_{FP} wybiera się tylko te pary (C_O, C_P) w których $C_P > C_O$.

Natomiast $(A_P \cap A_O)$ wyznacza się jako różnicę pomiędzy mniejszym z pary (C_O, C_P) i wartością progową C_t dla wszystkich obserwacji.

$$\begin{aligned} A_P \cap A_O &= \frac{1}{2} \sum_i [\min(C_{Oi} - C_{Pi}) - C_t] \\ &= \frac{1}{2} \sum_i [(C_{Oi} - C_{Pi}) - |C_{Oi} - C_{Pi}| - C_t] \end{aligned} \quad (5.16)$$

gdzie:

C_t - wartość progowa stężenia.

Wykazano również, że gdy za C_t podstawimy 0, MOE_{FN} i MOE_{FP} mogą być wyrażone w funkcji FB_{FN} , FB_{FP} i FB [12].

$$MOE_{FN} = \frac{1 - \frac{FB_{FN}}{2} - \frac{FB_{FP}}{2}}{1 + \frac{FB_{FN}}{2} - \frac{FB_{FP}}{2}} = \frac{2 - FB_{FN} - FB_{FP}}{2 + FB} \quad (5.17)$$

$$MOE_{FN} = \frac{1 - \frac{FB_{FN}}{2} - \frac{FB_{FP}}{2}}{1 + \frac{FB_{FN}}{2} + \frac{FB_{FP}}{2}} = \frac{2 - FB_{FN} - FB_{FP}}{2 - FB} \quad (5.18)$$

5.3.2 Właściwości obliczanych wskaźników statystycznych

Z powodu dużej ilości wykorzystywanych wskaźników statystycznych wydaje się niezbędnym opisanie ich właściwości. Bardzo często obserwowane bądź wyliczane stężenia zanieczyszczeń przyjmują wartości zbliżone do rozkładu log-normalnego. W tym przypadku stosunkowo niewielkie różnice (wyrażone procentowo) w obserwowanych i rzeczywistych stężeniach zanieczyszczeń znacznie wpływają na wartości FB czy $NMSE$. Natomiast wskaźniki oparte na logarytmach takie jak MG czy VG dostarczają znacznie bardziej wyważonych informacji o ekstremalnych wartościach stężeń. Powinny być zatem stoso-

wane, w przypadku dużych wahań obserwowanych/modelowanych stężeń. Jednak należy pamiętać, że MG czy VG podlegają mocnym wahaniom w przypadku występowania ekstremalnie niskich wartości stężeń (w okolicach 0) i są nieokreślone dla wartości stężeń równych 0 [10, 23]. Ponieważ w praktyce modelowania, niskie bądź zerowe wartości stężeń są obserwowane stosunkowo często, należy wprowadzić minimalne stężenie (np. jako granicę detekcji). W przypadku gdy którekolwiek z obserwowanych bądź modelowanych wartości stężeń jest mniejsze o tej granicy należy zamiast niego przyjąć jakąś wartość progową rozumianą właśnie jako granicę detekcji.

Wskaźniki FB i MG są miarami błędów systematycznych, natomiast NMSE i VG są miarami zarówno błędów systematycznych jak i przypadkowych. Ponieważ FB opiera się na odchyłce od wartości średniej, może okazać się, że dwa modele są całkowicie różne ale ich błąd systematyczny wskazuje 0. Aby ominąć ten problem wyznacza się ujemny i dodatni komponent FB (FB_{FN} , FB_{FP})

Współczynnik korelacji R – określa linową zależność pomiędzy dwoma zmiennymi i w związku z tym jest nieczuły na dodawanie i mnożenie zmiennych.

$$C_p = \alpha + \beta \cdot C_o \quad (5.19)$$

gdzie:

C_p – stężenie przewidywane,

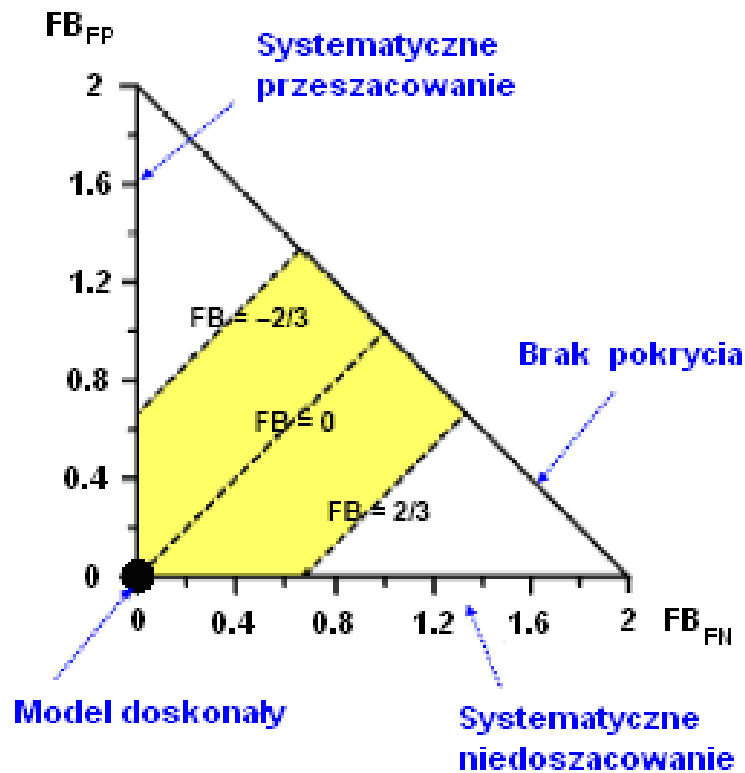
C_o – stężenie obserwowane,

$\alpha, \beta > 0$ – parametry.

Nawet w przypadku gdy $R=1$ może okazać się, że badany model nie jest identyczny z obserwacją. Z tego powodu korelacja wynosząca 1 jest wskazana, aczkolwiek niewystarczająca aby uznać dwa modele za perfekcyjnie dopasowane. Badania wykazały, że współczynnik korelacji jest wrażliwy nawet na małą ilość niezgodnych zmiennych. Oznacza to, że pomimo słabej zgodności C_p od C_o dla szeregu zmiennych o niskich wartościach, występowanie kilku par zmiennych o dużych wartościach znacznie zwiększa współczynnik korelacji [37]. Z tego powodu niektórzy autorzy wykluczają stosowanie R jako współczynnika mogącego być stosowanym w badaniu zgodności modeli [78]. Inne badania wskazują jednak, że w przypadku obliczeń wykonywanych w siatce współrzędnych współczynnik korelacji może być dobrym wskaźnikiem szacowania zgodności modeli [50].

Równanie 5.9 pokazuje, że tradycyjny błąd systematyczny FB może być podzielony na dwie prostopadłe składowe, FB_{FN} i FB_{FP} , gdzie różnica między nimi daje oryginalny FB. Diagram zależności pomiędzy FB, FB_{FN} i FB_{FP} przedstawia rysunek 5.2. Przerywane

linie pokazują strefę pomiędzy $FB=2/3$ i $FB=-2/3$ (czyli obszar pomiędzy dwukrotnym niedoszacowaniem a dwukrotnym przeszacowaniem rzeczywistych stężeń).



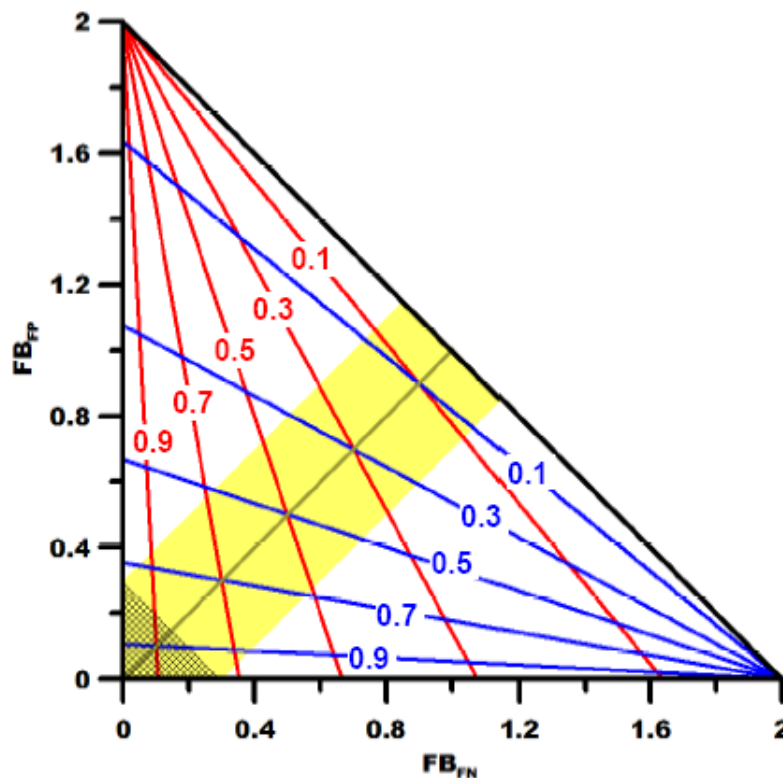
Rys. 5.2. Przedstawienie zależności pomiędzy FB , FB_{FN} i FB_{FP} [38]

Na podstawie rysunku 5.2 można zauważyć następujące właściwości [12]:

- diagram pokrywa trójkątny obszar, ponieważ FB_{FN} i $FB_{FP} \leq 2$,
- idealny model powinien być zlokalizowany w początku diagramu gdzie: $(FB_{FN}, FB_{FP}) = (0,0)$,
- kompensacja błędów może być łatwo wykryta dzięki diagramowi, nawet w przypadku gdy model całkowicie różni się od obserwacji np. $A_P \cap A_O = 0$ i $A_{FN} = A_{FP}$, FB wyniesie wtedy 0 (czyli idealnie) natomiast $(FB_{FN}, FB_{FP}) = (1,1)$ będzie bardzo dalekie od idealnego modelu, w którym (FB_{FN}, FB_{FP}) powinno wynosić $(0,0)$,
- przeciwprostokątna trójkąta oznacza sytuację, w której nie model i obserwacje nie pokrywają się w żadnym punkcie, tzn. gdy przewidywania wynoszą 0 obserwacje są większe od zera lub odwrotnie,
- oś x diagramu oznacza, że stężenia obliczane są systematycznie niższe niż obserwowane,

- oś y diagramu oznacza, że stężenia obliczane są systematycznie wyższe niż obserwowane,
- punkt $(FB_{FN}, FB_{FP}) = (2,0)$ oznacza, że stężenia obserwowane są większe od zera natomiast modelowane wynoszą dokładnie 0,
- punkt $(FB_{FN}, FB_{FP}) = (0,2)$ oznacza, że stężenia obserwowane wynoszą zero natomiast modelowane są skończone (większe od zera).

Podobny diagram można stworzyć dla dwuwymiarowej miary efektywności MOE, którą jak wykazano w równaniach 5.17 i 5.18 można przedstawić jako funkcję FB, FB_{FN} , FB_{FP} [5m]. Rysunek 5.3 przedstawia zależności FB_{FN} , FB_{FP} i MOE_{FN} (czerwona linia), MOE_{FP} (niebieska linia). Można zauważyć, że $MOE_{FN} = 1$ jest asymptotyczny do $FB_{FN} = 0$ natomiast $MOE_{FP} = 1$ jest asymptotyczny do $FB_{FP} = 0$. Żółty obszar określa strefę „dobrego” modelu, w którym FB nie przekracza 0.3. Dodatkowo obszar zakreskowany pokazuje obszar w którym zarówno FB_{FN} jak i FB_{FP} jest mniejsze od 0.3. Warunek ten jest znacznie bardziej rygorystyczny.



Rys. 5.3. Przedstawienie zależności pomiędzy FB_{FN} , FB_{FP} , MOE_{FN} (czerwona linia) i MOE_{FP} (niebieska linia) [38]

5.3.3 Interpretacja wybranych wskaźników statystycznych

Wskaźniki takie jak FB, MG, NMSE czy VG zdefiniowane w równaniach 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 w sposób ilościowy określają zgodność modelu. Jednak trudno jest zinterpretować co oznaczają poszczególne wartości tych wskaźników. Z tego powodu rekomenduje się przedstawienie ich w postaci funkcji stężeń przewidywanych i rzeczywistych. Rozdział ten ma za zadanie przybliżyć zrozumienie powyższych wskaźników.

Równanie 5.1 można przedstawić jako:

$$\frac{\overline{C_p}}{\overline{C_o}} = \frac{1 - 0.5 \cdot FB}{1 + 0.5 \cdot FB} \quad (5.20)$$

Wynika z tego, że FB na poziomie 2/3 będzie odpowiadało dwukrotnemu niedoszacowaniu rzeczywistego stężenia (stosunek 1 do 2), natomiast FB = -2/3 dwukrotnemu przeszacowaniu (stosunek 2 do 1).

W celu interpretacji NMSE należy przyjąć założenie, że C_p i C_o są stałymi, wtedy równanie 5.3 można przekształcić w następujący sposób:

$$\frac{\overline{C_p}}{\overline{C_o}} = \frac{2 + NMSE \pm \sqrt{(2 + NMSE)^2 - 4}}{2} \quad (5.21)$$

Ponieważ NMSE wiąże kwadrat różnicy pomiędzy C_p i C_o nie jest możliwe rozróżnienie pomiędzy rozróżnienie niedoszacowania bądź przeszacowania modelu w stosunku do obserwacji. Przykładowo, NMSE = 0.5 odpowiada dwukrotnemu niedoszacowaniu bądź przeszacowaniu.

Równanie 5.2 można przedstawić jako:

$$\frac{\langle C_p \rangle}{\langle C_o \rangle} = \frac{1}{MG} \quad (5.22)$$

gdzie:

$\langle C_p \rangle$ - geometryczna średnia C_p ,

$\langle C_o \rangle$ - geometryczna średnia C_o .

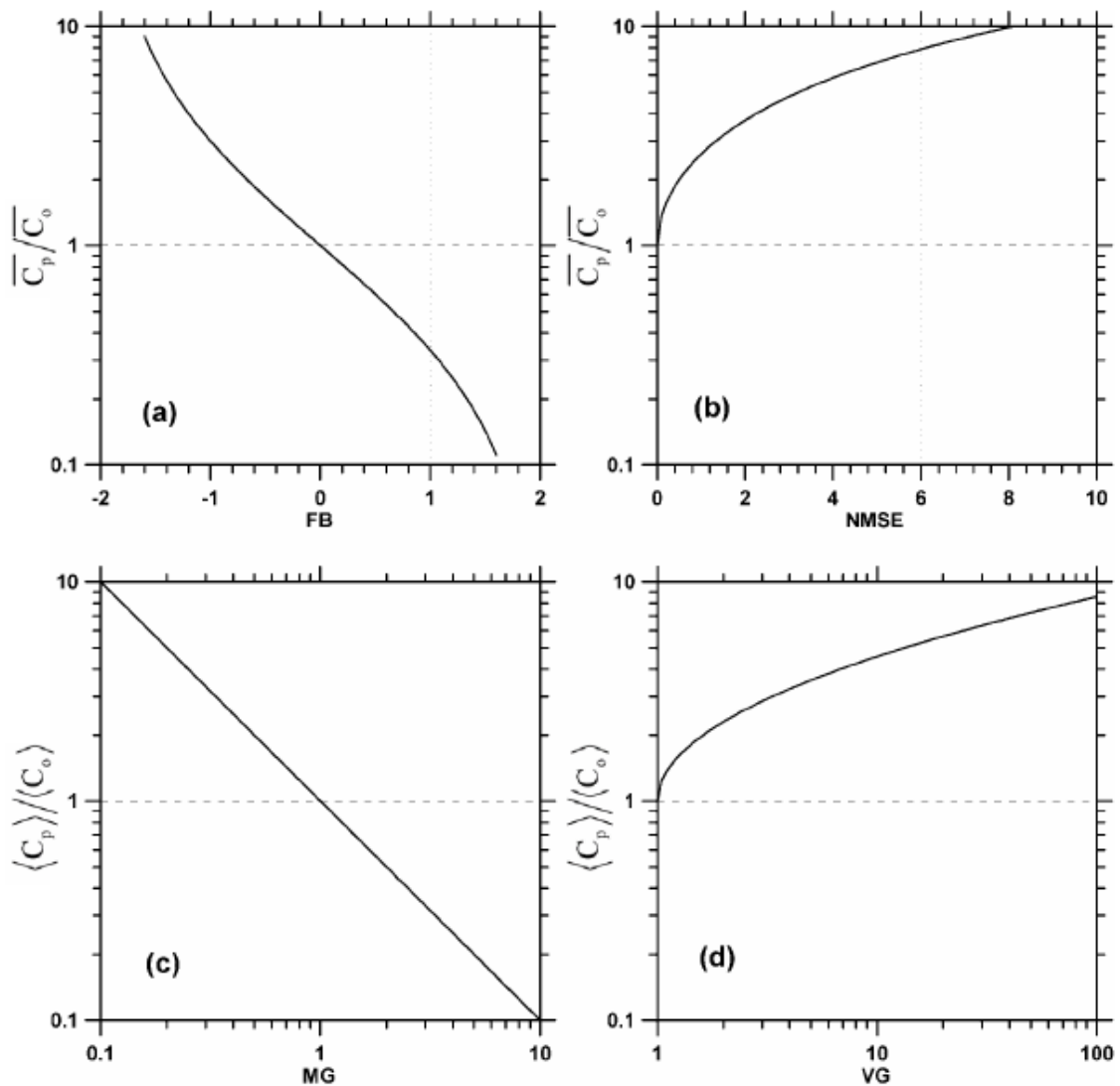
W rezultacie MG = 3 świadczy o trzykrotnym średnim niedoszacowaniu.

W celu interpretacji geometrycznej średnie wariancji VG należy przyjąć założenie, że stosunek C_p do C_o jest stałą, wtedy stosunek ich średnich geometrycznych jest również stałą. Wtedy równanie 5.4 może być przekształcone:

$$\frac{\langle C_P \rangle}{\langle C_O \rangle} = \exp[\pm \sqrt{\ln VG}] \quad (5.23)$$

Co oznacza, że dwukrotne niedoszacowanie bądź przeszacowanie średnich geometrycznych będzie odpowiadało VG na poziomie 1.6.

Rysunek 5.4 przedstawia powyższe zależności pomiędzy C_P i C_O a FB, NMSE, MG i VG opisanymi równaniami 5.20 – 5.23. Należy pamiętać, że z powodu przyjętych założeń wzory 5.21 i 5.23 nie są wzorami ścisłymi a jedynie pewnym przybliżeniem ułatwiającym interpretację wskaźników.



Rys. 5.4. Wykres zależności $\overline{C_P}/\overline{C_O}$ i FB (a), $\overline{C_P}/\overline{C_O}$ i NMSE (b), $\langle C_P \rangle / \langle C_O \rangle$ i MG (c), $\langle C_P \rangle / \langle C_O \rangle$ i VG (d) [12]

Podsumowując należy ustalić, jakie wartości powyższych wskaźników są wystarczające aby uznać, że badane modele są wystarczająco dobre (nie odbiegają zanedo od wartości odniesienia). Jako modele „dobre” bądź „akceptowalne”, można wskazać te, które spełniają następujące warunki [11, 38]:

- FAC2 powinien wynosić co najmniej 0.5, co oznacza, że ponad połowa wyników modelowania nie przekracza dwukrotnego przeszacowania i niedoszacowania,
- $-0.35 \leq FB \leq 0.35$,
- $0.7 \leq MB \leq 1.3$,
- $NMSE < 1.5$,
- $VG < 4$.

6. OKREŚLENIE WPLYWU POSZCZEGÓLNYCH CZYNNIKÓW NA WYNIKI OBLICZEŃ MODELOWANIA

Część badawcza miała na celu określenie wpływu poszczególnych czynników takich jak ilość i rodzaj danych meteorologicznych, rodzaj i rzeźba terenu, szczegółowość opisu pola emisji itd. na wyniki obliczeń modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu. Obliczenia wykonywano w siatce 40km x 40km z rozdzielczością 1km na 1km założonej na rzeczywistym terenie okolic Bielska-Białej. Lokalizacja ta podyktowana była bardzo ciekawą lokalizacją miasta u podnóża Beskidów. Szczegółowa metodyka, w oparciu o którą zebrano informację o tym terenie opisana została w rozdziale 5.1.1. Źródłem emisji był emitator punktowy zlokalizowany w okolicy środka siatki obliczeniowej.

6.1. CZYNNIKI METEOROLOGICZNE

Pierwszym etapem badań było określenie wpływu ilości danych meteorologicznych na wyniki obliczeń rozkładu stężeń zanieczyszczeń. Celem była optymalizacja ilości danych meteorologicznych niezbędnych do wykonania obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza. Właściwe określenie ilości danych meteorologicznych jest bardzo ważnym procesem w modelowaniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, zbyt mała ich ilość może spowodować błędne wyznaczenie pola emisji, natomiast zbyt duża ich ilość może wiązać się z poniesieniem wysokich nakładów zarówno finansowych (zakup danych) jak i czasowych (przygotowanie i obróbka danych).

6.1.1 Dane wejściowe

Dane meteorologiczne pochodziły zarówno ze stacji naziemnych jak i aerologicznych. Lokalizacja wszystkich wykorzystywanych stacji przedstawia tabela 6.1.

Tabela 6.1. Parametry stacji meteorologicznych i aerologicznych

Id stacji	Nazwa stacji	Współrzędna X [km]	Współrzędna Y [km]	Wys. anem. [m]
12566	Kraków	414.143	5548.215	14
12560	Katowice	359.496	5566.061	14
11111	Bielsko-Biała	358.078	5519.758	14
12374	Legionów	497.279	5805.530	-
12425	Wrocław	215.833	5744.603	-
11520	Praga	31.000	5560.900	-
11952	Poprad	449.562	5431.020	-

Obliczenia rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń wykonano dla emitorów punktowych o wysokościach: 5, 20, 50, 100, 200 m.

Wysokości emitorów wybrano tak, aby reprezentowały 3 grupy emitorów:

- niskie (5m, 20m),
- średnie (50m),
- wysokie (100m, 200m).

Wszystkie emitery zlokalizowano w tym samym punkcie o współrzędnych (360.0, 5518.0), wysokość podstawy 420 m n.p.m. Emisja SO₂ dla każdego z emitorów wynosiła 100 g/s, przy założeniu stałej temperatury gazów odlotowych na poziomie 400 K. Zmienne parametry emitorów takie jak wysokość, średnica i prędkość gazów odlotowych przedstawia tabela 6.2.

Tabela 6.2. Parametry emitorów punktowych

Wysokość emitora [m]	Średnica emitora [m]	Prędkość gazów wylotowych [m/s]
5.0	0.5	5.0
20.0	1.0	10.0
50.0	3.0	12.0
100.0	5.0	15.0
200.0	7.0	15.0

Na podstawie informacji pochodzących ze stacji meteorologicznych wykonano modelowanie rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń dla poszczególnych emitorów. Przyjęto następujące opcje odpowiadające ilości danych meteorologicznych użytych do obliczeń rozkładu stężeń zanieczyszczeń:

1. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 4 aerologiczne (Wrocław, Legionów, Praga, Poprad) - 4up3surf.
2. 2 stacje naziemne (Kraków, Katowice), 4 aerologiczne (Wrocław, Legionów, Praga, Poprad) - 4up2surf.
3. 1 stacja naziemna (Bielsko-Biała), 4 aerologiczne (Wrocław, Legionów, Praga, Poprad) - 4up1surf.
4. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 2 aerologiczne (Wrocław, Poprad) - 2pow3surf.
5. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 2 aerologiczne (Legionów, Praga) - 2prl3surf.

6. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Legionów) - leg3surf.
7. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Wrocław) - wroc3surf.
8. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Praga) - pra3surf.
9. 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Poprad) - pop3surf.

W pierwszej kolejności wyznaczono rozkłady 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ dla danych meteorologicznych pochodzących z 3 stacji naziemnych (Kraków, Katowice, Bielsko-Biała) i 4 aerologicznych (Wrocław, Legionów, Praga, Poprad). Wyniki obliczeń wykonane dla tych danych (Opcja 1) stanowiły wzorzec odniesienia dla rozkładów 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń wyznaczonych na podstawie mniejszej ilości danych meteorologicznych.

Opcja 2 (4up2surf) - ma na celu pokazanie możliwości wykorzystywania dalekich naziemnych stacji meteorologicznych do obliczeń stężeń zanieczyszczeń. Przypadek ten ma miejsce, gdy emitory nie znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie stacji meteorologicznych. Obliczenia miały pokazać, czy bez dużego błędu można oszacować rozkłady stężeń zanieczyszczeń w tym przypadku.

Opcja 3 (4up1surf) – ma na celu pokazanie czy uwzględnienie danych meteorologicznych pochodzących ze stosunkowo dalekich odległości istotnie wpływa na rozkład stężeń zanieczyszczeń. W większości opracowań dotyczących obliczeń stanu zanieczyszczeń powietrza uwzględnia się jedynie najbliższą stację meteorologiczną, pomija natomiast dane z pozostałych stacji, które mogą wpływać na rozkład prędkości i kierunku wiatru w siatce obliczeniowej.

Opcja 4 i 5 (2pow3surf, 2prl3surf) – bada wpływ dalekich stacji aerologicznych (zbierających dane o pionowym przekroju atmosfery) na wyniki obliczeń rozkładu stężeń zanieczyszczeń.

Opcje 6 do 9 (leg3surf, wroc3surf, pra3surf, pop3surf) – bada wpływ braku danych meteorologicznych pochodzących ze stacji aerologicznych w zależności od lokalizacji stacji. Założono kompletność danych pochodzących z naziemnych stacji meteorologicznych i informację pochodzącą tylko z jednej stacji aerologicznej (pionowy przekrój atmosfery).

6.1.2 Wyniki obliczeń

Dla każdej z opcji opisanych we wcześniejszym rozdziale, wykonano mapy rozkładów 1-godzinnych stężeń maksymalnych. Jako kryterium oceny jakości modelowania przyjęto podobieństwo kształtu rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń dla poszczególnych opcji obliczeniowych. Wszystkie mapy rozkładów przedstawione są na rysunkach 6.1 – 6.45.

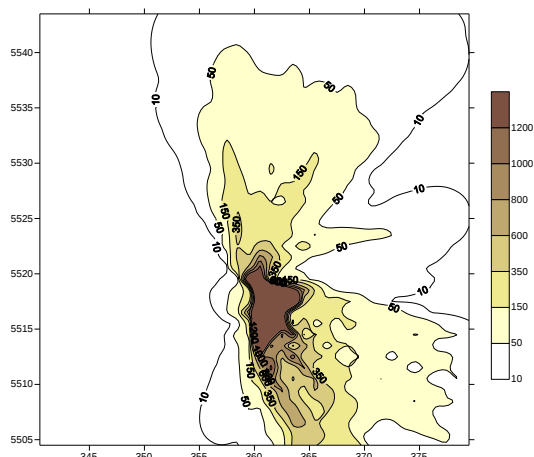
Rysunki 6.1 – 6.9 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punktowego o wysokości $h=5\text{m}$ w zależności od przyjętej opcji. Największe podobieństwo w kształcie rozkładu w stosunku do rysunku bazowego 6.1 wykazują: rys. 6.2 (opcja 2 – pominięcie najbliższej naziemnej stacji meteorologicznej), rys. 6.3 (opcja 3 – pominięcie dalekich naziemnych stacji meteorologicznych), rys. 6.4 (opcja 4 - uwzględniająca 2 aerologiczne we Wrocławiu i Popradzie), rys. 6.9 (opcja 9 – uwzględniająca wszystkie stacje naziemne i 1 stację aerologiczną w Popradzie). Z zestawienia tego wynika, że w przypadku niskiego emitora pominięcie, którejś ze stacji naziemnej nie wpływa znacząco na kształt rozkładu 1-godzinnych stężeń maksymalnych. Dodatkowo okazało się, że w przypadku nie posiadania kompletnej informacji ze stacji aerologicznych możliwe jest stosunkowo dobre odzwierciedlenie kształtu rozkładu stężeń. Przypadek ten miał miejsce tylko dla danych pochodzących z Popradu bądź Popradu i Wrocławia jednocześnie. Najgorszym dopasowaniem charakteryzowały się rozkłady pochodzące z opcji 6 (komplet naziemnych stacji meteorologicznych, 1 stacja aerologiczna w Legionowie) i 8 (komplet naziemnych stacji meteorologicznych, 1 stacja aerologiczna w Pradze).

Rysunki 6.10 – 6.18 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punktowego o wysokości $h=20\text{m}$ w zależności od przyjętej opcji. Podobnie jak w przypadku emitora o wysokości 5m największe podobieństwo w kształcie rozkładu w stosunku do rysunku bazowego 6.10 wykazują: rys. 6.11 (opcja 2 – pominięcie najbliższej naziemnej stacji meteorologicznej), rys. 6.12 (opcja 3 – pominięcie dalekich naziemnych stacji meteorologicznych), rys. 6.13 (opcja 4 - uwzględniająca 2 aerologiczne we Wrocławiu i Popradzie), rys. 6.18 (opcja 9 – uwzględniająca wszystkie stacje naziemne i 1 stację aerologiczną w Popradzie). Również najgorszym dopasowaniem charakteryzowały się rozkłady pochodzące z opcji 6 (komplet naziemnych stacji meteorologicznych, 1 stacja aerologiczna w Legionowie, rys. 6.15) i 8 (komplet naziemnych stacji meteorologicznych, 1 stacja aerologiczna w Pradze, rys. 6.17).

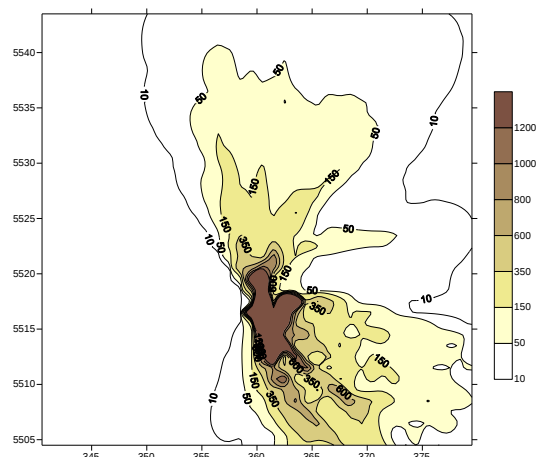
Rysunki 6.19 – 6.27 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punkowego o wysokości $h=50\text{m}$ w zależności od przyjętej opcji. Tak jak w przypadku emitatorów o wysokości 5m i 20m największe podobieństwo w kształcie rozkładu w stosunku do rysunku bazowego 6.19 wykazują: rys. 6.20 (opcja 2 – pominięcie najbliższej naziemnej stacji meteorologicznej), rys. 6.21 (opcja 3 – pominięcie dalekich naziemnych stacji meteorologicznych), rys. 6.22 (opcja 4 - uwzględniająca 2 stacje aerologiczne we Wrocławiu i Popradzie) przy czym wyraźnie zmienił się obszar występowania podwyższonych stężeń, nieco gorzej natomiast było w przypadku rys. 6.27 (opcja 9 – uwzględniająca wszystkie stacje naziemne i 1 stację aerologiczną w Popradzie). Niezmiennie najgorszym dopasowaniem charakteryzowały się rozkłady pochodzące z opcji 6 (komplet naziemnych stacji meteorologicznych, 1 stacja aerologiczna w Legionowie, rys. 6.24) i 8 (komplet naziemnych stacji meteorologicznych, 1 stacja aerologiczna w Pradze, rys. 6.26), a także dodatkowo opcji 5 (uwzględniająca 2 stacje aerologiczne we Legionowie i Pradze).

Rysunki 6.28 – 6.36 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punkowego o wysokości $h=100\text{m}$ w zależności od przyjętej opcji. Dla tak wysokiego emitora kształt rozkładu stężeń dla opcji pierwszej pozostał podobny jedynie w przypadku opcji 2 (rys. 6.29) i opcji 3 (rys. 6.30). Przy czym obszar wysokich stężeń w przypadku opcji drugiej nie pokrył się z opcją 1. Największe różnice wystąpiły dla rozkładów stężeń wyznaczonych przy braku danych ze stacji aerologicznych (odpowiadających za dane z wyższych partii atmosfery).

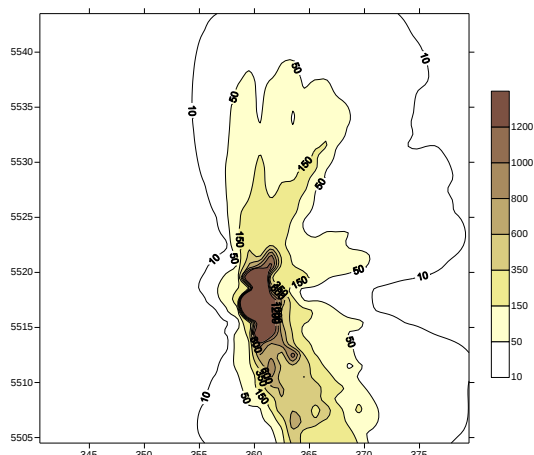
Rysunki 6.37 – 6.45 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punkowego o wysokości $h=200\text{m}$ w zależności od przyjętej opcji. Dla tego emitora zaobserwowano podobne zależności jak w przypadku emitora 100m. Jakikolwiek braki w danych pochodzących ze stacji aerologicznych powodowały znaczący spadek „zgodności” kształtu smugi i obszaru wysokich stężeń. Praktycznie wszystkie opcje znacznie różniły się od przyjętej opcji odniesienia, z wyjątkiem opcji 2 (rys. 6.38) i opcji 3 (rys. 6.39).



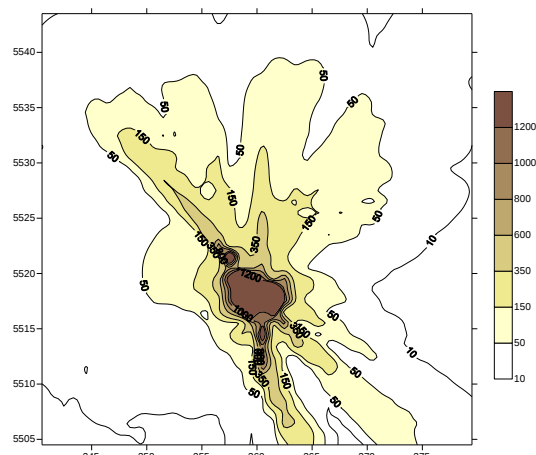
Rys. 6.1. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 3surf, emitor punktowy h=5)



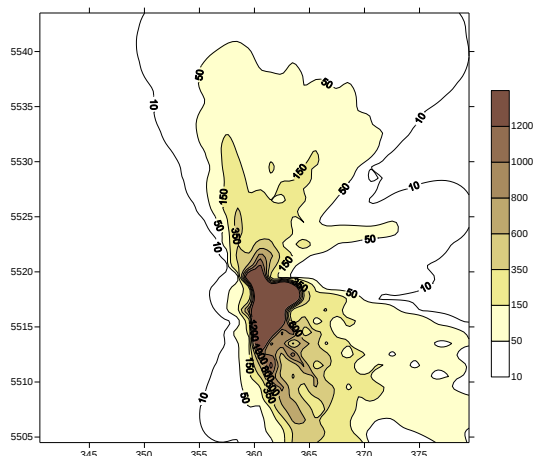
Rys. 6.4. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 2pow 3surf, emitor punktowy h=5)



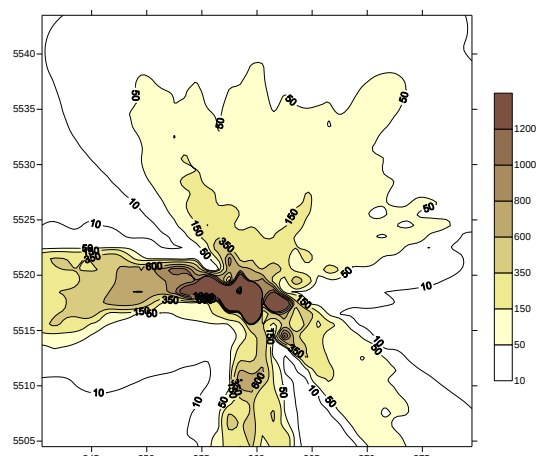
Rys. 6.2. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 2surf, emitor punktowy h=5)



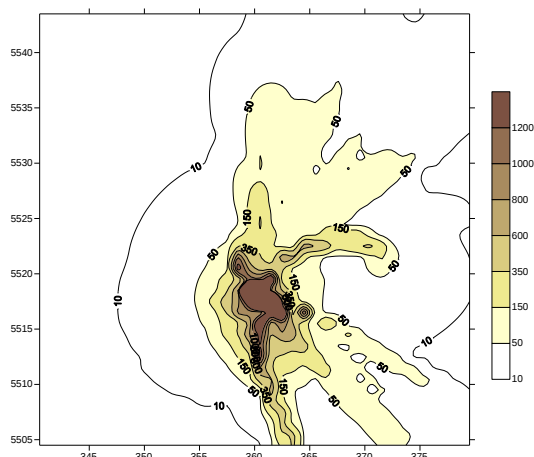
Rys. 6.5. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 2prl 3surf, emitor punktowy h=5)



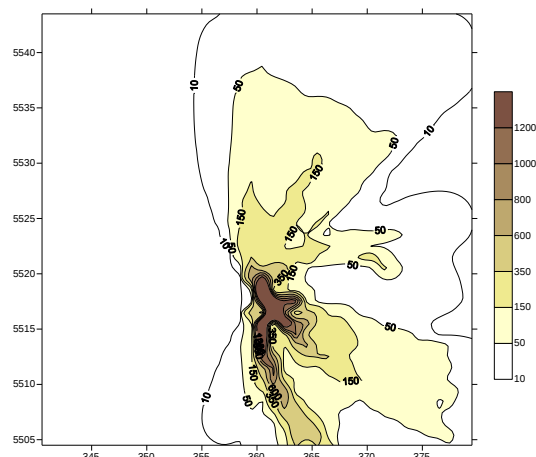
Rys. 6.3. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 1surf, emitor punktowy h=5)



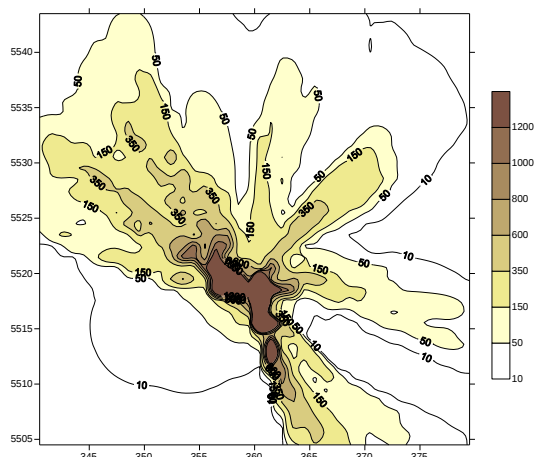
Rys. 6.6. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - leg 3surf, emitor punktowy h=5)



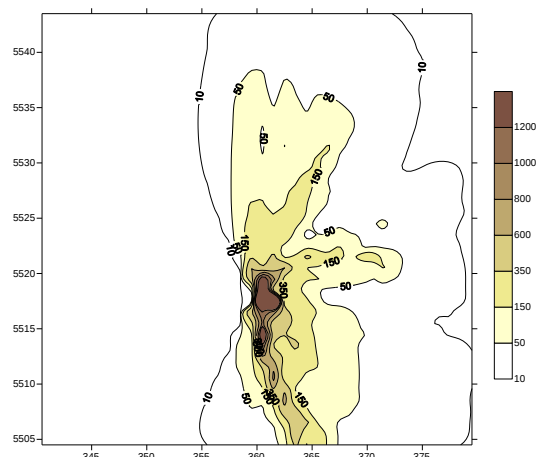
Rys. 6.7. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - wroc 3surf, emitor punktowy h=5)



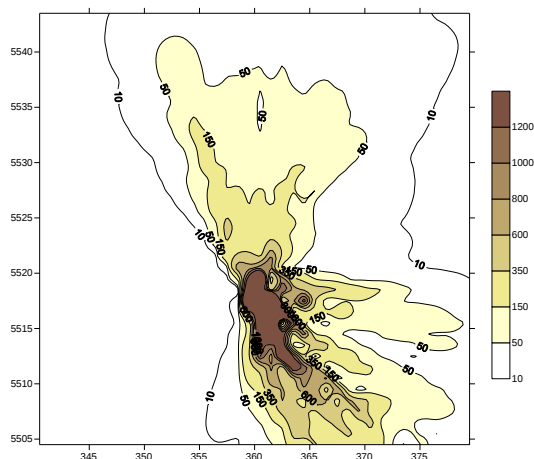
Rys. 6.10. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 3surf, emitor punktowy h=20)



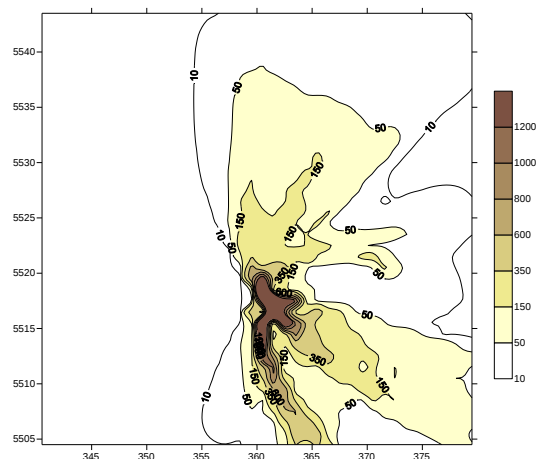
Rys. 6.8. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - prag 2surf, emitor punktowy h=5)



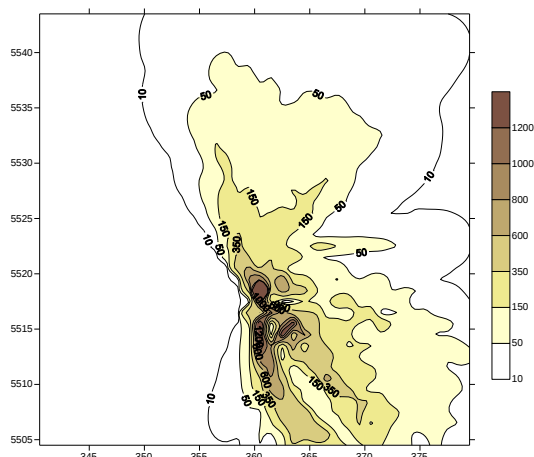
Rys. 6.11. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 2surf, emitor punktowy h=20)



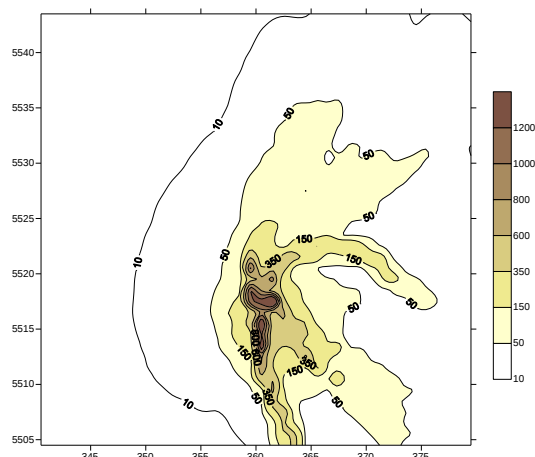
Rys. 6.9. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - pop 1surf, emitor punktowy h=5)



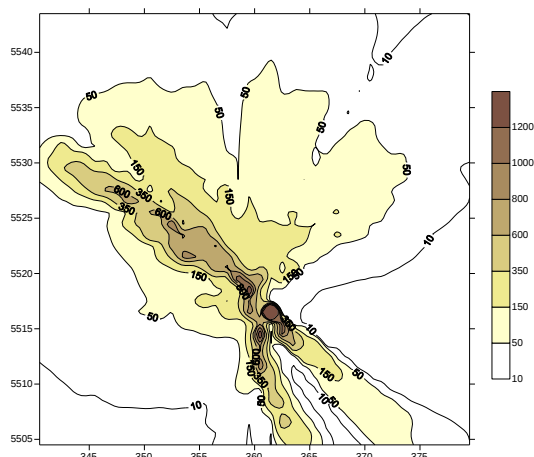
Rys. 6.12. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 1surf, emitor punktowy h=20)



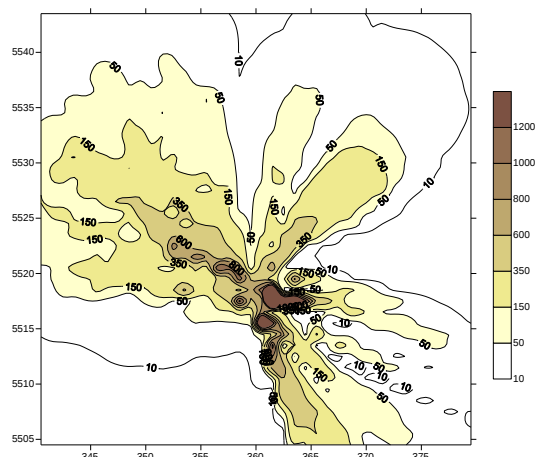
Rys. 6.13. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne – 2pow 3surf, emitor punktowy h=20)



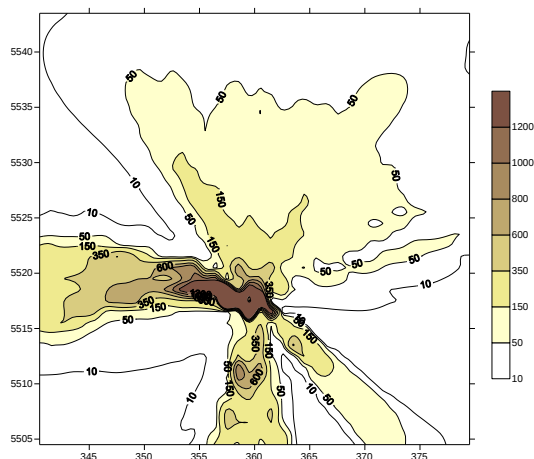
Rys. 6.16. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - wroc 3surf, emitor punktowy h=20)



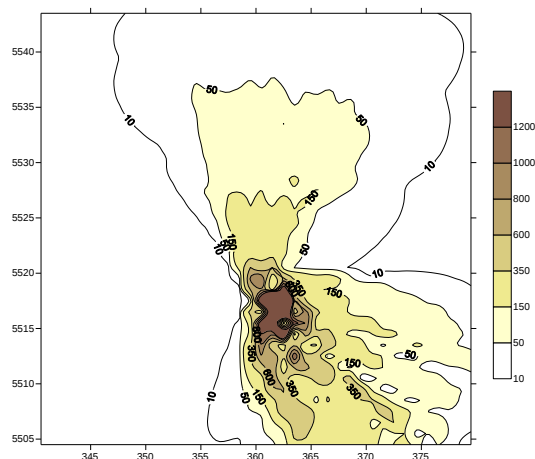
Rys. 6.14. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne – 2prl 3surf, emitor punktowy h=20)



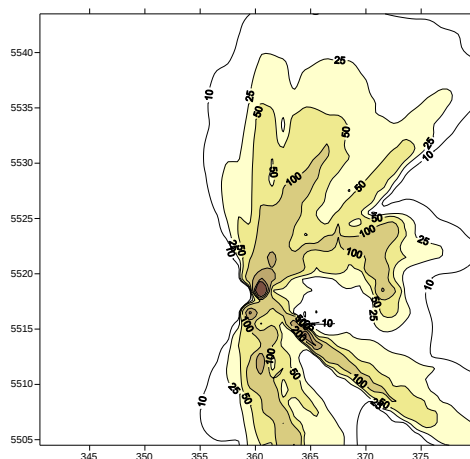
Rys. 6.17. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - pra 3surf, emitor punktowy h=20)



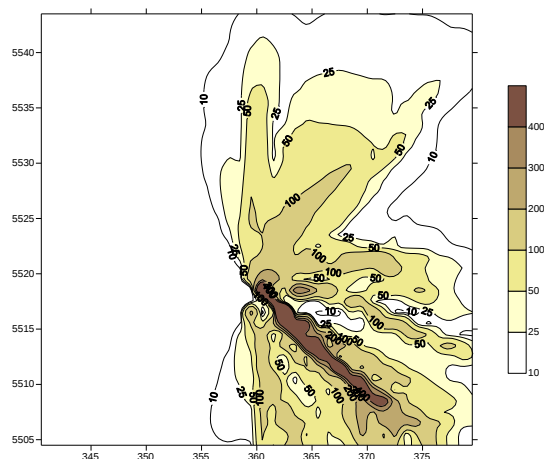
Rys. 6.15. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne – leg 3surf, emitor punktowy h=20)



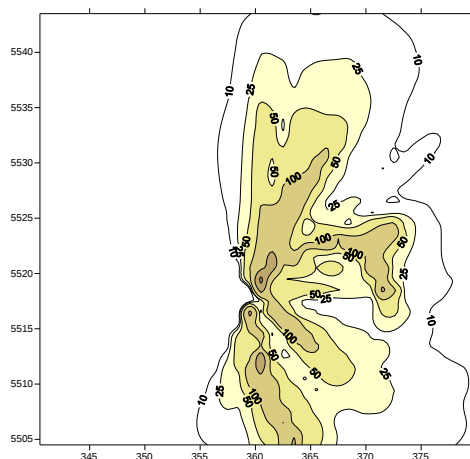
Rys. 6.18. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - pop 3surf, emitor punktowy h=20)



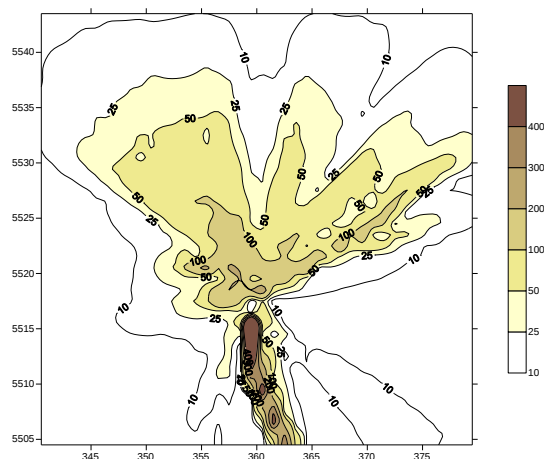
Rys. 6.19. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 3surf, emitor punktowy h=50)



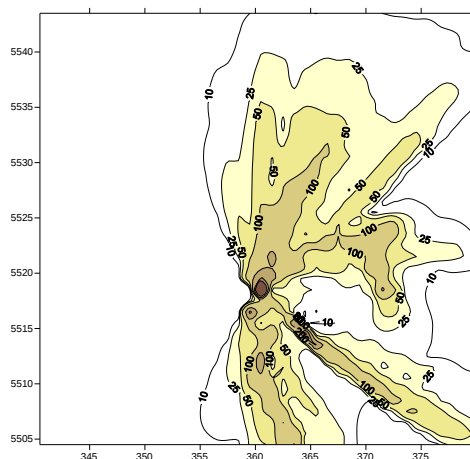
Rys. 6.22. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 2pow 3surf, emitor punktowy h=50)



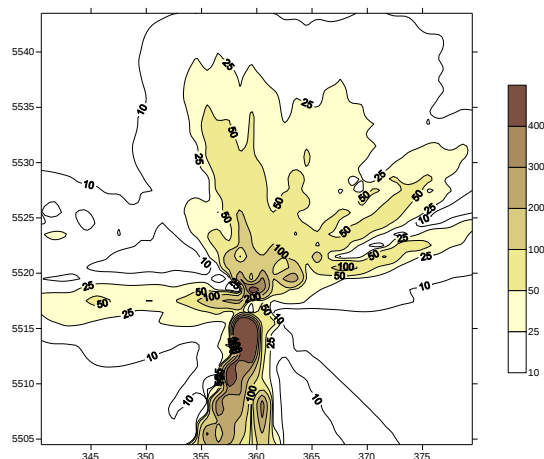
Rys. 6.20. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 2surf, emitor punktowy h=50)



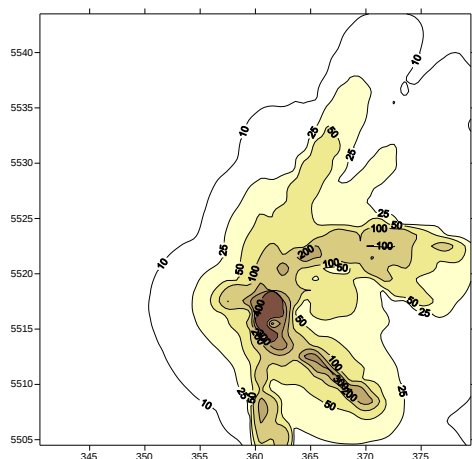
Rys. 6.23. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 2prl 3surf, emitor punktowy h=50)



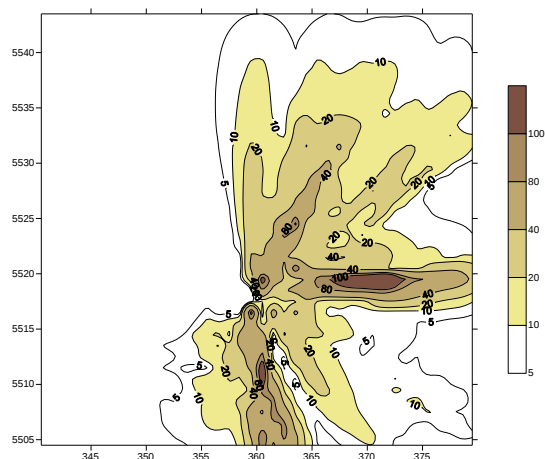
Rys. 6.21. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 1surf, emitor punktowy h=50)



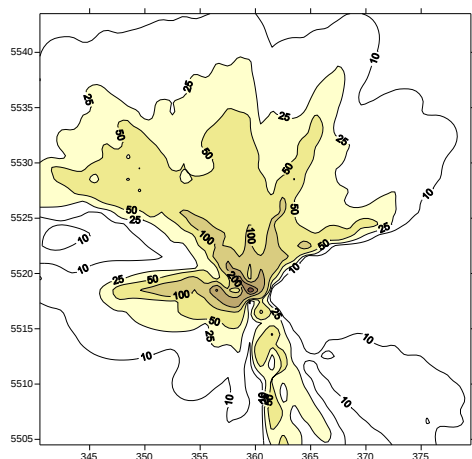
Rys. 6.24. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - leg 3surf, emitor punktowy h=50)



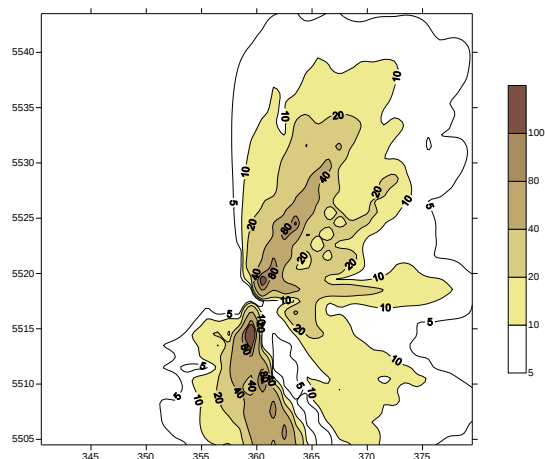
Rys. 6.25. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - wroc 3surf, emitor punktowy h=50)



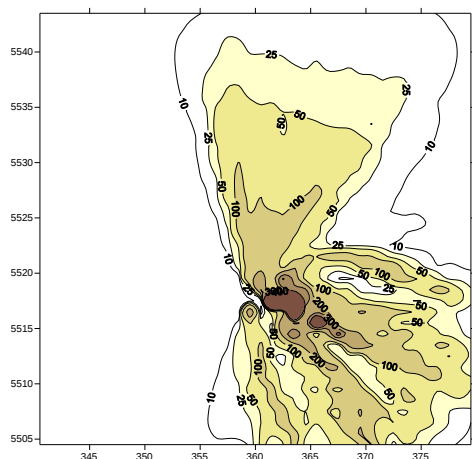
Rys. 6.28. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 3surf, emitor punktowy h=100)



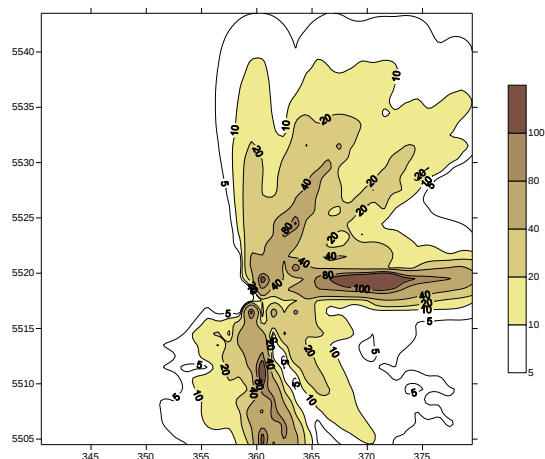
Rys. 6.26. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - prag 2surf, emitor punktowy h=50)



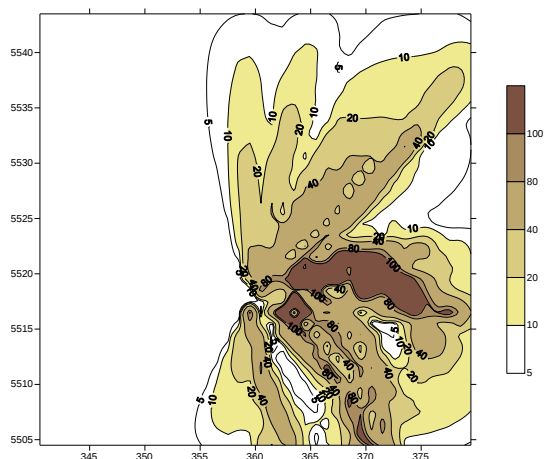
Rys. 6.29. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 2surf, emitor punktowy h=100)



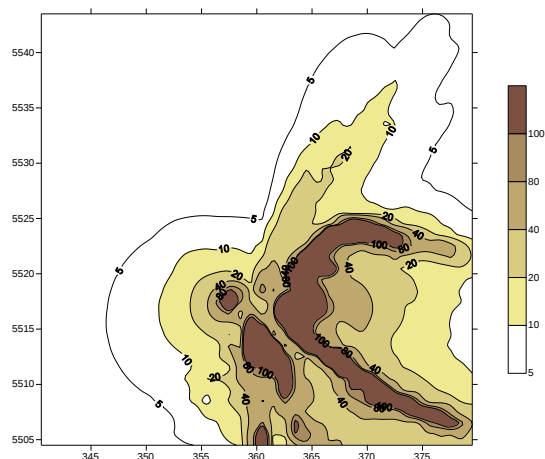
Rys. 6.27. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - pop 1surf, emitor punktowy h=50)



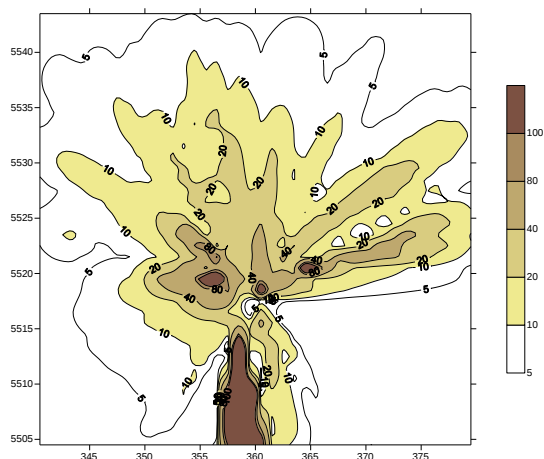
Rys. 6.30. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 1surf, emitor punktowy h=100)



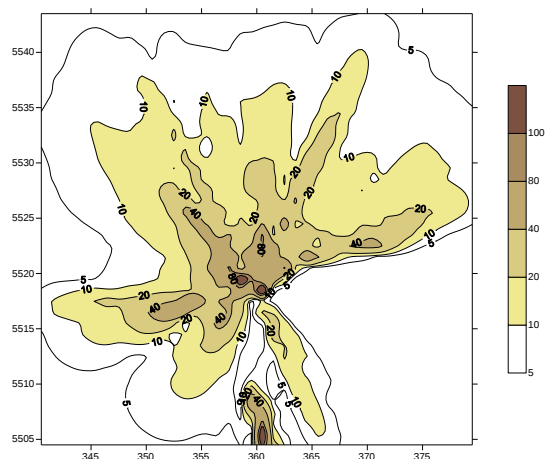
Rys. 6.31. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne – 2pow 3surf, emitor punktowy h=100)



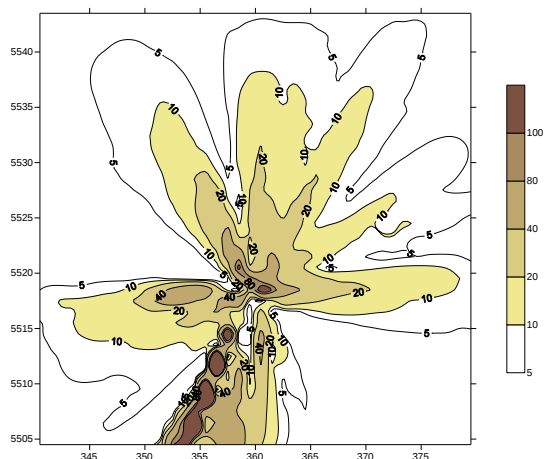
Rys. 6.34. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - wroc 3surf, emitor punktowy h=100)



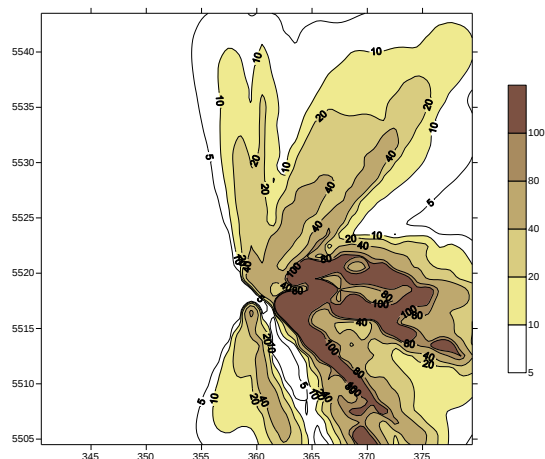
Rys. 6.32. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne – 2prl 3surf, emitor punktowy h=100)



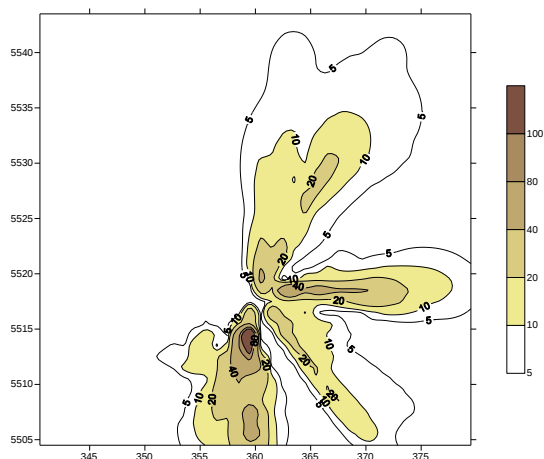
Rys. 6.35. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - pra 3surf, emitor punktowy h=100)



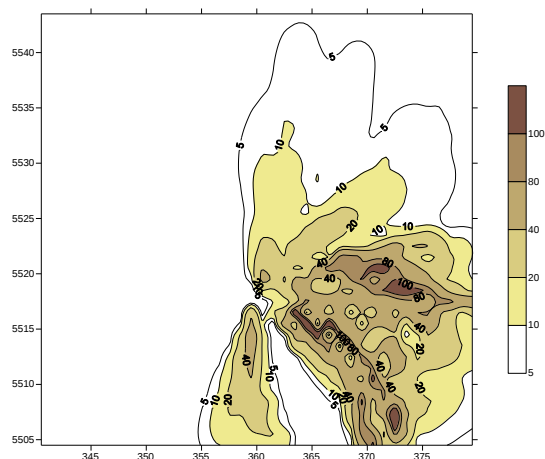
Rys. 6.33. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne – leg 3surf, emitor punktowy h=100)



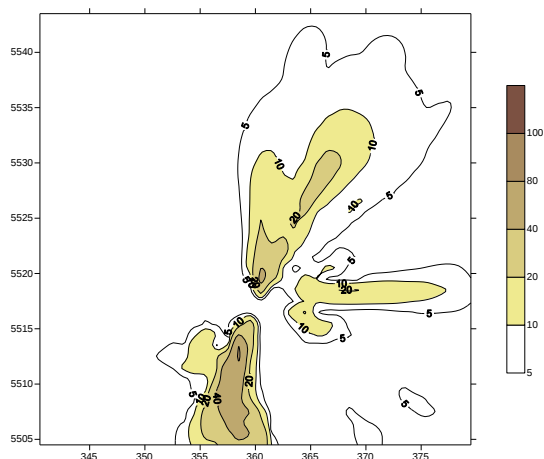
Rys. 6.36. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - pop 3surf, emitor punktowy h=100)



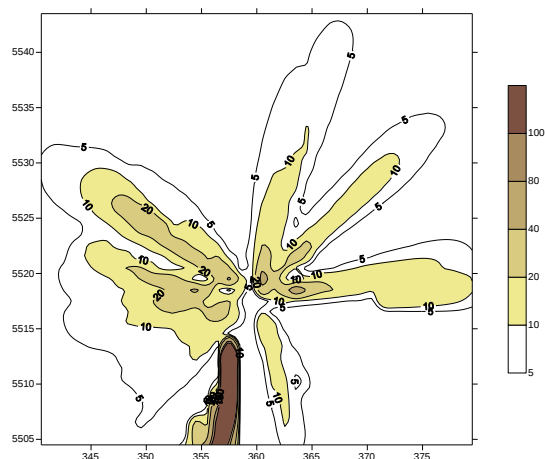
Rys. 6.37. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 3surf, emitor punktowy h=200)



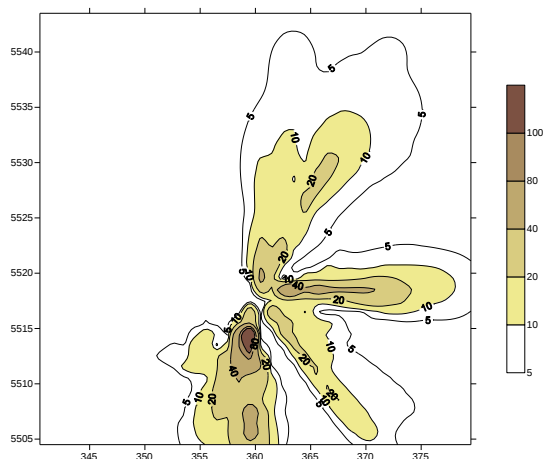
Rys. 6.40. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 2pow 3surf, emitor punktowy h=200)



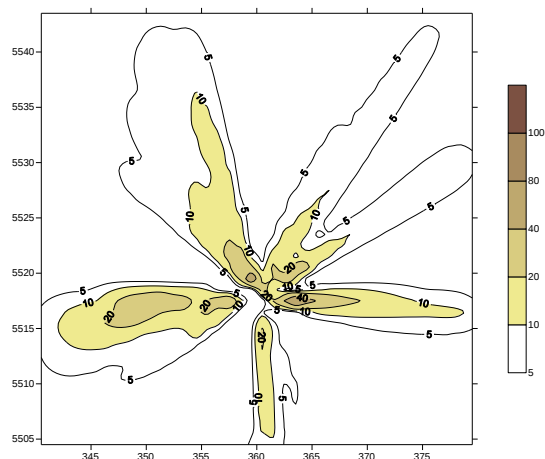
Rys. 6.38. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 2surf, emitor punktowy h=200)



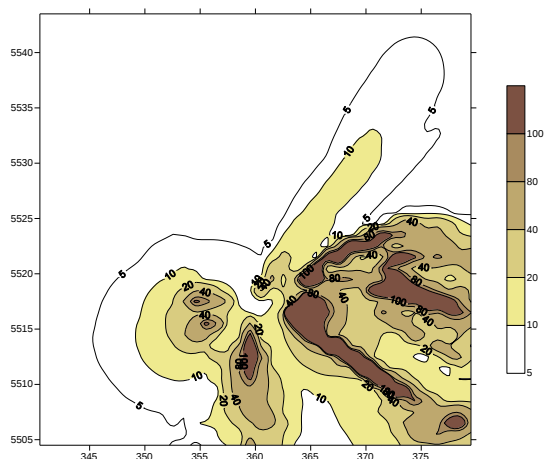
Rys. 6.41. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 2prl 3surf, emitor punktowy h=200)



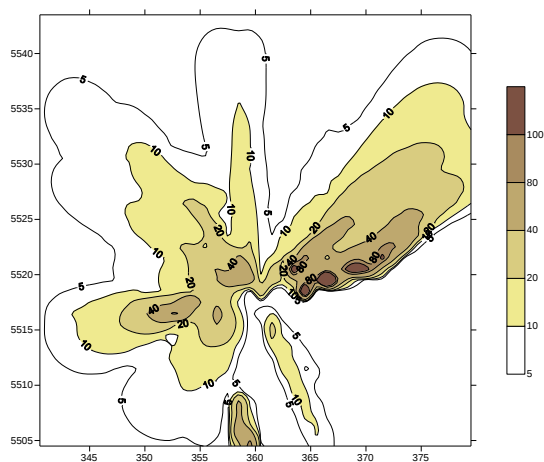
Rys. 6.39. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - 4up 1surf, emitor punktowy h=200)



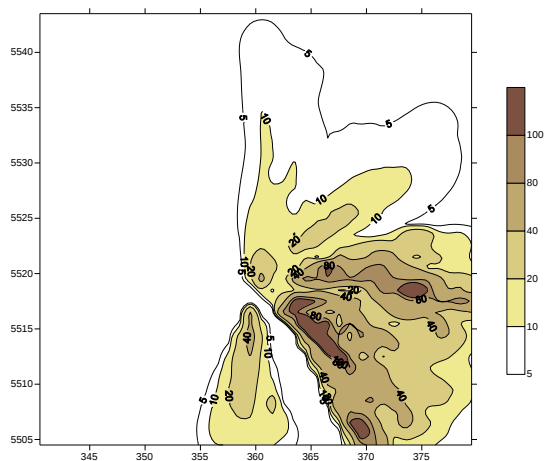
Rys. 6.42. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych, (dane meteorologiczne - leg 3surf, emitor punktowy h=200)



**Rys. 6.43. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych,
(dane meteorologiczne - wroc 3surf, emitor punktowy h=200)**



**Rys. 6.44. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych,
(dane meteorologiczne - prag 2surf, emitor punktowy h=200)**



**Rys. 6.45. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych,
(dane meteorologiczne - pop 1surf, emitor punktowy h=200)**

6.1.3 Analiza statystyczna

W celu znalezienia liczbowych zależności pomiędzy rozkładami stężeń zanieczyszczeń wyznaczonymi dla różnych danych meteorologicznych, wyliczono szereg wskaźników statystycznych. Dla każdej z opcji wyznaczono takie statystyki jak: błąd systematyczny (FB), geometryczny błąd średni (MG), względne odchylenie standardowe (NMSE), geometryczną średnią wariancję (VG), współczynnik korelacji (R), wskaźnik charakteryzujący jakość modelu (FAC2), średnią, odchylenie standardowe, maksimum, a także ujemny komponent FB (FB_{FN}), dodatni komponent FB (FB_{FP}), ujemny komponent MG (MG_{FN}), dodatni komponent MG (MG_{FP}), dwuwymiarową miarę efektywności MOE (MOE_{FN} , MOE_{FP}). Tabele 6.3 – 6.7 przedstawiają zestawienie powyższych wskaźników statystycznych wyznaczonych na podstawie rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń.

Tabela 6.3 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od ilości danych emitora punktowego o wysokości $h=5m$ w zależności od przyjętej opcji.

Największą zgodność z wzorcem (4up3surf) dla błędu systematycznego (FB) odnotowano dla opcji 4up1surf ($FB=-0.02$), została ona dodatkowo potwierdzona niskimi wartościami jej ujemnego i dodatniego komponentu ($FB_{FN}=0.03$, $FB_{FP}=0.05$). Poniżej krytycznej wartości $-0.35 \leq FB \leq 0.35$ znalazły się prawie wszystkie opcje (za wyjątkiem pra3surf) z wartościami: pop3surf ($FB=-0.07$, $FB_{FN}=0.25$, $FB_{FP}=0.32$), 2pow3surf ($FB=-0.08$, $FB_{FN}=0.19$, $FB_{FP}=0.26$), wroc3surf ($FB=0.10$) zgodność ta nie została jednak potwierdzona jej dodatnim i ujemnym ($FB_{FN}=0.49$, $FB_{FP}=0.39$), 4up2surf ($FB=0.24$, $FB_{FN}=0.39$, $FB_{FP}=0.15$).

Dla współczynnika korelacji R wartości powyżej 0.7 osiągnęły jedynie opcje: 4up1surf ($R=0.99$), 2pow3surf ($R=0.78$), pop3surf ($R=0.73$) i 4up2surf ($R=0.71$). Natomiast wskaźnik FAC2 powyżej 0.5 osiągnęły jedynie opcje 4up1surf ($FAC2=0.96$), 2pow3surf ($FAC2=0.73$) i pop3surf ($FAC2=0.56$).

Tabela 6.4 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od ilości danych emitora punktowego o wysokości $h=20m$ w zależności od przyjętej opcji.

Podobnie jak w przypadku emitora o wysokości $h=5m$ największą zgodność z wzorcem dla wszystkich wskaźników odnotowano dla opcji 4up1surf ($FB=-0.05$, Natomiast wskaźnik FAC2 powyżej 0.5 osiągnęły jedynie opcje 4up1surf ($FAC2=0.96$), 2pow3surf ($FAC2=0.73$) i pop3surf ($FAC2=0.56$). Poza granicami krytycznymi dla FB znalazła się

opcja leg3surf (FB=-0.42) i pra3surf (FB=-0.45). Również te dwie opcje charakteryzowały się najgorszym wskaźnikiem korelacji R (odpowiednio $R=0.23$ i $R=0.43$). Najlepszym wskaźnikiem korelacji charakteryzowały się dane obliczeniowe pochodzące z opcji 4up1surf ($R=0.99$), 4up2surf ($R=0.82$), 2pow3surf ($R=0.81$), wroc3surf ($R=0.75$). Wartość wskaźnika FAC2 powyżej 0.5 osiągnęły jedynie opcje 4up1surf (FAC2=1.00) i 4up2surf (FAC2=0.79).

Tabela 6.5 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od ilości danych emitora punkowego o wysokości $h=50m$ w zależności od przyjętej opcji.

Największą zgodność wg FB zanotowano w przypadku opcji 4up1surf (FB=-0.02, $FB_{FN}=0.01$, $FB_{FP}=0.02$) i pra3surf (FB=0.03) zgodność ta nie została jednak potwierdzona jej dodatnim i ujemnym komponentem ($FB_{FN}=0.58$, $FB_{FP}=0.55$). Wskaźnik korelacji przekroczył 0.7 jedynie dla opcji 4up1surf ($R=1.00$) i 4up2surf ($R=0.80$), zgodność ta została potwierdzona wskaźnikiem FAC2, który dla tych opcji wyniósł odpowiednio 1.00 i 0.80.

Tabela 6.6 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od ilości danych emitora punkowego o wysokości $h=100m$ w zależności od przyjętej opcji.

Największą zgodność z przyjętym wzorcem dla błędu statystycznego odnotowano dla opcji 4up1surf (FB=-0.01), została ona dodatkowo potwierdzona niskimi wartościami jej ujemnego i dodatniego komponentu ($FB_{FN}=0.01$, $FB_{FP}=0.02$). Dobry wskaźnik FB charakteryzował również opcję 4up2surf (FB=0.24, $FB_{FN}=0.32$, $FB_{FP}=0.08$). W przypadku pozostałych opcji stosunkowo niski współczynnik FB nie został potwierdzony ujemnym i dodatnim komponentem (np. dla opcji leg3surf FB=0.11 ale $FB_{FN}=0.58$, $FB_{FP}=0.47$). Dla współczynnika korelacji R wartości powyżej 0.7 osiągnęły jedynie opcje: 4up1surf ($R=1.00$), 2pow3surf ($R=0.73$). Również tylko te opcje charakteryzowały się wskaźnikiem FAC2 powyżej 0.5 i tak dla 4up1surf FAC2 wyniósł 1.00, a 4up2surf FAC2=0.85.

Tabela 6.7 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od ilości danych emitora punkowego o wysokości $h=200m$ w zależności od przyjętej opcji.

Największą zgodność wg FB zanotowano w przypadku opcji 4up1surf (FB=-0.01, $FB_{FN}=0.00$, $FB_{FP}=0.01$) i 4up2surf (FB=0.20, $FB_{FN}=0.30$, $FB_{FP}=0.10$). Wskaźnik korelacji przekroczył 0.7 jedynie dla opcji 4up1surf ($R=1.00$) i 4up2surf ($R=0.72$), zgodność ta została potwierdzona wskaźnikiem FAC2, który dla tych opcji wyniósł odpowiednio 1.00 i 0.72.

Tabela 6.3. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od ilości danych meteorologicznych (emitor punktowy h=5m)

Wskaźnik	4up 3surf	4up 2surf	4up 1surf	2pow 3surf	2prl 3surf	leg 3surf	wroc 3surf	pra 3surf	pop 3surf
FB	0	0.24	-0.02	-0.08	-0.24	-0.29	0.10	-0.55	-0.07
MG	1	1.33	0.88	1.43	0.10	0.10	0.19	0.10	1.10
NMSE	0	7.80	0.33	5.43	58.03	21.85	19.44	134.30	5.83
VG	1	8.36	1.38	11.1	4.58E+08	1.31E+09	8.95E+05	1.23E+10	51.5
R	1	0.71	0.99	0.78	0.33	0.21	0.54	0.27	0.73
FAC2	1	0.47	0.96	0.73	0.37	0.38	0.37	0.26	0.56
Średnia	87.9	69.1	90.1	94.9	112.1	118.0	79.3	154.1	94.7
Odch. std.	291.5	276.8	287.0	336.0	800.9	442.1	429.5	1397.3	304.0
Max	4801	5304	4810	5951	27920	10382	13424	54837	5585
FB _{FN}	0	0.39	0.03	0.19	0.40	0.48	0.49	0.34	0.25
FB _{FP}	0	0.15	0.05	0.26	0.64	0.77	0.39	0.89	0.32
MOE _{FN}	1	0.65	0.97	0.81	0.55	0.44	0.53	0.53	0.74
MOE _{FP}	1	0.83	0.95	0.75	0.43	0.33	0.59	0.30	0.69
MG _{FN}	1	1.88	1.03	1.84	1.39	1.42	1.51	1.66	1.91
MG _{FP}	1	1.41	1.16	1.29	13.76	14.56	7.93	16.74	1.74

Tabela 6.4. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od ilości danych meteorologicznych (emitor punktowy h=20m)

Wskaźnik	4up 3surf	4up 2surf	4up 1surf	2pow 3surf	2prl 3surf	leg 3surf	wroc 3surf	pra 3surf	pop 3surf
FB	0	0.23	-0.05	-0.14	-0.28	-0.42	0.17	-0.45	-0.23
MG	1	1.32	0.97	1.62	0.13	0.15	0.21	0.12	1.27
NMSE	0	4.20	0.18	3.01	6.96	13.68	5.27	7.48	7.20
VG	1	1.39	1.01	297	1.97E+08	2.19E+08	5.06E+03	2.14E+08	1.00E+03
R	1	0.82	0.99	0.81	0.50	0.23	0.75	0.43	0.69
FAC2	1	0.79	1.00	0.46	0.32	0.34	0.40	0.23	0.42
Średnia	61.7	49.2	64.7	71.0	82.1	94.3	52.1	97.5	77.8
Odch. s.	195.2	164.4	202.5	166.4	174.7	250.1	129.3	197.7	253.8
Max	3161	3443	3060	3254	3901	4535	1718	3300	6514
FB _{FN}	0	0.34	0.01	0.17	0.40	0.42	0.42	0.39	0.20
FB _{FP}	0	0.11	0.06	0.31	0.68	0.83	0.25	0.84	0.43
MOE _{FN}	1	0.70	0.99	0.82	0.54	0.48	0.62	0.50	0.78
MOE _{FP}	1	0.87	0.94	0.71	0.40	0.31	0.73	0.32	0.62
MG _{FN}	1	1.41	1.00	2.90	1.76	1.86	1.29	1.69	2.83
MG _{FP}	1	1.07	1.04	1.79	13.36	12.21	6.12	14.34	2.23

Tabela 6.5. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od ilości danych meteorologicznych (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	4up 3surf	4up 2surf	4up 1surf	2pow 3surf	2prl 3surf	leg 3surf	wroc 3surf	pra 3surf	pop 3surf
FB	0	0.13	-0.02	-0.42	-0.16	-0.17	-0.21	0.03	-0.39
MG	1	1.12	0.99	2.57	0.30	0.27	0.24	0.24	2.05
NMSE	0	0.94	0.01	5.91	5.25	6.73	12.36	4.03	8.41
VG	1	1.37	1.00	211.00	5.75E+07	1.11E+07	1.19E+03	4.81E+06	222.00
R	1	0.86	1.00	0.53	0.32	0.23	0.31	0.23	0.32
FAC2	1	0.80	1.00	0.48	0.26	0.31	0.33	0.23	0.36
Średnia	25.3	22.3	25.8	38.6	29.8	30.1	31.1	24.6	37.8
Odch. s.	45.4	37.9	46.2	88.2	60.5	66.9	102.6	33.8	92.3
Max	797	330	825	1903	1075	988	3486	486	1874
FB _{FN}	0	0.21	0.01	0.14	0.45	0.45	0.32	0.58	0.22
FB _{FP}	0	0.09	0.02	0.56	0.61	0.62	0.53	0.55	0.61
MOE _{FN}	1	0.80	1.00	0.82	0.51	0.51	0.64	0.43	0.73
MOE _{FP}	1	0.91	0.98	0.54	0.43	0.43	0.52	0.44	0.49
MG _{FN}	1	1.28	1.01	3.53	2.58	2.20	1.33	2.12	3.32
MG _{FP}	1	1.13	1.02	1.37	8.60	8.22	5.43	8.99	1.62

Tabela 6.6. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od ilości danych meteorologicznych (emitor punktowy h=100m)

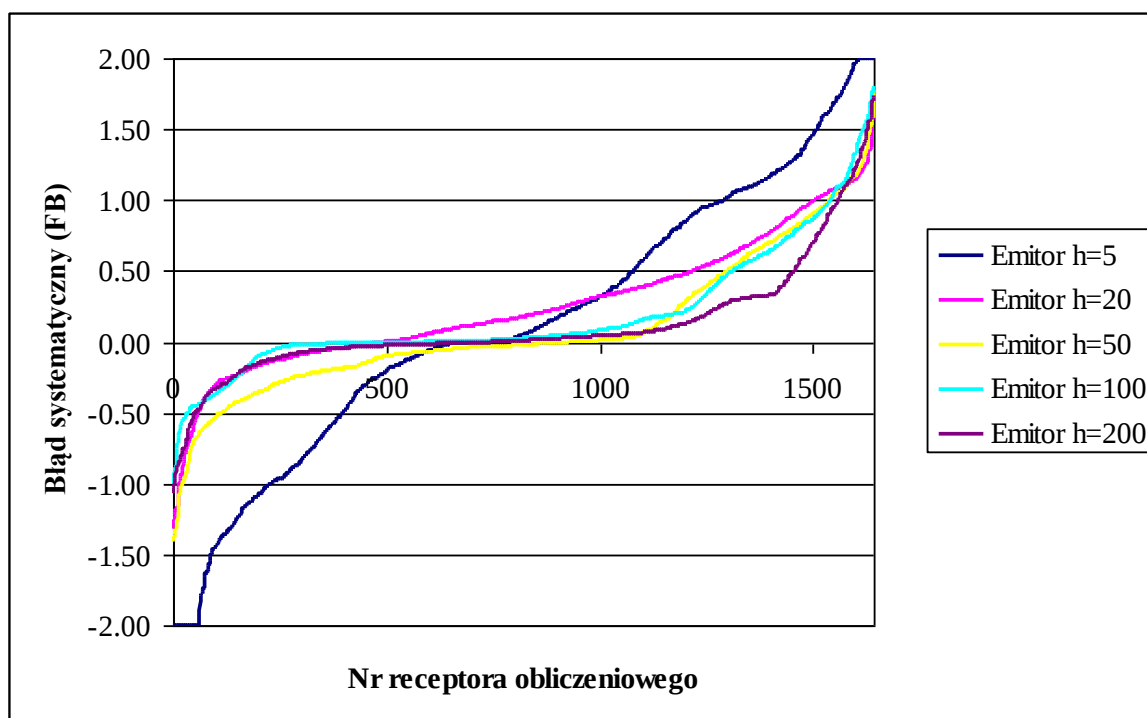
Wskaźnik	4up 3surf	4up 2surf	4up 1surf	2pow 3surf	2prl 3surf	leg 3surf	wroc 3surf	pra 3surf	pop 3surf
FB	0	0.24	-0.01	-0.46	-0.18	0.11	-0.69	0.09	-0.55
MG	1	1.22	1.01	3.87	0.51	0.62	0.35	0.43	3.50
NMSE	0	1.66	0.02	3.38	5.94	4.85	12.35	3.70	6.25
VG	1	1.34	1.01	2.43E+04	4.24E+05	2.93E+04	106.00	2.70E+04	3.36E+04
R	1	0.73	1.00	0.61	0.18	0.20	0.28	0.16	0.42
FAC2	1	0.85	1.00	0.43	0.27	0.33	0.27	0.33	0.36
Średnia	11.5	9.0	11.5	18.2	13.7	10.3	23.6	10.4	20.2
Odch. s.	18.7	14.5	19.3	32.3	27.7	19.1	58.8	13.0	40.8
Max	178	147	187	382	300	295	784	145	528
FB _{FN}	0	0.32	0.01	0.14	0.47	0.58	0.23	0.58	0.16
FB _{FP}	0	0.08	0.02	0.60	0.65	0.47	0.92	0.49	0.71
MOE _{FN}	1	0.72	0.99	0.82	0.49	0.45	0.66	0.45	0.78
MOE _{FP}	1	0.91	0.98	0.52	0.41	0.50	0.32	0.49	0.44
MG _{FN}	1	1.29	1.02	5.55	2.61	2.40	1.40	2.11	5.58
MG _{FP}	1	1.05	1.01	1.43	5.14	3.87	4.01	4.93	1.60

Tabela 6.7. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od ilości danych meteorologicznych (emitor punktowy h=200m)

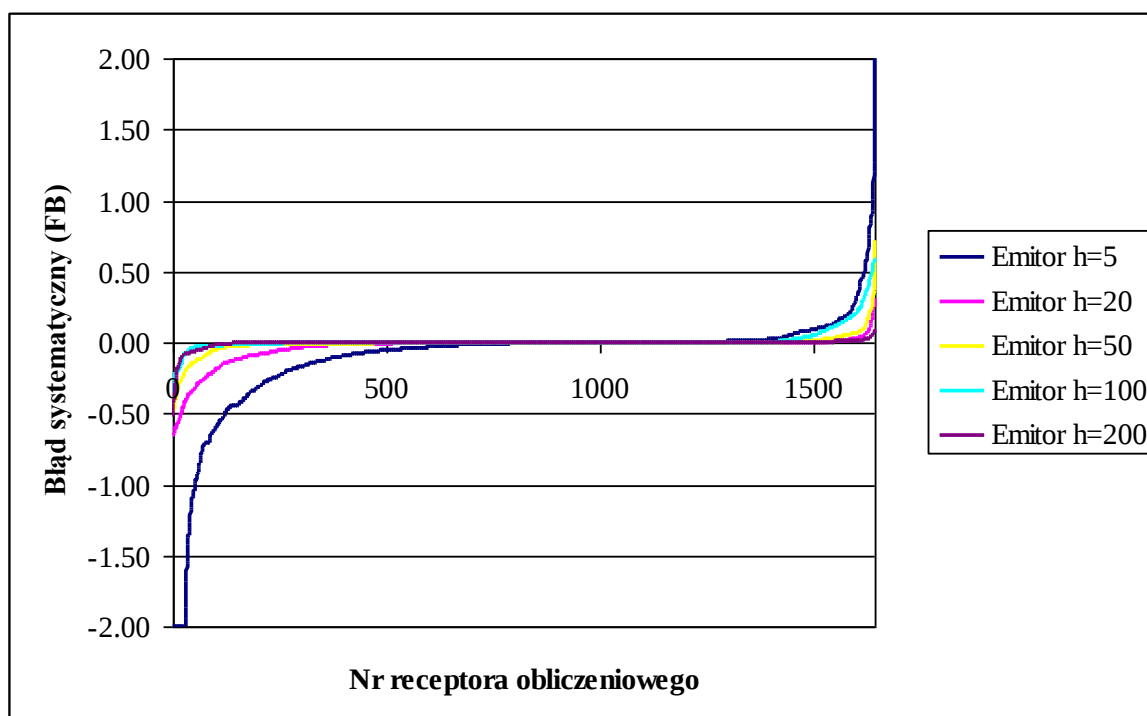
Wskaźnik	4up 3surf	4up 2surf	4up 1surf	2pow 3surf	2prl 3surf	leg 3surf	wroc 3surf	pra 3surf	pop 3surf
FB	0	0.20	-0.01	-0.54	-0.17	0.24	-0.99	-0.44	-0.62
MG	1	1.13	1.00	6.20	0.97	1.36	0.38	0.50	4.70
NMSE	0	1.94	0.00	9.48	16.10	4.99	20.58	5.82	9.38
VG	1	1.24	1.00	5.06E+13	174.00	4.38E+05	25.10	546.00	8.33E+13
R	1	0.72	1.00	-0.18	0.00	0.09	0.27	0.04	-0.09
FAC2	1	0.89	1.00	0.19	0.23	0.21	0.24	0.34	0.06
Średnia	6.3	5.2	6.4	11.0	7.5	5.0	18.7	9.9	12.0
Odch. s.	11.4	8.7	11.4	20.6	25.1	6.2	49.6	15.4	22.5
Max	174	86	174	144	419	66	1089	223	198
FB _{FN}	0	0.30	0.00	0.55	0.55	0.75	0.12	0.35	0.53
FB _{FP}	0	0.10	0.01	1.08	0.71	0.52	1.11	0.79	1.15
MOE _{FN}	1	0.73	1.00	0.26	0.41	0.33	0.76	0.56	0.24
MOE _{FP}	1	0.89	0.99	0.15	0.34	0.41	0.26	0.36	0.13
MG _{FN}	1	1.20	1.00	24.36	2.42	4.41	1.34	1.78	24.75
MG _{FP}	1	1.07	1.01	3.93	2.49	3.24	3.52	3.58	5.27

Rysunki 6.46 do 6.51 przedstawiają wszystkie wartości błędów systematycznych FB (wyznaczanych dla każdej z par porównywanych wyników) dla zdefiniowanych wcześniej opcji (pominięto opcje 4 i 5). Z rysunku 6.46 wynika, że praktycznie wszystkie emitory charakteryzowały się zbliżonymi wartościami FB. Obserwuje się przesunięcie FB w prawo (w kierunku wartości dodatnich) co oznacza, że wartości wyznaczone są mniejsze od poziomu odniesienia. Najgorszym dopasowaniem charakteryzują się dane dla najmniejszego emitora $h=5\text{m}$. Jest to zgodne z przewidywaniami, gdyż opcja ta pomijała dane meteorologiczne ze stacji znajdującej się najbliżej emitora. Rysunek 6.47 pokazuje bardzo dobre dopasowanie praktycznie wszystkich wyników pochodzących ze wszystkich emitorów. Również w tym przypadku najgorszym dopasowaniem charakteryzowały się dane z najniższego emitora. Większość wyników wskazuje na przeszacowanie wyliczonych wartości (przesunięcie wykresu w lewą stronę).

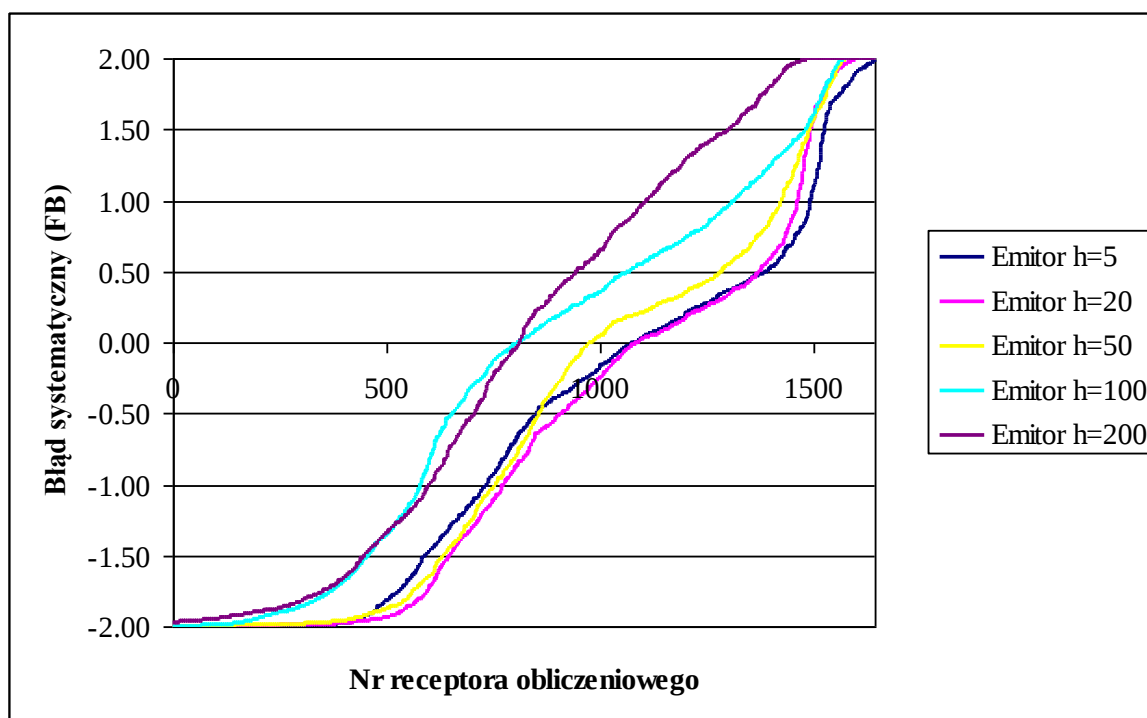
Rysunki 6.48 – 6.51 przedstawiają wartości obliczonych błędów systematycznych (FB) w przypadku wykorzystania do obliczeń danych meteorologicznych tylko z jednej stacji aerologicznej (odpowiednio z Wrocławia, Legionowa, Pragi i Popradu). We wszystkich przypadkach zanotowano drastyczny spadek jakości prognozowania wielkości imisji, co pokazuje „stromość” wykresów. Duża ilość cząstkowych błędów systematycznych wyznaczanych dla każdej z par porównywanych wyników osiąga wartości ekstremalne (w okolicach -2 lub 2). Co oznacza całkowite rozminięcie wartości obliczanych z wzorcem.



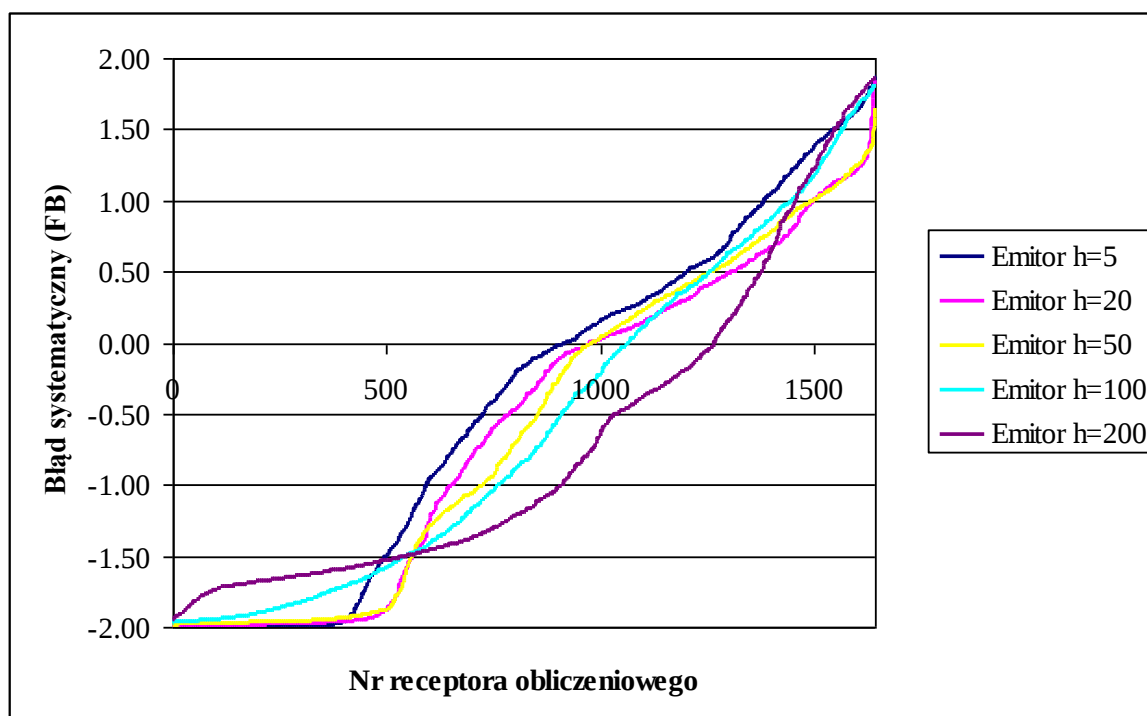
Rys. 6.46. Zmienność błędów systematycznych FB obliczonych dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (uwzględniono 2 naziemne stacje meteorologiczne w Krakowie, Katowicach i 4 aerologiczne we Wrocławiu, Legionowie, Pradze i Popradzie)



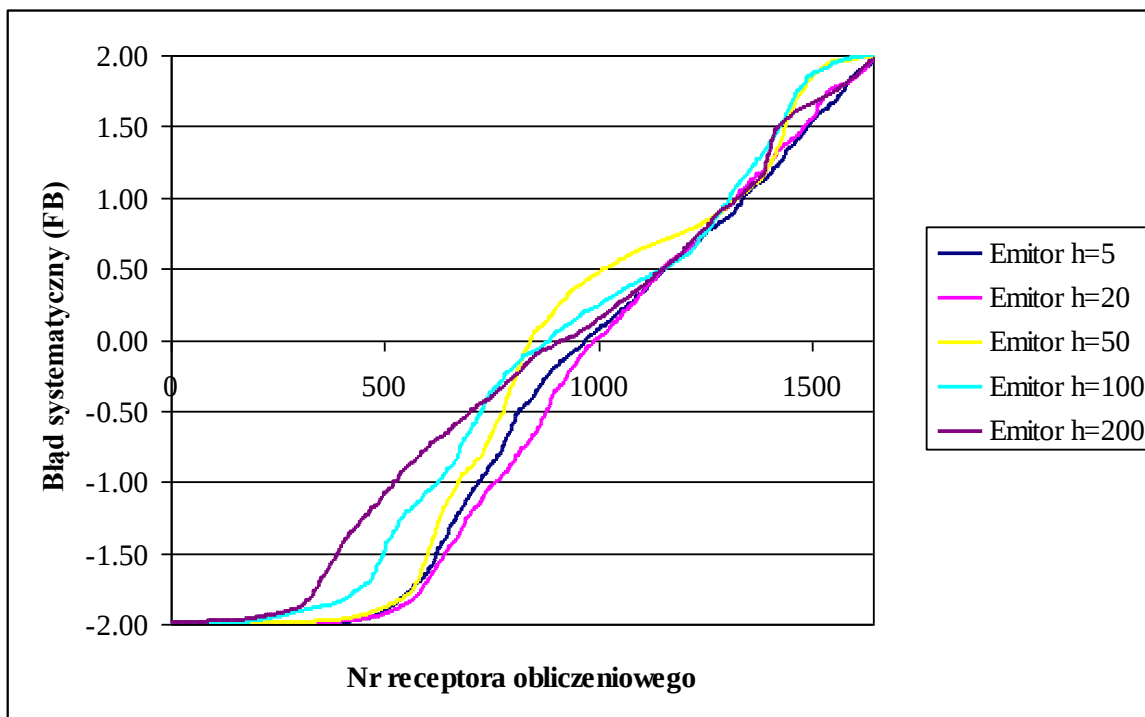
Rys. 6.47. Zmienność błędów systematycznych FB obliczonych dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (uwzględniono naziemną stację meteorologiczną w Krakowie i 4 aerologiczne we Wrocławiu, Legionowie, Pradze i Popradzie)



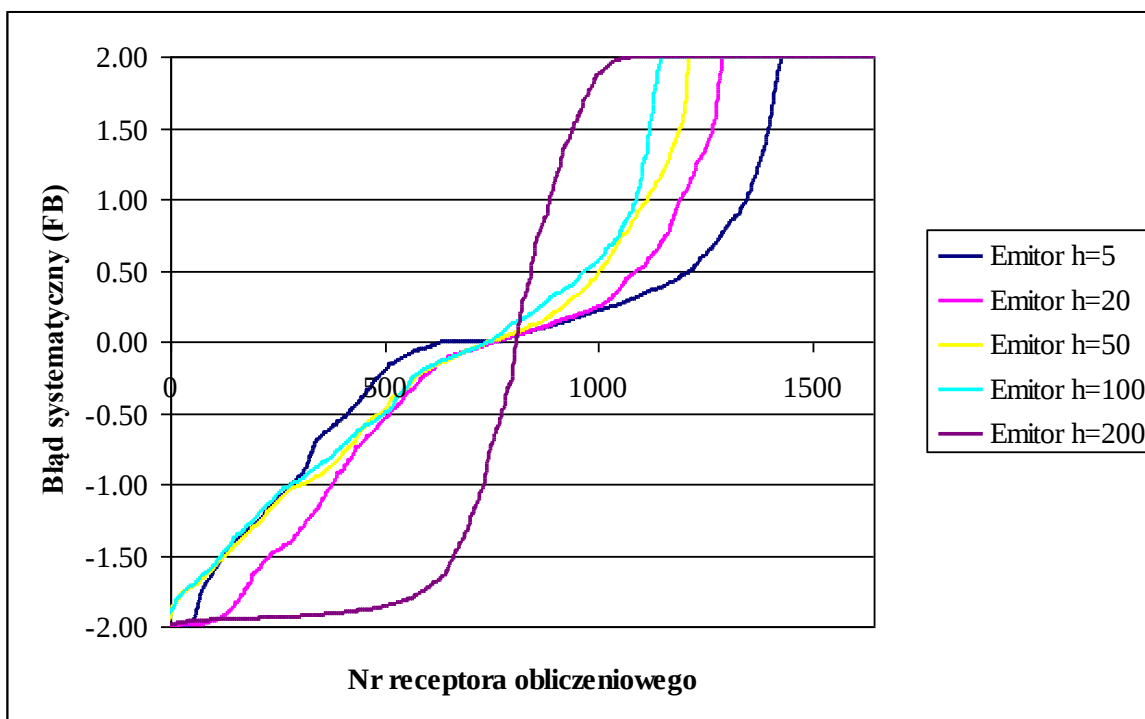
Rys. 6.48. Zmienność błędów systematycznych FB obliczonych dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (uwzględniono 3 naziemne stacje meteorologiczne w Bielsku-Białej, Krakowie i Katowicach i aerologiczną we Wrocławiu)



Rys. 6.49. Zmienność błędów systematycznych FB obliczonych dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (uwzględniono 3 naziemne stacje meteorologiczne w Bielsku-Białej, Krakowie i Katowicach i aerologiczną w Legionowie)



Rys. 6.50. Zmienność błędów systematycznych FB obliczonych dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (uwzględniono 3 naziemne stacje meteorologiczne w Bielsku-Białej, Krakowie i Katowicach i aerologiczną w Pradze)



Rys.6.51. Zmienność błędów systematycznych FB obliczonych dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (uwzględniono 3 naziemne stacje meteorologiczne w Bielsku-Białej, Krakowie i Katowicach i aerologiczną w Popradzie)

Szczegółową analizę wyznaczonych cząstkowych błędów systematycznych FB (wyliczanych na podstawie poszczególnych wyników obliczeń) w zależności od przyjętych opcji przedstawia tabela 6.8. Zawarte są w niej wartości maksymalne, minimalne, odchylenie standardowe i wartość średnia FB, wyznaczone z wszystkich wyników obliczeń (1600 na każdą opcję). Wykonano ją dla następujących opcji:

- 1 - 2 stacje naziemne (Kraków, Katowice), 4 aerologiczne (Wrocław, Legionów, Praga, Poprad).
- 2 - 1 stacja naziemna (Bielsko-Biała), 4 aerologiczne (Wrocław, Legionów, Praga, Poprad).
- 3 - 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Wrocław).
- 4 - 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Legionów).
- 5 - 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Praga).
- 6 - 3 stacje naziemne (Bielsko-Biała, Kraków, Katowice), 1 aerologiczna (Poprad).

Tabela 6.8. Zestawienie podstawowych statystyk cząstkowych błędów systematycznych FB w zależności od przyjętej opcji i wysokości emitora

Wysokość emitora	Statystyka FB	1	2	3	4	5	6
h=5m	odchylenie	0.97	0.37	1.20	1.24	1.35	1.07
	Max	2.00	2.00	1.98	1.87	1.95	2.00
	Min	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00
	średnia	0.13	-0.10	-0.65	-0.41	-0.50	0.11
h=20m	odchylenie	0.46	0.10	1.27	1.14	1.37	1.30
	Max	1.79	0.31	2.00	1.85	1.97	2.00
	Min	-1.32	-0.66	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00
	średnia	0.25	-0.03	-0.68	-0.59	-0.53	0.12
h=50m	odchylenie	0.49	0.06	1.31	1.15	1.42	1.26
	Max	1.77	0.72	2.00	1.65	2.00	2.00
	Min	-1.41	-0.50	-2.00	-1.99	-2.00	-1.95
	średnia	0.09	-0.01	-0.57	-0.60	-0.34	0.30
h=100m	odchylenie	0.43	0.07	1.30	1.17	1.35	1.28
	max	1.80	0.59	2.00	1.81	2.00	2.00
	Min	-1.01	-0.35	-2.00	-1.97	-2.00	-1.91
	średnia	0.18	0.01	-0.21	-0.58	-0.29	0.37
h=200m	odchylenie	0.39	0.03	1.46	1.07	1.25	1.80
	max	1.73	0.10	2.00	1.86	1.98	2.00
	Min	-1.07	-0.52	-1.97	-1.95	-1.99	-1.99
	średnia	0.10	0.00	-0.04	-0.72	-0.25	0.07

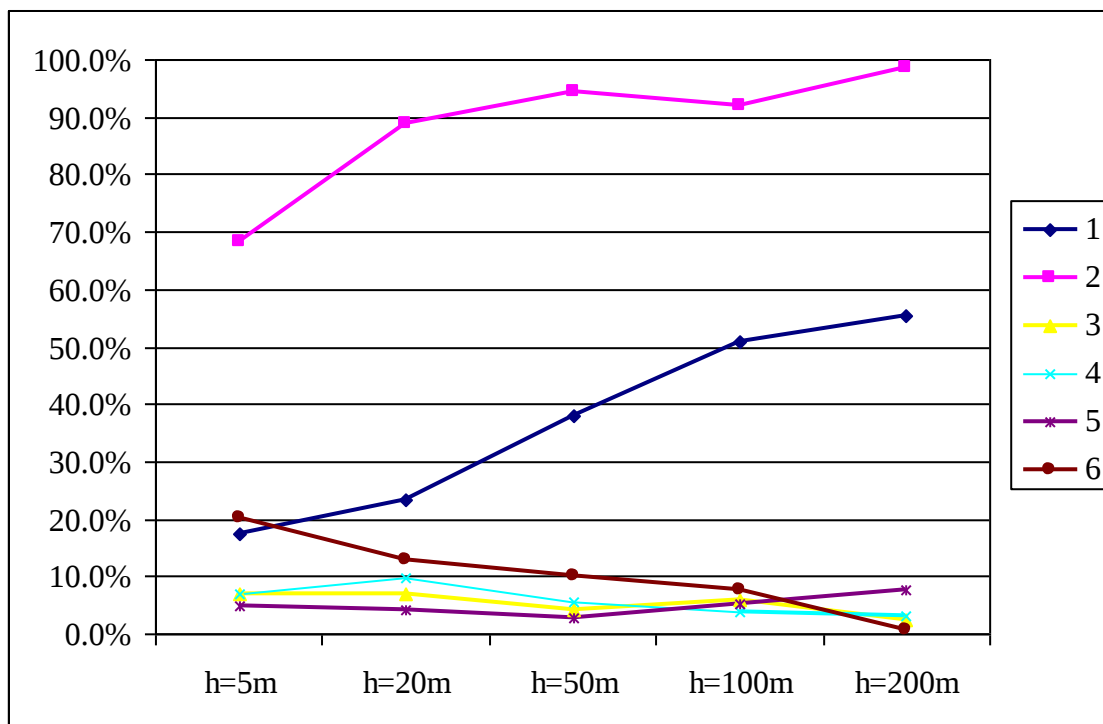
W celu oszacowania różnic w stosunku do przyjętej wartości odniesienia wyliczono częstość występowania cząstkowych błędów systematycznych FB w trzech grupach (tabela 6.9):

- $-0.1 \leq FB \leq 0.1$ – bardzo dobra zgodność wyników.
- $-0.35 \leq FB \leq 0.35$ – dobra zgodność wyników.
- $-0.66(6) \leq FB \leq 0.66(6)$ – satysfakcjonująca zgodność wyników.

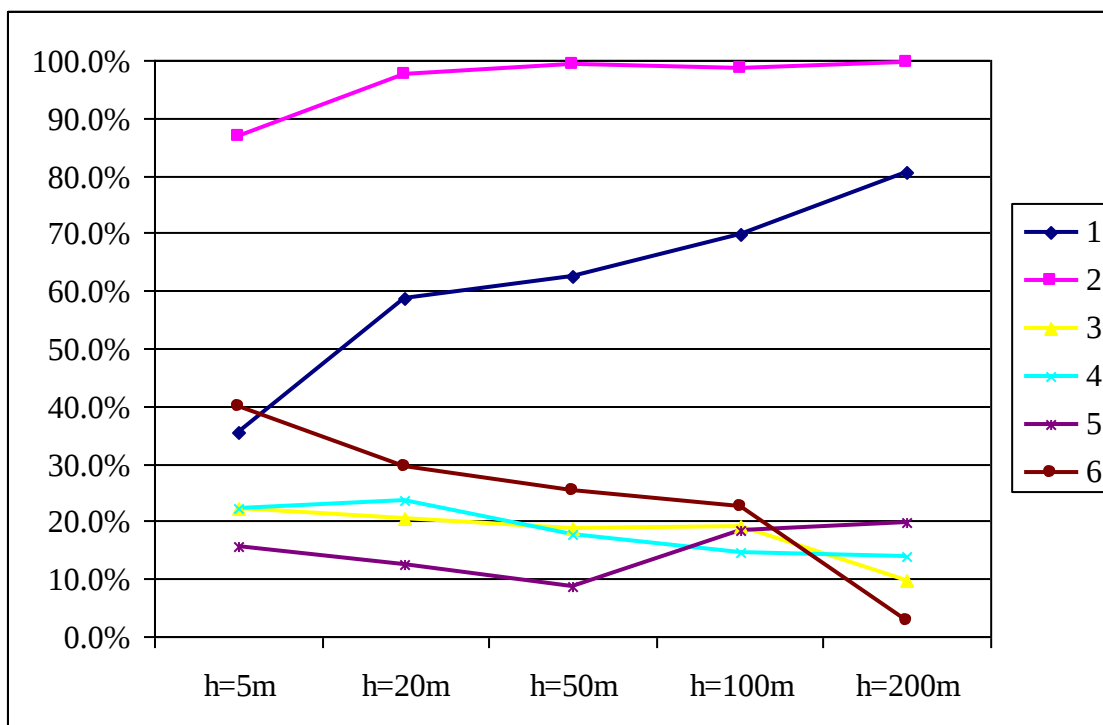
Z zestawienia tego wynika, że największą zgodnością wyników dla wszystkich emitatorów charakteryzują się wyniki obliczeń imisji dla opcji 2. Przy czym zgodność ta rośnie wraz z wysokością emitatora (dla emitatora 5m bardzo dobrą zgodność wyników osiąga 68.3% punktów, dla emitatora 200m aż 98.7%). Stosunkowo dobrą zgodnością charakteryzują się wyniki obliczeń dla opcji pierwszej, szczególnie dla wyższych emitatorów (dla emitatora 5m bardzo dobrą zgodność wyników osiąga jedynie 17.5% punktów, ale już dla emitatora 200m 55.2%). Natomiast żadna z opcji uwzględniająca tylko jedną aerologiczną stację meteorologiczną nie osiąga wysokiej zgodności wyników. Obserwuje się natomiast (w przeciwieństwie do opcji 1 i 2) pogorszenie wartości błędów systematycznych (FB) dla wyższych emitatorów. Zależności te przedstawione są również na rysunkach 6.52 – 6.54. Gdzie rysunek 6.52 pokazuje procentu zgodności modeli dla FB pomiędzy -0.1 do 0.1, rysunek 6.53. pokazuje procentu zgodności modeli dla FB pomiędzy -0.35 do 0.35, a rysunek 6.54 pokazuje procentu zgodności modeli dla FB pomiędzy -0.66(6) do 0.66(6).

Tabela 6.9. Częstość występowania błędów systematycznych (FB) w zależności od przyjętej opcji i wysokości emitatora

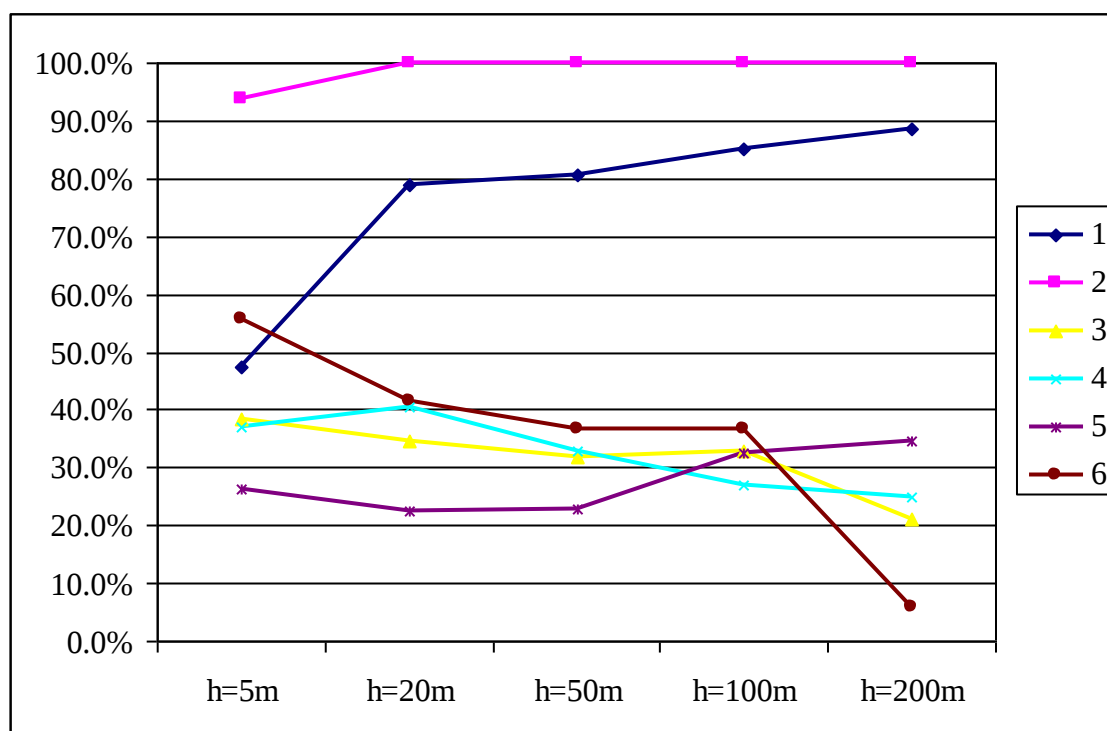
Wysokość emitatora	FB	1	2	3	4	5	6
h=5m	0.10	17.5%	68.3%	6.9%	7.1%	4.8%	20.1%
	0.35	35.5%	86.8%	22.3%	22.3%	15.5%	39.8%
	0.66(6)	47.3%	93.7%	38.4%	37.1%	26.4%	55.7%
h=20m	0.10	23.2%	88.9%	6.9%	9.9%	4.1%	13.0%
	0.35	58.8%	97.4%	20.6%	23.7%	12.4%	29.6%
	0.66(6)	78.7%	100.0%	34.7%	40.5%	22.6%	41.5%
h=50m	0.10	38.1%	94.3%	4.1%	5.7%	2.8%	10.0%
	0.35	62.4%	99.3%	18.9%	17.5%	8.8%	25.3%
	0.66(6)	80.6%	99.9%	31.9%	32.8%	22.7%	36.7%
h=100m	0.10	51.0%	92.0%	5.8%	4.0%	5.4%	7.6%
	0.35	69.8%	98.7%	18.9%	14.5%	18.4%	22.5%
	0.66(6)	85.2%	100.0%	32.9%	27.1%	32.6%	36.7%
h=200m	0.10	55.2%	98.7%	2.4%	3.2%	7.6%	0.5%
	0.35	80.7%	99.8%	9.9%	13.9%	19.8%	2.7%
	0.66(6)	88.7%	100.0%	21.1%	24.8%	34.8%	5.8%



Rys. 6.52. Zestawienie procentu zgodności modeli dla błędu systematycznego (FB) pomiędzy -0.1 do 0.1



Rys. 6.53. Zestawienie procentu zgodności modeli dla błędu systematycznego (FB) pomiędzy -0.35 do 0.35



Rys. 6.54. Zestawienie procentu zgodności modeli dla błędów systematycznych FB pomiędzy -0.67 do 0.67

Już pobieżna analiza rozkładów stężeń zanieczyszczeń pokazała, że bardzo istotnym elementem właściwego określenia poziomu imisji na danych obszarze jest wykorzystanie jak największej ilości danych meteorologicznych. Przy czym brak danych meteorologicznych ze stacji naziemnych choć powoduje zmianę rozkładu stężeń zanieczyszczeń jest jeszcze akceptowalny, natomiast brak danych o pionowym profilu atmosfery może znacznie wpłynąć na wyniki obliczeń. Miało to miejsce w przypadku opcji od 6 do 9, w których wykorzystywano informacje o pionowym profilu stanu atmosfery pochodzącym tylko z 1 stacji aerologicznej. Zarówno kształty rozkładu zanieczyszczeń, jak i wskaźniki statystyczne były zupełnie różne od wzorca. Jedynie w przypadku niskich emitorów (5m, 20m) zaobserwowano podobieństwa w rozkładzie stężeń maksymalnych przy wykorzystaniu danych aerologicznych pochodzących ze stacji z Wrocławia i Popradu.

6.2. RZĘBA TERENU (PREPROCESOR CALMET)

6.2.1 Dane wejściowe

Podobnie jak w przypadku danych meteorologicznych, badania wpływu topografii na wyniki modelowania propagacji zanieczyszczeń gazowych wykonano dla okolic Bielska.

Teren ten został wybrany ze względu na lokalizację miasta u podnóża Beskidów. Obszar, dla którego przeprowadzono obliczenia miał cechy terenu płaskiego jak i górzystego (odpowiednio w górnej i dolnej części siatki obliczeniowej). Teren płaski charakteryzował się niewielką amplitudą zmian wysokości w całym profilu (231 – 287 m.n.p.m), natomiast wysokości w przekroju górskim wahały się od 343 do 818 m.n.p.m. Dodatkowo przekrój przez teren górski zawierał w sobie kilku kilometrową dolinę pomiędzy dwoma pasmami góorskimi.

W celu zbadania wpływu rzeźby terenu na wyniki obliczeń stężeń zanieczyszczeń dokonano obliczeń dla terenu płaskiego, a następnie porównano je z rozkładem stężeń zanieczyszczeń dla terenu rzeczywistego o zróżnicowanej rzeźbie. Obliczenia rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń wykonano dla emitorów punktowych o wysokości 5, 50 i 200m. Na podstawie wcześniejszych badań pominięto emitery o wysokości 20m (bardzo podobne wyniki obserwowano dla emitora 5m) i 100m (z powodu podobieństwa do emitora 200m).

Wszystkie emitery zlokalizowano w tym samym punkcie o współrzędnych (360.0, 5518.0), wysokość podstawy 420 m n.p.m. Emisja SO₂ dla każdego z emitorów wynosiła 100 g/s, przy założeniu stałej temperatury gazów odlotowych na poziomie 400 K. Zmienne parametry emitorów takie jak wysokość, średnica i prędkość gazów odlotowych przedstawia tabela 6.2.

Na podstawie informacji pochodzących ze stacji meteorologicznych (3 stacji naziemnych i 4 aerologicznych) wykonano modelowanie rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń dla poszczególnych emitorów. Przyjęto następujące opcje odpowiadające ilości danych meteorologicznych użytych do obliczeń rozkładu stężeń zanieczyszczeń:

W pierwszej kolejności wyznaczono rozkłady 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ dla terenu płaskiego przy braku uwzględnienia: efektu kinematycznego, spływu powietrza ze wzgórz, a także efektu bloku (opcja 1). Kolejne opcje wyznaczane były dla terenu rzeczywistego:

Opcja 1 – brak uwzględnienia efektu kinematycznego, spływu powietrza ze wzgórz, a także efektu bloku.

Opcja 2 – teren rzeczywisty, uwzględnia efekt kinematyczny.

Opcja 3 – uwzględnia spływ powietrza ze wzgórz.

Opcja 4 – uwzględnia efekt bloku.

Opcja 5 – uwzględnia łączny wpływ efektu kinematycznego, spływu powietrza ze wzgórz, a także efektu bloku.

Wszystkie opcje dotyczyły jedynie sposobu wyznaczania pola wiatru przez preprocesor meteorologiczny CALMET. W dalszej części (rozdział 6.3) badania dotyczyły właściwego modułu odpowiedzialnego za dyspersję zanieczyszczeń jakim jest aplikacja CALPUFF.

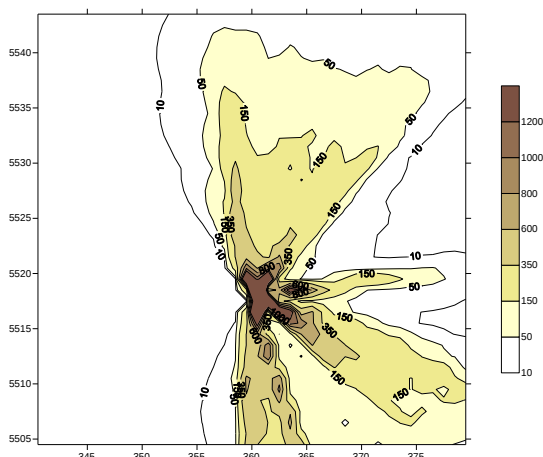
6.2.2 Wyniki obliczeń

Jako kryterium oceny jakości modelowania przyjęto podobieństwo kształtu rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń dla poszczególnych opcji obliczeniowych. Wszystkie mapy rozkładów przedstawione są na rysunkach 6.55 – 6.72.

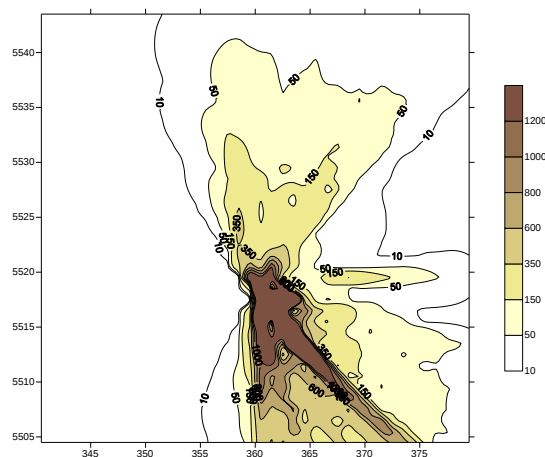
Rysunki 6.55 – 6.60 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punktowego o wysokości $h=5\text{m}$ gdzie: rysunek 6.55 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 1, przy założeniu płaskiego terenu; rysunek 6.56 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 1, teren rzeczywisty; rysunek 6.57 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 2, teren rzeczywisty; rysunek 6.58 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 3, teren rzeczywisty; rysunek 6.59 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 4, teren rzeczywisty; rysunek 6.60 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 5, teren rzeczywisty.

Rysunki 6.61 – 6.66 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punktowego o wysokości $h=50\text{m}$ gdzie: rysunek 6.61 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 1, przy założeniu płaskiego terenu; rysunek 6.62 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 1, teren rzeczywisty; rysunek 6.63 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 2, teren rzeczywisty; rysunek 6.64 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 3, teren rzeczywisty; rysunek 6.65 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 4, teren rzeczywisty; rysunek 6.66 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 5, teren rzeczywisty.

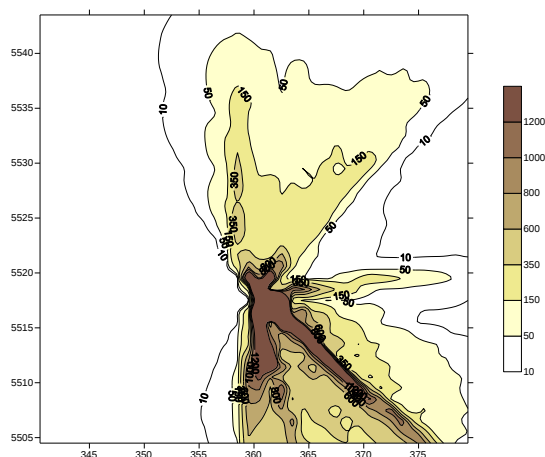
Rysunki 6.67 – 6.72 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punktowego o wysokości $h=200\text{m}$ gdzie: rysunek 6.67 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 1, przy założeniu płaskiego terenu; rysunek 6.68 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 1, teren rzeczywisty; rysunek 6.69 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 2, teren rzeczywisty; rysunek 6.70 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 3, teren rzeczywisty; rysunek 6.71 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 4, teren rzeczywisty; rysunek 6.72 przedstawia wyniki obliczeń dla opcji 5, teren rzeczywisty.



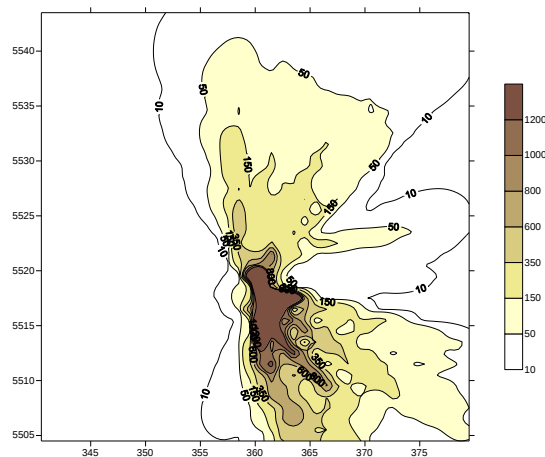
Rys.6.55. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren płaski, opcja 1 (emitor punktowy h=5m)



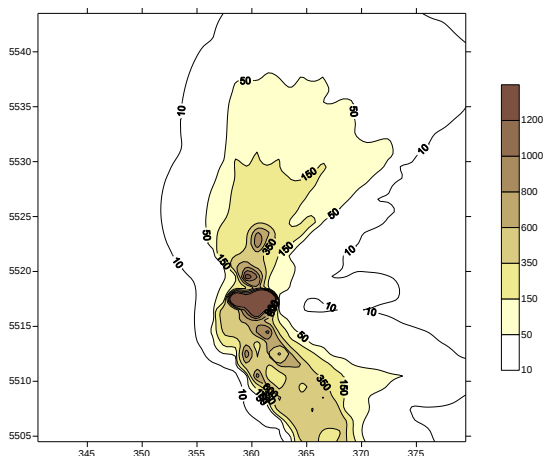
Rys. 6.58. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 3 (emitor punkt. h=5m)



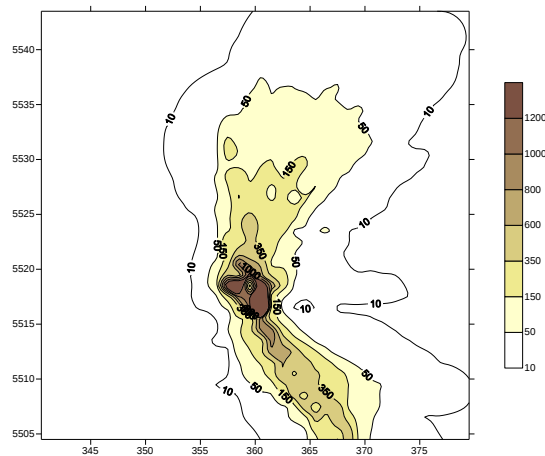
Rys. 6.56. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 1 (emitor punktowy h=5m)



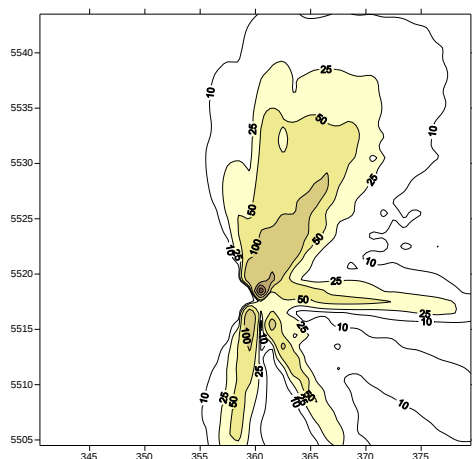
Rys. 6.59. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 4 (emitor punktowy h=5m)



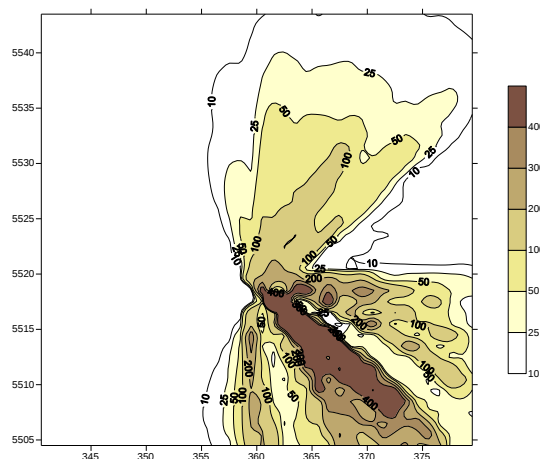
Rys. 6.57. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 2 (emitor punktowy h=5m)



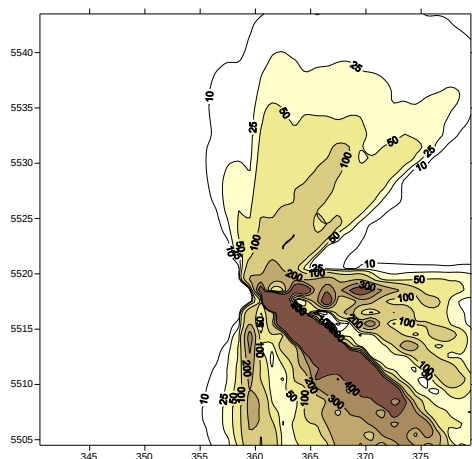
Rys. 6.60. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 5 (emitor punktowy h=5m)



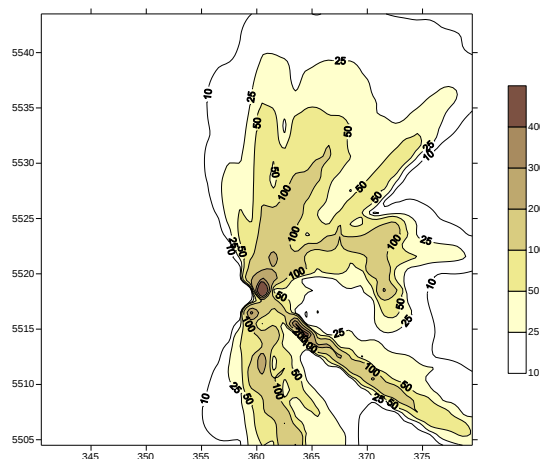
Rys. 6.61. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren płaski, opcja 1 (emitor punktowy h=50m)



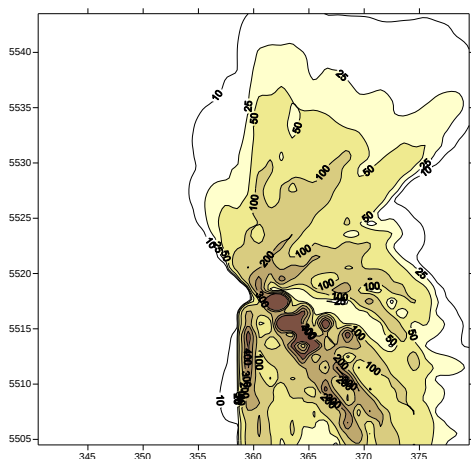
Rys. 6.64. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 3 (emitor punkt. h=50m)



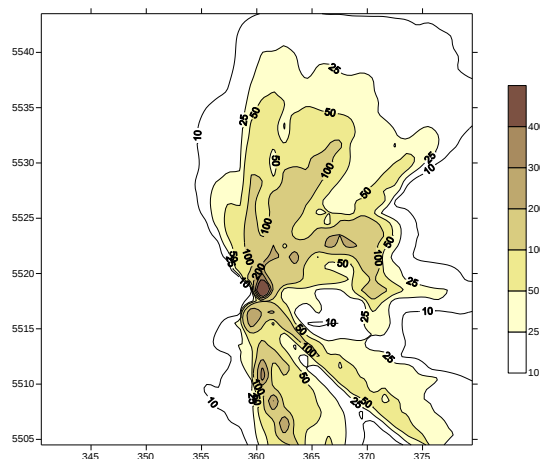
Rys. 6.62. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 1 (emitor punktowy h=50m)



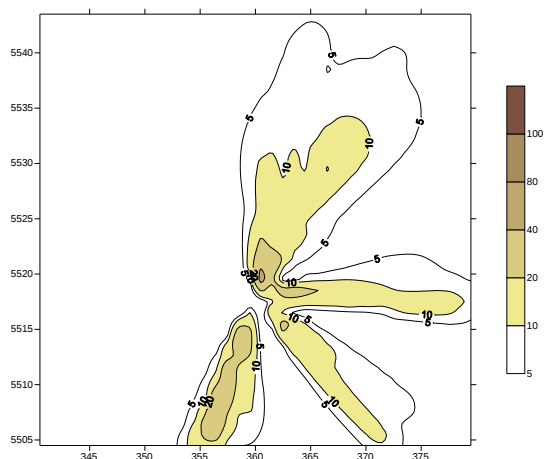
Rys. 6.65. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 4 (emitor punktowy h=50m)



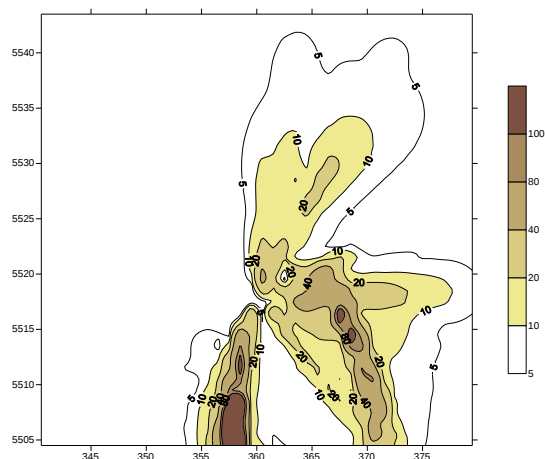
Rys. 6.63. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 2 (emitor punktowy h=50m)



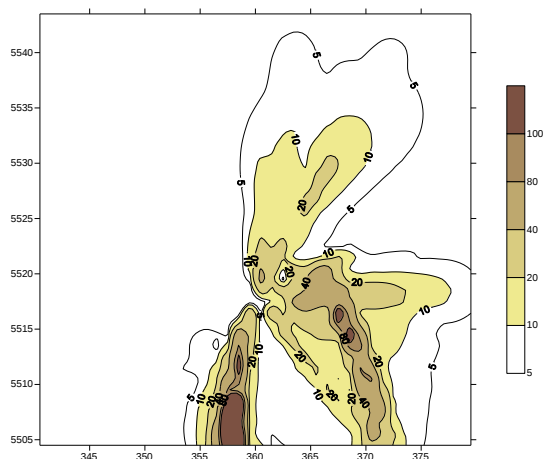
Rys. 6.66. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 5 (emitor punktowy h=50m)



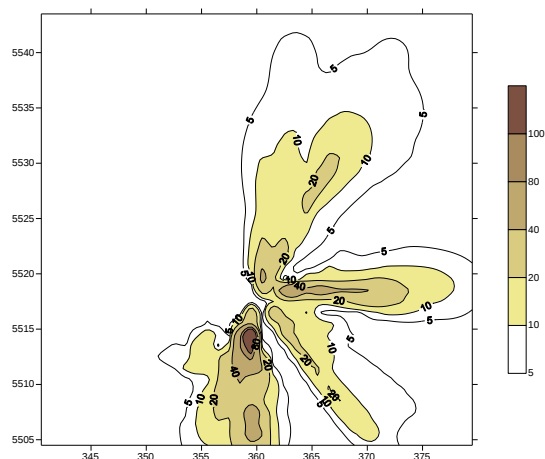
Rys. 6.67. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren płaski, opcja 1 (emitor punktowy h=200m)



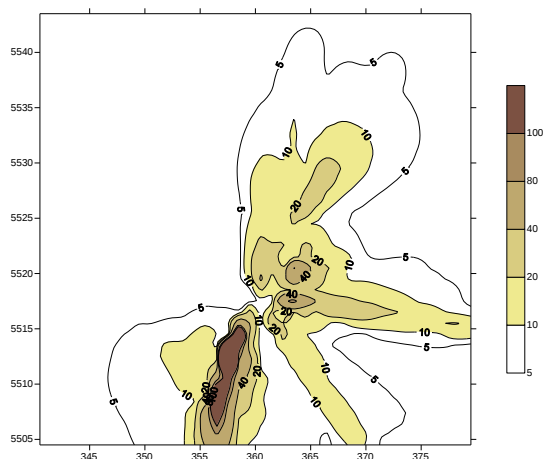
Rys. 6.70. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 3 (emitor punkt. h=200m)



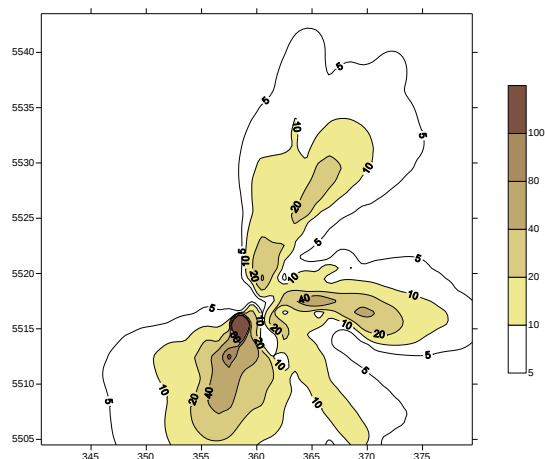
Rys. 6.68. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 1 (emitor punktowy h=200m)



Rys. 6.71. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 4 (emitor punktowy h=200m)



Rys. 6.69. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 2 (emitor punktowy h=200m)



Rys. 6.72. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, teren rzeczywisty, opcja 5 (emitor punktowy h=200m)

6.2.3 Analiza statystyczna

Wstępna analiza rozkładów stężeń zanieczyszczeń pokazała, że uwzględnienie rzeczywistej rzeźby terenu wpływa na poziom emisji badanego obszaru. Jest to szczególnie widoczne w miejscach, w których smuga zanieczyszczeń „zderza” się z przeszkodami górkami. W miejscach tych wyraźnie da się zaobserwować wzrost wartości stężeń. Jednak kształty rozkładów stężeń zanieczyszczeń mają wygląd zbliżony do siebie, konieczne jest zastosowanie analizy statystycznej do oceny zgodności rozkładów stężeń zanieczyszczeń w zależności od wybranej opcji.

W celu znalezienia liczbowych zależności pomiędzy rozkładami stężeń zanieczyszczeń wyznaczonymi dla różnych opcji preprocesora meteorologicznego CALMET, wyliczono szereg wskaźników statystycznych. Dla każdej z opcji wyznaczono FB (błąd systematyczny), MG (geometryczny błąd średnie), NMSE (względne odchylenie standardowe), VG (geometryczna średnia wariancja), R (współczynnik korelacji), FAC2 (wskaźnik charakteryzujący jakość modelu), średnia, odchylenie standardowe, maksimum, a także FB_{FN} (ujemny komponent FB), FB_{FP} (dodatni komponent FB), MG_{FN} (ujemny komponent MG), MG_{FP} (dodatni komponent MG), MOE_{FN} , MOE_{FP} (dwuwymiarowa miara efektywności MOE).

Tabele 6.10 – 6.18 przedstawiają zestawienie powyższych wskaźników statystycznych wyznaczonych na podstawie rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń. Analizę statystyczną przeprowadzono zarówno dla całości obszaru obliczeniowego jak i dla poszczególnych części scharakteryzowanych jako teren górzysty i teren o nieodróżnianej rzeźbie. Dzięki temu można było ocenić wpływ poszczególnych opcji na wyniki zanieczyszczeń dla obu typów terenu (górzystego i stosunkowo płaskiego).

Tabela 6.10 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punktowego o wysokości $h=5m$ dla całego obszaru obliczeniowego.

Tabela 6.11 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punktowego o wysokości $h=5m$ dla terenu górzystego.

Tabela 6.12 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punktowego o wysokości $h=50m$ dla terenu o nieodróżnianej rzeźbie.

Tabela 6.13 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punkowego o wysokości $h=50\text{m}$ dla całego obszaru obliczeniowego.

Tabela 6.14 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punkowego o wysokości $h=50\text{m}$ dla terenu górzystego.

Tabela 6.15 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punkowego o wysokości $h=5\text{m}$ dla terenu o nieodróżnicowanej rzeźbie.

Tabela 6.16 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punkowego o wysokości $h=200\text{m}$ dla całego obszaru obliczeniowego.

Tabela 6.17 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punkowego o wysokości $h=200\text{m}$ dla terenu górzystego.

Tabela 6.18 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętych opcji dla emitora punkowego o wysokości $h=200\text{m}$ dla terenu o nieodróżnicowanej rzeźbie.

Tabela 6.10. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej opcji, cały obszar obliczeń (emitor punkowy $h=5\text{m}$)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	0.44	0.77	0.06	0.37	0.90
MG	1	1.04	0.19	1.11	0.60	0.23
NMSE	0	14.60	23.27	4.18	6.87	35.41
VG	1	1.50	1.23E+08	1.35	30.90	3.43E+07
R	1	0.66	0.63	0.89	0.85	0.35
FAC2	1	0.90	0.36	0.93	0.64	0.33
Średnia	141.4	90.0	63.1	133.3	97.7	53.5
Odch. s.	544.5	229.3	194.8	615.6	355.2	178.2
Max	15696	4691	3717	18630	9136	3573
FB_{FN}	0	0.53	0.89	0.25	0.49	1.01
FB_{FP}	0	0.08	0.13	0.19	0.13	0.11
MOE_{FN}	1	0.57	0.36	0.76	0.58	0.30
MOE_{FP}	1	0.89	0.80	0.81	0.85	0.80
MG_{FN}	1	1.16	1.82	1.18	1.31	1.97
MG_{FP}	1	1.12	9.65	1.06	2.18	8.68

Tabela 6.11. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, teren górzysty (emitor punktowy h=5m)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	0.60	0.88	0.04	0.42	1.02
MG	1	1.18	0.11	1.10	0.42	0.14
NMSE	0	12.51	19.25	2.96	5.25	29.88
VG	1	2.17	4.16E+11	1.60	484.00	2.90E+10
R	1	0.66	0.62	0.89	0.85	0.33
FAC2	1	0.81	0.19	0.89	0.45	0.17
Średnia	234.9	126.4	91.5	225.5	153.5	76.1
Odch. s.	755.5	310.9	267.9	858.9	492.3	244.8
Max	15696	4691	3717	18630	9136	3573
FB _{FN}	0	0.67	1.02	0.26	0.56	1.14
FB _{FP}	0	0.07	0.14	0.22	0.14	0.12
MOE _{FN}	1	0.48	0.29	0.75	0.54	0.24
MOE _{FP}	1	0.90	0.75	0.78	0.83	0.75
MG _{FN}	1	1.35	2.35	1.21	1.47	2.52
MG _{FP}	1	1.14	22.16	1.10	3.46	17.80

Tabela 6.12. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, teren o nieodróżnianej rzeźbie (emitor punktowy h=5m)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	-0.12	0.32	0.16	0.14	0.43
MG	1	0.92	0.33	1.11	0.85	0.36
NMSE	0	0.12	0.89	0.33	0.33	1.31
VG	1	1.04	3.63E+04	1.13	1.97	4.06E+04
R	1	0.98	0.86	0.94	0.93	0.81
FAC2	1	0.99	0.53	0.97	0.83	0.49
Średnia	47.9	53.7	34.7	41.0	41.8	31.0
Odch. s.	68.6	76.7	50.0	55.8	60.8	50.7
Max	536	588	295	438	585	523
FB _{FN}	0	0.01	0.39	0.19	0.21	0.49
FB _{FP}	0	0.13	0.07	0.03	0.08	0.06
MOE _{FN}	1	0.99	0.67	0.83	0.80	0.60
MOE _{FP}	1	0.88	0.92	0.97	0.92	0.92
MG _{FN}	1	1.01	1.40	1.15	1.17	1.54
MG _{FP}	1	1.09	4.20	1.03	1.37	4.23

Tabela 6.13. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, cały obszar obliczeń (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	1.16	0.37	0.03	0.82	0.80
MG	1	1.51	0.33	1.01	0.56	0.30
NMSE	0	27.96	6.95	0.33	16.04	16.78
VG	1	4.27	167.00	1.02	43.40	2.83E+03
R	1	0.23	0.61	0.98	0.36	0.24
FAC2	1	0.76	0.45	0.99	0.47	0.40
Średnia	61.5	16.4	42.2	59.6	25.8	26.4
Odch. s.	166.0	29.1	84.2	158.4	46.6	47.1
Max	2671	494	1042	2671	760	823
FB _{FN}	0	1.16	0.54	0.07	0.93	0.96
FB _{FP}	0	0.01	0.17	0.04	0.12	0.16
MOE _{FN}	1	0.26	0.54	0.93	0.34	0.32
MOE _{FP}	1	0.99	0.79	0.96	0.80	0.74
MG _{FN}	1	1.71	1.28	1.03	1.47	1.51
MG _{FP}	1	1.13	3.90	1.02	2.61	5.07

Tabela 6.14. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, teren górzysty (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	1.45	0.50	0.04	1.05	1.06
MG	1	2.12	0.30	1.01	0.47	0.27
NMSE	0	34.29	5.79	0.24	15.72	17.14
VG	1	15.70	1.13E+03	1.03	905.00	1.01E+05
R	1	0.21	0.58	0.98	0.32	0.20
FAC2	1	0.59	0.25	0.99	0.22	0.19
Średnia	101.7	16.1	61.2	97.9	31.7	31.0
Odch. s.	225.7	33.7	111.7	215.3	59.5	58.7
Max	2671	494	1042	2671	760	823
FB _{FN}	0	1.46	0.67	0.09	1.17	1.21
FB _{FP}	0	0.00	0.17	0.05	0.12	0.14
MOE _{FN}	1	0.16	0.47	0.91	0.23	0.21
MOE _{FP}	1	0.99	0.77	0.95	0.75	0.70
MG _{FN}	1	2.51	1.56	1.04	2.00	2.06
MG _{FP}	1	1.19	5.25	1.03	4.27	7.71

Tabela 6.15. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, teren o nie zróżnicowanej rzeźbie (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	0.25	-0.09	0.00	0.07	-0.02
MG	1	1.07	0.36	1.02	0.68	0.33
NMSE	0	0.40	0.22	0.00	0.50	0.73
VG	1	1.16	24.70	1.01	2.08	79.30
R	1	0.95	0.95	1.00	0.88	0.82
FAC2	1	0.92	0.66	0.99	0.71	0.62
Średnia	21.3	16.7	23.3	21.3	19.9	21.7
Odch. s.	30.0	23.5	31.4	29.9	26.9	30.7
Max	172	130	166	170	163	185
FB _{FN}	0	0.26	0.08	0.01	0.17	0.18
FB _{FP}	0	0.01	0.16	0.01	0.10	0.19
MOE _{FN}	1	0.77	0.92	0.99	0.84	0.82
MOE _{FP}	1	0.99	0.85	0.99	0.90	0.81
MG _{FN}	1	1.16	1.05	1.03	1.09	1.10
MG _{FP}	1	1.09	2.89	1.01	1.60	3.33

Tabela 6.16. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, cały obszar obliczeń (emitor punktowy h=200m)

Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	0.69	0.04	0.00	0.33	0.14
MG	1	6.43	0.75	1.00	1.10	0.67
NMSE	0	8.32	8.33	0.00	5.28	5.83
VG	1	1520	1.97	1.00	1.38	2.61
R	1	0.52	0.37	1.00	0.51	0.38
FAC2	1	0.49	0.67	1.00	0.85	0.55
Średnia	8.0	3.9	7.7	8.0	5.7	6.9
Odch. s.	17.7	5.6	21.9	17.7	10.2	13.9
Max	186	47	584	188	174	379
FB _{FN}	0	0.70	0.37	0.00	0.45	0.42
FB _{FP}	0	0.01	0.33	0.00	0.12	0.28
MOE _{FN}	1	0.48	0.64	1.00	0.62	0.61
MOE _{FP}	1	0.98	0.67	1.00	0.86	0.70
MG _{FN}	1	6.49	1.17	1.00	1.23	1.18
MG _{FP}	1	1.01	1.55	1.01	1.11	1.76

Tabela 6.17. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, teren górzysty (emitor punktowy h=200m)

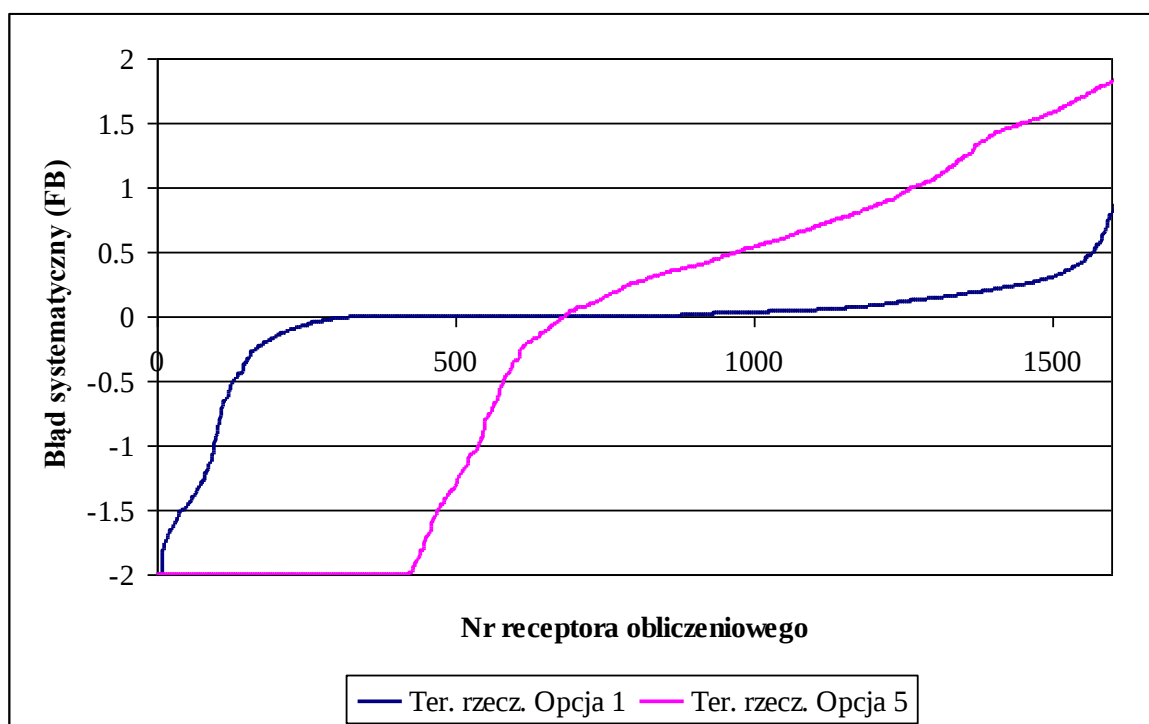
Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	0.94	0.06	0.00	0.44	0.21
MG	1	10.17	0.70	1.00	1.21	0.64
NMSE	0	9.16	6.96	0.00	4.84	5.06
VG	1	9890	3.42	1.00	1.87	4.55
R	1	0.50	0.32	1.00	0.45	0.31
FAC2	1	0.33	0.40	1.00	0.71	0.36
Średnia	12.5	4.5	11.7	12.5	7.9	10.2
Odch. s.	23.8	6.8	30.0	23.9	13.4	18.6
Max	186	47	584	188	174	379
FB _{FN}	0	0.95	0.46	0.00	0.59	0.54
FB _{FP}	0	0.01	0.40	0.01	0.15	0.33
MOE _{FN}	1	0.35	0.55	1.00	0.52	0.51
MOE _{FP}	1	0.98	0.59	1.00	0.81	0.63
MG _{FN}	1	10.26	1.33	1.00	1.44	1.35
MG _{FP}	1	1.01	1.91	1.00	1.19	2.11

Tabela 6.18. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej opcji, teren o nieodróżnianej rzeźbie (emitor punktowy h=200m)

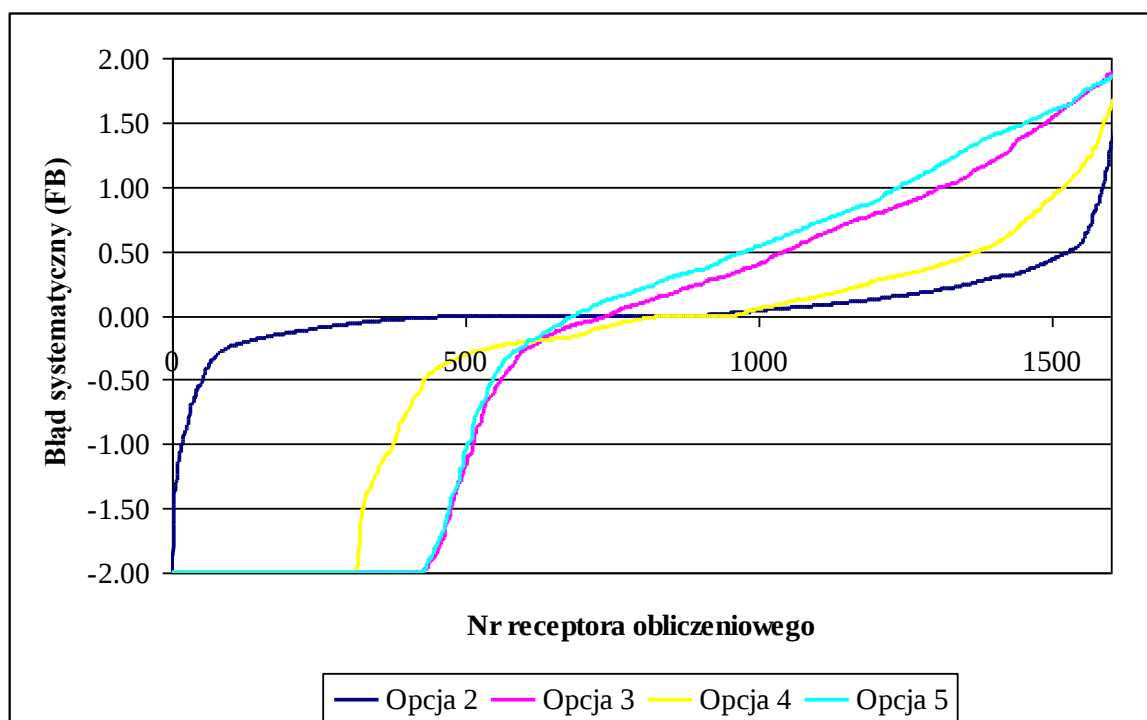
Wskaźnik	Opcja 1	Opcja 1 t. płaski	Opcja 2	Opcja 3	Opcja 4	Opcja 5
FB	0	0.06	-0.04	0.00	0.00	-0.05
MG	1	4.06	0.81	1.00	1.01	0.70
NMSE	0	0.04	0.04	0.00	0.01	0.05
VG	1	233.00	1.13	1.00	1.02	1.50
R	1	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99
FAC2	1	0.64	0.95	1.00	0.99	0.75
Średnia	3.5	3.3	3.6	3.5	3.5	3.7
Odch. s.	4.4	4.1	4.6	4.4	4.4	4.5
Max	23	20	29	23	25	31
FB _{FN}	0	0.07	0.04	0.00	0.02	0.04
FB _{FP}	0	0.02	0.08	0.00	0.02	0.09
MOE _{FN}	1	0.93	0.96	1.00	0.98	0.96
MOE _{FP}	1	0.98	0.92	1.00	0.98	0.91
MG _{FN}	1	4.11	1.03	1.00	1.05	1.03
MG _{FP}	1	1.01	1.26	1.01	1.04	1.46

W celu określenia wpływu uwzględnienia zróżnicowanej rzeźby terenu na wyniki obliczeń zanieczyszczeń obliczono również cząstkowe błędy systematyczne (FB) dla wszystkich punktów obliczeniowych. Rysunki 6.73, 6.75, 6.77 przedstawiają wartości cząstkowych FB wyliczonych dla opcji 1 (teren rzeczywisty, brak uwzględnienia efektu kinematycznego, spływu powietrza ze wzgórz oraz efektu bloku) i opcji 5 (teren rzeczywisty, uwzględnienie łącznego wpływu wszystkich efektów). Wartościami odniesienia są wyniki obliczeń stężeń zanieczyszczeń dla opcji 1 i terenu płaskiego.

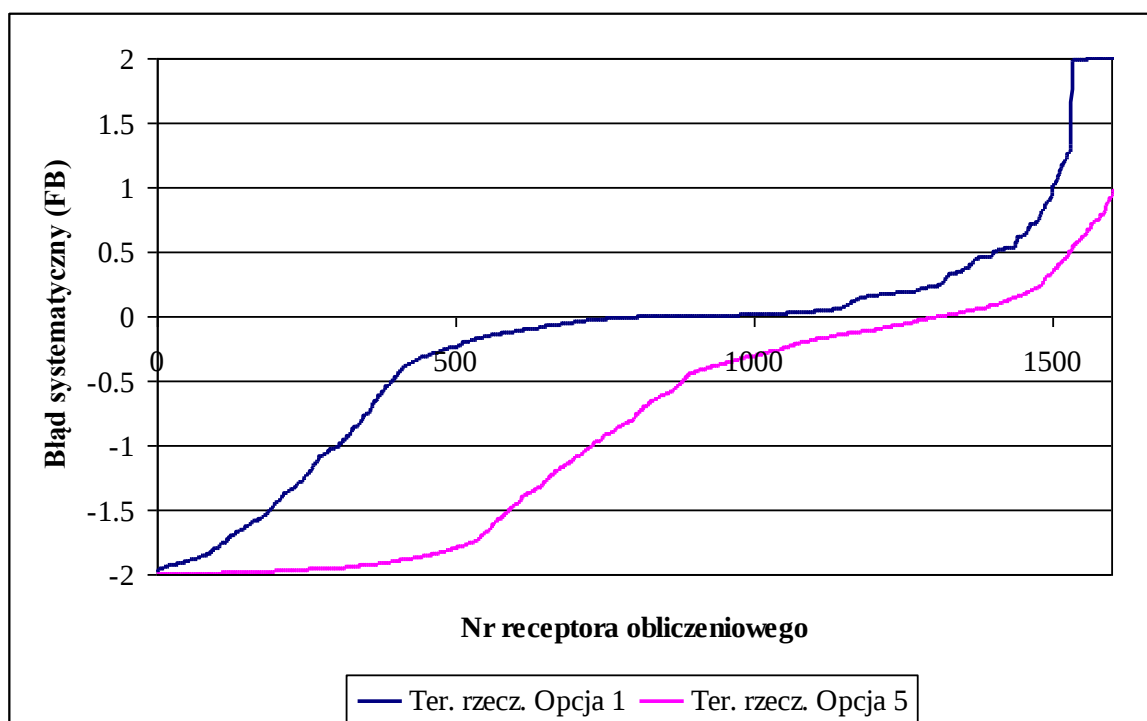
Natomiast rysunki 6.74, 6.76 i 6.78 przedstawiają wartości cząstkowych błędów systematycznych (FB) wyliczonych dla opcji od 2 do 5, gdzie odniesieniem były wyniki obliczeń stężeń zanieczyszczeń dla opcji 1 i terenu rzeczywistego. W związku z tym widoczne na nich różnice przedstawiają różnice w cząstkowych FB wynikające jedynie z uwzględnienia pojedynczego efektu (opcje od 2 do 4), bądź wszystkich jednocześnie (opcja 5).



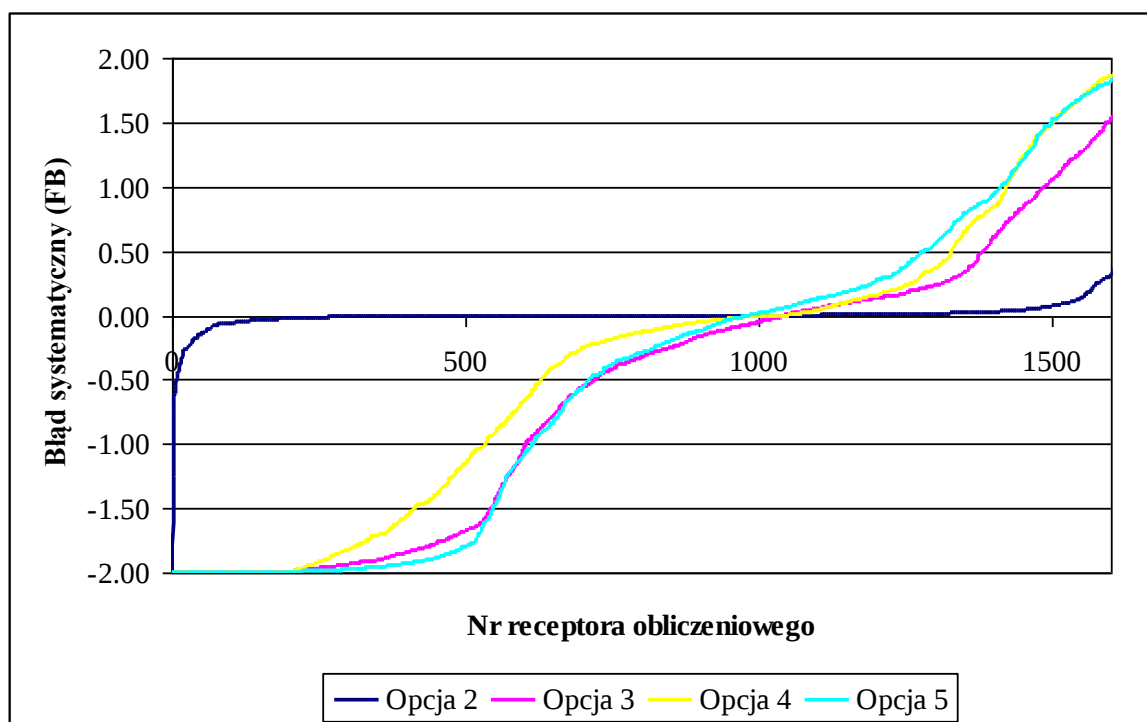
Rys. 6.73. Zmienność obliczonych błędów systematycznych (FB) dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (wartości odniesienia stanowią wyniki stężeń dla terenu płaskiego i opcji 1, emitator punktowy $h=5\text{m}$)



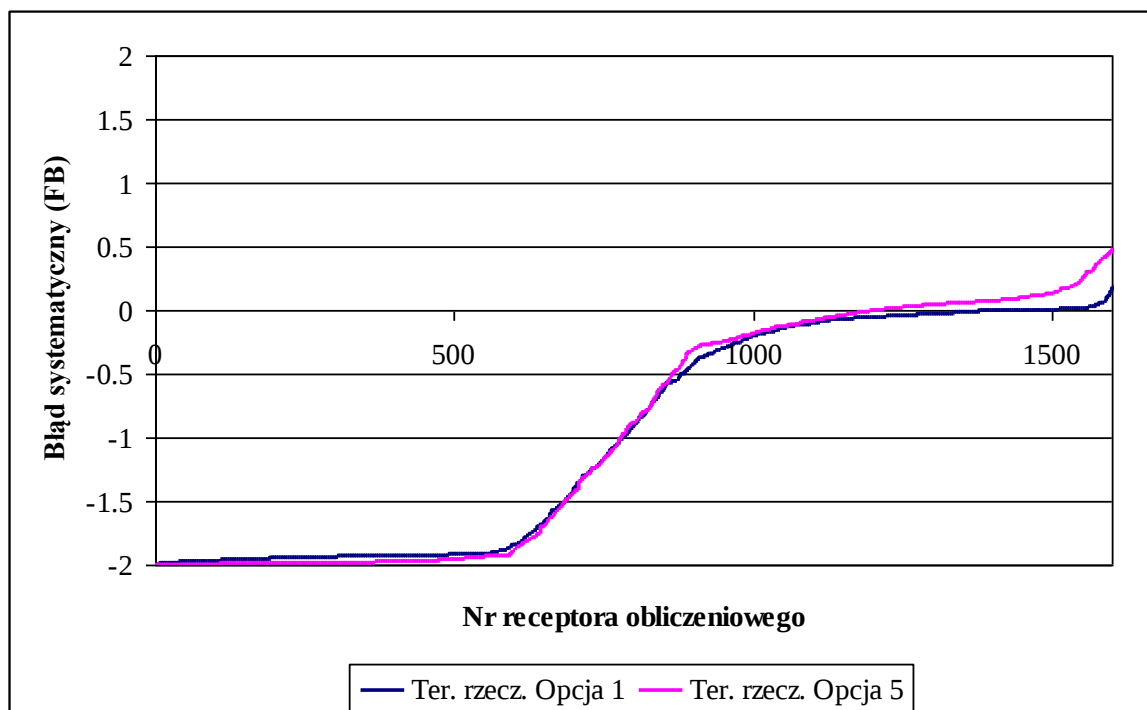
Rys. 6.74. Zmienność obliczonych błędów systematycznych (FB) dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (wartości odniesienia stanowią wyniki stężeń dla terenu rzeczywistego i opcji 1, emitor punktowy $h=5m$)



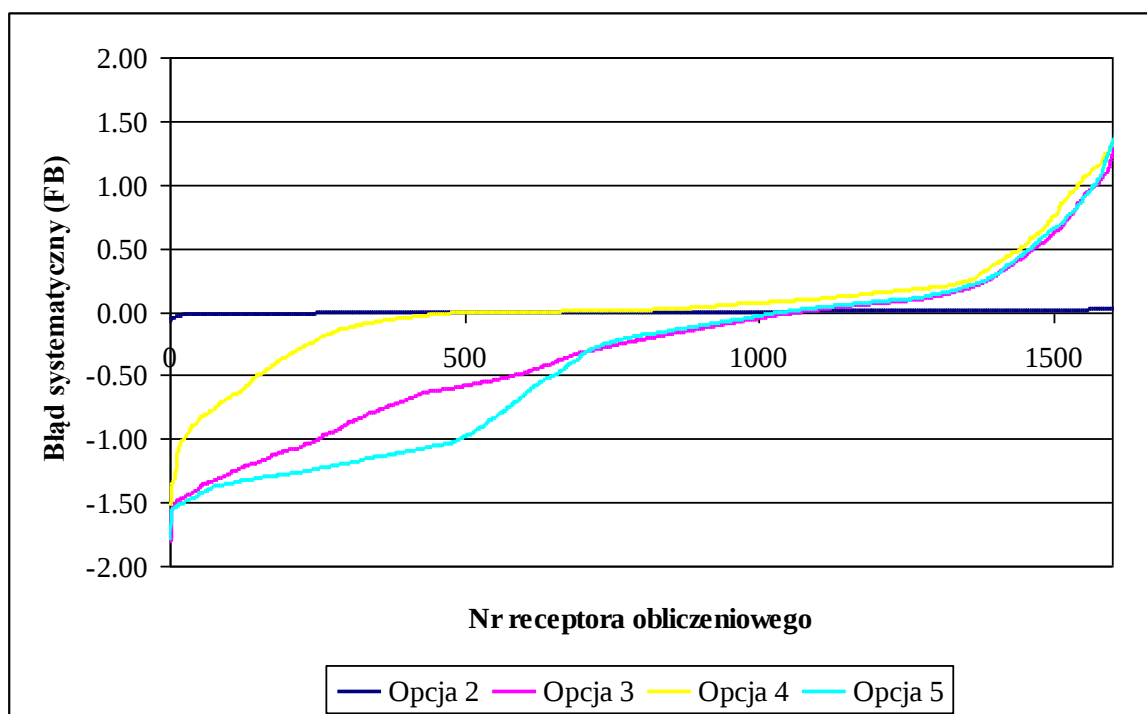
Rys. 6.75. Zmienność obliczonych błędów systematycznych (FB) dla poszczególnych receptorów obliczeniowych, (wartości odniesienia stanowią wyniki stężeń dla terenu płaskiego i opcji 1, emitor punktowy $h=50m$)



Rys. 6.76. Zmienność obliczonych błędów systematycznych (FB) dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (wartości odniesienia stanowią wyniki stężeń dla terenu rzeczywistego i opcji 1, emitor punktowy $h=50m$)



Rys. 6.77. Zmienność obliczonych błędów systematycznych (FB) dla poszczególnych receptorów obliczeniowych, (wartości odniesienia stanowią wyniki stężeń dla terenu płaskiego i opcji 1, emitor punktowy $h=200m$)



Rys. 6.78. Zmienność obliczonych błędów systematycznych (FB) dla poszczególnych receptorów obliczeniowych (wartości odniesienia stanowią wyniki stężeń dla terenu rzeczywistego i opcji 1, emitor punktowy $h=200\text{m}$)

Podstawowe statystyki wyznaczonych cząstkowych błędów systematycznych FB (wyluczanych na podstawie poszczególnych wyników obliczeń) w zależności od przyjętych opcji przedstawiają tabele 6.19 i 6.20. Zawarte są w nich wartości maksymalne, minimalne, odchylenie standardowe i wartość średnia FB wyznaczono z wszystkich wyników obliczeń (1600 na każdą opcję).

Tabela 6.19 Podstawowe statystyki błędów systematycznych (FB) dla opcji 1 i 5

Wysokość emitora	Statystyka	1	5
h=5m	odchylenie	0.47	1.35
	Max	2.00	1.97
	Min	-2.00	-2.00
	średnia	-0.02	-0.14
h=50m	odchylenie	0.91	0.94
	Max	2.00	1.53
	Min	-1.98	-2.00
	średnia	-0.14	-0.84
h=200m	odchylenie	0.88	0.94
	max	0.60	0.85
	min	-2.00	-2.00
	średnia	-0.95	-0.92

Tabela 6.20 Podstawowe statystyki błędów systematycznych (FB) dla opcji 2 – 5

Wysokość emitora	Statystyka	2	3	4	5
h=5m	odchylenie	0.38	1.31	1.01	1.35
	max	2.00	1.97	1.94	1.98
	min	-2.00	-2.00	-2.00	-2.00
	<i>średnia</i>	0.08	-0.18	-0.28	-0.11
h=50m	odchylenie	0.14	1.11	1.15	1.25
	max	1.23	1.89	1.98	1.98
	min	-1.99	-2.00	-2.00	-2.00
	<i>średnia</i>	0.01	-0.56	-0.36	-0.46
h=200m	odchylenie	0.01	0.65	0.47	0.74
	max	0.10	1.87	1.90	1.90
	min	-0.07	-1.81	-1.52	-1.80
	<i>średnia</i>	0.00	-0.26	0.07	-0.34

W celu oszacowania różnic w stosunku do przyjętej wartości odniesienia wyliczono również częstość występowania cząstkowych wskaźników FB w trzech grupach (tabela. 6.21, tabela 6.22):

- $-0.1 \leq FB \leq 0.1$ – bardzo dobra zgodność wyników,
- $-0.35 \leq FB \leq 0.35$ – dobra zgodność wyników,
- $-0.66(6) \leq FB \leq 0.66(6)$ – satysfakcjonująca zgodność wyników.

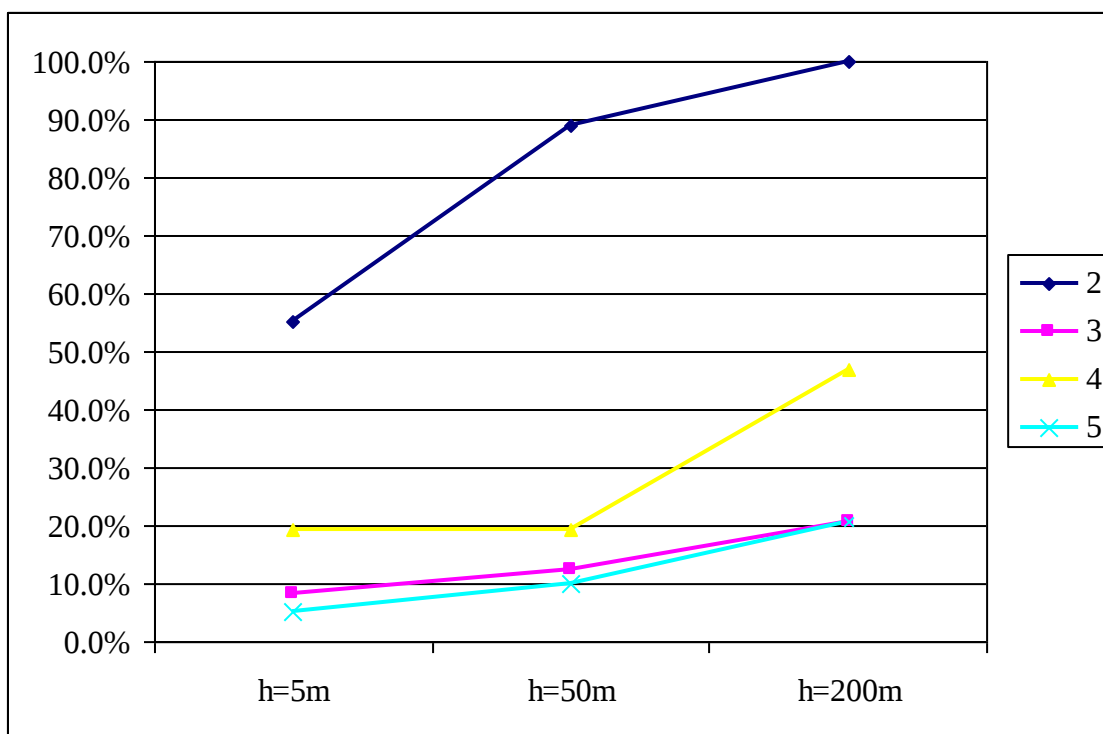
Porównanie częstości występowania FB w danym przedziale zgodności wyników dla opcji 2 – 5 przedstawiono również na rysunkach 6.79 – 6.81. Gdzie rysunek 6.79 pokazuje procentu zgodności modeli dla FB pomiędzy -0.1 do 0.1, rysunek 6.80. pokazuje procentu zgodności modeli dla FB pomiędzy -0.35 do 0.35, a rysunek 6.81 pokazuje procentu zgodności modeli dla FB pomiędzy -0.66(6) do 0.66(6).

Tabela 6.21 Procent zgodności błędów systematycznych (FB) wyznaczonych dla opcji 1 i 5 (teren rzeczywisty) w stosunku do wartości odniesienia (opcja 1 teren płaski)

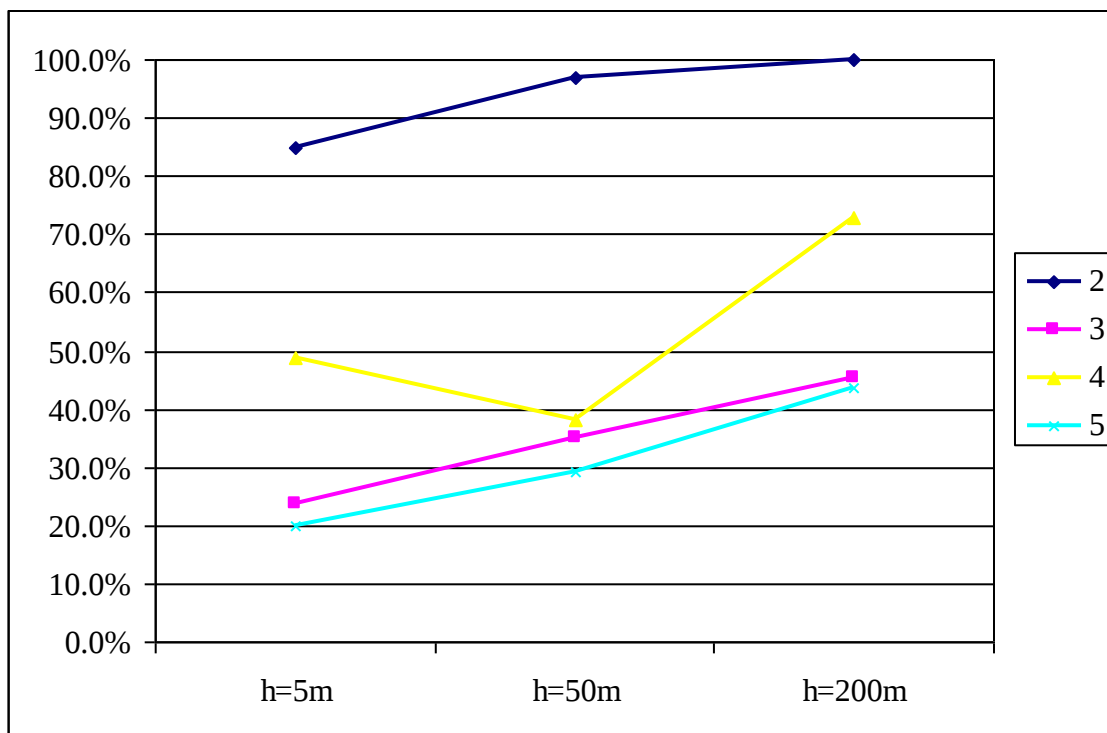
Wysokość emitora	FB	1	5
h=5m	0.10	61.3%	4.4%
	0.35	83.6%	16.1%
	0.66(6)	90.0%	32.1%
h=50m	0.10	32.7%	12.6%
	0.35	56.0%	32.7%
	0.66(6)	66.6%	44.6%
h=200m	0.10	29.8%	22.8%
	0.35	43.1%	41.7%
	0.66(6)	48.6%	48.3%

Tabela 6.22 Tabela 6.20 Procent zgodności błędów systematycznych (FB) wyznaczonych dla opcji 2 - 5 (teren rzeczywisty) w stosunku do wartości odniesienia (opcja 1 teren płaski)

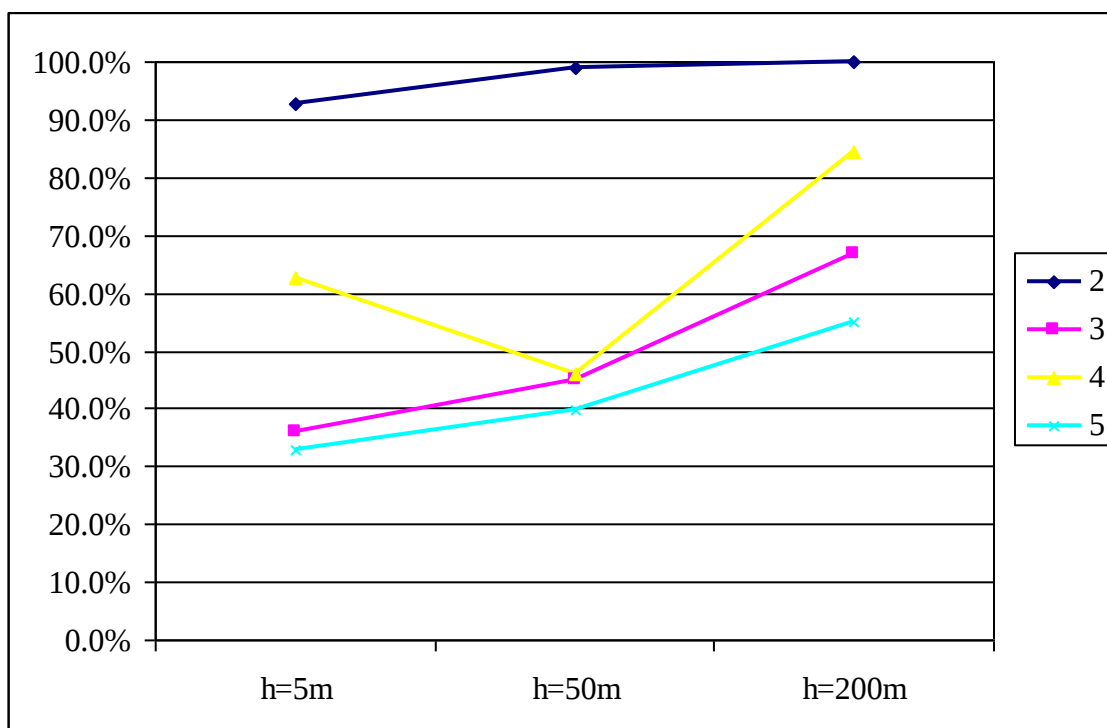
Wysokość emitora	FB	2	3	4	5
h=5m	0.10	55.1%	8.2%	19.4%	5.2%
	0.35	84.7%	23.6%	48.8%	20.0%
	0.66(6)	92.8%	36.1%	62.7%	32.9%
h=50m	0.10	89.1%	12.4%	19.2%	9.9%
	0.35	96.8%	35.0%	38.3%	29.1%
	0.66(6)	99.0%	45.1%	46.0%	39.8%
h=200m	0.10	100.0%	20.6%	47.0%	20.8%
	0.35	100.0%	45.2%	72.8%	43.8%
	0.66(6)	100.0%	66.7%	84.3%	55.0%



Rys. 6.79. Zestawienie procentu zgodności modeli dla błędów systematycznych (FB) pomiędzy -0.1 do 0.1



Rys. 6.80. Zestawienie procentu zgodności modeli dla błędów systematycznych (FB) pomiędzy -0.35 do 0.35



Rys. 6.81. Zestawienie procentu zgodności modeli dla błędów systematycznych (FB) pomiędzy -0.67 do 0.67

Wybór opcji uwzględniających ukształtowanie terenu w nieznaczny sposób wpłynął na kształty rozkładów stężeń zanieczyszczeń. Większe różnice były widoczne jedynie w obszarach, w których przemieszczające się zanieczyszczenia natrafiały na przeszkody w postaci gór. Bardzo wyraźnie były natomiast różnice w występowaniu obszarów o wysokich stężeniach zanieczyszczeń. Szczegółowa analiza statystyczna pokazała bardzo wysokie różnice w wyznaczanych wartościach stężeń dla obszarów o silnie zróżnicowanej rzeźbie terenu. Maksymalne 1-godzinne stężenie wyliczone w terenie górskim (dla emitora o wysokości 5m) wahało się od $3573 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla opcji 5 uwzględniającej wszystkie efekty terenowe, do $15696 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla opcji 1, która ich nie uwzględnia (ponad 4-krotna różnica). Natomiast dla terenu płaskiego różnice te znacząco zmniejszały się, i tak maksymalne 1-godzinne stężenie wyliczone w tym terenie dla powyższych opcji wyniosło odpowiednio $523 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $536 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (różnica w wysokości 2%).

Zauważono wyraźną tendencję do zmniejszania różnic w wyznaczanych stężeniach wraz ze wzrostem wysokości emitorów, jednak w dalszym ciągu różnica ta była znacząca. Przykładowo, dla emitora o wysokości 200m maksymalne 1-godzinne stężenie SO_2 wyliczone w terenie górskim wyniosło $379 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla opcji 5 uwzględniającej wszystkie efekty terenowe i $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dla opcji 1, która ich nie uwzględnia (2-krotna różnica).

Niewątpliwie teren o zróżnicowanej rzeźbie znacząco wpływa na pole meteorologiczne tego obszaru, a w związku z tym na wyniki modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. W jego wyznaczaniu należy zatem uwzględniać topografię terenu obliczeniowego, także szereg zjawisk fizycznych takich jak efekt kinematyczny, spływ powietrza ze wzgórz czy efekt bloku.

6.3. RZEŻBA TERENU (CALPUFF)

6.3.1 Dane wejściowe

Do obliczenia rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń wykorzystano dane emisyjne i topograficzne identyczne jak w rozdziale 6.2. W pierwszej kolejności przygotowano pole meteorologiczne (wyznaczone preprocesorem CALMET) uwzględniające efekt kinematyczny, spływ powietrza ze wzgórz, a także efektu bloku. Tak wyznaczona meteorologia w obszarze obliczeń stanowiła podstawę do dalszych obliczeń wpływu zachowania się smugi/obłoku zanieczyszczeń w momencie napotkania na przeszkodę w terenie.

Wpływ ten może być realizowany za pomocą różnych metod, do których należą: metoda ISC (str. 45), metoda częściowej smugi (str. 45) i metoda Calpuff (str. 47).

6.3.2 Wyniki obliczeń

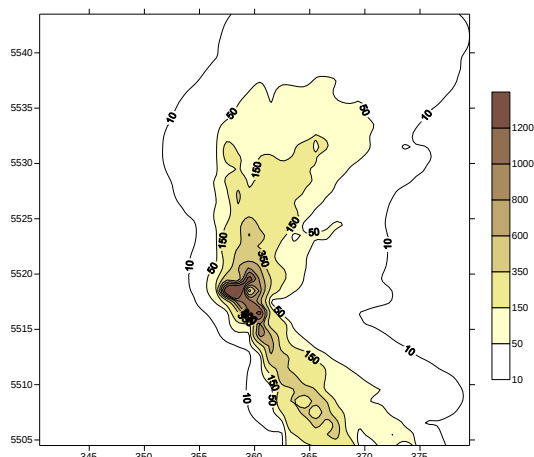
Dla każdej z metod, wykonano mapy rozkładów 1-godzinnych stężeń maksymalnych. Jako kryterium oceny jakości modelowania przyjęto podobieństwo kształtu rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń dla poszczególnych metod obliczeniowych (przedstawionych na rysunkach 6.82 – 6.93) w stosunku do rozkładu nie uwzględniającego żadnej z metod.

Rysunki 6.82 – 6.85 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punkowego o wysokości $h=5\text{m}$ dla każdej z metod.

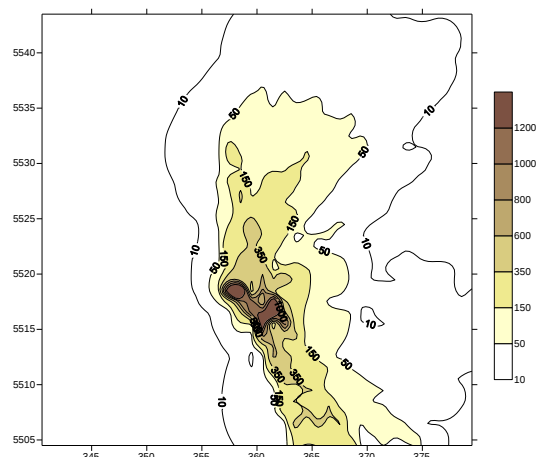
Rysunki 6.86 – 6.89 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punkowego o wysokości $h=50\text{m}$ dla każdej z metod.

Rysunki 6.90 – 6.93 przedstawiają rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , dla emitora punkowego o wysokości $h=200\text{m}$ dla każdej z metod.

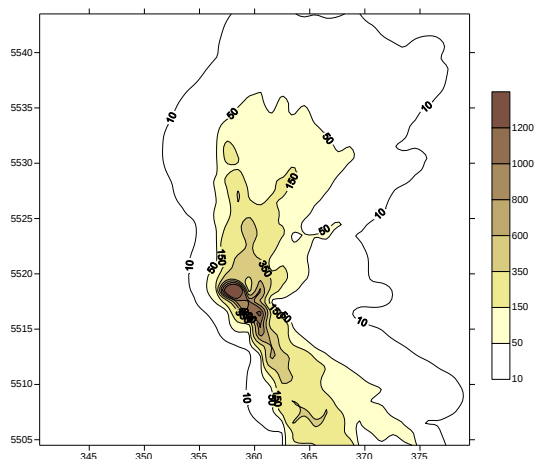
W związku z jednakową meteorologią różnice w kształcie rozkładu zanieczyszczeń pochodzących z jednakowych emitorów nie są znaczne. Różnice pojawiają się na niewielkich obszarach, w których smuga bezpośrednio oddziałuje z terenem (w południowej części siatki obliczeniowej).



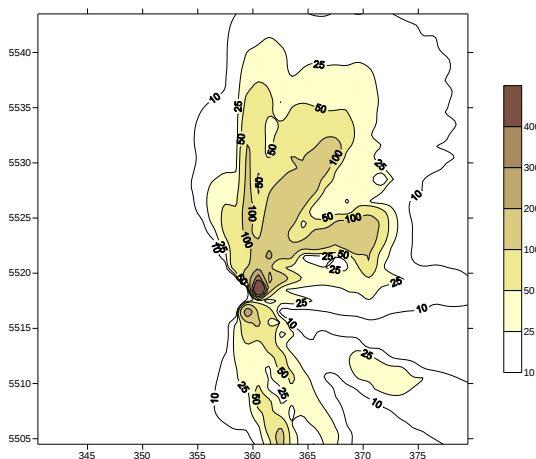
Rys. 6.82. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , nieuwzględnienie rzeźby terenu (emitor punktowy h=5m)



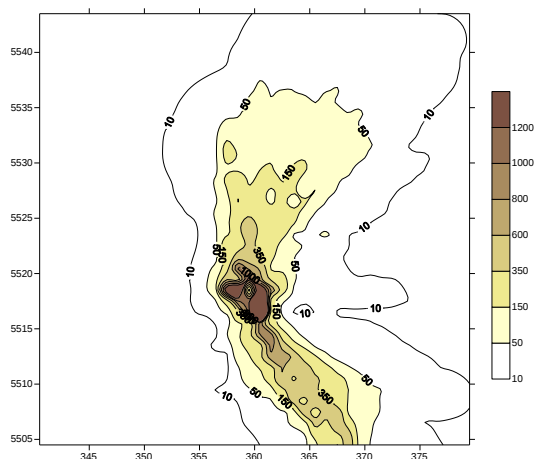
Rys. 6.85. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , metoda częściowej smugi (emitor punkt. h=5m)



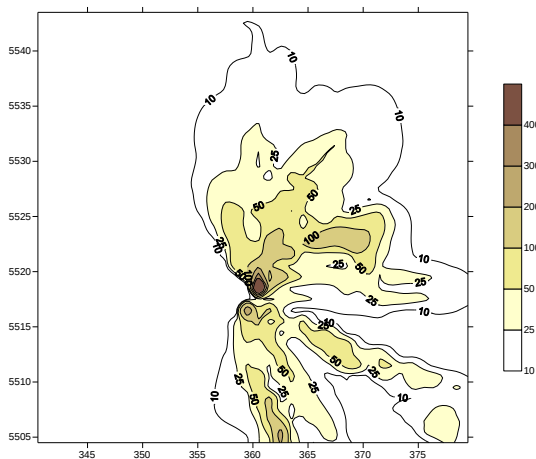
Rys. 6.83. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , metoda ISC (emitor punktowy h=5m)



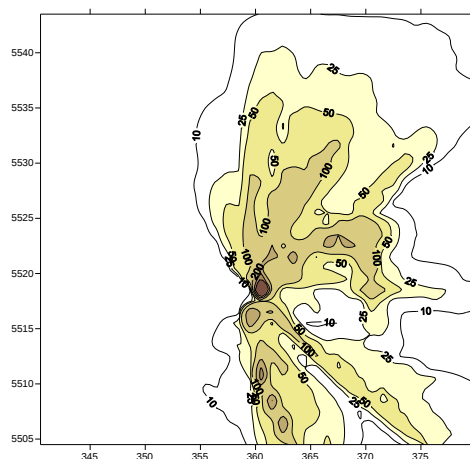
Rys. 6.86. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , nieuwzględnienie rzeźby terenu (emitor punktowy h=50m)



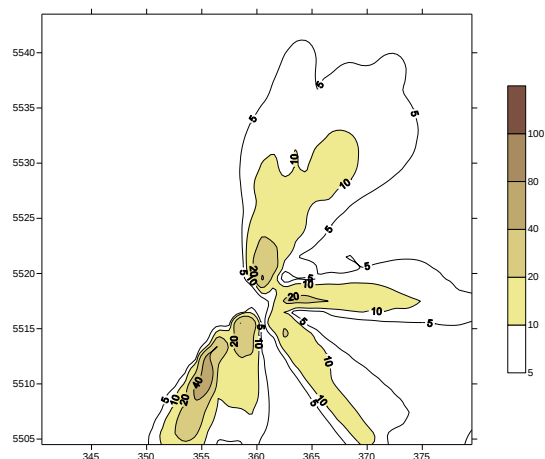
Rys. 6.84. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , metoda Calpuff (emitor punktowy h=5m)



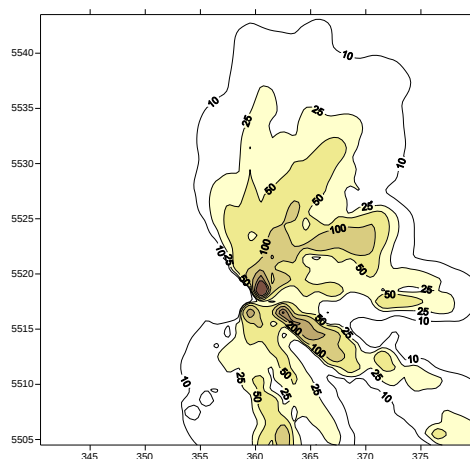
Rys. 6.87. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO_2 , metoda ISC (emitor punktowy h=50m)



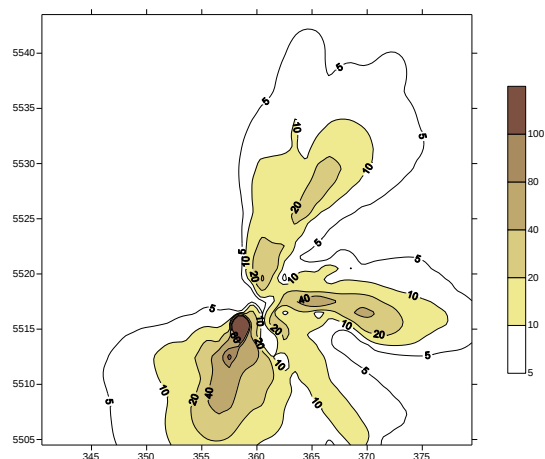
Rys. 6.88. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, metoda Calpuff (emitor punktowy h=50m)



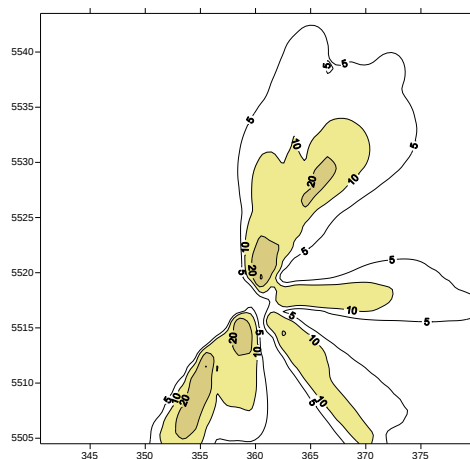
Rys. 6.91. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, metoda ISC (emitor punktowy h=200m)



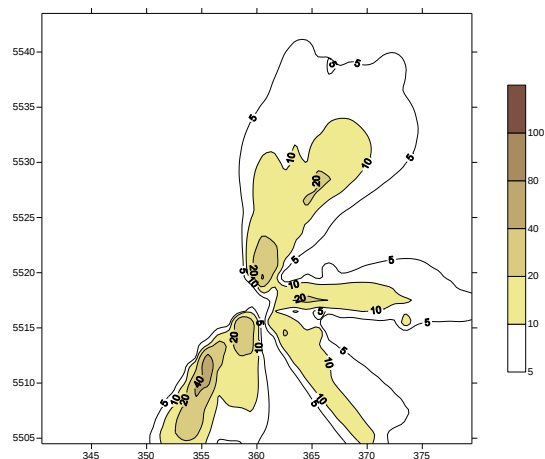
Rys. 6.89. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, metoda częściowej smugi (emitor punkt. h=50m)



Rys. 6.92. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, metoda Calpuff (emitor punktowy h=200m)



Rys. 6.90. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, nieuwzględnienie rzeźby terenu (emitor punkt. h=200m)



Rys. 6.93. Rozkład 1-godzinnych stężeń maksymalnych SO₂, metoda częściowej smugi (emitor punkt. h=200m)

6.3.3 Analiza statystyczna

Podobnie jak we wcześniejszym rozdziale analizę statystyczną przeprowadzono zarówno dla całości obszaru obliczeniowego jak i dla poszczególnych części scharakteryzowanych jako teren górzysty i teren o niezróżnicowanej rzeźbie. Dzięki temu można było ocenić wpływ poszczególnych opcji na wyniki zanieczyszczeń dla obu typów terenu (górzystego i stosunkowo płaskiego). Tabele 6.22 – 6.30 przedstawiają zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych na podstawie rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń.

Tabela 6.22 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=5\text{m}$ i całego obszaru obliczeniowego.

Tabela 6.23 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=5\text{m}$ i terenu górzystego.

Tabela 6.24 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=5\text{m}$ i terenu o niezróżnicowanej rzeźbie.

Tabela 6.25 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=50\text{m}$ i całego obszaru obliczeniowego.

Tabela 6.26 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=50\text{m}$ i terenu górzystego.

Tabela 6.27 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=50\text{m}$ i terenu o niezróżnicowanej rzeźbie.

Tabela 6.28 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=200\text{m}$ i całego obszaru obliczeniowego.

Tabela 6.29 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=200\text{m}$ i terenu górzystego.

Tabela 6.30 przedstawia zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, dla emitora punktowego o wysokości $h=200\text{m}$ i terenu o nie-różnicowanej rzeźbie.

Tabela 6.22. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, cały obszar obliczeń (emitor punktowy $h=5\text{m}$)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	0.15	-0.10	-0.06
MG	1	1.11	1.01	0.91
NMSE	0	0.61	3.27	2.16
VG	1	1.06	1.13	1.23
R	1	0.97	0.87	0.86
FAC2	1	0.97	0.95	0.88
Średnia	48.5	41.6	53.5	51.5
Odch. s.	129.4	118.2	178.2	142.1
Max	1868	1868	3573	1868
FB_{FN}	0	0.17	0.09	0.10
FB_{FP}	0	0.02	0.19	0.16
MOE_{FN}	1	0.84	0.90	0.90
MOE_{FP}	1	0.98	0.82	0.85
MG_{FN}	1	1.12	1.09	1.07
MG_{FP}	1	1.01	1.08	1.18

Tabela 6.23. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, obszar górzysty (emitor punktowy h=5m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	0.08	-0.20	-0.17
MG	1	1.02	0.95	0.74
NMSE	0	0.58	3.53	2.30
VG	1	1.02	1.25	1.48
R	1	0.97	0.87	0.85
FAC2	1	1.00	0.90	0.77
Średnia	62.5	57.5	76.1	73.9
Odch. s.	172.8	159.4	244.8	192.1
Max	1868	1868	3573	1868
FB _{FN}	0	0.11	0.08	0.07
FB _{FP}	0	0.02	0.27	0.23
MOE _{FN}	1	0.90	0.91	0.93
MOE _{FP}	1	0.98	0.75	0.79
MG _{FN}	1	1.04	1.10	1.03
MG _{FP}	1	1.02	1.16	1.38

Tabela 6.24. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, obszar o nieodróżnianej rzeźbie (emitor punktowy h=5m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	0.29	0.10	0.16
MG	1	1.22	1.07	1.11
NMSE	0	0.43	0.14	0.14
VG	1	1.11	1.03	1.03
R	1	0.97	0.98	0.99
FAC2	1	0.94	1.00	1.00
Średnia	34.4	25.6	31.0	29.2
Odch. s.	56.6	45.2	50.7	49.5
Max	537	512	523	523
FB _{FN}	0	0.29	0.12	0.16
FB _{FP}	0	0.00	0.02	0.00
MOE _{FN}	1	0.75	0.89	0.85
MOE _{FP}	1	1.00	0.98	1.00
MG _{FN}	1	1.22	1.08	1.11
MG _{FP}	1	1.00	1.01	1.00

Tabela 6.25. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, cały obszar obliczeń (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	0.28	-0.25	0.06
MG	1	1.19	0.86	0.97
NMSE	0	1.10	1.01	1.53
VG	1	1.29	1.32	1.52
R	1	0.88	0.88	0.80
FAC2	1	0.81	0.87	0.80
Średnia	20.4	15.4	26.4	19.3
Odch. s.	38.3	32.5	47.1	38.8
Max	756	756	823	756
FB _{FN}	0	0.36	0.05	0.24
FB _{FP}	0	0.08	0.31	0.18
MOE _{FN}	1	0.69	0.94	0.77
MOE _{FP}	1	0.91	0.73	0.81
MG _{FN}	1	1.27	1.09	1.19
MG _{FP}	1	1.07	1.27	1.22

Tabela 6.26. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, obszar górzysty (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	-0.06	-0.47	-0.28
MG	1	0.92	0.77	0.70
NMSE	0	0.40	1.67	1.90
VG	1	1.12	1.62	1.88
R	1	0.96	0.88	0.81
FAC2	1	0.94	0.78	0.80
Średnia	19.2	20.4	31.0	25.5
Odch. s.	43.8	43.1	58.7	50.7
Max	756	756	823	756
FB _{FN}	0	0.08	0.01	0.05
FB _{FP}	0	0.14	0.48	0.33
MOE _{FN}	1	0.92	0.98	0.94
MOE _{FP}	1	0.86	0.61	0.71
MG _{FN}	1	1.06	1.12	1.04
MG _{FP}	1	1.15	1.46	1.49

Tabela 6.27. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, obszar o niezróżnicowanej rzeźbie (emitor punktowy h=50m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	0.70	0.00	0.48
MG	1	1.53	0.96	1.35
NMSE	0	2.38	0.20	0.99
VG	1	1.49	1.08	1.22
R	1	0.88	0.95	0.96
FAC2	1	0.68	0.95	0.80
Średnia	21.6	10.5	21.7	13.2
Odch. s.	31.9	14.4	30.7	19.1
Max	169	100	185	124
FB _{FN}	0	0.70	0.10	0.48
FB _{FP}	0	0.00	0.10	0.00
MOE _{FN}	1	0.48	0.90	0.61
MOE _{FP}	1	1.00	0.90	1.00
MG _{FN}	1	1.53	1.07	1.35
MG _{FP}	1	1.00	1.11	1.00

Tabela 6.28. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, cały obszar obliczeń (emitor punktowy h=200m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	-0.03	-0.51	-0.04
MG	1	1.06	0.58	1.02
NMSE	0	0.19	5.06	0.10
VG	1	1.19	2.71	1.08
R	1	0.96	0.58	0.98
FAC2	1	0.89	0.68	0.97
Średnia	4.1	4.2	6.9	4.2
Odch. s.	5.5	6.0	13.9	5.9
Max	42	63	379	61
FB _{FN}	0	0.05	0.02	0.02
FB _{FP}	0	0.07	0.53	0.05
MOE _{FN}	1	0.95	0.97	0.98
MOE _{FP}	1	0.93	0.58	0.95
MG _{FN}	1	1.18	1.04	1.08
MG _{FP}	1	1.10	1.80	1.07

Tabela 6.29. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, obszar górzysty (emitor punktowy h=200m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	-0.11	-0.73	-0.09
MG	1	0.87	0.35	0.90
NMSE	0	0.20	5.93	0.13
VG	1	1.21	6.73	1.11
R	1	0.96	0.55	0.97
FAC2	1	0.86	0.40	0.95
Średnia	4.8	5.3	10.2	5.2
Odch. s.	6.4	7.5	18.6	7.2
Max	42	63	379	61
FB _{FN}	0	0.01	0.03	0.01
FB _{FP}	0	0.12	0.75	0.09
MOE _{FN}	1	0.99	0.96	1.00
MOE _{FP}	1	0.88	0.45	0.91
MG _{FN}	1	1.06	1.02	1.03
MG _{FP}	1	1.22	2.88	1.14

Tabela 6.30. Zestawienie wskaźników statystycznych wyznaczonych z rozkładu 1-godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO₂ w zależności od przyjętej metody uwzględnienia rzeźby terenu, obszar o nieodróżnianej rzeźbie (emitor punktowy h=200m)

Wskaźnik	Brak	ISC	Calpuff	Cz. smugi
FB	0	0.11	-0.06	0.04
MG	1	1.30	0.95	1.14
NMSE	0	0.12	0.03	0.02
VG	1	1.17	1.09	1.04
R	1	0.98	0.99	1.00
FAC2	1	0.92	0.96	1.00
Średnia	3.5	3.1	3.7	3.3
Odch. s.	4.2	3.5	4.5	4.0
Max	24	17	31	23
FB _{FN}	0	0.11	0.01	0.04
FB _{FP}	0	0.00	0.07	0.00
MOE _{FN}	1	0.89	0.99	0.96
MOE _{FP}	1	1.00	0.94	1.00
MG _{FN}	1	1.30	1.07	1.14
MG _{FP}	1	1.00	1.13	1.00

Podobnie jak w przypadku doboru opcji preprocesora meteorologiczne CALMET tak i w tym przypadku dobór metod uwzględniania ukształtowania terenu w nieznaczny sposób wpłynął na kształty rozkładów stężeń zanieczyszczeń, a różnice obserwowano jedynie w obszarach bezpośredniej interakcji obłoku zanieczyszczeń ze wzgórzem.

Szczegółowa analiza statystyczna pokazała stosunkowo niewielkie różnice pomiędzy poszczególnymi metodami za wyjątkiem metody Calpuff. Dla terenu górskiego różnica w wartościach stężeń SO_2 pomiędzy metodą Calpuff a pozostałymi metodami wynosiła prawie 100% (w przypadku niskiego emitora $h=5\text{m}$). Dla obszaru płaskiego różnica ta zmniejszała się do kilku procent. Podobną zależność zauważono w przypadku wysokich emitorów. Natomiast najmniejszymi różnicami w wartościach obliczanych stężeń wystąpiły dla emitora 50 metrowego dla terenu górskiego (około 10% różnica pomiędzy metodą Calpuff a pozostałymi).

7. OPTYMALIZACJA WYBORU OPCJI MODELU

Wyniki i analiza obliczeń wykonana we wcześniejszym rozdziale pozwoliła na opracowanie systemu eksperckiego wspomagającego wybór właściwych opcji modelu CALMET/CALPUFF w zależności od parametrów wejściowych. System ten ma charakter otwarty, tzn. na podstawie zgromadzonej wiedzy podpowiada najlepsze opcje w plikach wejściowych do preprocesora CALMET i właściwej aplikacji CALPUFF. Ostateczny wybór zostawia jednak użytkownikowi. Istnieje możliwość ciągłego doskonalenia aktualnej wersji programu w miarę rozszerzania wiedzy o czynnikach determinujących rozkład stężeń zanieczyszczeń w powietrzu. System ten został zaimplementowany w języku C++ przy wykorzystaniu środowiska programistycznego Borland C++ Builder 6.0. Aplikacja ta wraz z przykładowymi plikami wejściowymi/wyjściowymi znajduje się w załączniku nr 9 (płyta CD). Uruchomienie programu następuje po naciśnięciu ikony optymalizacja.exe

7. 1. OPIS FUNKCJONALNOŚCI PROGRAMU

Aplikacja optymalizacja ma za zadanie ustawić parametry plików wejściowych do preprocesora meteorologicznego CALMET i właściwej aplikacji CALPUFF zgodnie z oczekiwaniami użytkownika. Użytkownik nie musi znać szczegółowych znaczeń zmiennych, które są wykorzystywane w tych plikach. Wartości zmiennych aplikacja ustala na podstawie odpowiedzi udzielonych przez użytkownika, na podstawie przeprowadzonych wcześniej obliczeń i studiów literaturowych. System ekspercki pozwala na ustalenie odpowiednich parametrów zarówno dla preprocesora CALMET jak i CALPUFF. Możliwie jest również skorzystanie z obu opcji jednocześnie. Oprócz proponowania ustawienia zmiennych na wartości najbardziej optymalne (w zależności od sytuacji), aplikacja ocenia jakość danych meteorologicznych pochodzących ze stacji meteorologicznych i aerologicznych w zależności od ich ilości i lokalizacji. Przy optymalizacji aplikacja ta bierze pod uwagę również rozmiar siatki obliczeniowej. Poniżej znajduje się opis wszystkich parametrów, których wartości mogą być ustalane przez program.

Plik wejściowy CALMET

IFRADJ – uwzględnienie efektu bloku (0, 1).

IKINE – uwzględnienie efektu kinematycznego (0, 1).

ISLOPE – uwzględnienie spływu wiatru ze wzgórz (0, 1).

Plik wejściowy CALPUFF

MGAUSS – odpowiada za sposób poziomej dystrybucji stężeń zanieczyszczeń w bliskiej odległości od emitora (wartości 0 i 1).

MCTADJ – odpowiada za sposób w jaki zachowuje się smuga/obłok zanieczyszczeń po napotkaniu przeszkody terenowej (wartości 0, 1, 2, 3).

MSLUG – obłoki zanieczyszczeń w bliskiej odległości od emitora traktowane są jako smugi (wartości: 0, 1).

MTIP – odpowiada za odchylenie strugi na szczycie emitora (wartości: 0, 1).

MSHEAR – ścięcie smugi (0, 1).

MSPLIT – podział obłoków (0, 1).

MDISP – sposób określania dyspersji zanieczyszczeń (1, 2, 3, 4, 5).

MPARTL – częściowa penetracja smugi (0, 1).

ICALM – uwzględnienie wiatru powierzchniowego w przypadku ciszy (0,1).

7.1.1 Blok CALMET

Uwzględnienie ilości danych meteorologicznych umożliwiały zaprojektowane specjalnie do tego celu funkcje wyznaczające wartości współczynników dla naziemnych i aerologicznych stacji meteorologicznych. Wykorzystany w nich algorytm obliczeniowy wyznacza odległości poszczególnych stacji meteorologicznych od środka siatki obliczeniowej, a następnie porównuje ją z jej wielkością w celu sprawdzenia czy stacje te znajdują się na obszarze obliczeniowym. W przypadku gdy siatka obliczeniowa jest bardzo duża, może okazać się, że wszystkie stacje leżą wewnątrz promienia r . Z tego powodu wartości współczynników wsp_m , wsp_a zależą również od gęstości występowania stacji. Przyjęto założenie, że na każde $10\,000\text{ km}^2$, powinna przypadać 1 stacja aerologiczna, a na obszar $1\,000\text{ km}^2$, jedna naziemna stacja meteorologiczna. Oznacza to, że jedna stacja aerologiczna w promieniu znajdująca się w promieniu 100 km od środka siatki obliczeniowej traktowana jest tak samo jak cztery stacje w promieniu 200 km. Wszystkie te zależności przedstawiają wzory 7.1- 7.7.

$$wsp_m = \sum_{i=1}^k m_i \quad (7.1)$$

$$wsp_a = \sum_{j=1}^l a_j \quad (7.2)$$

$$m_i = \begin{cases} \frac{r}{odl_m_i} \cdot m_sk_i & dla \quad r \leq odl_m_i \\ m_sk_i & dla \quad r > odl_m_i \end{cases} \quad (7.3)$$

$$a_j = \begin{cases} \frac{r}{\sqrt{odl_a_j}} \cdot a_sk_j & dla \quad r \leq \sqrt{odl_a_j} \\ a_sk_j & dla \quad r > \sqrt{odl_a_j} \end{cases} \quad (7.4)$$

$$m_sk_i = \begin{cases} \frac{1000}{(odl_m_i)^2} & dla \quad (odl_m_i)^2 \geq 1000 \\ 1 & dla \quad (odl_m_i)^2 < 1000 \end{cases} \quad (7.5)$$

$$a_sk_j = \begin{cases} \frac{10000}{(odl_a_j)^2} & dla \quad odl_a_j \geq 100 \\ 1 & dla \quad odl_a_j < 100 \end{cases} \quad (7.6)$$

$$r = \sqrt{\frac{x}{2} \cdot \frac{y}{2}} \quad (7.7)$$

gdzie:

wsp_m – współczynnik korygujący dla stacji naziemnych,

wsp_a – współczynnik korygujący dla stacji aerologicznych,

m_i – współczynnik dla i-tej stacji naziemnej,

a_j – współczynnik dla j-tej stacji aerologicznej,

m_{sk_i} – współczynnik skali dla i-tej stacji naziemnej,

a_{sk_j} – współczynnik skali dla j-tej stacji naziemnej,

k – ilość naziemnych stacji meteorologicznych,

l – ilość stacji aerologicznych,

odl_{m_i} – odległość i-tej stacji naziemnej od środka siatki obliczeniowej [km],

odl_{a_j} – odległość j-tej stacji aerologicznej od środka siatki obliczeniowej [km],

r – hipotetyczny promień siatki obliczeniowej [km],

x – długość siatki obliczeniowej [km],

y – szerokość siatki obliczeniowej [km].

Aplikacja optymalizacja wymaga procentowego określenia rodzaju terenu w którym wykonywane są obliczenia. Wydzielono 3 kategorię: teren górzysty (duże różnice wysokości przekraczające 300 m, teren średnio-zróznicowany (różnica wysokości waha się w gra-

nicach 100 - 300 m), teren płaski (różnica wysokości nie przekracza 100m). Należy określić powierzchnię jaką pokrywa dana kategoria (w procentach). Dla każdej kategorii terenu i danej wartości zmiennej IFRADJ, IKINE, ISLOPE na podstawie wcześniejszych badań określono cząstkowe współczynniki rzeźby terenu (wsp_cz). Ich wartości przedstawia tabela 7.1. Następnie po przemnożeniu cząstkowych wskaźników przez powierzchnie danej kategorii terenu wyznaczany jest całkowity współczynnik korygujący ze względu na rzeźbę terenu (wsk_rzez), zgodnie z wzorami 7.8 – 7.11.

$$wsp_rzez = wsp_cz(IFRADJ) \cdot wsp_cz(IKINE) \cdot wsp_cz(ISLOPE) \quad (7.8)$$

$$wsp_cz(IFRADJ) = \sum_{i=1}^3 w_{IFRADJ} \cdot ter_i \quad (7.9)$$

$$wsp_cz(IKINE) = \sum_{i=1}^3 w_{IKINE} \cdot ter_i \quad (7.10)$$

$$wsp_cz(ISLOPE) = \sum_{i=1}^3 w_{ISLOPE} \cdot ter_i \quad (7.11)$$

gdzie:

wsp_rzez – całkowity współczynnik korygujący ze względu na rzeźbę,

$wsp_cz(IFRADJ)$ – współczynnik cząstkowy ze względu na zmienną IFRADJ,

$wsp_cz(IKINE)$ – współczynnik cząstkowy ze względu na zmienną IKINE,

$wsp_cz(ISLOPE)$ – współczynnik cząstkowy ze względu na zmienną ISLOPE,

w_{IFRADJ} – wsp. cząstkowy w zależności od rodzaju terenu ze względu na zmienną IFRADJ,

w_{IKINE} – wsp. cząstkowy w zależności od rodzaju terenu ze względu na zmienną IKINE,

w_{ISLOPE} – wsp. cząstkowy w zależności od rodzaju terenu ze względu na zmienną ISLOPE,

ter_1 – procent powierzchni terenu górzystego,

ter_2 – procent powierzchni terenu średnio-zróznicowanego,

ter_3 – procent powierzchni terenu płaskiego,

Tabela 7.1. Zestawienie wartości cząstkowych współczynników rzeźby terenu (wsp_cz)

Wartość zmiennej	Ter. górzysty	Ter. Średnio-zróżnicowany	Ter. płaski
IFRADJ = 1	0.7	0.85	1
IFRADJ = 0	0.3	0.5	1
IKINE = 1	0.65	0.8	1
IKINE = 0	0.75	0.75	0.95
ISLOPE = 1	0.8	0.9	1
ISLOPE = 0	0.4	0.6	1

Wcześniejsze badania wykazały istotną zależność wysokości emitorów na rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń w powietrzu. Aplikacja optymalizacja wymaga procentowego określenia wielkości emisji pochodzącej z wysokich (pow. 100m), średnich (od 20 do 100m) i niskich emitorów (poniżej 20m). Zależność ta jest związana z ilością i rodzajem danych meteorologicznych. Właściwy opis pola imisji pochodzącej z wysokich emitorów wymaga dużej ilości danych pochodzących ze stacji aerologicznych, natomiast wpływ danych z naziemnych stacji meteorologicznych jest mniejszy. Odwrotną zależność zaobserwowano dla niskich emitorów. Zależności te opisują wzory 7.12 – 7.13, natomiast wartości współczynników korygujących wsp_a i wsp_m (odpowiednio $em_a(h_{em})$ i $em_m(h_{em})$) przedstawia tabela 7.2.

$$wsp_emisji(h_{em}) = w(h_{em}) \cdot (wsp_a \cdot ea(h_{em}) + wsp_m \cdot em(h_{em})) \quad (7.12)$$

$$wsp_emisji = \sum_{i=1}^{h_{em}} wsp_emisji(h_{em}) \quad (7.13)$$

gdzie:

wsp_emisji – całkowity współczynnik emisji,

$wsp_emisji(h_{em})$ – cząstkowy współczynnik emisji ze względu na grupę emitorów h_{em} ,

wsp_a - współczynnik korygujący dla stacji aerologicznych,

wsp_m - współczynnik korygujący dla stacji naziemnych,

$ea(h_{em})$ – współczynnik korygujące wsp_a zależny od grupy emitorów h_{em} ,

$em(h_{em})$ – współczynnik korygujące wsp_m zależny od grupy emitorów h_{em} ,

$w(h_{em})$ – procentowa wielkość emisji pochodząca z danej grupy emitorów h_{em} .

Tabela 7.2. Zestawienie wartości współczynników korygujących ze względu na grupę emitorów h_{em}

Grupa emitorów h_{em}	$Em_a(h_{em})$	$em_m(h_{em})$
$h_{em} = \text{Wysokie}$	1.2	1.0
$h_{em} = \text{Średnie}$	1.05	1.05
$h_{em} = \text{Niskie}$	1	1.3

Całkowity wskaźnik bloku CALMET pozwala na ocenę ustawień preprocesora CALMET pod kątem posiadanych danych meteorologicznych, rzeźby terenu, wielkości emisji pochodzącej z różnego rodzaju emitorów. Wylicza się go poprzez wymnożenie współczynnika emisji i rzeźby zgodnie z wzorem 7.14. Współczynniki korygujące dla stacji naziemnych i stacji aerologicznych nie są uwzględnione bezpośrednio przy jego wyznaczaniu gdyż służą do wyznaczenia współczynnika emisji.

$$wsp_calmet = wsp_emisji \cdot wsp_rzez \quad (7.14)$$

Aplikacja optymalizacja wyznacza również względny wskaźnik bloku CALMET poprzez porównanie całkowitego wskaźnika bloku CALMET (wsp_calmet) do wskaźnika teoretycznego (wsp_calmet_teor) zgodnie z wzorem 7.15.

$$wzg_calmet = \frac{wsp_calmet}{wsp_calmet_teor} \cdot 100\% \quad (7.15)$$

Wskaźnik teoretyczny wyznaczany jest przy pomocy wzoru 7.14 przy następujących założeniach:

- $wsp_m = 1$ (jedna naziemna stacja meteorologiczna na obszarze 10 000 km²),
- $wsp_a = 1$ (jedna stacja aerologiczna na obszarze 100 000 km²),
- $wsp_rzez = 1$ (teren płaski, IFRADJ = 1, IKINE = 1, ISLOPE = 1),
- wsp_emisji – wyznaczany zgodnie z rzeczywistą proporcją emisji pochodzącej z emitorów danej grupy.

Wybór najbardziej optymalnych opcji preprocesora CALMET dokonywany jest dwuetapowo. W pierwszej kolejności użytkownikowi przedstawione są najlepiej dobrane parametry zmiennych ustawianych w pliku wejściowym. W drugiej kolejności proponowane są możliwości zwiększenia całkowitego wskaźnika bloku CALMET poprzez uzupełnienie danych meteorologicznych. Może to mieć miejsce gdy np. dane meteorologiczne pochodzą tylko z jednej stacji, bądź ze stacji znajdujących się w dużej odległości od środka siatki obliczeniowej.

7.1.2 Blok CALPUFF

Blok CALPUFF ma za zadanie ocenić ustawienia pliku wejściowego do aplikacji CALPUFF w zależności od rzeźby terenu i wielkości emisji pochodzącej z danej grupy emitorów. Na podstawie wcześniejszych badań własnych, a także danych literaturowych aplikacja optymalizuj proponuje ustawienia większości zmiennych odpowiedzialnych za dyspersję zanieczyszczeń w powietrzu takich jak MGAUSS, MSLUG, MTIP, MSHEAR, MSPLIT, MDISP, MPARTL, ICALM, MCTADJ.

Współczynnik wsp_MGAUSS przyjmuje wartości zgodnie z wzorem 7.16

$$wsp_MGAUSS = \begin{cases} 1 & \text{dla } MGAUSS = 1 \\ 0.9 & \text{dla } MGAUSS = 0 \end{cases} \quad (7.16)$$

Współczynnik wsp_MCTADJ wyznacza się zgodnie z wzorem 7.17.

$$wsp_MCTADJ = \sum_{i=1}^3 w_{MCTADJi} \cdot ter_i \quad (7.17)$$

gdzie:

ter_1 – procent powierzchni terenu górzystego,

ter_2 – procent powierzchni terenu średnio-zróżnicowany,

ter_3 – procent powierzchni terenu płaskiego.

$w_{MCTADJi}$ – cząstkowe współczynniki zależne od rzeźby terenu.

Wartości współczynników $w_{MCTADJi}$ przedstawia tabela 7.3.

Tabela 7.3. Zestawienie wartości cząstkowych współczynników zależnych od rzeźby terenu ($w_{MCTADJi}$)

Wartość zmiennej	Ter. górzysty $w_{MCTADJ1}$	Ter. średnio-zróżnicowany $w_{MCTADJ2}$	Ter. płaski $w_{MCTADJ3}$
MCTADJ = 0	0.5	0.85	1
MCTADJ = 1	0.6	0.8	0.95
MCTADJ = 2	1	1	1
MCTADJ = 3	0.75	0.9	0.95

Współczynnik wsp_MSLUG przyjmuje wartości zgodnie z wzorem 7.18

$$wsp_MSLUG = \begin{cases} 1 & \text{dla } MSLUG = 1 \\ 0.99 & \text{dla } MSLUG = 0 \end{cases} \quad (7.18)$$

Współczynnik wsp_smuga wyznaczany jest na podstawie wartości współczynników zależnych od zmiennych MTIP, MSHEAR, MPARTL oraz wysokości emitorów zgodnie

z wzorami 7.19 – 7.22. Wartości cząstkowych współczynników korygujących przedstawia tabela 7.4.

$$wsp_smuga = wsp_MTIP \cdot wsp_MSHEAR \cdot wsp_MPARTL \quad (7.19)$$

$$wsp_MTIP = \sum_{i=1}^{h_{em}} w_i \cdot wsp_cz_smugi_i \quad (7.20)$$

$$wsp_MSHEAR = \sum_{i=1}^{h_{em}} w_i \cdot wsp_cz_smugi_i \quad (7.21)$$

$$wsp_MPARTL = \sum_{i=1}^{h_{em}} w_i \cdot wsp_cz_smugi_i \quad (7.22)$$

gdzie:

wsp_MTIP – współczynnik cząstkowy ze względu na zmienną MTIP,
 wsp_MSHEAR – współczynnik cząstkowy ze względu na zmienną MSHEAR,
 wsp_MPARTL – współczynnik cząstkowy ze względu na zmienną MPARTL,
 w_i – procentowa wielkość emisji pochodząca z i-tej grupy emitatorów ,
 $wsp_cz_smugi_i$ – cząstkowe współczynniki korygujące.

Tabela 7.4. Zestawienie wartości cząstkowych współczynników korygujących ($wsp_cz_smugi_i$)

Wartość zmiennej	Emitory wysokie	Emitory średnie	Emitory niskie
MTIP = 1	1	1	1
MTIP = 0	0.9	0.9	0.9
MSHEAR = 1	1	1	1
MSHEAR = 0	0.8	0.9	1
MPARTL = 1	1	1	1
MPARTL = 0	0.75	0.95	1

Wartość współczynnika wsp_MSPLIT przyjmuje wartości zgodnie z wzorami 7.23 – 7.24.

$$wsp_MSPLIT = \begin{cases} 1 & \text{dla } MSPLIT = 1 \\ 0.8 + x & \text{dla } MSPLIT = 0 \end{cases} \quad (7.23)$$

$$x = \begin{cases} 4/r & \text{dla } r \geq 20 \\ 0.2 & \text{dla } r \leq 20 \end{cases} \quad (7.24)$$

gdzie:

x – zmienna pomocnicza zależna od wielkości promienia siatki,

r – hipotetyczny promień siatki obliczeniowej [km].

Współczynnik wsp_MDISP przyjmuje wartości zgodnie z wzorem 7.25.

$$wsp_MDISP = \begin{cases} 1 & \text{dla } MDISP = 1 \\ 1 & \text{dla } MDISP = 2 \\ 0.90 & \text{dla } MDISP = 3 \\ 0.95 & \text{dla } MDISP = 4 \\ 0.99 & \text{dla } MDISP = 5 \end{cases} \quad (7.25)$$

Współczynnik wsp_ICALM przyjmuje wartości zgodnie z wzorem 7.26.

$$wsp_ICALM = \begin{cases} 1 & \text{dla } ICALM = 1 \\ 0.95 & \text{dla } ICALM = 0 \end{cases} \quad (7.26)$$

Całkowity wskaźnik bloku CALPUFF pozwala na ocenę ustawień aplikacji CALPUFF pod kątem rzeźby terenu, wielkości emisji pochodzącej z różnego rodzaju emitorów i wybranych parametrów pliku wejściowego. Wylicza się go poprzez wymnożenie współczynników poszczególnych zmiennych zgodnie wzorem 7.27.

$$wsp_calpuff = wsp_MGAUSS \cdot wsp_MCTADJ \cdot wsp_MSLUG \cdot \\ \cdot wsp_smuga \cdot wsp_MSPLIT \cdot wsp_MDISP \cdot \\ \cdot wsp_ICALM \quad (7.27)$$

Aplikacja optymalizacja wyznacza również względny wskaźnik bloku CALPUFF poprzez porównanie całkowitego wskaźnika bloku CALPUFF ($wsp_calpuff$) do wskaźnika teoretycznego ($wsp_calpuff_teor$) zgodnie z wzorem 7.28.

$$wzg_calpuff = \frac{wsp_calpuff}{wsp_calpuff_teor} \cdot 100\% \quad (7.28)$$

Wskaźnik teoretyczny wyznaczany jest przy pomocy wzoru 7.27 przy następujących założeniach:

- $MGAUSS = 1$, $MSLUG = 1$, $MTIP = 1$, $MSHEAR = 1$, $MSPLIT = 1$, $MDISP = 2$, $MPARTL = 1$, $ICALM = 1$, $MCTADJ = 3$.

Wybór najbardziej optymalnych opcji pliku wejściowego do aplikacji CALPUFF dokonywany jest poprzez przedstawieniu użytkownikowi właściwych parametrów zmien-

nych. Parametry te dobierane są w taki sposób aby zmaksymalizować całkowity wskaźnik bloku CALPUFF dla rzeczywistych danych dotyczących ukształtowania terenu czy rodzaju emitorów.

7.1.3 Całkowity wskaźnik modelowania

Całkowity wskaźnik modelowania ma za zadanie ocenić wartość zgromadzonych danych meteorologicznych, siatki obliczeniowej jak również właściwe dobranie wartości zmiennych w plikach wejściowych do aplikacji CALMET i CALPUFF. Niska wartość otrzymanego wskaźnika może oznaczać, że należy poprawić któryś z powyższych elementów jeszcze przed przystąpieniem do wykonywania obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Wartość całkowitego wskaźnika oceny modelu wyznaczana jest poprzez wymnożenie wskaźników bloków CALMET i CALPUFF zgodnie wzorem 7.29.

$$wsp_MODEL = wsp_calmet \cdot wsp_calpuff \quad (7.29)$$

Wyznaczany jest również względny wskaźnik oceny modelu poprzez wymnożenie względnych wskaźników bloków CALMET i CALPUFF zgodnie wzorem 7.30

$$wzg_MODEL = wzg_calmet \cdot wzg_calpuff \quad (7.30)$$

7.2. INTERFEJS APLIKACJI

Aplikacja optymalizacja składa się z głównego okna (rys. 7.1), w którym umieszczone są pola służące do wprowadzania danych jak również przyciski uruchamiające procedury obliczeniowe. Lewa część okna zbudowana jest z szeregu zakładek takich jak: „*Teren obliczeniowy*”, „*Stacje meteorologiczne*”, „*Emitory*”, „*Parametry*”, w których wprowadza się dane, a także zakładka „*Wyniki*” i „*Wartości wskaźników*”, w których można oglądać wyniki obliczeń wraz z wartościami wyznaczonych wskaźników. Po prawej stronie głównego okna aplikacji znajdują się przyciski uruchamiające procedury oceny aktualnych danych wejściowych i ich optymalizacji. Istnieje również możliwość zapisania wartości zaproponowanych parametrów modelu do pliku tekstowego (po wybraniu przycisku „*Zapisz*”). Przechodzenie pomiędzy poszczególnymi zakładkami możliwe jest poprzez wybranie z klawiatury przycisku „*Tab*”.

Optymalizacja

Teren obliczeń | Stacje meteorologiczne | Emitory | Parametry | Wyniki | Wartości wskaźników

Siatka obliczeniowa

X [km] Y [km]

lew. dolny róg 340 5504

prawy górny róg 380 5544

Wprowadź

r = 20

Teren obliczeniowy

Powierzchnia[%]

Teren	Powierzchnia[%]
Teren górzisty	40
Teren średnio zróżnicowany	25
Teren płaski	35

Wprowadź

CALMET

Ocena

Optymalizacja

Zapisz

CALPUFF

Ocena

Optymalizacja

Zapisz

CALMET/CALPUFF

Ocena

Optymalizacja

Zapisz

Rys. 7.1. Główne okno aplikacji „Optymalizacja”

Zakładka „Teren obliczeń” składa się z dwóch niezależnych części. W pierwszej z nich wprowadza się dane dotyczące siatki obliczeniowej (współrzędne lewego dolnego i prawego górnego rogu). Po zatwierdzeniu wprowadzonych współrzędnych wyliczany jest hipotetyczny promień siatki obliczeniowej (r). W drugiej części wprowadza się rodzaj terenu (górzysty, średnio-zróżnicowany, płaski) wraz z określeniem procentu powierzchni dla każdej z kategorii. Zatwierdzenie wprowadzanych danych następuje po wybraniu przycisku „Wprowadź”.

Teren obliczeń

Siatka obliczeniowa

	X [km]	Y [km]
lew. dolny róg	340	5504
prawy górny róg	380	5544

Wprowadź

r = 20

Teren obliczeniowy

Powierzchnia[%]

Teren górzysty	40	40
Teren średnio zrożnicowany	25	25
Teren płaski	35	35

Wprowadź

Rys. 7.2. Zakładka „Teren obliczeń”

Rysunek 7.3. przedstawia zakładkę „Stacje meteorologiczne”, w której wprowadza się współrzędne naziemnych i aerologicznych stacji meteorologicznych. Każdorazowe wpisanie współrzędnych stacji należy zatwierdzić klikając przycisk „Dodaj”.

Stacje meteorologiczne

Dodaj

St. naziemna

X [km]	Y [km]
358.078	5519.758
414.143	5548.215
359.496	5566.061
358.078	5519.758

Dodaj

St. aerol.

X [km]	Y [km]
449.562	5431.020
497.279	5805.530
215.833	5744.603
31.000	5560.900
449.562	5431.020

Rys. 7.3. Zakładka „Stacje meteorologiczne”

Rysunek 7.4. przedstawia zakładkę „emitory”, w której wprowadza się procentowy udział w emisji zanieczyszczeń pochodzącej z wysokich, średnich i niskich emitorów. Wpisane dane zatwierdza przycisk „Wprowadź”.

Rodzaj emitora		Wielkość emitorów [%]	
Em. wysokie	24		Wprowadź
Em. średnie	40		
Em. niskie	36		

Rys. 7.4. Zakładka „Emitory”

Rysunek 7.5. przedstawia zakładkę „parametry”, w której wprowadza się wartości zmiennych użytych w plikach wejściowych do aplikacji CALMET i CALPUFF.

CALMET		CALPUFF	
IFRADJ	1	MGAUSS	0
IKINE	1	MCTADJ	3
ISLOPE	1	MSLUG	1
		MTIP	1
		MSHEAR	1
		MSPLIT	0
		MDISP	2
		MPARTL	1
		ICALM	0

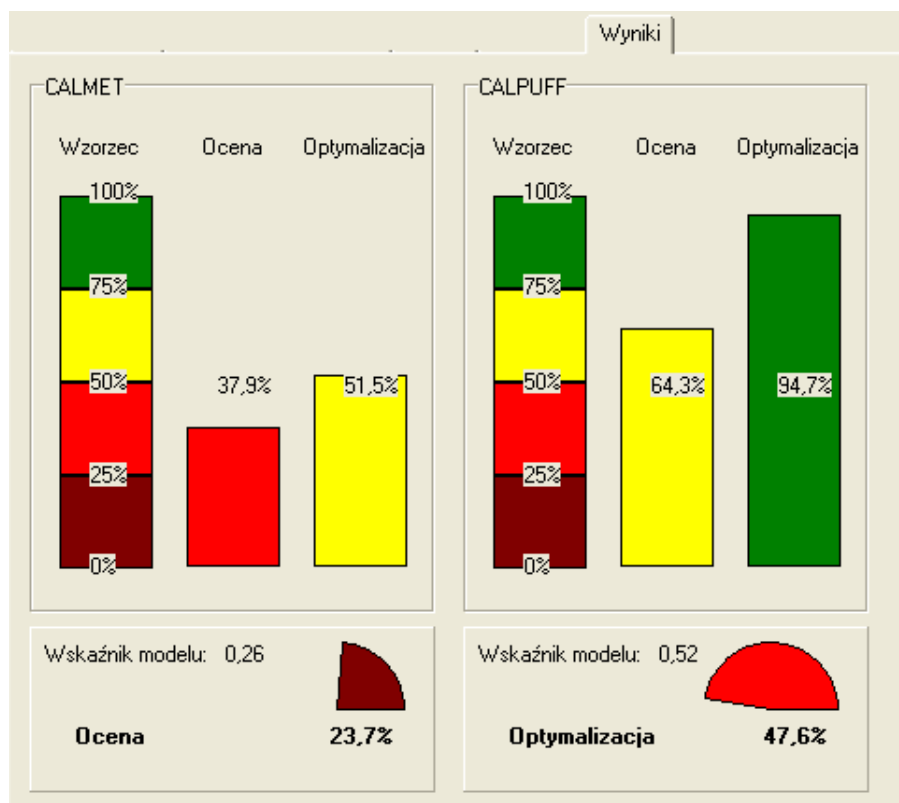
Wprowadź parametry

Rys. 7.5. Zakładka „Parametry”

Rysunek 7.6. przedstawia zakładkę „Wyniki”, która pozwala na wizualizację otrzymanych wyników w porównaniu do wyliczonego wzorca osobno dla preprocesora CALMET i aplikacji CALPUFF. W przypadku bardzo niskich wartości wyznaczonych wskaźników

słupki przyjmuje kolor brązowy (poniżej 25% wzorca), następnie czerwony (pomiędzy 25 – 50% wzorca), żółty (pomiędzy 50 – 75% wzorca) lub zielony (dla wartości pomiędzy 75 – 100% wzorca).

W dolnej części zakładki, na wykresie kołowym przedstawione są względne wskaźniki oceny modelu. Kolor wykresu zależy od wartości wskaźnika w porównaniu z wzorcem (analogicznie jak w przypadku słupków). W tej części przedstawiany jest również całkowity wskaźnik modelu (zarówno przed, jak i po optymalizacji).



Rys. 7.6. Zakładka „Wyniki”

Rysunek 7.7. przedstawia zakładkę „Wartości wskaźników”, która pokazuje wartości wyznaczonych wskaźników - kolumna „Ocena”. W kolumnie „Optymalizacja” pokazane są wartości wskaźników, które można uzyskać po wybraniu najlepszych wartości parametrów.

Wartości wskaźników					
CALMET			CALPUFF		
Wskaźniki	Ocena	Propozycja	Wskaźniki	Ocena	Propozycja
wsp_m	1.21	1.21	wsp_MGAUSS	1.00	1.00
wsp_a	0.74	0.74	wsp_MCTADJ	0.74	0.74
wsp_rzez	0.61	0.70	wsp_MSLUG	0.99	1.00
wsp_cz(IFRADJ)	0.78	0.89	wsp_smuga	0.74	0.74
wsp_cz(IKINE)	0.90	0.90	wsp_MTIP	0.91	0.91
wsp_cz(ISLOPE)	0.87	0.87	wsp_MSHEAR	0.93	0.93
wsp_emisji	0.90	0.90	wsp_MPARTL	0.87	0.87
			wsp_MDISP	0.90	1.00
			wsp_ICALM	0.95	1.00
wsp_calmet	0.46	0.48	wsp_calpuff	0.54	0.59
wzg_calmet	60%	64%	wzg_calpuff	47%	52%

Rys. 7.7. Zakładka „Wartości wskaźników”

Po przeprowadzeniu oceny jak i optymalizacji współczynników modelu CALMET bądź CALPUFF możliwe jest zapisanie wyników optymalizacji w pliku tekstowym. Dodatkowo w pliku wygenerowanym dla modelu CALMET znajduje się analiza jakości dostępnych danych meteorologicznych (osobno dla stacji naziemnych jak i aerologicznych).

7. 3. PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIE

W celu zaprezentowania możliwości aplikacji przeprowadzono analizę przykładowego projektu obliczeniowego. Przyjęto następujące dane wejściowe:

- siatka obliczeniowa o rozmiarze 40 x 40 km (współrzędne początku 340, 5504),
- teren obliczeniowy:
 - 40% - teren górzysty,
 - 25% - teren średnio-zróznicowany,
 - 35% - teren płaski.
- 4 stacje meteorologiczne i 3 stacje aerologiczne (współrzędne z rozdziału 6.1.1),
- emisja zanieczyszczeń:
 - 90% punktowy emitör o wysokości 120 m,

- 10% emitory o wysokościach nie przekraczających 20 m.

Wstępnie wybrane parametry preprocesora meteorologicznego CALMET i aplikacji CALPUFF przedstawia tabela 7.5

Tabela 7.5. Parametry plików wejściowych

Aplikacja	Nazwa zmiennej	Wartość
CALMET	IFRADJ	1
	IKINE	1
	ISLOPE	0
CALPUFF	MGAUSS	0
	MCTADJ	3
	MSLUG	1
	MTIP	1
	MSHEAR	0
	MSPLIT	1
	MDISP	2
	MPARTL	1
	ICALM	1

Powyższe dane wprowadzono do aplikacji *Optymalizacja*, a następnie wybrano przycisk „Oceń” i „Optymalizuj”. Tabela 7.6 przedstawia otrzymane i proponowane wartości wskaźników dla preprocesora CALMET jak również wartości całkowitego i względnego wskaźnika bloku CALMET. Natomiast tabela 7.7 przedstawia otrzymane i proponowane wartości wskaźników dla aplikacji CALPUFF jak również wartości całkowitego i względnego wskaźnika bloku CALPUFF

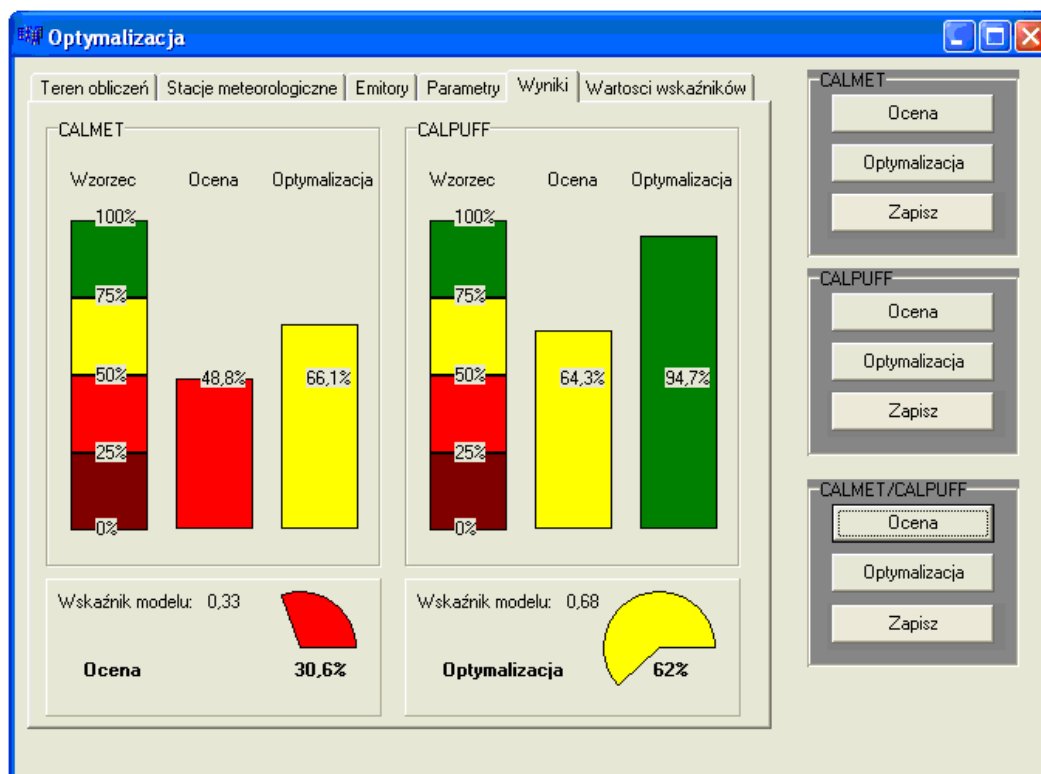
Tabela 7.6. Wartości wskaźników bloku CALMET

CALMET		
Wskaźnik	Ocena	Optymalizacja
Wsp_m	1,26	1,26
Wsp_a	0,93	0,93
Wsp_rzez	0,45	0,61
Wsp_cz(IFRADJ)	0,84	0,84
Wsp_cz(IKINE)	0,8	0,8
Wsp_cz(ISLOPE)	0,65	0,65
Wsp_emisji	1,19	1,19
Wsp_calmet	0,53	0,73
Wzg_calmet	48,8%	66,1%

Tabela 7.7. Wartości wskaźników bloku CALPUFF

CALPUFF		
Wskaźnik	Ocena	Optymalizacja
Wsp_MGAUSS	0,9	1
Wsp_MCTADJ	0,87	0,94
Wsp_MSLUG	1	1
Wsp_smuga	0,81	1
Wsp_MTIP	1	1
Wsp_MSHEAR	1	1
Wsp_MPARTL	1	1
Wsp_MDISP	1	1
Wsp_MSPLIT	1	1
Wsp_ICALM	1	1
Wsp_calpuff	0,64	0,94
Wzg_calpuff	64,3%	94,7%

Całkowity wskaźnik modelowania przed optymalizacją wynosił 0.33 (względny wskaźnik 30,6%) natomiast po propozycji zmiany 0.68 (względny wskaźnik 62%). Wzrósł więc on o około 30%. Zaakceptowanie propozycji oznacza zmianę wartości zmiennych na najbardziej właściwe w danej sytuacji. Powyższe wyniki przedstawia rysunek 7.8.



Rys. 7.8. Wizualizacja wyników optymalizacji

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Przydatność gaussowskiego modelu obłoku wykorzystywanego do obliczeń stanu zanieczyszczenia powietrza, m.in. w aplikacji CALMET/CALPUFF nie trzeba udowadniać. Ilość danych i metod badawczych wykorzystywanych w ww. aplikacji, daje bardzo duże możliwości opisanie zmiennego w czasie i przestrzeni pola meteorologicznego, a także parametrów dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu. Równocześnie analiza ww. danych i metod badawczych daje spore szanse rozwoju w kierunku wyznaczenia rzeczywistego pola imisji zanieczyszczeń. Należy bowiem zaznaczyć, że ogrom możliwych parametrów i danych wejściowych do modelu powoduje konieczność stworzenia narzędzi optymalizujących proces określania poziomu stężeń zanieczyszczeń w powietrzu. Stworzenie takiego narzędzia, umożliwiającego właściwy dobór parametrów modelu dyspersji zanieczyszczeń powietrza, a tym samym pozwalającego zoptymalizować proces obliczeń poziomu imisji, było właśnie głównym celem pracy.

W wyniku przeprowadzonych analiz i obliczeń stwierdzono, że:

1. Nawet niewielkie różnice w ilości uwzględnianych danych meteorologicznych w procesie wyznaczania pola meteorologicznego powoduje występowanie znacznych różnic w wynikach obliczeń stanu zanieczyszczeń powietrza. Należy podkreślić, iż stosowany obecnie gaussowski model smugi uwzględnia dane meteorologiczne pochodzące tylko z jednej stacji. Uwzględnienie danych pochodzących z kolejnej stacji powoduje znaczną zmianę w wynikach obliczeń (patrz wyniki badań zawarte w rozdziale 6.1. pracy):
 - W przypadku wyników obliczeń stężeń SO_2 (1– godzinnych) w powietrzu dla danych meteorologicznych pochodzących z jednej stacji aerologicznej bezwzględne wartości błędów systematycznych wynoszą od 0.07 do 0.55 (dla emitora o wysokości 5m). Zaobserwowano wyraźne zwiększenie błędów systematycznych w przypadku obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń z wyższych emitorów, przykładowo dla emitora o wysokości 200m błąd systematyczny zmieniał się w zakresie od 0.24 do 0.99;
 - Brak danych pochodzących z najbliższej, naziemnej stacji meteorologicznych nie powoduje znacznego wzrostu błędów systematycznych (pod warunkiem, że nie brakuje danych ze stacji aerologicznych). Błędy te zmieniały się w granicach 0.13 – 0.24. W tym przypadku nie zaobserwowano

wyraźnego wpływu wysokości emitorów na wartości błędów systematycznych;

- Najmniejsze błędy systematyczne wyznaczono w przypadku pominięcia w obliczeniach odległych naziemnych stacji meteorologicznych. W przypadku wykorzystania danych meteorologicznych z dużej ilości stacji aerologicznych właściwy opis pola imisji można uzyskać jedynie na podstawie danych z jednej naziemnej stacji meteorologicznej.

2. Oprócz danych meteorologicznych kolejnym czynnikiem, który w sposób bardzo istotny wpływa na wyznaczenie pola meteorologicznego (zob. rozdział 6.2. pracy), a także transportu i dyspersji zanieczyszczeń jest rzeźba terenu (zob. rozdział 6.3. pracy):

- Nieuwzględnienie efektów związanych z rzeźbą terenu (takich jak efekt kinematyczny, spływ powietrza ze wzgórz, czy efekt blokowania mas powietrza przez góry) powoduje znaczące różnice w wynikach modelowania;
- Różnice te zwiększają się dla terenów o zróżnicowanej rzeźbie terenu. Błąd systematycznych wyznaczony dla wyżej wymienionych efektów dla emisji pochodzącej z emitora o wysokości 5m i terenu górzystego wyniósł 1.02, a dla terenu stosunkowo płaskiego 0.43;
- Największe różnice w wynikach modelowania zaobserwowano dla niskich emitorów. W przypadku wysokich emitorów (o wysokości 200m), błąd systematyczny dla terenu górzystego wyniósł 0.21, w porównaniu z wartością -0.05 dla terenu o niezróżnicowanej rzeźbie;
- Znaczące różnice w wynikach modelowania stężeń zanieczyszczeń wykazano dla różnych metod interakcji obłoków z przeszkodami. Błędy wynikające z zastosowania metody ISC i częściowej smugi były bardzo zbliżone. Również wartości obliczonych stężeń maksymalnych dla każdego typu emitora były bardzo podobne;
- Największe różnice w wynikach obliczeń wyznaczono dla metody CALPUFF uwzględniającej podział obłoku na dwie części po napotkaniu przeszkody terenowej (w przypadku terenu górzystego). Wartości błędów systematycznych wynosiły od -0.2 (emitor o wysokości 5m) do -0.73 (dla emitora o wysokości 200m). Natomiast gdy obliczenia wykonywano dla terenu

o nie zróżnicowanej rzeźbie terenu, błędy systematyczne były znikome (wartości bezwzględne FB wahały się od 0.00 do 0.1).

3. Szczegółowe analiza wyników obliczeń pozwoliła również na następujące stwierdzenia:

- Optymalny dobór parametrów związanych z opisem smugi/obłoku (odchylenie smugi na szczycie emitora, częściowa penetracja smugi, ścięcie smugi zanieczyszczeń) ma szczególne znaczenie w przypadku wysokich emitatorów;
- W przypadku dużego obszaru obliczeniowego, w którym wykonywane są obliczenia, niezbędnym jest uwzględnienie możliwości podziału obłoku zanieczyszczeń;
- Właściwy opis parametrów dyspersji zanieczyszczeń wewnątrz obłoku pozwala na lepsze odwzorowanie poziomu imisji.

Zaproponowany system ekspercki – aplikacja „*optymalizacja*”, zawarta w rozdziale 7 pracy - zbudowana jest w oparciu o powyższe wnioski, choć oczywiście nie zakłada ona wykorzystania wszystkich parametrów i zmiennych dających możliwość właściwego doboru danych do obliczeń. Uwzględnia i liczbowo określa jedynie te czynniki, które jak wykazano w pracy, mają największe znaczenie dla wiarygodności wyników badań. Równocześnie umożliwia ona łatwiejsze wykorzystanie aplikacji typu CALMET/CALPUFF przez osoby nie posiadające pełnej wiedzy z zakresu modelowania. Tym samym udowodniono postawioną na wstępie tezę, że właściwy dobór parametrów modelu dyspersji zanieczyszczeń powietrza pozwala na zoptymalizowanie procesu obliczeń poziomu imisji, a dodatkowo stworzono narzędzie dla tej optymalizacji.

LITERATURA

- [1] Allwine, K., Whiteman C.: *Green river air quality model development . MESLAR – a mesoscale air quality model for complex terrain. Volume 1. Overview, technical description and user's guide.* U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/8-85/017A.
- [2] ASTM, 2000: *Standard guide for statistical evaluation of atmospheric dispersion model performance.* American Society for Testing and Materials, Designation D6589-00. ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.
- [3] Borysewicz M., Stankiewicz R., 1994: *Modelowanie procesów propagacji skażeń w atmosferze, Podstawy modeli matematycznych I metod numerycznych*, Instytut Energii Atomowej, Otwock- Świerk, Instytut Energii Atomowej
- [4] Briggs G.A., 1981: *Canopy effects on predicted drainage flow characteristics and comparison with observations. Proceedings, Fifth AMS Symposium on Turbulence and Diffusion*, American Meteorological Society, Boston, MA.
- [5] Briggs, G.A., 1973: *Diffusion estimates for small emissions (Draft).* Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory. ATOL No. 79.
- [6] Briggs, G.A., 1975: *Plume rise predictions. In: Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses.* American Meteorological Society, Boston, MA, 59-111.
- [7] Brighton, P.W.M., 1978: *Strongly stratified flow past three-dimensional obstacles.* Quart. J.R. Met. Soc., 104, 289-307.
- [8] Carson D.J. 1973: *The development of a dry, inversion-capped, convectively unstable boundary layer.* Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 99, 450-467.
- [9] Caughey, S.J., 1981: *Observed characteristics of the atmospheric boundary layer. Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modeling.* F.T.M. Nieuwstadt, H. Van Dop, Eds., D. Reidel Publishing Company, Boston, MA.
- [10] Chang J. C., Chayantrakom K., Hanna S. R., 2001: *Evaluation of Calpuff, HPAC, and VLSTRACK with the Over-Land Alongwind Dispersion (OLAD) Field Data.* George Mason University, Fairfax, VA.
- [11] Chang J. C., Hanna S. R., 2004: *Air quality model performance evaluation.* Meteorology and Atmospheric Physics, 87, 167-196.
- [12] Chang, J.C., 2002: *Methodologies for Evaluating Performance and Assessing Uncertainty of Atmospheric Dispersion Models.* Ph.D. thesis, George Mason University, Fairfax, VA.
- [13] Chróściel S., 1985: *Obliczenia stanu zanieczyszczeń atmosfery*, Ochrona Atmosfery, Zeszyt problemowy nr XIII 85.
- [14] Cox, W.M., J.A. Tikvart, 1990: *A statistical procedure for determining the best performing air quality simulation model.* Atmospheric Environment
- [15] Douglas, S.G., Kessler, R.C., 1988: *User's guide to the diagnostic wind model (Version 1.0).* Systems Applications Inc., San Rafael, CA.
- [16] Draxler, R.R., 1976: *Determination of atmospheric diffusion parameters.* Atmospheric Environ., 10, 99-105.

- [17] Drazin, P.G., 1961: *On the steady flow of a fluid of variable density past an obstacle*. *Tellus*, 13, 239-251.
- [18] *Federal Meteorological Handbook No. 1. Weather Observations and Reports Surface* FCM-H1-2005 Washington, D.C. September 2005.
- [19] Fijołek M., Paciorek M., Trapp W., 2002: *Zastosowanie modeli CALMET/CALPUFF, AERMOD i ISCST3 w ocenach jakości powietrza i programach ochrony powietrza*, Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych Ekometria, Gdańsk, niepublikowane.
- [20] Fijołek M., Trapp W., 2002: *Zastosowanie modelu CALMET/CALPUFF do wyznaczania rozkładów stężeń zanieczyszczeń w województwach i powiatach*, Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych Ekometria, Gdańsk, niepublikowane.
- [21] Godden D, Lurmann F., 1983: *Development of the PLMSTAR model and its application to ozone episode conditions in the South Coast Air Basin*. Environmental Research and Technology, Inc. Westlake Village, CA.
- [22] Goodin, W.R., G.J. McRae and J.H. Seinfeld, 1980: *An objective analysis technique for constructing three-dimensional urban scale wind fields*. *J. Appl. Meteorol.*, 19, 98-108.
- [23] Hanna S. R., Chang J. C., 2001: *Examples of evaluations of new models with field data. Conference on Guideline on Air Quality Modeling, A New Beginning*, Newport, Rhode Island; Air and Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania.
- [24] Hanna, S.R., G.A. Briggs, J. Deardorff, B.A. Egan, F.A. Gifford and F. Pasquill, 1977: *AMS workshop on stability classification schemes and sigma curves - summary of recommendations*. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 58, 1305-1309.
- [25] Hanna, S.R., L.L. Schulman, R.J. Paine, J.E. Pleim and M. Baer, 1985: *Development and evaluation of the offshore and coastal dispersion model*. *JAPCA*, 35, 1039-1047.
- [26] Horst T. W., Doran J. C., 1986: *Nocturnal drainage flow on simple slopes*. *Boundary Layer Meteorology*, 34, 263-286.
- [27] http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/source_img.html
- [28] http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/globdoc2_0.html#dem
- [29] <http://polish.wunderground.com/global/PL.html>
- [30] <http://weather.uwyo.edu>
- [31] <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>
- [32] Hicks, B.B., 1985: *Behavior of turbulence statistics in the convective boundary layer*. *J. Clim. and Appl. Meteor.*, 24, 607-614.
- [33] Hunt, J.C.R. and R.J. Mulhearn, 1973: *Turbulent dispersion from sources near two-dimensional obstacles*. *J. Fluid Mech.*, 61, 245-274.
- [34] Hunt, J.C.R. and W.H. Snyder, 1980: *Experiments on stably and neutrally stratified flow over a model three-dimensional hill*. *J. Fluid Mech.*, 96, 671-704.
- [35] Irwin, J.S., 1983: *Estimating plume dispersion - a comparison of several sigma schemes*. *J. Clim. And Appl. Meteor.*, 22, 92-114.

- [36] Irwin, J.S., 1979: *Scheme for estimating dispersion parameters as a function of release height*. EPA-600/4-79-062, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- [37] Isaaks E.H., Srivastava R. M., 1989: *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press.
- [38] Joseph C. Chang, Steven R. Hanna, 2005: *Technical Descriptions and User's Guide for the BOOT Statistical Model Evaluation Software Package*, Version 2.0.
- [39] Juda J., Chróściel S., 2000, *Ochrona powietrza atmosferycznego*, WNT, Warszawa.
- [40] Kozuchowski K. (red.), 2005: *Meteorologia i klimatologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [41] Liu, M.K. and M. A. Yocke, 1980: *Siting of wind turbine generators in complex terrain*. *Journal of Energy* vol.4 no.1
- [42] Łobocki L., 2003: *Wskazówki metodyczne dotyczące modelowania matematycznego w systemie zarządzania jakością powietrza*, Ministerstwo Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- [43] Mahrt L., 1982: *Momentum balance of gravity flows*. *Journal of Atmospheric Science*, 39, 2701-2711.
- [44] Manins, P.C., 1979: *Partial penetration of an elevated inversion layer by chimney plumes*. *Atmospheric Environ.*, 13, 733-741.
- [45] Manins, P.C., 1984: *Chimney plume penetration of the sea-breeze inversion*. *Atmospheric Environ.*, 18, 2339-2344.
- [46] Markiewicz M. T., 2004: *Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [47] Maul, P. R, 1980: *Atmospheric transport of sulfur compound pollutants*. Central Electricity Generating Bureau MID/SSD/80/0026/R. Nottingham, England.
- [48] Mazur M., 2004: *Systemy ochrony powietrza*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków
- [49] McElroy, J.L. and F. Pooler, 1968: *The St. Louis dispersion study*. U.S. Public Health Service, National Air Pollution Control Administration, Report AP-53.
- [50] McNally D., Tesche T. W., 1993: *MAPS Sample Products*. *Alpine Geophysics*, 16225 W.
- [51] O'Brien, J.J., 1970: *A note on the vertical structure of the eddy exchange coefficient in the planetary boundary layer*. *J. Atmos. Sci.*, 27, 1213-1215.
- [52] Olszewski K., 1991: „*Wpływ zjawisk meteorologicznych i warunków topograficznych na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze*”. *Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem*. Dębe.
- [53] Panofsky, H.A., H. Tennekes, D.H. Lenschow and J.C. Wyngaard, 1977: *The characteristics of turbulent velocity components in the surface layer under convective conditions*. *Bound. Layer Meteor.*, 11, 355-361.
- [54] Parczewski W., 1972: „*Termiczno-dynamiczna równowaga pionowa powietrza w Polsce*”. *Prace IMGW nr 102*. Warszawa.

- [55] Pasquill, F., 1976: *Atmospheric dispersion parameters in Gaussian plume modeling: Part II. Possible requirements for change in the Turner workbook values*. EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 53.
- [56] Pasquill F., 1961: „*The Estimation of the Dispersion of Windburn Material*”. *Meteorological Magazine*, 90, 33–49.
- [57] Perry, S.G., D.J. Burns, L.H. Adams, R.J. Paine, M.G. Dennis, M.T. Mills, D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino, E.M. Insley, 1989: *User's Guide to the Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations (CTDMPLUS) Volume 1: Model Description and User Instructions*. EPA/600/8-89/041, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- [58] Riley, J.J., H.T. Liu and E.W. Geller, 1976: *A numerical and experimental study of stably stratified flow around complex terrain*. EPA Report No. EPA-600/4-76-021, Research Triangle Park, NC, 41 p.
- [59] Scire J.S., Schulman L.L., 1980: *Modeling plume rise from low-level buoyant line and point sources. Proceedings Second Point Conference on Applications of Air Pollution Meteorology*, 24-28 March, New Orleans, LA, 133-139.
- [60] Scire J.S., Lurmann F.W., A. Bass and S.R. Hanna, 1984b: *User's guide to the MESOPUFF II model and related processor programs*. EPA-600/8-84-013, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- [61] Scire J.S., Strimaitis D.G., Yamartino R.J., 2000: *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5)*, Earth Tech, Inc., Concord.
- [62] Scire J.S., Robe F.R., Fernau M.E., Yamartino R.J., 2000: *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5)*, Earth Tech, Inc., Concord.
- [63] Sheppard, P.A., 1956: *Airflow over mountains*. *Quart. J.R. Meteor. Soc.*, 82, 528-529.
- [64] Smith F.B., 1972: *A scheme for estimating the vertical dispersion of a plume from a source near ground level. Proceedings of the NATO Expert Panel on Air Pollution Modelling*, Oct. 1972. Report NATO-CCMS-14. North Atlantic Treaty Organization: Brussels
- [65] Snyder, W.H. and J.C.R. Hunt, 1984: *Turbulent diffusion from a point source in stratified and neutral flow around a three-dimensional hill (Part II - Laboratory measurement of surface concentrations)*. *Atmospheric Environ.*, 18, 1969-2002.
- [66] Snyder, W.H., 1980: *Towing tank studies in support of field experiments at Cinder Cone Butte, Idaho, Phase III: Verification of formula for prediction of dividing streamline height. Fluid Modeling Facility Internal Rpt.*, Aug. 29, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- [67] Sobišek B. (red.), 1993: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Akademia, Praha.
- [68] Szczygłowski P., Mazur M., 2006: *Modelling dispersion of air pollutants over the area of diversified relief based on the Calmet/Calpuff model*, *Environment Protection Engineering* 4/2006, 73-79, Wrocław
- [69] Szczygłowski P. Mazur M.: *Zastosowanie modelu Calmet/Calpuff do obliczeń poziomu stężeń zanieczyszczeń pochodzących z wysokich emitorów punktowych*, *Inżynieria Środowiska*, 2005, t. 10, z. 2, 195-205.

- [70] Turner D.B., 1970: „*Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*”. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington.
- [71] U.S. EPA, 1995: *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. Volume I – User Instructions*, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division, Research Triangle Park,
- [72] U.S. EPA, 1995: *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. Volume II – Description of Model Algorithms*, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division, Research Triangle Park.
- [73] Van Ulden, A.P. and A.A.M. Holtslag, 1985: *Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion applications*. *J. Clim. And App. Meteor.*, 24, 1196-1207.
- [74] Venkatram A., 1980: *Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations*. *Boundary Layer Meteorology*, 19, 481-485.
- [75] Venkatram A., 1980: *Estimation of turbulence velocity scales in the stable and the unstable boundary layer for dispersion applications*. In: *Eleventh NATO-CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and its Application*. 54-56.
- [76] Warner, S., N. Platt, J.F. Heagy, S. Bradley, G. Bieberbach, G. Sugiyama, J.S. Nasstrom, K.T. Foster, D. Larson, 2001: *User-Oriented Measures of Effectiveness for the Evaluation of Transport and Dispersion Models*. Institute for Defence Analyses, IDA Paper P-3554.
- [77] Weil, J.C., 1985: *Updating applied diffusion models*. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 24, 1111-1130.
- [78] Willmott C. J, 1982: *Some comments on the evaluation of model performance*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313.
- [79] Zwoździak J., 1995: *Metody prognozy i analizy stężeń zanieczyszczeń w powietrzu w regionie czarnego trójkąta*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [80] Zwoździak J., Zwoździak A., Szczurek A., 1998: *Meteorologia w ochronie atmosfery*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

ZAŁĄCZNIKI

- Załącznik 1.** Plik wejściowy aplikacji terrel.exe – bielsko_40_40.inp.
- Załącznik 2.** Plik wejściowy aplikacji ctgproc.exe – bielsko_40_40.inp.
- Załącznik 3.** Plik wejściowy aplikacji makegeo.exe – bielsko_40_40.inp.
- Załącznik 4.** Plik wejściowy aplikacji calmet.exe – meteo.inp.
- Załącznik 5.** Plik z danymi naziemnej stacji meteorologicznej – surf.dat.
- Załącznik 6.** Plik z danymi aerologicznej stacji meteorologicznej – leg.dat.
- Załącznik 7.** Plik wejściowy aplikacji calpuff.exe – bielsko_calpuff.inp.
- Załącznik 8.** Plik wejściowy aplikacji calpost.exe – bielsko_post.inp.
- Załącznik 9.** Płyta CD zawierająca aplikację „*optymalizacja*”.

Załącznik 1

Plik wejściowy aplikacji terrel.exe

bielsko_40_40.inp

TERREL PROCESSOR CONTROL FILE

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output Files

Subgroup (0a)

(NTDF) Default: 0 ! NTDF = 2 !

Other Input and Output files:

Default Name	Type	File Name
TERREL.DAT	output	! OUTFIL = bielsko_40_40.dat !
TERREL.LST	output	! LSTFIL = bielsko_40_40.lst !
QATERR.GRD	output	! PLTFIL = bielsko_40_40.grd !

(Save-files)

PREV.SAV	input	* PREVFIL =	*
TERREL.SAV	output	* SAVEFIL = terr1km_10_10.sav	*

(Discrete (X,Y) Point Files)

XYINP.DAT	input	* XYINP =	*
XYOUT.DAT	output	* XYOUT =	*

All file names will be converted to lower case if LCFILES = T
Otherwise, if LCFILES = F, file names will be converted to UPPER CASE
(LCFILES) Default: T ! LCFILES = F !
T = lower case
F = UPPER CASE

NOTE: file/path names can be up to 70 characters in length

!END!

Subgroup (0b)

1 !GTOPO30 = e020n90.dem! !END!
2 !GTOPO30 = w020n90.dem! !END!

Subgroup (0c)

Datum-Region

(DUSGS90)	Default: NAS-C	! DUSGS90 = NAS-C !
(DUSGS30)	Default: NAS-C	! DUSGS30 = NAS-C !

(DARM3) Default: NAS-C ! DARM3 = NAS-C !
 (D3CD) Default: NAS-C ! D3CD = NAS-C !
 (DDMDF) Default: NAS-C ! DDMDF = NAS-C !
 (DGTOPO30) Default: WGS-G ! DGTOPO30 = WGS-G !
 (DUSGSLA) Default: ESR-G ! DUSGSLA = ESR-S !
 (DNZGEN) Default: WGS-G ! DNZGEN = WGS-G !
 (DGEN) Default: WGS-G ! DGEN = WGS-G !

!END!

 INPUT GROUP: 1 -- Processing Options

Previous SAVE file used to start this run?

(LPREV) Default: F ! LPREV = F !
 T = PREV.SAV file is used
 F = PREV.SAV file is NOT used

Report elevations for discrete (X,Y) points?

(LXY) Default: F ! LXY = F !
 T = Yes (XYINP.DAT and XYOUT.DAT files are used)
 F = No (XYINP.DAT and XYOUT.DAT files are NOT used)

Number of data columns in XYINP.DAT file

(Used only if LXY=T)
 (NXYCOL) Default: 4 ! NXYCOL = 2 !

Search radius (km) about each (X,Y) for locating terrain peak

(Used only if LXY=T)
 (XYRADKM) No Default ! XYRADKM = 0.1 !

Terrain data may be prepared for one of several models, and the structure of the output data file varies accordingly.

Structure of output TERREL.DAT file

(IMODEL) Default: 1 ! IMODEL = 1 !
 1 = CALMET (grid-cell-average elevations)
 2 = MESOPAC (grid-cell-average elevations)
 3 = ISC POLAR (grid-cell-peak elevations)
 4 = ISC CARTESIAN (grid-cell-peak elevations)
 5 = NUATMOS (grid-cell-average elevations)
 6 = Generic (grid-cell-average elevations)

Threshold (%) of the average number of data points in a cell

(ITHRES) Default: 75 ! ITHRES = 75 !

!END!

 INPUT GROUP: 2 -- Map Projection and Grid Information for Output

Projection

Map projection for all X,Y (km)

(PMAP) Default: UTM ! PMAP = UTM !

False Easting and Northing (km) at the projection origin

(Used only if PMAP= TTM, LCC, or LAZA)

(FEAST) Default=0.0 ! FEAST = 0.0 !

(FNORTH) Default=0.0 ! FNORTH = 0.0 !

UTM zone (1 to 60)

(Used only if PMAP=UTM)

(IUTMZN) No Default ! IUTMZN = 34 !

Hemisphere for UTM projection?

(Used only if PMAP=UTM)

(UTMHEM) Default: N ! UTMHEM = N !

N : Northern hemisphere projection

S : Southern hemisphere projection

Latitude and Longitude (decimal degrees) of projection origin

(Used only if PMAP= TTM, LCC, PS, EM, or LAZA)

(RLAT0) No Default ! RLAT0 = 49.6672882N !

(RLON0) No Default ! RLON0 = 18.7826294E !

Matching parallel(s) of latitude (decimal degrees) for projection

(Used only if PMAP= LCC or PS)

(RLAT1) No Default ! RLAT1 = 30.0N !

(RLAT2) No Default ! RLAT2 = 60.0N !

Datum-Region

Datum-region for output coordinates

(DATUM) Default: WGS-G ! DATUM = WGS-G !

Grid

Grid type

(IGRID) Default: 1 ! IGRID = 1 !

1 = Cartesian, with reference point at Lower Left CORNER
of cell (1,1) --- CALMET Convention ---

2 = Cartesian, with reference point at CENTER of cell (1,1)

3 = Polar, with reference point at center of rings

Note: cell (1,1) is at the SW corner of the grid

Reference point coordinates X,Y (km) for grid

where X is Easting, Y is Northing

(XREFKM) No Default ! XREFKM = 340.0 !

(YREFKM) No Default ! YREFKM = 5504.0 !

Cartesian grid definition

(Used only if IGRID=1,2)

No. X grid cells (NX) No default ! NX = 40 !

No. Y grid cells (NY) No default ! NY = 40 !

Grid Spacing (km)(DGRIDKM) No default ! DGRIDKM = 1. !

Polar grid definition -- enter ring distances and ray angles

in Input Group 3

(Used only if IGRID=3)

No. of rings (NRING) No default ! NRING = 0 !
No. of radials (NRAYS) No default ! NRAYS = 0 !

Elevation processing method for polar grid

(Used only if IGRID=3)

(IPROC) Default: 2 ! IPROC = 2 !

1 = NORMAL: terrain data for point at the intersection of ring
 and ray is extracted from the region bounded by
 rings and radials halfway to the adjacent rings and
 radials

2 = SCREEN: terrain data for point at the intersection of ring
 and ray is extracted from the region bounded by the
 current ring and the next larger ring, and radials
 halfway to the adjacent radials

!END!

INPUT GROUP: 3 -- Polar Grid Ring Distances (km) and Ray Angles (deg)

Enter NRING lines identifying the radius (DISKM) of each ring in
the polar grid, using a group terminator on each line.

(Enter only if IGRID=3)

* DISKM = 1.5 * *END*

* DISKM = 3.0 * *END*

Enter NRAYS lines identifying the angle (ANGDEG) from North of
each radial in the polar grid, using a group terminator on each line.

(Enter only if IGRID=3)

* ANGDEG = 0. * *END*

* ANGDEG = 45. * *END*

* ANGDEG = 90. * *END*

NIMA Datum-Regions (Documentation Section)

WGS-G WGS-84 GRS 80, Global coverage

NAS-C NORTH AMERICAN 1927 Clarke 1866, MEAN FOR (CONUS)

NWS-27 NWS 6370KM Radius, Global Sphere (NAD27)

NWS-84 NWS 6370KM Radius, Global Sphere (WGS84)

ESR-S ESRI REFERENCE Normal Sphere (6371KM Radius), Global Reference Sphere

Załącznik 2

Plik wejściowy aplikacji ctgproc.exe

bielsko_40_40.inp

CTGPROC PROCESSOR CONTROL FILE

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output Files

Default Name	Type	File Name
LUIN.DAT	input	! LUINDAT =eausgs2_0le.img !
PREV.DAT	input	* PREVDAT = *
LU.DAT	output	! LUDAT =bielsko_40_40.dat !
CTGPROC.LST	output	! RUNLST =bielsko_40_40.lst !

All file names will be converted to lower case if LCFILES = T
Otherwise, if LCFILES = F, file names will be converted to UPPER CASE
(LCFILES) Default: T ! LCFILES = F !
T = lower case
F = UPPER CASE

!END!

INPUT GROUP: 1 -- Run control parameters

Is this the final run?
(LFINAL) Default: T ! LFINAL = T !
T = LU.DAT file written in fractional land use format
F = LU.DAT file written in continuation format

Is a previous LU.DAT output file used to start this run?
(LPREV) Default: F ! LPREV = F !
T = PREV.DAT file is used
F = PREV.DAT file is NOT used

Options for all CTGPROC applications:

Type of LULC file processed in this run
(LULC) No Default ! LULC = 2 !
1 = USGS CTG (compressed)
2 = USGS Global (Lambert Azimuthal)
3 = New Zealand Generic

Global (Lambert Azimuthal) Region
(Used only if LULC=2)
(IGLAZR) No Default ! IGLAZR = 3 !
1 = North America
2 = South America
3 = Eurasia (Optimized for Europe)
4 = Eurasia (Optimized for Asia)
5 = Africa
6 = Australia Pacific

Input Datum-Region

Datum-region for input LULC Data File coordinates

(DCTG) Default: NAS-C ! DCTG = NAS-C !
for LULC = 1: USGS CTG (compressed)

(DUSGSLA) Default: ESR-S ! DUSGSLA = ESR-S !
for LULC = 2: USGS Global (Lambert Azimuthal)

(DNZGEN) Default: WGS-G ! DNZGEN = WGS-G !
for LULC = 3: New Zealand Generic

QA threshold (% of average number of data points/grid cell)
for reporting cells with poor data coverage
(ITHRESH) Default: 75 ! ITHRESH = 75 !

!END!

INPUT GROUP: 2 -- Map Projection and Grid Information for Output

Projection

Map projection for all X,Y (km)
(PMAP) Default: UTM ! PMAP = UTM !

UTM : Universal Transverse Mercator
TTM : Tangential Transverse Mercator
LCC : Lambert Conformal Conic
PS : Polar Stereographic
EM : Equatorial Mercator
LAZA: Lambert Azimuthal Equal Area

False Easting and Northing (km) at the projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, or LAZA)
(FEAST) Default=0.0 ! FEAST = 0.0 !
(FNORTH) Default=0.0 ! FNORTH = 0.0 !

UTM zone (1 to 60)
(Used only if PMAP=UTM)
(IUTMZN) No Default ! IUTMZN = 34 !

Hemisphere for UTM projection?
(Used only if PMAP=UTM)
(UTMHEM) Default: N ! UTMHEM = N !
 N : Northern hemisphere projection
 S : Southern hemisphere projection

Latitude and Longitude (decimal degrees) of projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, PS, EM, or LAZA)
(RLAT0) No Default ! RLAT0 = 49.6672882N !
(RLON0) No Default ! RLON0 = 18.7826294E !

Matching parallel(s) of latitude (decimal degrees) for projection
(Used only if PMAP= LCC or PS)

(RLAT1) No Default ! RLAT1 = 30.0N !
(RLAT2) No Default ! RLAT2 = 60.0N !

LCC : Projection cone slices through Earth's surface at RLAT1 and RLAT2
PS : Projection plane slices through Earth at RLAT1
(RLAT2 is not used)

Output Datum-Region

Datum-region for output coordinates

(DATUM) Default: WGS-G ! DATUM = WGS-G !

Grid

Reference coordinates X,Y (km) assigned to the southwest corner
of grid cell (1,1) (lower left corner of grid)

(XREFKM) No Default ! XREFKM = 340.0 !

(YREFKM) No Default ! YREFKM = 5504.0 !

Cartesian grid definition

No. X grid cells (NX) No default ! NX = 40 !

No. Y grid cells (NY) No default ! NY = 40 !

Grid Spacing (DGRIDKM) No default ! DGRIDKM = 1. !
in kilometers

!END!

----- NIMA Datum-Regions (Documentation Section) -----

WGS-G WGS-84 GRS 80 Spheroid, Global coverage (WGS84)

NAS-C NORTH AMERICAN 1927 Clarke 1866 Spheroid, MEAN FOR CONUS (NAD27)

NWS-27 NWS 6370KM Radius, Sphere

NWS-84 NWS 6370KM Radius, Sphere

ESR-S ESRI REFERENCE 6371KM Radius, Sphere

Załącznik 3

Plik wejściowy aplikacji makegeo.exe

bielsko_40_40.inp

----- Run title (1 line) -----

MAKEGEO PROCESSOR CONTROL FILE

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output Files

Default Name	Type	File Name
--------------	------	-----------

LU.DAT	input	! LUDAT =bielsko_40_40.dat !
TERR.DAT	input	! TERRDAT =bielsko_40_40_T.dat !
GEO.DAT	output	! GEODAT =bielsko_40_40_M.dat !
MAKEGEO.LST	output	! RUNLST =bielsko_40_40.lst !
QALUSE.GRD	output	! LUGRD =bielsko_qaluse_40_40.grd !
QATERR.GRD	output	! TEGRD =bielsko_qaterr_40_40.grd !

All file names will be converted to lower case if LCFILES = T
Otherwise, if LCFILES = F, file names will be converted to UPPER CASE
(LCFILES) Default: T ! LCFILES = F !
T = lower case
F = UPPER CASE

!END!

INPUT GROUP: 1 -- Run control parameters

Terrain Processing Control

Read in a gridded terrain file?
(LTERR) Default: T ! LTERR = T !
T = terrain elevations in GEO.DAT read from TERR.DAT
F = terrain elevations in GEO.DAT are zero

Location of grid cell for QA output
(IXQA) Default: 0 ! IXQA = 0 !
(IYQA) Default: 0 ! IYQA = 0 !

!END!

INPUT GROUP: 2 -- Map Projection and Grid Information for Output

Projection

Map projection for all X,Y (km)
(PMAP) Default: UTM ! PMAP = UTM !

False Easting and Northing (km) at the projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, or LAZA)
(FEAST) Default=0.0 ! FEAST = 0.0 !

(FNORTH) Default=0.0 ! FNORTH = 0.0 !

UTM zone (1 to 60)

(Used only if PMAP=UTM)

(IUTMZN) No Default ! IUTMZN = 34 !

Hemisphere for UTM projection?

(Used only if PMAP=UTM)

(UTMHEM) Default: N ! UTMHEM = N !

 N : Northern hemisphere projection

 S : Southern hemisphere projection

Latitude and Longitude (decimal degrees) of projection origin

(Used only if PMAP= TTM, LCC, PS, EM, or LAZA)

(RLAT0) No Default ! RLAT0 = 49.6672882N !

(RLON0) No Default ! RLON0 = 18.7826294E !

Matching parallel(s) of latitude (decimal degrees) for projection

(Used only if PMAP= LCC or PS)

(RLAT1) No Default ! RLAT1 = 30.0N !

(RLAT2) No Default ! RLAT2 = 60.0N !

Output Datum-Region

Datum-region for output coordinates

(DATUM) Default: WGS-G ! DATUM = WGS-G !

Grid

Reference coordinates X,Y (km) assigned to the southwest corner
of grid cell (1,1) (lower left corner of grid)

(XREFKM) No Default ! XREFKM = 340.0 !

(YREFKM) No Default ! YREFKM = 5504.0 !

Cartesian grid definition

No. X grid cells (NX) No default ! NX = 40 !

No. Y grid cells (NY) No default ! NY = 40 !

Grid Spacing (DGRIDKM) No default ! DGRIDKM = 1. !
in kilometers

!END!

INPUT GROUP: 3 -- Output Land Use

Subgroup (3a)

Number of output land use categories

(NOUTCAT) Default: 14 ! NOUTCAT = 14 !

Output land use categories assigned to water
range from IWAT1 to IWAT2 (inclusive)

(IWAT1) Default: 50 ! IWAT1 = 50 !

(IWAT2) Default: 55 ! IWAT2 = 55 !

!END!

Subgroup (3b)

a
OUTPUT LAND USE CATEGORIES (NOUTCAT entries)

! OUTCAT = 10, 20, -20, 30, 40, 50, 54, 55 ! !END!
! OUTCAT = 60, 61, 62, 70, 80, 90 ! !END!

INPUT GROUP: 4 -- Input Land Use (Defaults are set for USGS categories)

Subgroup (4a)

Number of input land use categories
(NINCAT) Default: 38 ! NINCAT = 38 !

Number of input water categories
(NUMWAT) Default: 5 ! NUMWAT = 5 !

Number of input categories that are split
by apportioning area among the other land
use categories
(NSPLIT) Default: 0 ! NSPLIT = 0 !

Minimum fraction of cell covered by water required
to define the dominant land use as water
(CFRACT) Default: 0.5 ! CFRACT = 0.5 !

Land use category assigned to cell when
no land use data are found
(IMISS) Default: 55 ! IMISS = 55 !

!END!

Subgroup (4b)

a
LAND USE PROPERTIES AND OUTPUT MAP (NINCAT entries)

Input Category ID	z0 (m)	Albedo (0 to 1)	Soil Bowen Ratio	Anthropogenic Heat Flux Parameter (W/m**2)	Leaf Heat Flux	Output Area Index	Category ID
! X = 11,	0.5,	0.18,	1.0,	0.20,	0.0,	1.0,	10 ! !END!
! X = 12,	1.0,	0.18,	1.5,	0.25,	0.0,	0.2,	10 ! !END!
! X = 13,	1.0,	0.18,	1.5,	0.25,	0.0,	0.2,	10 ! !END!
! X = 14,	1.0,	0.18,	1.5,	0.25,	0.0,	0.2,	10 ! !END!
! X = 15,	1.0,	0.18,	1.5,	0.25,	0.0,	0.2,	10 ! !END!
! X = 16,	1.0,	0.18,	1.5,	0.25,	0.0,	0.2,	10 ! !END!

```

! X = 17, 1.0, 0.18, 1.5, 0.25, 0.0, 0.2, 10 ! !END!
! X = 21, 0.25, 0.15, 1.0, 0.15, 0.0, 3.0, 20 ! !END!
! X = 22, 0.25, 0.15, 1.0, 0.15, 0.0, 3.0, 20 ! !END!
! X = 23, 0.25, 0.15, 1.0, 0.15, 0.0, 3.0, 20 ! !END!
! X = 24, 0.25, 0.15, 1.0, 0.15, 0.0, 3.0, 20 ! !END!
! X = 31, 0.05, 0.25, 1.0, 0.15, 0.0, 0.5, 30 ! !END!
! X = 32, 0.05, 0.25, 1.0, 0.15, 0.0, 0.5, 30 ! !END!
! X = 33, 0.05, 0.25, 1.0, 0.15, 0.0, 0.5, 30 ! !END!
! X = 41, 1.0, 0.1, 1.0, 0.15, 0.0, 7.0, 40 ! !END!
! X = 42, 1.0, 0.1, 1.0, 0.15, 0.0, 7.0, 40 ! !END!
! X = 43, 1.0, 0.1, 1.0, 0.15, 0.0, 7.0, 40 ! !END!
! X = 51, 0.001, 0.1, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 51 ! !END!
! X = 52, 0.001, 0.1, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 51 ! !END!
! X = 53, 0.001, 0.1, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 51 ! !END!
! X = 54, 0.001, 0.1, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 54 ! !END!
! X = 55, 0.001, 0.1, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 55 ! !END!
! X = 61, 1.0, 0.1, 0.5, 0.25, 0.0, 2.0, 61 ! !END!
! X = 62, 0.2, 0.1, 0.1, 0.25, 0.0, 1.0, 62 ! !END!
! X = 71, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 72, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 73, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 74, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 75, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 76, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 77, 0.05, 0.3, 1.0, 0.15, 0.0, 0.05, 70 ! !END!
! X = 81, 0.2, 0.3, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 80 ! !END!
! X = 82, 0.2, 0.3, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 80 ! !END!
! X = 83, 0.2, 0.3, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 80 ! !END!
! X = 84, 0.2, 0.3, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 80 ! !END!
! X = 85, 0.2, 0.3, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 80 ! !END!
! X = 91, 0.05, 0.7, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 90 ! !END!
! X = 92, 0.05, 0.7, 0.5, 0.15, 0.0, 0.0, 90 ! !END!

```

Subgroup (4c)

a
INPUT CATEGORIES DEFINED AS WATER (NUMWAT entries)

```

! IWAT = 51 ! !END!
! IWAT = 52 ! !END!
! IWAT = 53 ! !END!
! IWAT = 54 ! !END!
! IWAT = 55 ! !END!

```

Subgroup (4d)

a
CATEGORY SPLIT INFORMATION (NSPLIT Categories)

Split Category ID	To Category ID	Amount of Split (%)	
* XSPLIT = 14,	76,	15.8	* *END*
* XSPLIT = 14,	77,	84.2	* *END*

Załącznik 4

Plik wejściowy aplikacji calmet.exe

meteo.inp

1 km resolution CALMET simulation for 24 hours from 0AM January 1, 2005
 2 surface met stations, 0 overwater station,
 1 upper air met stations, and 0 precip stations
 ----- Run title (3 lines) -----

CALMET MODEL CONTROL FILE

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output File Names

Subgroup (a)

Default Name Type File Name

GEO.DAT input ! GEODAT=c:\obliczenia\meteo\bielsko_40_40_M.DAT !
 SURF.DAT input ! SRFDAT=c:\obliczenia\marzec_2_stacje_z.dat !
 CALMET.LST output ! METLST=4_stacje_meteo_bielsko_3.LST !
 CALMET.DAT output ! METDAT=4_stacje_meteo_bielsko_3.DAT !
 PACOUT.DAT output * PACDAT= *

All file names will be converted to lower case if LCFILES = T
 Otherwise, if LCFILES = F, file names will be converted to UPPER CASE
 T = lower case ! LCFILES = T !
 F = UPPER CASE

NUMBER OF UPPER AIR & OVERWATER STATIONS:

Number of upper air stations (NUSTA) No default ! NUSTA = 4 !
 Number of overwater met stations
 (NOWSTA) No default ! NOWSTA = 0 !

!END!

Subgroup (b)

Upper air files (one per station)

Default Name Type File Name

UP1.DAT input 1 ! UPDAT=upleg.dat! !END!
 UP2.DAT input 2 ! UPDAT=UPWROC.DAT! !END!
 UP3.DAT input 3 ! UPDAT=UPPRAGA_N_ii.DAT! !END!
 UP4.DAT input 4 ! UPDAT=UPPOPRAD_N_i.DAT! !END!

Subgroup (c)

Overwater station files (one per station)

Subgroup (d)

Other file names

INPUT GROUP: 1 -- General run control parameters

Starting date: Year (IBYR) -- No default ! IBYR= 2005 !
Month (IBMO) -- No default ! IBMO= 3 !
Day (IBDY) -- No default ! IBDY= 1 !
Hour (IBHR) -- No default ! IBHR= 0 !

Base time zone (IBTZ) -- No default ! IBTZ= 05 !
PST = 08, MST = 07
CST = 06, EST = 05

Length of run (hours) (IRLG) -- No default ! IRLG= 744 !

Run type (IRTYPE) -- Default: 1 ! IRTYPE= 1 !

0 = Computes wind fields only
1 = Computes wind fields and micrometeorological variables
(u*, w*, L, zi, etc.)
(IRTYPE must be 1 to run CALPUFF or CALGRID)

Compute special data fields required
by CALGRID (i.e., 3-D fields of W wind
components and temperature)
in addition to regular Default: T ! LCALGRD = T !
fields ? (LCALGRD)
(LCALGRD must be T to run CALGRID)

Flag to stop run after
SETUP phase (ITEST) Default: 2 ! ITEST= 2 !
(Used to allow checking
of the model inputs, files, etc.)
ITEST = 1 - STOPS program after SETUP phase
ITEST = 2 - Continues with execution of
COMPUTATIONAL phase after SETUP

!END!

INPUT GROUP: 2 -- Map Projection and Grid control parameters

Projection for all (X,Y):

Map projection
(PMAP) Default: UTM ! PMAP = UTM !

False Easting and Northing (km) at the projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, or LAZA)
(FEAST) Default=0.0 ! FEAST = 0.0 !
(FNORTH) Default=0.0 ! FNORTH = 0.0 !

UTM zone (1 to 60)
(Used only if PMAP=UTM)
(IUTMZN) No Default ! IUTMZN = 34 !

Hemisphere for UTM projection?
(Used only if PMAP=UTM)

(UTMHEM) Default: N ! UTMHEM = N !
 N : Northern hemisphere projection
 S : Southern hemisphere projection

Latitude and Longitude (decimal degrees) of projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, PS, EM, or LAZA)
(RLAT0) No Default ! RLAT0 = 49.6672882N !
(RLON0) No Default ! RLON0 = 18.7826294E !

Matching parallel(s) of latitude (decimal degrees) for projection
(Used only if PMAP= LCC or PS)
(XLAT1) No Default ! XLAT1 = 30N !
(XLAT2) No Default ! XLAT2 = 60N !

Datum -region

Datum-region for output coordinates
(DATUM) Default: WGS-G ! DATUM = WGS-G !

Horizontal grid definition:

Rectangular grid defined for projection PMAP,
with X the Easting and Y the Northing coordinate

 No. X grid cells (NX) No default ! NX = 40 !
 No. Y grid cells (NY) No default ! NY = 40 !

Grid spacing (DGRIDKM) No default ! DGRIDKM = 1. !
 Units: km

Reference grid coordinate of
SOUTHWEST corner of grid cell (1,1)

 X coordinate (XORIGKM) No default ! XORIGKM = 340.00 !
 Y coordinate (YORIGKM) No default ! YORIGKM = 5504.00 !
 Units: km

Vertical grid definition:

 No. of vertical layers (NZ) No default ! NZ = 8 !

 Cell face heights in arbitrary
 vertical grid (ZFACE(NZ+1)) No defaults
 Units: m
 ! ZFACE = 0.,20.,40.,80.,160.,300.,600.,1000.,1500. !

!END!

INPUT GROUP: 3 -- Output Options

DISK OUTPUT OPTION

 Save met. fields in an unformatted
 output file ? (LSAVE) Default: T ! LSAVE = T !

(F = Do not save, T = Save)

Type of unformatted output file:

(IFORMO) Default: 1 ! IFORMO = 1 !

1 = CALPUFF/CALGRID type file (CALMET.DAT)

2 = MESOPUFF-II type file (PACOUT.DAT)

LINE PRINTER OUTPUT OPTIONS:

Print met. fields ? (LPRINT) Default: F ! LPRINT = F !

(F = Do not print, T = Print)

(NOTE: parameters below control which
met. variables are printed)

Print interval

(IPRINF) in hours Default: 1 ! IPRINF = 1 !

(Meteorological fields are printed
every 1 hours)

Specify which layers of U, V wind component

to print (IUVOU(NZ)) -- NOTE: NZ values must be entered

(0=Do not print, 1=Print)

(used only if LPRINT=T) Defaults: NZ*0

! IUVOU = 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 !

Specify which levels of the W wind component to print

(NOTE: W defined at TOP cell face -- 10 values)

(IWOUT(NZ)) -- NOTE: NZ values must be entered

(0=Do not print, 1=Print)

(used only if LPRINT=T & LCALGRD=T)

Defaults: NZ*0

! IWOUT = 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 !

Specify which levels of the 3-D temperature field to print

(ITOUT(NZ)) -- NOTE: NZ values must be entered

(0=Do not print, 1=Print)

(used only if LPRINT=T & LCALGRD=T)

Defaults: NZ*0

! ITOUT = 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 !

Specify which meteorological fields

to print

(used only if LPRINT=T) Defaults: 0 (all variables)

Variable	Print ?
	(0 = do not print,
	1 = print)

! STABILITY = 1 ! - PGT stability class

! USTAR = 0 ! - Friction velocity

```

! MONIN   =      1      ! - Monin-Obukhov length
! MIXHT   =      1      ! - Mixing height
! WSTAR   =      0      ! - Convective velocity scale
! PRECIP  =      0      ! - Precipitation rate
! SENSHEAT =      0      ! - Sensible heat flux
! CONVZI  =      1      ! - Convective mixing ht.

```

Testing and debug print options for micrometeorological module

Print input meteorological data and
internal variables (LDB) Default: F ! LDB = F !
(F = Do not print, T = print)
(NOTE: this option produces large amounts of output)

First time step for which debug data
are printed (NN1) Default: 1 ! NN1 = 1 !

Last time step for which debug data
are printed (NN2) Default: 1 ! NN2 = 1 !

Testing and debug print options for wind field module (all of the following print options control output to wind field module's output files: TEST.PRT, TEST.OUT, TEST.KIN, TEST.FRD, and TEST.SLP)

Control variable for writing the test/debug
wind fields to disk files (IOUTD)
(0=Do not write, 1=write) Default: 0 ! IOUTD = 0 !

Number of levels, starting at the surface,
to print (NZPRN2) Default: 1 ! NZPRN2 = 0 !

Print the INTERPOLATED wind components ?
(IPR0) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR0 = 0 !

Print the TERRAIN ADJUSTED surface wind
components ?
(IPR1) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR1 = 0 !

Print the SMOOTHED wind components and
the INITIAL DIVERGENCE fields ?
(IPR2) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR2 = 0 !

Print the FINAL wind speed and direction
fields ?
(IPR3) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR3 = 0 !

Print the FINAL DIVERGENCE fields ?
(IPR4) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR4 = 0 !

Print the winds after KINEMATIC effects
are added ?
(IPR5) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR5 = 0 !

Print the winds after the FROUDE NUMBER
adjustment is made ?
(IPR6) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR6 = 0 !

Print the winds after SLOPE FLOWS
are added ?
(IPR7) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR7 = 0 !

Print the FINAL wind field components ?
(IPR8) (0=no, 1=yes) Default: 0 ! IPR8 = 0 !

!END!

INPUT GROUP: 4 -- Meteorological data options

NO OBSERVATION MODE (NOOBS) Default: 0 ! NOOBS = 0 !
0 = Use surface, overwater, and upper air stations
1 = Use surface and overwater stations (no upper air observations)
 Use MM5 for upper air data
2 = No surface, overwater, or upper air observations
 Use MM5 for surface, overwater, and upper air data

NUMBER OF SURFACE & PRECIP. METEOROLOGICAL STATIONS

Number of surface stations (NSSTA) No default ! NSSTA = 2 !

Number of precipitation stations
(NPSTA=-1: flag for use of MM5 precip data)
(NPSTA) No default ! NPSTA = 0 !

CLOUD DATA OPTIONS

Gridded cloud fields:
 (ICLOUD) Default: 0 ! ICLOUD = 0 !
ICLOUD = 0 - Gridded clouds not used
ICLOUD = 1 - Gridded CLOUD.DAT generated as OUTPUT
ICLOUD = 2 - Gridded CLOUD.DAT read as INPUT

FILE FORMATS

Surface meteorological data file format
 (IFORMS) Default: 2 ! IFORMS = 2 !
(1 = unformatted (e.g., SMERGE output))
(2 = formatted (free-formatted user input))

Precipitation data file format
 (IFORMP) Default: 2 ! IFORMP = 2 !
(1 = unformatted (e.g., PMERGE output))
(2 = formatted (free-formatted user input))

Cloud data file format
 (IFORMC) Default: 2 ! IFORMC = 2 !
(1 = unformatted - CALMET unformatted output)
(2 = formatted - free-formatted CALMET output or user input)

!END!

INPUT GROUP: 5 -- Wind Field Options and Parameters

WIND FIELD MODEL OPTIONS

Model selection variable (IWFCOD) Default: 1 ! IWFCOD = 1 !
0 = Objective analysis only
1 = Diagnostic wind module

Compute Froude number adjustment
effects ? (IFRADJ) Default: 1 ! IFRADJ = 1 !
(0 = NO, 1 = YES)

Compute kinematic effects ? (IKINE) Default: 0 ! IKINE = 0 !
(0 = NO, 1 = YES)

Use O'Brien procedure for adjustment
of the vertical velocity ? (IOBR) Default: 0 ! IOBR = 0 !
(0 = NO, 1 = YES)

Compute slope flow effects ? (ISLOPE) Default: 1 ! ISLOPE = 1 !
(0 = NO, 1 = YES)

Extrapolate surface wind observations
to upper layers ? (IEXTRP) Default: -4 ! IEXTRP = -1 !
(1 = no extrapolation is done,
2 = power law extrapolation used,
3 = user input multiplicative factors
for layers 2 - NZ used (see FEXTRP array)
4 = similarity theory used
-1, -2, -3, -4 = same as above except layer 1 data
at upper air stations are ignored

Extrapolate surface winds even
if calm? (ICALM) Default: 0 ! ICALM = 0 !
(0 = NO, 1 = YES)

Default: NZ*0
! BIAS = 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 !

Minimum distance from nearest upper air station
to surface station for which extrapolation
of surface winds at surface station will be allowed
(RMIN2: Set to -1 for IEXTRP = 4 or other situations
where all surface stations should be extrapolated)
Default: 4. ! RMIN2 = -1.0 !

Use gridded prognostic wind field model
output fields as input to the diagnostic
wind field model (IPROG) Default: 0 ! IPROG = 0 !
(0 = No, [IWFCOD = 0 or 1]
1 = Yes, use CSUMM prog. winds as Step 1 field, [IWFCOD = 0]
2 = Yes, use CSUMM prog. winds as initial guess field [IWFCOD = 1]
3 = Yes, use winds from MM4.DAT file as Step 1 field [IWFCOD = 0]
4 = Yes, use winds from MM4.DAT file as initial guess field [IWFCOD = 1]
5 = Yes, use winds from MM4.DAT file as observations [IWFCOD = 1]
13 = Yes, use winds from MM5.DAT file as Step 1 field [IWFCOD = 0]
14 = Yes, use winds from MM5.DAT file as initial guess field [IWFCOD = 1]
15 = Yes, use winds from MM5.DAT file as observations [IWFCOD = 1]

Timestep (hours) of the prognostic
model input data (ISTEPPG) Default: 1 ! ISTEPPG = 1 !

RADIUS OF INFLUENCE PARAMETERS

Use varying radius of influence Default: F ! LVARY = T!
(if no stations are found within RMAX1,RMAX2,
or RMAX3, then the closest station will be used)

Maximum radius of influence over land
in the surface layer (RMAX1) No default ! RMAX1 = 30. !
Units: km

Maximum radius of influence over land
aloft (RMAX2) No default ! RMAX2 = 30. !
Units: km

Maximum radius of influence over water
(RMAX3) No default ! RMAX3 = 50. !
Units: km

OTHER WIND FIELD INPUT PARAMETERS

Minimum radius of influence used in
the wind field interpolation (RMIN) Default: 0.1 ! RMIN = 0.1 !
Units: km

Radius of influence of terrain
features (TERRAD) No default ! TERRAD = 12. !
Units: km

Relative weighting of the first
guess field and observations in the
SURFACE layer (R1) No default ! R1 = 1. !
(R1 is the distance from an Units: km
observational station at which the
observation and first guess field are
equally weighted)

Relative weighting of the first
guess field and observations in the
layers ALOFT (R2) No default ! R2 = 1. !
(R2 is applied in the upper layers Units: km
in the same manner as R1 is used in
the surface layer).

Relative weighting parameter of the
prognostic wind field data (RPROG) No default ! RPROG = 0. !
(Used only if IPROG = 1) Units: km

Maximum acceptable divergence in the
divergence minimization procedure
(DIVLIM) Default: 5.E-6 ! DIVLIM= 5.0E-06 !

Maximum number of iterations in the
divergence min. procedure (NITER) Default: 50 ! NITER = 50 !

Number of passes in the smoothing
procedure (NSMTH(NZ))

NOTE: NZ values must be entered

Default: 2,(mxnz-1)*4 ! NSMTH =
2 , 4 , 4 , 4 , 4 , 4 , 4 , 4 , 4 , 4 !

Maximum number of stations used in
each layer for the interpolation of

data to a grid point (NINTR2(NZ))
NOTE: NZ values must be entered Default: 99. ! NINTR2 =
5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5 !

Critical Froude number (CRITFN) Default: 1.0 ! CRITFN = 1. !

Empirical factor controlling the
influence of kinematic effects
(ALPHA) Default: 0.1 ! ALPHA = 0.1 !

Multiplicative scaling factor for
extrapolation of surface observations
to upper layers (FEXTR2(NZ)) Default: NZ*0.0
! FEXTR2 = 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0. !
(Used only if IEXTRP = 3 or -3)

BARRIER INFORMATION

Number of barriers to interpolation
of the wind fields (NBAR) Default: 0 ! NBAR = 0 !

THE FOLLOWING 4 VARIABLES ARE INCLUDED
ONLY IF NBAR > 0

NOTE: NBAR values must be entered No defaults
for each variable Units: km

X coordinate of BEGINNING
of each barrier (XBBAR(NBAR)) ! XBBAR = 0. !
Y coordinate of BEGINNING
of each barrier (YBBAR(NBAR)) ! YBBAR = 0. !

X coordinate of ENDING
of each barrier (XEBAR(NBAR)) ! XEBAR = 0. !
Y coordinate of ENDING
of each barrier (YEBAR(NBAR)) ! YEBAR = 0. !

DIAGNOSTIC MODULE DATA INPUT OPTIONS

Surface temperature (IDIOPT1) Default: 0 ! IDIOPT1 = 0 !
0 = Compute internally from
hourly surface observations
1 = Read preprocessed values from
a data file (DIAG.DAT)

Surface met. station to use for
the surface temperature (ISURFT) No default ! ISURFT = 2 !
(Must be a value from 1 to NSSTA)
(Used only if IDIOPT1 = 0)

Domain-averaged temperature lapse
rate (IDIOPT2) Default: 0 ! IDIOPT2 = 0 !
0 = Compute internally from
twice-daily upper air observations
1 = Read hourly preprocessed values
from a data file (DIAG.DAT)

Upper air station to use for

the domain-scale lapse rate (IUPT) No default ! IUPT = 1 !
 (Must be a value from 1 to NUSTA)
 (Used only if IDIOPT2 = 0)

Depth through which the domain-scale
 lapse rate is computed (ZUPT) Default: 200. ! ZUPT = 200. !
 (Used only if IDIOPT2 = 0) Units: meters

Domain-averaged wind components
 (IDIOPT3) Default: 0 ! IDIOPT3 = 0 !
 0 = Compute internally from
 twice-daily upper air observations
 1 = Read hourly preprocessed values
 a data file (DIAG.DAT)

Upper air station to use for
 the domain-scale winds (IUPWND) Default: -1 ! IUPWND = -1 !
 (Must be a value from -1 to NUSTA)
 (Used only if IDIOPT3 = 0)

Bottom and top of layer through
 which the domain-scale winds
 are computed
 (ZUPWND(1), ZUPWND(2)) Defaults: 1., 1000. ! ZUPWND= 1., 1000. !
 (Used only if IDIOPT3 = 0) Units: meters

Observed surface wind components
 for wind field module (IDIOPT4) Default: 0 ! IDIOPT4 = 0 !
 0 = Read WS, WD from a surface
 data file (SURF.DAT)
 1 = Read hourly preprocessed U, V from
 a data file (DIAG.DAT)

Observed upper air wind components
 for wind field module (IDIOPT5) Default: 0 ! IDIOPT5 = 0 !
 0 = Read WS, WD from an upper
 air data file (UP1.DAT, UP2.DAT, etc.)
 1 = Read hourly preprocessed U, V from
 a data file (DIAG.DAT)

LAKE BREEZE INFORMATION

Use Lake Breeze Module (LLBREZE)
 Default: F ! LLBREZE = F !

Number of lake breeze regions (NBOX) ! NBOX = 0 !

X Grid line 1 defining the region of interest
 ! XG1 = 0. !

X Grid line 2 defining the region of interest
 ! XG2 = 0. !

Y Grid line 1 defining the region of interest
 ! YG1 = 0. !

Y Grid line 2 defining the region of interest
 ! YG2 = 0. !

X Point defining the coastline (Straight line)
(XBCST) (KM) Default: none ! XBCST = 0. !

Y Point defining the coastline (Straight line)
(YBCST) (KM) Default: none ! YBCST = 0. !

X Point defining the coastline (Straight line)
(XECST) (KM) Default: none ! XECST = 0. !

Y Point defining the coastline (Straight line)
(YECST) (KM) Default: none ! YECST = 0. !

Number of stations in the region Default: none ! NLB = 0 !
(Surface stations + upper air stations)

Station ID's in the region (METBXID(NLB))
(Surface stations first, then upper air stations)
! METBXID = 0 !

!END!

INPUT GROUP: 6 -- Mixing Height, Temperature and Precipitation Parameters

EMPIRICAL MIXING HEIGHT CONSTANTS

Neutral, mechanical equation
(CONSTB) Default: 1.41 ! CONSTB = 1.41 !
Convective mixing ht. equation
(CONSTE) Default: 0.15 ! CONSTE = 0.15 !
Stable mixing ht. equation
(CONSTN) Default: 2400. ! CONSTN = 2400. !
Overwater mixing ht. equation
(CONSTW) Default: 0.16 ! CONSTW = 0.16 !
Absolute value of Coriolis
parameter (FCORIOL) Default: 1.E-4 ! FCORIOL = 1.0E-04!
Units: (1/s)

SPATIAL AVERAGING OF MIXING HEIGHTS

Conduct spatial averaging
(IAVEZI) (0=no, 1=yes) Default: 1 ! IAVEZI = 1 !

Max. search radius in averaging
process (MNMDAV) Default: 1 ! MNMDAV = 10 !
Units: Grid
cells

Half-angle of upwind looking cone
for averaging (HAFANG) Default: 30. ! HAFANG = 30. !
Units: deg.

Layer of winds used in upwind
averaging (ILEVZI) Default: 1 ! ILEVZI = 1 !
(must be between 1 and NZ)

OTHER MIXING HEIGHT VARIABLES

Minimum potential temperature lapse

rate in the stable layer above the
current convective mixing ht. Default: 0.001 ! DPTMIN = 0.001 !
(DPTMIN) Units: deg. K/m
Depth of layer above current conv.
mixing height through which lapse Default: 200. ! DZZI = 200. !
rate is computed (DZZI) Units: meters

Minimum overland mixing height Default: 50. ! ZIMIN = 50. !
(ZIMIN) Units: meters
Maximum overland mixing height Default: 3000. ! ZIMAX = 2500. !
(ZIMAX) Units: meters
Minimum overwater mixing height Default: 50. ! ZIMINW = 50. !
(ZIMINW) -- (Not used if observed Units: meters
overwater mixing hts. are used)
Maximum overwater mixing height Default: 3000. ! ZIMAXW = 2500. !
(ZIMAXW) -- (Not used if observed Units: meters
overwater mixing hts. are used)

TEMPERATURE PARAMETERS

3D temperature from observations or
from prognostic data? (ITPROG) Default:0 !ITPROG = 0 !

0 = Use Surface and upper air stations
1 = Use Surface stations (no upper air observations)
2 = No surface or upper air observations

Interpolation type
(1 = 1/R ; 2 = 1/R**2) Default:1 ! IRAD = 1 !

Radius of influence for temperature
interpolation (TRADKM) Default: 500. ! TRADKM = 10. !
Units: km

Maximum Number of stations to include
in temperature interpolation (NUMTS) Default: 5 ! NUMTS = 2 !

Conduct spatial averaging of temp-
eratures (IAVET) (0=no, 1=yes) Default: 1 ! IAVET = 1 !
(will use mixing ht MNMDAV,HAFANG
so make sure they are correct)

Default temperature gradient Default: -.0098 ! TGDEFB = -0.0098 !
below the mixing height over
water (K/m) (TGDEFB)

Default temperature gradient Default: -.0045 ! TGDEFA = -0.0045 !
above the mixing height over
water (K/m) (TGDEFA)

Beginning (JWAT1) and ending (JWAT2)
land use categories for temperature ! JWAT1 = 55 !
interpolation over water -- Make ! JWAT2 = 55 !
bigger than largest land use to disable

PRECIP INTERPOLATION PARAMETERS

Method of interpolation (NFLAGP) Default = 2 ! NFLAGP = 2 !
(1=1/R,2=1/R**2,3=EXP/R**2)

Radius of Influence (km) (SIGMAP) Default = 100.0 ! SIGMAP = 50. !
 (0.0 => use half dist. btwn
 nearest stns w & w/out
 precip when NFLAGP = 3)
 Minimum Precip. Rate Cutoff (mm/hr) Default = 0.01 ! CUTP = 0.01 !
 (values < CUTP = 0.0 mm/hr)
 !END!

 INPUT GROUP: 7 -- Surface meteorological station parameters

SURFACE STATION VARIABLES
 (One record per station -- 5 records in all)

	1	2					
	Name	ID	X coord. (km)	Y coord. (km)	Time zone	Anem. Ht.(m)	
! SS1	= 'Kra '	12566	414.143	5548.215	5	14	!
! SS2	= 'Kat '	12560	359.496	5566.061	5	14	!

 !END!

 INPUT GROUP: 8 -- Upper air meteorological station parameters

UPPER AIR STATION VARIABLES
 (One record per station -- 3 records in all)

	1	2				
	Name	ID	X coord. (km)	Y coord. (km)	Time zone	
! US1	= 'Leg '	12374	497.279	5805.530	5	!
! US2	= 'Wro '	12425	215.833	5744.603	5	!
! US3	= 'Pra '	11520	460.583	5538.776	5	!
! US4	= 'Pop '	11952	449.562	5431.020	5	!

 !END!

 INPUT GROUP: 9 -- Precipitation station parameters

PRECIPITATION STATION VARIABLES
 (One record per station -- 16 records in all)
 (NOT INCLUDED IF NPSTA = 0)

	1	2		
	Name	Station Code	X coord. (km)	Y coord. (km)

 !END!

Załącznik 5

Plik z danymi naziemnej stacji meteorologicznej

surf.dat

SURF.DAT 2.0

1

Produced by METEOROLOGIA Version: 5.3 Level: 0.704

NONE

2005	60	0	2005	90	23	5	3		
12566									
12560									
11111									
2005	60	0							
4.600	240.000		30	7	263.100	86	1012.000	0	
3.600	250.000		46	7	262.100	85	1012.000	0	
1.6	242.000		999	9999	260.6	81	966	0	
2005	60	1							
5.100	240.000		53	7	263.100	86	1012.000	0	
3.000	250.000		26	7	261.100	85	1011.000	0	
1.3	223		999	9999	260.3	79	966	0	
2005	60	2							
5.100	250.000		50	7	263.100	73	1012.000	0	
2.500	220.000		80	7	261.100	85	1011.000	0	
1.3	208	999	9999		260.2	74	965	0	
2005	60	3							
4.100	230.000		20	7	263.100	73	1012.000	0	
3.000	210.000		00	7	261.100	85	1010.000	0	
1.3	210	999	9999		260.2	67	964	0	
2005	60	4							
4.100	230.000		33	7	264.100	79	1011.000	0	
4.100	220.000		00	7	262.100	79	1010.000	0	
1.5	213	999	9999		260.4	63	964	0	
2005	60	5							
4.100	230.000		53	7	264.100	79	1011.000	0	
4.100	220.000		26	7	262.100	85	1010.000	0	
1.7	223	999	9999		260.5	67	964	0	
2005	60	6							
3.000	230.000		999	0	263.100	79	1010.000	0	
4.600	230.000		26	7	262.100	85	1009.000	0	
1.5	224	999	9999		261.1	68	964	0	
2005	60	7							
4.100	250.000		999	0	263.100	73	1010.000	0	
4.600	220.000		23	7	262.100	85	1009.000	0	
0.8	183	999	9999		263.0	64	964	0	
2005	60	8							
4.600	240.000		999	0	263.100	73	1011.000	0	
5.600	230.000		33	4	262.100	92	1009.000	0	
1.7	238	999	9999		264.4	68	964	0	
2005	60	9							
8.200	240.000		20	7	266.100	68	1010.000	0	
6.100	230.000		36	4	264.100	86	1009.000	0	
1.4	230	999	9999		265.5	65	965	0	
2005	60	10							
8.200	240.000		20	7	266.100	80	1011.000	0	
5.100	240.000		11	7	266.100	86	1010.000	0	
1.8	237	999	9999		265.8	63	965	0	
2005	60	11							
8.200	240.000		20	7	267.100	80	1011.000	0	
5.100	240.000		13	7	267.100	80	1010.000	0	
1.6	237	999	9999		267.0	61	964	0	

Załącznik 6

Plik z danymi aerologicznej stacji meteorologicznej

leg.dat

LEG.DAT 2.0

1

Produced by METEOROLOGIA Version: 5.5 Level: 030402

NONE

2005	1	0	2005	365	12	700.	2	1	
F	F	F	F						
6201	12374	2005	1 1 0	12					5
1007.0/	96./277.0/210/	3	1000.0/	151./276.6/220/	5	925.0/			
780./273.2/275/	7	850.0/1458./273.1/285/	8						
700.0/2995./265.1/295/	13								
6201	12374	2005	1 112	12					5
1005.0/	96./279.0/270/	6	1000.0/	140./279.0/270/	4	925.0/			
774./275.0/295/	10	850.0/1452./271.3/305/	10						
700.0/2972./260.9/295/	7								
6201	12374	2005	1 2 0	12					5
1005.0/	96./274.6/250/	2	1000.0/	137./274.6/235/	4	925.0/			
760./269.7/280/	5	850.0/1422./266.5/270/	6						
700.0/2947./264.9/285/	8								
6201	12374	2005	1 212	12					4
994.0/	96./279.4/240/	7	925.0/	682./274.4/270/	19				
850.0/1357./270.3/285/	21	700.0/2869./262.7/260/	29						
6201	12374	2005	1 3 0	12					4
999.0/	96./276.0/220/	7	925.0/	712./271.3/270/	20				
850.0/1378./266.1/285/	24	700.0/2865./256.3/290/	20						
6201	12374	2005	1 312	12					4
1000.0/	96./276.2/250/	6	925.0/	722./270.3/275/	15				
850.0/1386./265.3/295/	20	700.0/2866./255.3/300/	15						
6201	12374	2005	1 4 0	12					5
1002.0/	96./274.0/230/	4	1000.0/	111./274.0/230/	4	925.0/			
735./271.3/295/	16	850.0/1402./266.9/310/	16						
700.0/2897./258.1/305/	20								
6201	12374	2005	1 412	12					4
997.0/	96./279.0/270/	6	925.0/	701./274.4/300/	15				
850.0/1378./270.9/320/	14	700.0/2898./263.1/320/	21						
6201	12374	2005	1 5 0	11					4
1000.0/	96./280.0/240/	6	925.0/	735./275.2/285/	21				
850.0/1414./272.1/305/	19	700.0/2946./266.1/310/	23						
6201	12374	2005	1 512	12					5
1004.0/	96./279.8/270/	8	1000.0/	132./279.4/280/	11	925.0/			
763./273.1/300/	16	850.0/1434./268.5/310/	20						
700.0/2935./257.9/310/	22								
6201	12374	2005	1 6 0	12					5
1007.0/	96./277.0/260/	5	1000.0/	151./277.0/265/	8	925.0/			
780./272.5/280/	13	850.0/1449./270.7/285/	12						
700.0/2958./260.3/295/	13								
6201	12374	2005	1 612	12					5
1004.0/	96./277.4/220/	6	1000.0/	130./277.2/225/	4	925.0/			
757./271.9/265/	10	850.0/1427./268.1/290/	13						
700.0/2928./259.7/305/	16								
6201	12374	2005	1 7 0	12					5
1012.0/	96./277.4/270/	4	1000.0/	193./276.6/270/	7	925.0/			
820./272.1/300/	16	850.0/1488./267.3/310/	15						
700.0/2991./259.3/320/	20								
6201	12374	2005	1 712	12					5
1008.0/	96./279.2/240/	6	1000.0/	158./278.6/250/	9	925.0/			

Załącznik 7

Plik wejściowy aplikacji calpuff.exe

bielsko_calpuff.inp

CALPUFF Demonstration Run

----- Run title (3 lines) -----

CALPUFF MODEL CONTROL FILE

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output File Names

Default Name	Type	File Name
--------------	------	-----------

CALMET.DAT	input	! METDAT =c:\obliczenia\meteo\2_stacje_meteo_bielsko_3.dat!
------------	-------	---

CALPUFF.LST	output	! PUFLST =E_1_bielsko_marzec_0_2_stacje.LST !
CONC.DAT	output	! CONDAT =E_1_bielsko_marzec_0_2_stacje.CON !

Emission Files

Other Files

All file names will be converted to lower case if LCFILES = T
Otherwise, if LCFILES = F, file names will be converted to UPPER CASE

T = lower case ! LCFILES = F !

F = UPPER CASE

NOTE: (1) file/path names can be up to 70 characters in length

Provision for multiple input files

Number of CALMET.DAT files for run (NMETDAT)
Default: 1 ! NMETDAT = 1 !

Number of PTEMARB.DAT files for run (NPTDAT)
Default: 0 ! NPTDAT = 0 !

Number of BAEMARB.DAT files for run (NARDAT)
Default: 0 ! NARDAT = 0 !

Number of VOLEMARB.DAT files for run (NVOLDAT)
Default: 0 ! NVOLDAT = 0 !

!END!

Subgroup (0a)

Default Name	Type	File Name
--------------	------	-----------

none	input	* METDAT= * *END*
------	-------	-------------------

INPUT GROUP: 1 -- General run control parameters

Option to run all periods found

in the met. file (METRUN) Default: 0 ! METRUN = 1 !

METRUN = 0 - Run period explicitly defined below

METRUN = 1 - Run all periods in met. file

Starting date: Year (IBYR) -- No default ! IBYR = 2005 !

(used only if Month (IBMO) -- No default ! IBMO = 3 !

METRUN = 0) Day (IBDY) -- No default ! IBDY = 1 !

Hour (IBHR) -- No default ! IBHR = 0 !

Base time zone (XBTZ) -- No default ! XBTZ = 5.0 !

PST = 8., MST = 7.

CST = 6., EST = 5.

Length of run (hours) (IRLG) -- No default ! IRLG = 744 !

Number of chemical species (NSPEC)

Default: 5 ! NSPEC = 3 !

Number of chemical species

to be emitted (NSE) Default: 3 ! NSE = 3 !

Flag to stop run after

SETUP phase (ITEST) Default: 2 ! ITEST = 2 !

(Used to allow checking

of the model inputs, files, etc.)

ITEST = 1 - STOPS program after SETUP phase

ITEST = 2 - Continues with execution of program
after SETUP

Restart Configuration:

Control flag (MRESTART) Default: 0 ! MRESTART = 0 !

Number of periods in Restart

output cycle (NRESPD) Default: 0 ! NRESPD = 0 !

0 = File written only at last period

>0 = File updated every NRESPD periods

Meteorological Data Format (METFM)

Default: 1 ! METFM = 1 !

PG sigma-y is adjusted by the factor (AVET/PGTIME)**0.2

Averaging Time (minutes) (AVET)

Default: 60.0 ! AVET = 60. !

PG Averaging Time (minutes) (PGTIME)

Default: 60.0 ! PGTIME = 60. !

!END!

INPUT GROUP: 2 -- Technical options

Vertical distribution used in the
near field (MGAUSS) Default: 1 ! MGAUSS = 1 !
0 = uniform
1 = Gaussian

Terrain adjustment method
(MCTADJ) Default: 3 ! MCTADJ = 0 !
0 = no adjustment
1 = ISC-type of terrain adjustment
2 = simple, CALPUFF-type of terrain
adjustment
3 = partial plume path adjustment

Subgrid-scale complex terrain
flag (MCTSG) Default: 0 ! MCTSG = 0 !
0 = not modeled
1 = modeled

Near-field puffs modeled as
elongated 0 (MSLUG) Default: 0 ! MSLUG = 0 !
0 = no
1 = yes (slug model used)

Transitional plume rise modeled ?
(MTRANS) Default: 1 ! MTRANS = 1 !
0 = no (i.e., final rise only)
1 = yes (i.e., transitional rise computed)

Stack tip downwash? (MTIP) Default: 1 ! MTIP = 1 !
0 = no (i.e., no stack tip downwash)
1 = yes (i.e., use stack tip downwash)

Vertical wind shear modeled above
stack top? (MSHEAR) Default: 0 ! MSHEAR = 0 !
0 = no (i.e., vertical wind shear not modeled)
1 = yes (i.e., vertical wind shear modeled)

Puff splitting allowed? (MSPLIT) Default: 0 ! MSPLIT = 0 !
0 = no (i.e., puffs not split)
1 = yes (i.e., puffs are split)

Chemical mechanism flag (MCHEM) Default: 1 ! MCHEM = 0 !
0 = chemical transformation not
modeled
1 = transformation rates computed
internally (MESOPUFF II scheme)
2 = user-specified transformation
rates used
3 = transformation rates computed
internally (RIVAD/ARM3 scheme)
4 = secondary organic aerosol formation
computed (MESOPUFF II scheme for OH)

Aqueous phase transformation flag (MAQCHEM)
(Used only if MCHEM = 1, or 3) Default: 0 ! MAQCHEM = 0 !
0 = aqueous phase transformation
not modeled
1 = transformation rates adjusted

for aqueous phase reactions

Wet removal modeled ? (MWET) Default: 1 ! MWET = 0 !
0 = no
1 = yes

Dry deposition modeled ? (MDRY) Default: 1 ! MDRY = 0 !
0 = no
1 = yes
(dry deposition method specified
for each species in Input Group 3)

Method used to compute dispersion
coefficients (MDISP) Default: 3 ! MDISP = 3 !

- 1 = dispersion coefficients computed from measured values
of turbulence, sigma v, sigma w
- 2 = dispersion coefficients from internally calculated
sigma v, sigma w using micrometeorological variables
(u*, w*, L, etc.)
- 3 = PG dispersion coefficients for RURAL areas (computed using
the ISCST multi-segment approximation) and MP coefficients in
urban areas
- 4 = same as 3 except PG coefficients computed using
the MESOPUFF II eqns.
- 5 = CTDM sigmas used for stable and neutral conditions.
For unstable conditions, sigmas are computed as in
MDISP = 3, described above. MDISP = 5 assumes that
measured values are read

Sigma-v/sigma-theta, sigma-w measurements used? (MTURBVW)
(Used only if MDISP = 1 or 5) Default: 3 ! MTURBVW = 3 !

- 1 = use sigma-v or sigma-theta measurements
from PROFILE.DAT to compute sigma-y
(valid for METFM = 1, 2, 3, 4)
- 2 = use sigma-w measurements
from PROFILE.DAT to compute sigma-z
(valid for METFM = 1, 2, 3, 4)
- 3 = use both sigma-(v/theta) and sigma-w
from PROFILE.DAT to compute sigma-y and sigma-z
(valid for METFM = 1, 2, 3, 4)
- 4 = use sigma-theta measurements
from PLMMET.DAT to compute sigma-y
(valid only if METFM = 3)

Back-up method used to compute dispersion
when measured turbulence data are
missing (MDISP2) Default: 3 ! MDISP2 = 3 !
(used only if MDISP = 1 or 5)

- 2 = dispersion coefficients from internally calculated
sigma v, sigma w using micrometeorological variables
(u*, w*, L, etc.)
- 3 = PG dispersion coefficients for RURAL areas (computed using
the ISCST multi-segment approximation) and MP coefficients in
urban areas
- 4 = same as 3 except PG coefficients computed using
the MESOPUFF II eqns.

PG sigma-y,z adj. for roughness? Default: 0 ! MROUGH = 0 !
(MROUGH)

0 = no
1 = yes

Partial plume penetration of elevated inversion? Default: 1 ! MPARTL = 1 !

(MPARTL)

0 = no
1 = yes

Strength of temperature inversion provided in PROFILE.DAT extended records? Default: 0 ! MTINV = 0 !

(MTINV)

0 = no (computed from measured/default gradients)
1 = yes

PDF used for dispersion under convective conditions?

Default: 0 ! MPDF = 0 !

(MPDF)

0 = no
1 = yes

Sub-Grid TIBL module used for shore line?

Default: 0 ! MSGTIBL = 0 !

(MSGTIBL)

0 = no
1 = yes

Boundary conditions (concentration) modeled?

Default: 0 ! MBCON = 0 !

(MBCON)

0 = no
1 = yes

Configure for FOG Model output?

Default: 0 ! MFOG = 0 !

(MFOG)

0 = no
1 = yes - report results in PLUME Mode format
2 = yes - report results in RECEPTOR Mode format

Test options specified to see if they conform to regulatory values? (MREG)

Default: 1 ! MREG = 0 !

!END!

INPUT GROUP: 3a, 3b -- Species list

Subgroup (3a)

The following species are modeled:

! CSPEC = SO2 ! !END!
! CSPEC = NO2 ! !END!

! CSPEC = PYL ! !END!

SPECIES NAME (Limit: 12 Characters in length)	MODELED (0=NO, 1=YES)	Dry EMITTED (0=NO, 1=YES)	OUTPUT GROUP DEPOSITED (0=NO, 1=1st CGRUP, 2=COMPUTED-PARTICLE 2=2nd CGRUP, 3=USER-SPECIFIED) 3= etc.)	NUMBER (0=NONE,
! SO2 =	1,	1,	0,	0 !
! NO2 =	1,	1,	0,	0 !
! PYL =	1,	1,	0,	0 !

!END!

Subgroup (3b)

INPUT GROUP: 4 -- Map Projection and Grid control parameters

Projection for all (X,Y):

Map projection
(PMAP) Default: UTM ! PMAP = UTM !

False Easting and Northing (km) at the projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, or LAZA)
(FEAST) Default=0.0 ! FEAST = 0.000 !
(FNORTH) Default=0.0 ! FNORTH = 0.000 !

UTM zone (1 to 60)
(Used only if PMAP=UTM)
(IUTMZN) No Default ! IUTMZN = 34 !

Hemisphere for UTM projection?
(Used only if PMAP=UTM)
(UTMHEM) Default: N ! UTMHEM = N !
 N : Northern hemisphere projection
 S : Southern hemisphere projection

Latitude and Longitude (decimal degrees) of projection origin
(Used only if PMAP= TTM, LCC, PS, EM, or LAZA)

(RLAT0) No Default ! RLAT0 = 49.6672882N !
(RLON0) No Default ! RLON0 = 18.7826294E !

Matching parallel(s) of latitude (decimal degrees) for projection
(Used only if PMAP= LCC or PS)
(XLAT1) No Default ! XLAT1 = 0N !
(XLAT2) No Default ! XLAT2 = 0N !

Datum-region

NIMA Datum - Regions(Examples)

Datum-region for output coordinates

(DATUM) Default: WGS-G ! DATUM = WGS-G !

METEOROLOGICAL Grid:

Rectangular grid defined for projection PMAP,
with X the Easting and Y the Northing coordinate

No. X grid cells (NX) No default ! NX = 40 !

No. Y grid cells (NY) No default ! NY = 40 !

No. vertical layers (NZ) No default ! NZ = 8 !

Grid spacing (DGRIDKM) No default ! DGRIDKM = 1. !

Units: km

Cell face heights

(ZFACE(nz+1)) No defaults

Units: m

! ZFACE = 0., 20., 40., 80., 160., 300., 600., 1000., 1500. !

Reference Coordinates
of SOUTHWEST corner of
grid cell(1, 1):

X coordinate (XORIGKM) No default ! XORIGKM = 340. !

Y coordinate (YORIGKM) No default ! YORIGKM = 5504. !

Units: km

COMPUTATIONAL Grid:

X index of LL corner (IBCOMP) No default ! IBCOMP = 1 !
(1 <= IBCOMP <= NX)

Y index of LL corner (JBCOMP) No default ! JBCOMP = 1 !
(1 <= JBCOMP <= NY)

X index of UR corner (IECOMP) No default ! IECOMP = 40 !
(1 <= IECOMP <= NX)

Y index of UR corner (JECOMP) No default ! JECOMP = 40 !
(1 <= JECOMP <= NY)

SAMPLING Grid (GRIDDED RECEPTORS):

Logical flag indicating if gridded
receptors are used (LSAMP) Default: T ! LSAMP = T !
(T=yes, F=no)

X index of LL corner (IBSAMP) No default ! IBSAMP = 1 !
(IBCOMP <= IBSAMP <= IECOMP)

Y index of LL corner (JBSAMP) No default ! JBSAMP = 1 !
(JBCOMP <= JBSAMP <= JECOMP)

X index of UR corner (IESAMP) No default ! IESAMP = 40 !
(IBCOMP <= IESAMP <= IECOMP)

Y index of UR corner (JESAMP) No default ! JESAMP = 40 !
(JBCOMP <= JESAMP <= JECOMP)

Nesting factor of the sampling
grid (MESHDN) Default: 1 ! MESHDN = 1 !
(MESHDN is an integer >= 1)

!END!

INPUT GROUP: 5 -- Output Options

FILE	* DEFAULT VALUE	* VALUE THIS RUN
----	-----	-----
Concentrations (ICON)	1	! ICON = 1 !
Dry Fluxes (IDRY)	1	! IDRY = 0 !
Wet Fluxes (IWET)	1	! IWET = 0 !
Relative Humidity (IVIS) (relative humidity file is required for visibility analysis)	1	! IVIS = 0 !
Use data compression option in output file? (LCOMPRS)	Default: T	! LCOMPRS = T !

*

0 = Do not create file, 1 = create file

DIAGNOSTIC MASS FLUX OUTPUT OPTIONS:

Mass flux across specified boundaries
for selected species reported hourly?
(IMFLX) Default: 0 ! IMFLX = 0 !
0 = no
1 = yes (FLUXBDY.DAT and MASSFLX.DAT filenames
are specified in Input Group 0)

Mass balance for each species
reported hourly?
(IMBAL) Default: 0 ! IMBAL = 0 !
0 = no
1 = yes (MASSBAL.DAT filename is
specified in Input Group 0)

LINE PRINTER OUTPUT OPTIONS:

Print concentrations (ICPRT) Default: 0 ! ICPRT = 0 !

Print dry fluxes (IDPRT) Default: 0 ! IDPRT = 0 !
 Print wet fluxes (IWPRT) Default: 0 ! IWPRT = 0 !
 (0 = Do not print, 1 = Print)

Concentration print interval
 (ICFRQ) in hours Default: 1 ! ICFRQ = 1 !
 Dry flux print interval
 (IDFRQ) in hours Default: 1 ! IDFRQ = 1 !
 Wet flux print interval
 (IWFRQ) in hours Default: 1 ! IWFRQ = 1 !

Units for Line Printer Output
 (IPRTU) Default: 1 ! IPRTU = 3 !
 for for
 Concentration Deposition
 1 = g/m**3 g/m**2/s
 2 = mg/m**3 mg/m**2/s
 3 = ug/m**3 ug/m**2/s
 4 = ng/m**3 ng/m**2/s
 5 = Odour Units

Messages tracking progress of run
 written to the screen ?
 (IMESG) Default: 2 ! IMESG = 2 !
 0 = no
 1 = yes (advection step, puff ID)
 2 = yes (YYYYJJHH, # old puffs, # emitted puffs)

SPECIES (or GROUP for combined species) LIST FOR OUTPUT OPTIONS

```

      ---- CONCENTRATIONS ----  ----- DRY FLUXES -----  ----- WET FLUXES -----  -- MASS
FLUX --
SPECIES
/GROUP   PRINTED? SAVED ON DISK?  PRINTED? SAVED ON DISK?  PRINTED? SAVED
ON DISK? SAVED ON DISK?
-----
!   SO2 =  0,      1,      0,      1,      0,      1,      0 !
!   NO2 =  0,      1,      0,      1,      0,      1,      0 !
!   PYL =  0,      1,      0,      1,      0,      1,      0 !
  
```

OPTIONS FOR PRINTING "DEBUG" QUANTITIES (much output)

Logical for debug output
 (LDEBUG) Default: F ! LDEBUG = F !

 First puff to track
 (IPFDEB) Default: 1 ! IPFDEB = 1 !

 Number of puffs to track
 (NPFDEB) Default: 1 ! NPFDEB = 1 !

 Met. period to start output
 (NN1) Default: 1 ! NN1 = 1 !

 Met. period to end output
 (NN2) Default: 10 ! NN2 = 10 !

!END!

INPUT GROUP: 6a, 6b, & 6c -- Subgrid scale complex terrain inputs

Subgroup (6a)

Number of terrain features (NHILL) Default: 0 ! NHILL = 0 !

Number of special complex terrain
receptors (NCTREC) Default: 0 ! NCTREC = 0 !

Terrain and CTSG Receptor data for
CTSG hills input in CTDM format ?
(MHILL) No Default ! MHILL = 2 !
1 = Hill and Receptor data created
by CTDM processors & read from
HILL.DAT and HILLRCT.DAT files
2 = Hill data created by OPTHILL &
input below in Subgroup (6b);
Receptor data in Subgroup (6c)

Factor to convert horizontal dimensions Default: 1.0 ! XHILL2M = 1. !
to meters (MHILL=1)

Factor to convert vertical dimensions Default: 1.0 ! ZHILL2M = 1. !
to meters (MHILL=1)

X-origin of CTDM system relative to No Default ! XCTDMKM = 0.0E00 !
CALPUFF coordinate system, in Kilometers (MHILL=1)

Y-origin of CTDM system relative to No Default ! YCTDMKM = 0.0E00 !
CALPUFF coordinate system, in Kilometers (MHILL=1)

! END !

Subgroup (6b)

1 **
HILL information

HILL	XC	YC	THETAH	ZGRID	RELIEF	EXPO 1	EXPO 2	SCALE 1	SCALE 2
AMAX1	AMAX2								
NO.	(km)	(km)	(deg.)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)

Subgroup (6c)

COMPLEX TERRAIN RECEPTOR INFORMATION

XRCT	YRCT	ZRCT	XHH
(km)	(km)	(m)	

INPUT GROUP: 7 -- Chemical parameters for dry deposition of gases

SPECIES	DIFFUSIVITY	ALPHA STAR	REACTIVITY	MESOPHYLL RESISTANCE
HENRY'S LAW COEFFICIENT				
NAME	(cm**2/s)		(s/cm)	(dimensionless)
-----	-----	-----	-----	-----
! SO2 =	0.1509,	1000.,	8.,	0.,
				0.04 !
!END!				

INPUT GROUP: 8 -- Size parameters for dry deposition of particles

SPECIES	GEOMETRIC MASS MEAN	GEOMETRIC STANDARD
NAME	DIAMETER	DEVIATION
	(microns)	(microns)
-----	-----	-----
!END!		

INPUT GROUP: 9 -- Miscellaneous dry deposition parameters

Reference cuticle resistance (s/cm)
(RCUTR) Default: 30 ! RCUTR = 30.0 !
Reference ground resistance (s/cm)
(RGR) Default: 10 ! RGR = 5.0 !
Reference pollutant reactivity
(REACTR) Default: 8 ! REACTR = 8.0 !

Number of particle-size intervals used to
evaluate effective particle deposition velocity
(NINT) Default: 9 ! NINT = 9 !

Vegetation state in unirrigated areas
(IVEG) Default: 1 ! IVEG = 1 !
IVEG=1 for active and unstressed vegetation
IVEG=2 for active and stressed vegetation
IVEG=3 for inactive vegetation

!END!

INPUT GROUP: 10 -- Wet Deposition Parameters

Scavenging Coefficient -- Units: (sec)**(-1)

Pollutant	Liquid Precip.	Frozen Precip.
SO2 =	3.0E-05,	0.0E00 !

!END!

INPUT GROUP: 11 -- Chemistry Parameters

Ozone data input option (MOZ) Default: 1 ! MOZ = 1 !
(Used only if MCHEM = 1, 3, or 4)
0 = use a monthly background ozone value
1 = read hourly ozone concentrations from
the OZONE.DAT data file

Monthly ozone concentrations
(Used only if MCHEM = 1, 3, or 4 and
MOZ = 0 or MOZ = 1 and all hourly O3 data missing)
(BCKO3) in ppb Default: 12*80.
! BCKO3 = 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00, 40.00 !

Monthly ammonia concentrations
(Used only if MCHEM = 1, or 3)
(BCKNH3) in ppb Default: 12*10.
! BCKNH3 = 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00, 10.00 !

Nighttime SO2 loss rate (RNITE1)
in percent/hour Default: 0.2 ! RNITE1 = .2 !

Nighttime NOx loss rate (RNITE2)
in percent/hour Default: 2.0 ! RNITE2 = 2.0 !

Nighttime HNO3 formation rate (RNITE3)
in percent/hour Default: 2.0 ! RNITE3 = 2.0 !

H2O2 data input option (MH2O2) Default: 1 ! MH2O2 = 1 !
(Used only if MAQCHEM = 1)
0 = use a monthly background H2O2 value
1 = read hourly H2O2 concentrations from
the H2O2.DAT data file

Monthly H2O2 concentrations
(Used only if MQACHEM = 1 and
MH2O2 = 0 or MH2O2 = 1 and all hourly H2O2 data missing)
(BCKH2O2) in ppb Default: 12*1.
! BCKH2O2 = 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00 !

--- Data for SECONDARY ORGANIC AEROSOL (SOA) Option
(used only if MCHEM = 4)

The SOA module uses monthly values of:
Fine particulate concentration in ug/m^3 (BCKPMF)
Organic fraction of fine particulate (OFRAC)
VOC / NOX ratio (after reaction) (VCNX)

to characterize the air mass when computing
the formation of SOA from VOC emissions.
Typical values for several distinct air mass types are:

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec

Clean Continental

BCKPMF	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
OFRAC	.15	.15	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.15
VCNX	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.

Clean Marine (surface)

BCKPMF	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.5
OFRAC	.25	.25	.30	.30	.30	.30	.30	.30	.30	.30	.30	.25
VCNX	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.	50.

Urban - low biogenic (controls present)

BCKPMF	30.	30.	30.	30.	30.	30.	30.	30.	30.	30.	30.	30.
OFRAC	.20	.20	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.20	.20	.20	.20
VCNX	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.

Urban - high biogenic (controls present)

BCKPMF	60.	60.	60.	60.	60.	60.	60.	60.	60.	60.	60.	60.
OFRAC	.25	.25	.30	.30	.30	.55	.55	.55	.35	.35	.35	.25
VCNX	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.

Regional Plume

BCKPMF	20.	20.	20.	20.	20.	20.	20.	20.	20.	20.	20.	20.
OFRAC	.20	.20	.25	.35	.25	.40	.40	.40	.30	.30	.30	.20
VCNX	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.	15.

Urban - no controls present

BCKPMF	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
OFRAC	.30	.30	.35	.35	.35	.55	.55	.55	.35	.35	.35	.30
VCNX	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.

Default: Clean Continental

! BCKPMF = 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00 !
! OFRAC = 0.15, 0.15, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.15 !
! VCNX = 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00, 50.00 !

!END!

INPUT GROUP: 12 -- Misc. Dispersion and Computational Parameters

Horizontal size of puff (m) beyond which
time-dependent dispersion equations (Heffter)
are used to determine sigma-y and
sigma-z (SYTDEP) Default: 550. ! SYTDEP = 5.5E02 !

Switch for using Heffter equation for sigma z
as above (0 = Not use Heffter; 1 = use Heffter
(MHFTSZ) Default: 0 ! MHFTSZ = 0 !

Stability class used to determine plume
growth rates for puffs above the boundary
layer (JSUP) Default: 5 ! JSUP = 5 !

Vertical dispersion constant for stable
conditions (k1 in Eqn. 2.7-3) (CONK1) Default: 0.01 ! CONK1 = .01 !

Vertical dispersion constant for neutral/
unstable conditions (k2 in Eqn. 2.7-4)
(CONK2) Default: 0.1 ! CONK2 = .1 !

Factor for determining Transition-point from
Schulman-Scire to Huber-Snyder Building Downwash
scheme (SS used for $H_s < H_b + TBD * HL$)
(TBD) Default: 0.5 ! TBD = .5 !
TBD < 0 ==> always use Huber-Snyder
TBD = 1.5 ==> always use Schulman-Scire
TBD = 0.5 ==> ISC Transition-point

Range of land use categories for which
urban dispersion is assumed
(IURB1, IURB2) Default: 10 ! IURB1 = 10 !
19 ! IURB2 = 19 !

Site characterization parameters for single-point Met data files -----
(needed for METFM = 2,3,4)

Land use category for modeling domain
(ILANDUIN) Default: 20 ! ILANDUIN = 20 !

Roughness length (m) for modeling domain
(Z0IN) Default: 0.25 ! Z0IN = .25 !

Leaf area index for modeling domain
(XLAIIN) Default: 3.0 ! XLAIIN = 3.0 !

Elevation above sea level (m)
(ELEVIN) Default: 0.0 ! ELEVIN = .0 !

Latitude (degrees) for met location
(XLATIN) Default: -999. ! XLATIN = .0 !

Longitude (degrees) for met location
(XLONIN) Default: -999. ! XLONIN = .0 !

Specialized information for interpreting single-point Met data files -----

Anemometer height (m) (Used only if METFM = 2,3)
(ANEMHT) Default: 10. ! ANEMHT = 10.0 !

Form of lateral turbulence data in PROFILE.DAT file
(Used only if METFM = 4 or MTURBVW = 1 or 3)
(ISIGMAV) Default: 1 ! ISIGMAV = 1 !
0 = read sigma-theta
1 = read sigma-v

Choice of mixing heights (Used only if METFM = 4)
(IMIXCTDM) Default: 0 ! IMIXCTDM = 0 !
0 = read PREDICTED mixing heights
1 = read OBSERVED mixing heights

Maximum length of a slug (met. grid units)
(XMXLEN) Default: 1.0 ! XMXLEN = 1.0 !

Maximum travel distance of a puff/slug (in
grid units) during one sampling step
(XSAMLEN) Default: 1.0 ! XSAMLEN = 1.0 !

Maximum Number of slugs/puffs release from
one source during one time step
(MXNEW) Default: 99 ! MXNEW = 99 !

Maximum Number of sampling steps for
one puff/slug during one time step
(MXSAM) Default: 99 ! MXSAM = 99 !

Number of iterations used when computing
the transport wind for a sampling step
that includes gradual rise (for CALMET
and PROFILE winds)
(NCOUNT) Default: 2 ! NCOUNT = 2 !

Minimum sigma y for a new puff/slug (m)
(SYMIN) Default: 1.0 ! SYMIN = 1.0 !

Minimum sigma z for a new puff/slug (m)
(SZMIN) Default: 1.0 ! SZMIN = 1.0 !

Default minimum turbulence velocities
sigma-v and sigma-w for each
stability class (m/s)
(SVMIN(6) and SWMIN(6)) Default SVMIN : .50, .50, .50, .50, .50, .50
Default SWMIN : .20, .12, .08, .06, .03, .016

Stability Class : A B C D E F

--- --- --- --- --- ---
! SVMIN = 0.500, 0.500, 0.500, 0.500, 0.500, 0.500!
! SWMIN = 0.200, 0.120, 0.080, 0.060, 0.030, 0.016!

Divergence criterion for dw/dz across puff
used to initiate adjustment for horizontal
convergence (1/s)
Partial adjustment starts at CDIV(1), and
full adjustment is reached at CDIV(2)
(CDIV(2)) Default: 0.0,0.0 ! CDIV = .0, .0 !

Minimum wind speed (m/s) allowed for
non-calm conditions. Also used as minimum
speed returned when using power-law
extrapolation toward surface
(WSCALM) Default: 0.5 ! WSCALM = .5 !

Maximum mixing height (m)
(XMAXZI) Default: 3000. ! XMAXZI = 3000.0 !

Minimum mixing height (m)
(XMINZI) Default: 50. ! XMINZI = 20.0 !

Default wind speed classes --
5 upper bounds (m/s) are entered;

the 6th class has no upper limit

(WSCAT(5)) Default :
ISC RURAL : 1.54, 3.09, 5.14, 8.23, 10.8 (10.8+)

Wind Speed Class : 1 2 3 4 5

--- --- --- --- ---

! WSCAT = 1.54, 3.09, 5.14, 8.23, 10.80 !

Default wind speed profile power-law
exponents for stabilities 1-6

(PLX0(6)) Default : ISC RURAL values
ISC RURAL : .07, .07, .10, .15, .35, .55
ISC URBAN : .15, .15, .20, .25, .30, .30

Stability Class : A B C D E F

--- --- --- --- ---

! PLX0 = 0.07, 0.07, 0.10, 0.15, 0.35, 0.55 !

Default potential temperature gradient
for stable classes E, F (degK/m)

(PTG0(2)) Default: 0.020, 0.035
! PTG0 = 0.020, 0.035 !

Default plume path coefficients for
each stability class (used when option
for partial plume height terrain adjustment
is selected -- MCTADJ=3)

(PPC(6)) Stability Class : A B C D E F
Default PPC : .50, .50, .50, .50, .35, .35

--- --- --- --- ---

! PPC = 0.50, 0.50, 0.50, 0.50, 0.35, 0.35 !

Slug-to-puff transition criterion factor
equal to sigma-y/length of slug

(SL2PF) Default: 10. ! SL2PF = 10.0 !

Puff-splitting control variables -----

VERTICAL SPLIT

Number of puffs that result every time a puff
is split - nsplit=2 means that 1 puff splits
into 2

(NSPLIT) Default: 3 ! NSPLIT = 3 !

Time(s) of a day when split puffs are eligible to
be split once again; this is typically set once
per day, around sunset before nocturnal shear develops.
24 values: 0 is midnight (00:00) and 23 is 11 PM (23:00)

0=do not re-split 1=eligible for re-split

(IRESPLIT(24)) Default: Hour 17 = 1
! IRESPLIT = 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0 !

Split is allowed only if last hour's mixing
height (m) exceeds a minimum value

(ZISPLIT) Default: 100. ! ZISPLIT = 100.0 !

Split is allowed only if ratio of last hour's
mixing ht to the maximum mixing ht experienced

by the puff is less than a maximum value (this
postpones a split until a nocturnal layer develops)
(ROLDMAX) Default: 0.25 ! ROLDMAX = 0.25 !

HORIZONTAL SPLIT

Number of puffs that result every time a puff
is split - nsplith=5 means that 1 puff splits
into 5

(NSPLITH) Default: 5 ! NSPLITH = 5 !

Minimum sigma-y (Grid Cells Units) of puff
before it may be split

(SYSPLITH) Default: 1.0 ! SYSPLITH = 1.0 !

Minimum puff elongation rate (SYSPLITH/hr) due to
wind shear, before it may be split

(SHSPLITH) Default: 2. ! SHSPLITH = 2.0 !

Minimum concentration (g/m³) of each
species in puff before it may be split

Enter array of NSPEC values; if a single value is
entered, it will be used for ALL species

(CNSPLITH) Default: 1.0E-07 ! CNSPLITH = 1.0E-07 !

Integration control variables -----

Fractional convergence criterion for numerical SLUG
sampling integration

(EPSSLUG) Default: 1.0e-04 ! EPSSLUG = 1.0E-04 !

Fractional convergence criterion for numerical AREA
source integration

(EPSAREA) Default: 1.0e-06 ! EPSAREA = 1.0E-06 !

Trajectory step-length (m) used for numerical rise
integration

(DSRISE) Default: 1.0 ! DSRISE = 1.0 !

!END!

INPUT GROUPS: 13a, 13b, 13c, 13d -- Point source parameters

Subgroup (13a)

Number of point sources with
parameters provided below (NPT1) No default ! NPT1 = 1 !

Units used for point source
emissions below (IPTU) Default: 1 ! IPTU = 2 !

1 = g/s
2 = kg/hr
3 = lb/hr

4 = tons/yr
 5 = Odour Unit * m**3/s (vol. flux of odour compound)
 6 = Odour Unit * m**3/min
 7 = metric tons/yr

Number of source-species combinations with variable emissions scaling factors provided below in (13d) (NSPT1) Default: 0 ! NSPT1 = 0 !

Number of point sources with variable emission parameters provided in external file (NPT2) No default ! NPT2 = 0 !

(If NPT2 > 0, these point source emissions are read from the file: PTEMARB.DAT)

!END!

 Subgroup (13b)

a

POINT SOURCE: CONSTANT DATA

Source No.	X UTM Coordinate (km)	Y UTM Coordinate (m)	Stack Height (m)	Base Elevation (m)	b		c		Bldg. Dwash	Emission Rates
					Stack Diameter (m/s)	Exit Temp. (deg. K)				
1 ! SRCNAM = STK1 !										
1 ! X = 360.3, 5518.1, 100.0, 420.0, 2.0, 5.0, 373.0, .0, 0.360E03, 0.720E03, 0.1080E03 !										
1 ! FMFAC = 1.0 ! !END!										

 Subgroup (13c)

BUILDING DIMENSION DATA FOR SOURCES SUBJECT TO DOWNWASH

Source No.	a
	Effective building width and height (in meters) every 10 degrees

 Subgroup (13d)

a

POINT SOURCE: VARIABLE EMISSIONS DATA

IVARY determines the type of variation, and is source-specific:
 (IVARY) Default: 0

Number of buoyant polygon area sources
with variable location and emission
parameters (NAR2) No default ! NAR2 = 0 !
(If NAR2 > 0, ALL parameter data for
these sources are read from the file: BAEMARB.DAT)

a

AREA SOURCE: CONSTANT DATA

b

Source No.	Effect. Height (m)	Base Elevation (m)	Initial Sigma z (m)	Emission Rates
---------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	-------------------

Source	a
No.	Ordered list of X followed by list of Y, grouped by source

INPUT GROUPS: 15a, 15b, 15c -- Line source parameters

Subgroup (15a)

Number of buoyant line sources
with variable location and emission
parameters (NLN2) No default ! NLN2 = 0 !

(If NLN2 > 0, ALL parameter data for
these sources are read from the file: LNEARB.DAT)

Number of buoyant line sources (NLINES) No default ! NLINES = 0 !

Units used for line source
emissions below (ILNU) Default: 1 ! ILNU = 1 !

- 1 = g/s
- 2 = kg/hr
- 3 = lb/hr
- 4 = tons/yr
- 5 = Odour Unit * m³/s (vol. flux of odour compound)
- 6 = Odour Unit * m³/min
- 7 = metric tons/yr

Number of source-species
combinations with variable
emissions scaling factors
provided below in (15c) (NSLN1) Default: 0 ! NSLN1 = 0 !

Maximum number of segments used to model
each line (MXNSEG) Default: 7 ! MXNSEG = 7 !

The following variables are required only if NLINES > 0. They are
used in the buoyant line source plume rise calculations.

Number of distances at which Default: 6 ! NLRISE = 6 !
transitional rise is computed

Average building length (XL) No default ! XL = .0 !
(in meters)

Average building height (HBL) No default ! HBL = .0 !
(in meters)

Average building width (WBL) No default ! WBL = .0 !
(in meters)

Average line source width (WML) No default ! WML = .0 !
(in meters)

Average separation between buildings (DXL) No default ! DXL = .0 !
(in meters)

Average buoyancy parameter (FPRIMEL) No default ! FPRIMEL = .0 !
(in m⁴/s³)

!END!

Subgroup (15b)

BUOYANT LINE SOURCE: CONSTANT DATA

Source	Beg. X	Beg. Y	End. X	End. Y	Release	Base	Emission
No.	Coordinate	Coordinate	Coordinate	Coordinate	Height	Elevation	Rates
	(km)	(km)	(km)	(m)	(m)		
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Subgroup (15c)

BUOYANT LINE SOURCE: VARIABLE EMISSIONS DATA

IVARY determines the type of variation, and is source-specific:
(IVARY) Default: 0

INPUT GROUPS: 16a, 16b, 16c -- Volume source parameters

Subgroup (16a)

Number of volume sources with
parameters provided in 16b,c (NVL1) No default ! NVL1 = 0 !

Units used for volume source
emissions below in 16b (IVLU) Default: 1 ! IVLU = 1 !

- 1 = g/s
- 2 = kg/hr
- 3 = lb/hr
- 4 = tons/yr
- 5 = Odour Unit * m**3/s (vol. flux of odour compound)
- 6 = Odour Unit * m**3/min
- 7 = metric tons/yr

Number of source-species
combinations with variable
emissions scaling factors
provided below in (16c) (NSVL1) Default: 0 ! NSVL1 = 0 !

Number of volume sources with
variable location and emission
parameters (NVL2) No default ! NVL2 = 0 !

(If NVL2 > 0, ALL parameter data for
these sources are read from the VOLEMARB.DAT file(s))

!END!

Subgroup (16b)

a
VOLUME SOURCE: CONSTANT DATA

b
X UTM Y UTM Effect. Base Initial Initial Emission
Coordinate Coordinate Height Elevation Sigma y Sigma z Rates
(km) (km) (m) (m) (m) (m)

Subgroup (16c)

a
VOLUME SOURCE: VARIABLE EMISSIONS DATA

IVARY determines the type of variation, and is source-specific:
(IVARY) Default: 0

INPUT GROUPS: 17a & 17b -- Non-gridded (discrete) receptor information

Subgroup (17a)

Number of non-gridded receptors (NREC) No default ! NREC = 1 !

!END!

Subgroup (17b)

a
NON-GRIDDED (DISCRETE) RECEPTOR DATA

X UTM Y UTM Ground Height b
Receptor Coordinate Coordinate Elevation Above Ground
No. (km) (km) (m) (m)

1 ! X = 362.5, 5523.5, 363.0, 0.0! !END! domek

Załącznik 8

Plik wejściowy aplikacji calpost.exe

bielsko_post.inp

CALPUFF Demonstration

----- Run title (3 lines) -----

CALPOST MODEL CONTROL FILE

INPUT GROUP: 0 -- Input and Output File Names

Input Files

File Default File Name

Conc/Dep Flux File MODEL.DAT ! MODDAT
=c:\obliczenia\imisja\1_up\E_20_1_1_stacje_up_3_stacje_sur_bielsko.CON !
Relative Humidity File VISB.DAT * VISDAT = *
Background Data File BACK.DAT *BACKDAT = *
Transmissometer/ VSRN.DAT *VSRDAT = *
Nephelometer Data File

Output Files

File Default File Name

List File CALPOST.LST ! PSTLST =CPST.LST !

Top Nth Rank Plot RttUUUUU.DAT
 or RttiiUUU.GRD ! TUNAM = R.grd !

Visibility Plot V24UUUUU.DAT ! VUNAM =VTEST !
(Daily Peak Summary)

All file names will be converted to lower case if LCFILES = T
Otherwise, if LCFILES = F, file names will be converted to UPPER CASE
 T = lower case ! LCFILES = T !
 F = UPPER CASE

!END!

INPUT GROUP: 1 -- General run control parameters

Option to run all periods found
in the met. file(s) (METRUN) Default: 0 ! METRUN = 1 !

METRUN = 0 - Run period explicitly defined below
METRUN = 1 - Run all periods in CALPUFF data file(s)

Starting date: Year (ISYR) -- No default ! ISYR = 2005 !
(used only if Month (ISMO) -- No default ! ISMO = 3 !
METRUN = 0) Day (ISDY) -- No default ! ISDY = 1 !
 Hour (ISHR) -- No default ! ISHR = 0 !

Number of hours to process (NHRS) -- No default ! NHRS = 144 !

Process every hour of data?(NREP) -- Default: 1 ! NREP = 1 !

Species & Concentration/Deposition Information

Species to process (ASPEC) -- No default ! ASPEC = SO2 !
(ASPEC = VISIB for visibility processing)

Layer/deposition code (ILAYER) -- Default: 1 ! ILAYER = 1 !
'1' for CALPUFF concentrations,
'-1' for dry deposition fluxes,
'-2' for wet deposition fluxes,
'-3' for wet+dry deposition fluxes.

Scaling factors of the form: -- Defaults: ! A = 0.0 !
 $X(\text{new}) = X(\text{old}) * A + B$ A = 0.0 ! B = 0.0 !
(NOT applied if A = B = 0.0) B = 0.0

Add Hourly Background Concentrations/Fluxes?
(LBACK) -- Default: F ! LBACK = F !

Receptor information

Gridded receptors processed? (LG) -- Default: F ! LG = T !
Discrete receptors processed? (LD) -- Default: F ! LD = T !
CTSG Complex terrain receptors processed?
(LCT) -- Default: F ! LCT = F !

--Report results by DISCRETE receptor RING?
(only used when LD = T) (LDRING) -- Default: F ! LDRING = F !

--Select range of DISCRETE receptors (only used when LD = T):

Select ALL DISCRETE receptors by setting NDRECP flag to -1;
OR
Select SPECIFIC DISCRETE receptors by entering a flag (0,1) for each
0 = discrete receptor not processed
1 = discrete receptor processed
using repeated value notation to select blocks of receptors:
23*1, 15*0, 12*1
Flag for all receptors after the last one assigned is set to 0
(NDRECP) -- Default: -1
! NDRECP = -1 !

--Select range of GRIDDED receptors (only used when LG = T):

X index of LL corner (IBGRID) -- Default: -1 ! IBGRID = -1 !
(-1 OR 1 <= IBGRID <= NX)

Y index of LL corner (JBGRID) -- Default: -1 ! JBGRID = -1 !
(-1 OR 1 <= JBGRID <= NY)

X index of UR corner (IEGRID) -- Default: -1 ! IEGRID = -1 !
(-1 OR 1 <= IEGRID <= NX)

Y index of UR corner (JEGRID) -- Default: -1 ! JEGRID = -1 !
(-1 OR 1 <= JEGRID <= NY)

Number of gridded receptor rows provided in Subgroup (1a) to
identify specific gridded receptors to process
(NGONOFF) -- Default: 0 ! NGONOFF = 0 !

!END!

Subgroup (1a) -- Specific gridded receptors included/excluded

(NGXRECP) -- Default: 1

INPUT GROUP: 2 -- Visibility Parameters (ASPEC = VISIB)

Maximum relative humidity (%) used in particle growth curve
(RHMAX) -- Default: 98 ! RHMAX = 95.0 !

Modeled species to be included in computing the light extinction
Include SULFATE? (LVSO4) -- Default: T ! LVSO4 = T !
Include NITRATE? (LVNO3) -- Default: T ! LVNO3 = T !
Include ORGANIC CARBON? (LVOC) -- Default: T ! LVOC = F !
Include COARSE PARTICLES? (LVPMC) -- Default: T ! LVPMC = F !
Include FINE PARTICLES? (LVPMF) -- Default: T ! LVPMF = F !
Include ELEMENTAL CARBON? (LVEC) -- Default: T ! LVEC = T !

And, when ranking for TOP-N, TOP-50, and Exceedance tables,
Include BACKGROUND? (LVBK) -- Default: T ! LVBK = T !

Species name used for particulates in MODEL.DAT file
COARSE (SPECPMC) -- Default: PMC ! SPECPMC = PMC !
FINE (SPECPMF) -- Default: PMF ! SPECPMF = PMF !

Extinction Efficiency (1/Mm per ug/m**3)

MODELED particulate species:
PM COARSE (EPPMC) -- Default: 0.6 ! EPPMC = 0.6 !
PM FINE (EPPMF) -- Default: 1.0 ! EPPMF = 1.0 !
BACKGROUND particulate species:
PM COARSE (EPPMCBK) -- Default: 0.6 ! EPPMCBK = 0.6 !
Other species:
AMMONIUM SULFATE (EESO4) -- Default: 3.0 ! EESO4 = 3.0 !
AMMONIUM NITRATE (EENO3) -- Default: 3.0 ! EENO3 = 3.0 !
ORGANIC CARBON (EEOC) -- Default: 4.0 ! EEOC = 4.0 !
SOIL (EESOIL) -- Default: 1.0 ! EESOIL = 1.0 !
ELEMENTAL CARBON (EEEC) -- Default: 10. ! EEEC = 10.0 !

Background Extinction Computation

Method used for background light extinction
(MVISBK) -- Default: 2 ! MVISBK = 2 !

Background light extinction (1/Mm)
 (BEXTBK) -- No default ! BEXTBK = 12.0 !
 Percentage of particles affected by relative humidity
 (RHFRAC) -- No default ! RHFRAC = 10.0 !

Additional inputs used for MVISBK = 6:

(RHFAC) -- No default ! RHFAC = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !

Additional inputs used for MVISBK = 2,3,6:

(BKSO4) -- No default ! BKSO4 = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !
 (BKNO3) -- No default ! BKNO3 = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !
 (BKPMC) -- No default ! BKPMC = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !
 (BKOC) -- No default ! BKOC = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !
 (BKSOIL) -- No default ! BKSOIL = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !
 (BKEC) -- No default ! BKEC = 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 !

Additional inputs used for MVISBK = 2,3,5,6:

Extinction due to Rayleigh scattering is added (1/Mm)
 (BEXTRAY) -- Default: 10.0 ! BEXTRAY = 10.0 !

!END!

INPUT GROUP: 3 -- Output options

Documentation

Documentation records contained in the header of the
 CALPUFF output file may be written to the list file.
 Print documentation image?
 (LDOC) -- Default: F ! LDOC = F !

Output Units

Units for All Output (IPRTU) -- Default: 1 ! IPRTU = 3 !
 for for
 Concentration Deposition
 1 = g/m**3 g/m**2/s
 2 = mg/m**3 mg/m**2/s

3 = ug/m**3 ug/m**2/s
 4 = ng/m**3 ng/m**2/s
 5 = Odour Units

Visibility: extinction expressed in 1/Mega-meters (IPRTU is ignored)

Averaging time(s) reported

1-hr averages (L1HR) -- Default: T ! L1HR = T !

3-hr averages (L3HR) -- Default: T ! L3HR = F !

24-hr averages (L24HR) -- Default: T ! L24HR = T !

Run-length averages (LRUNL) -- Default: T ! LRUNL = T !

User-specified averaging time in hours - results for
 an averaging time of NAVG hours are reported for
 NAVG greater than 0:

(NAVG) -- Default: 0 ! NAVG = 0 !

Types of tabulations reported

1) Visibility: daily visibility tabulations are always reported
 for the selected receptors when ASPEC = VISIB.
 In addition, any of the other tabulations listed
 below may be chosen to characterize the light
 extinction coefficients.
 [List file or Plot/Analysis File]

2) Top 50 table for each averaging time selected

[List file only]

(LT50) -- Default: T ! LT50 = F !

3) Top 'N' table for each averaging time selected

[List file or Plot file]

(LTOPN) -- Default: F ! LTOPN = T !

-- Number of 'Top-N' values at each receptor

selected (NTOP must be <= 4)

(NTOP) -- Default: 4 ! NTOP = 3 !

-- Specific ranks of 'Top-N' values reported

(NTOP values must be entered)

(ITOP(4) array) -- Default: ! ITOP = 1,2,3 !

1,2,3,4

4) Threshold exceedance counts for each receptor and each averaging
 time selected

[List file or Plot file]

(LEXCD) -- Default: F ! LEXCD = T !

-- Identify the threshold for each averaging time by assigning a
 non-negative value (output units).

-- Default: -1.0
 Threshold for 1-hr averages (THRESH1) ! THRESH1 = 1.0E01 !
 Threshold for 3-hr averages (THRESH3) ! THRESH3 = -1.0 !
 Threshold for 24-hr averages (THRESH24) ! THRESH24 = 1.0 !
 Threshold for NAVG-hr averages (THRESHN) ! THRESHN = -1.0 !

-- Counts for the shortest averaging period selected can be tallied daily, and receptors that experience more than NCOUNT counts over any NDAY period will be reported. This type of exceedance violation output is triggered only if NDAY > 0.

Accumulation period(Days)
 (NDAY) -- Default: 0 ! NDAY = 0 !
 Number of exceedances allowed
 (NCOUNT) -- Default: 1 ! NCOUNT = 1 !

5) Selected day table(s)

Echo Option -- Many records are written each averaging period selected and output is grouped by day
 [List file or Plot file]
 (LECHO) -- Default: F ! LECHO = F !

Timeseries Option -- Averages at all selected receptors for each selected averaging period are written to timeseries files. Each file contains one averaging period, and all receptors are written to a single record each averaging time.
 [TSttUUUU.DAT files]
 (LTIME) -- Default: F ! LTIME = F !

-- Days selected for output
 (IECHO(366)) -- Default: 366*0
 ! IECHO = 366*0 !
 (366 values must be entered)

Plot output options

Generate Plot file output in addition to writing tables to List file?
 (LPLT) -- Default: F ! LPLT = T !

Use GRID format rather than DATA format, when available?
 (LGRD) -- Default: F ! LGRD = F !

Additional Debug Output

Output selected information to List file for debugging?
 (LDEBUG) -- Default: F ! LDEBUG = F !

!END!