



# **Metodologia tworzenia numerycznej aplikacji do symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym**

*Aleksandra Kowalska, Jacek Piekarski*  
*Politechnika Koszalińska*

## **1. Wstęp**

W prawie polskim kwestie związane z ochroną powietrza reguluje m.in. rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2012 r., poz. 1031) oraz rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., poz. 87). Jedno z ww. rozporządzeń, a mianowicie rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., poz. 87) określa metodykę modelowania stężenia zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, emitowanych ze źródeł punktowych, powierzchniowych i liniowych. Zgodnie z ww. rozporządzeniem opracowano szereg modeli matematycznych analityczno-empirycznych. Powyższe modele wykorzystywane są przy tworzeniu systemów alarmowych oraz do specyfikacji obszarów zagrożeń na wypadek wystąpienia dużych emisji losowych (Rozporządzenie 2012, Rozporządzenie 2010, Kościelnik & Dąbrowski 2015, Piekarski & Lubierski 2003). Analizowane modele znajdują swoje odzwierciedlenie podczas sporządzania symulacji występujących stężeń w atmosferze (Koniecznyński 2012, Michalczyk & Murawski 2001, Sówka et al. 2016). Znając parametry emitora, warunki meteorologiczne oraz terenowe przy użyciu tego typu modeli można obliczyć stężenia zanieczyszczeń w punktach receptorowych.

Równanie Pasquilla jest najczęściej wykorzystywane w praktyce ze względu prostotę obliczeniową i łatwość zastosowania. Stężenie substancji gazowej  $S_{xyz}$  w lokalizacji receptora oblicza się według wzoru (Rozporządzenie 2012, Rozporządzenie 2010, Kościelnik & Dąbrowski 2015, Piekarski & Lubierski 2003):

$$S_{xyz} = \frac{E_g}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

Istnieje wiele programów, przy pomocy których można dokonywać obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze (pakiet OPERAT FB, system OPA03, program EMITOR, program COPDIMO). Np. autorzy pracy (Holnicki i in. 2017), jako narzędzie analizy jakości powietrza w Warszawie wykorzystali system CALMET/CALPUFF, którego zadaniem było powiązanie danych emisyjnych z rozkładami średniorocznych stężeń zanieczyszczeń atmosferycznych. Większość tego typu aplikacji to rozbudowane programy o charakterze komercyjnym. Dlatego w niniejszym artykule przedstawiono prostą metodę tworzenia w darmowym środowisku programistycznym aplikacji do symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym.

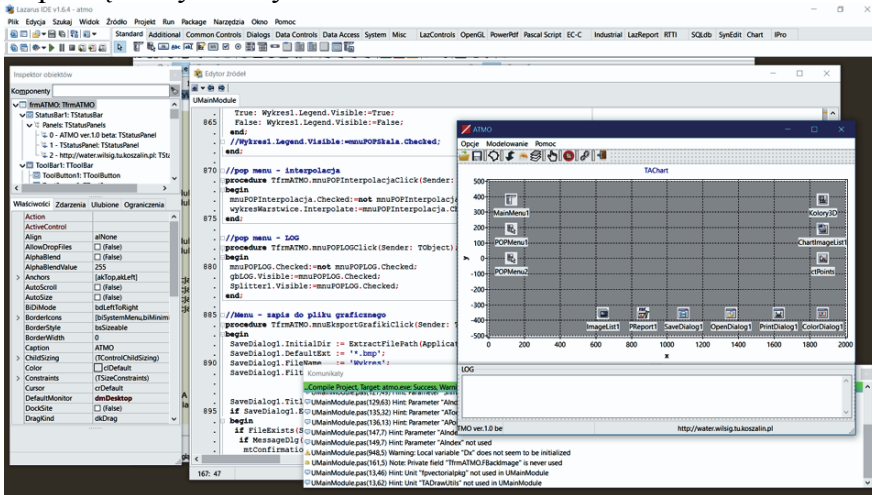
## 2. Charakterystyka opracowanego programu

### 2.1. Informacje wprowadzające

Na podstawie algorytmu (Piekarski & Lubierski 2003) oraz aktów prawnych (Rozporządzenie 2012, Rozporządzenie 2012) w programistycznym środowisku darmowego LAZARUSA v. 1.6.4 skompilowano (Free Pascal na licencji GPL) kod źródłowy w systemie 32-bitowego Windowsa, tworząc wersję wykonywalną programu ATMO – rysunek 1. Aplikacja jest rozwinięciem programu ATMO ver. 1.0, z 2002 roku który powstał w środowisku DELPHI (Piekarski & Lubierski 2003).

W ramach prowadzonych prac opracowano cztery podstawowe moduły, których zadaniem jest wprowadzenie danych wstępnych oraz dwa moduły wynikowe, służące wizualizacji symulacji poprzez przedstawienie zmian wartości stężenia 1-godzinnego substancji gazowej w zależności od odległości receptorów od emitora oraz wykresów profili. Program wyposażono w możliwość zapisu do pliku oraz odczytu z pliku wprowadzonych danych początkowych (\*.atx). Ponadto, program gene-

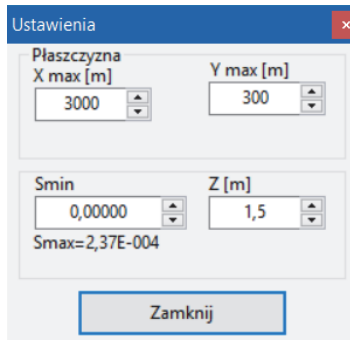
ruje raport końcowy oraz daje możliwość wydruku wprowadzonych danych początkowych i wyników obliczeń.



**Rys. 1.** Widok środowiska LAZARUS z fragmentem kodu źródłowego ATMO  
**Fig. 1.** View of LAZARUS environment with fragment of ATMO source code

## 2.2. Funkcjonalności opracowanego programu

Po uruchomieniu opracowanej aplikacji należy wybrać z menu górnego opcję „Ustawienia” (Ctrl+U), która spowoduje otwarcie okna (rysunek 2), umożliwiającego początkową konfigurację modelowanego obszaru poprzez wprowadzenie maksymalnej wartości na osi  $X$  [m] (wartość domyślna  $X=3000$  m) oraz  $Y$  [m] (wartość domyślna  $Y=300$  m).



**Rys. 2.** Podstawowe ustawienia aplikacji  
**Fig. 2.** Basic application settings

Ponadto wprowadzono możliwość ustalenia wartości minimalnej  $S_{min}$ , będącej podstawą generowania wizualizacji symulacji zmian wartości stężenia 1-godzinnej substancji gazowej (wartość domyślna  $S_{min}=0$ ). Aplikacja w trybie rzeczywistym wyświetla wartość  $S_{max}$  dla domyślnych wartości wszystkich zmiennych niezależnych (wartość domyślna  $S_{max}=2,37E-004$ ). Daje również możliwość wprowadzenia wartości poziomu odniesienia względem osi  $Z$  [m] (wartość domyślna  $Z = 0$ ) – rysunek 2.

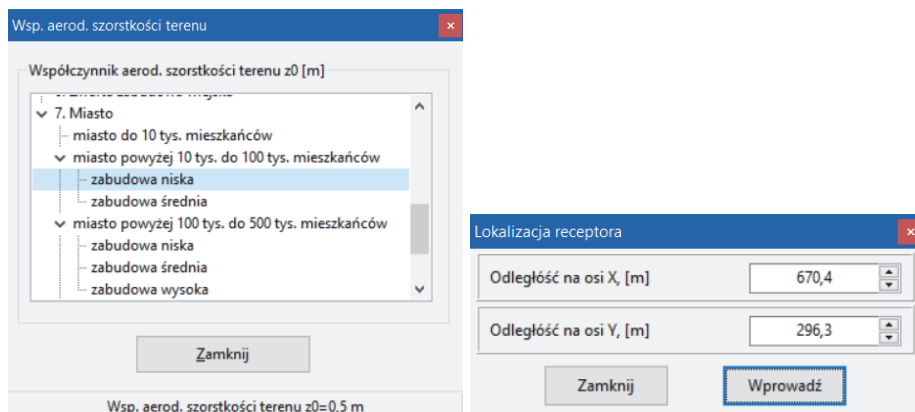
Stan równowagi atmosfery		
1 - Silnie chwiejna	2 - Chwiejna	3 - Lekko chwiejna
4 - Obojętna	5 - Lekko stała	6 - Stała

**Rys. 3.** Parametry emitora oraz meteorologiczne

**Fig. 3.** Emitter and meteorological parameters

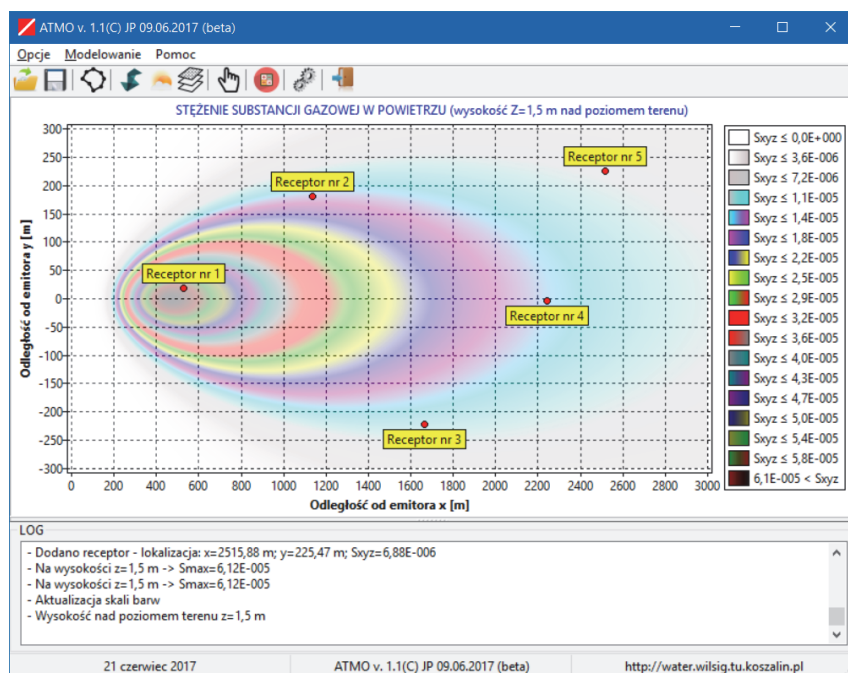
Mając na uwadze stworzenie jak najprostszej aplikacji pod względem użyteczności, program wyposażono w oddzielne moduły, które są uruchamiane niezależnie od siebie i odnoszą się do danych wstępnych, m.in.: parametrów emitora, danych meteorologicznych, współczynnika aerodynamicznej szorstkości terenu oraz lokalizacji receptorów – rysunek 3 i 4.

Moduł 1 wywoływany z menu górnego opcją „Emitor” (Ctrl+W), charakteryzuje parametry techniczne emitora, tj.: maksymalną emisję substancji gazowej  $E$ , średnicę wewnętrzną wylotu przewodu emitującego substancje  $d$ , geometryczną wysokość emitora  $h$ , prędkość gazów na wylocie z emitora  $v$  oraz temperaturę gazów odlotowych na wylocie z emitora  $T$  – rysunek 3.



**Rys. 4.** Współczynnik aerodynamicznej szorstkości terenu oraz lokalizacja receptora

**Fig. 4.** Aerodynamic coefficient of terrain roughness and location of the receptor



**Rys. 5.** Symulacja rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym

**Fig. 5.** Simulation of the spread of pollutants in atmospheric air

Moduł 2 uruchamiany z menu górnego opcją „Meteo” (Ctrl+M), odnosi się do parametrów meteorologicznych, tj.: średniej temperatury powietrza w okresie obliczeniowym  $T_0$ , prędkości wiatru mierzonej na wysokości anemometru  $U_a$  oraz stanu równowagi atmosfery  $ATM$  – rysunek 3. Moduł 3 wywoływany z menu górnego opcją „Szerokość terenu” (Ctrl+T), umożliwia poprzez wybór wprowadzenie wartości współczynnika aerodynamicznej szerokości terenu  $z_0$  – rysunek 4. Moduł 4 uruchamiany z menu górnego opcją „Lokalizacja receptora” (Ctrl+L) służy do deklaracji lokalizacji receptora podawanej w formie odległości od emitora:  $X$  (równoległe z kierunkiem wiatru) i  $Y$  (prostopadle do kierunku wiatru) dla której wykonuje się szczegółowe obliczenia – rysunek 4.

Po zamknięciu dowolnego okna modułów wstępnych przedstawionych na rysunkach 1-4, następuje wywołanie wewnętrznej procedury, która na podstawie wszystkich wprowadzonych wartości parametrów zmiennych niezależnych realizuje obliczenia zgodnie z algorytmem (Rozporządzenie 2012, Rozporządzenie 2010, Piekarski & Lubierski 2003) i formułą (1). Wynikiem realizacji obliczeń jest symulacja rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym zawarta w podstawowym oknie aplikacji i przedstawiona na rysunku 5.

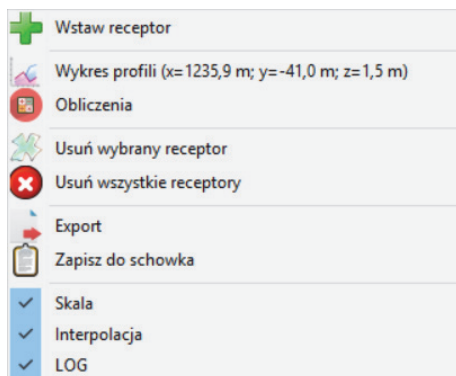
Na podstawie wartości stanu równowagi atmosfery  $ATM$  [–], która zmienia się w granicach od 1 do 6, program dobiera poprzez zaimplementowaną procedurę pozostałe stałe obliczeniowe  $m$ ,  $a$  i  $b$ . W zależności od wysokości emitora  $h$  oblicza prędkość wiatru na wysokości wylotu z emitora  $U_h$ . W przypadku, gdy obliczona wartość  $U_h$  będzie mniejsza niż 0,5 m/s do dalszych obliczeń aplikacja przyjmie wartość 0,5 m/s. W kolejnym kroku program oblicza emisję ciepła z emitora  $Q$ , która zależy od średnicy emitora  $d$ , prędkości gazów na wylocie z emitora  $v$  oraz temperatury otoczenia  $T_0$  i temperatury gazów na wylocie z emitora  $T$ . Następnie na podstawie emisji ciepła z emitora  $Q$  program dobiera i wyświetla nazwę formuły, według której następnie oblicza wartość parametru termiczno-dynamicznego wyniesienia gazów odlotowych  $Dh$ . Dla  $Q < 16000$  kJ/s zastosowana zostaje formuła Hollanda, w której w zależności od stosunku prędkości wiatru na wysokości wylotu z emitora  $U_h$  do prędkości gazów na wylocie z emitora  $v$  jest obliczana wartość  $Dh$ , jako funkcja emisji ciepła  $Q$ , średnicy emitora  $d$  oraz prędkości gazów  $v$ . Dla  $Q > 24000$  kJ/s stosowana jest formuła CONCAWE, gdzie  $Dh$  jest obliczane na podstawie wartości emisji  $Q$  i prędkości wiatru  $U_h$ . W przypadku, gdy  $Q$  będzie zawierać się w przedziale wartości od 16000 do 24000

kJ/s zastosowane zostaną obie formuły, odpowiednio pomniejszone o różnicę pomiędzy wartością  $Q$ , a wartościami granicznymi. Suma wartości parametrów wysokości geometrycznej emitora  $h$  oraz wyniesienia gazów odlotowych  $Dh$  stanowi efektywną wysokość emitora  $H_p$ . W zależności od efektywnej wysokości emitora  $H_p$  oraz wysokości geometrycznej emitora  $h$  program oblicza średnią prędkość wiatru  $U_{sr}$  w warstwie, której wysokość waha się od  $z=h$  do  $z=H_p$ . Wartość  $U_{sr}$  zależy od efektywnej wysokości emitora  $H_p$ , wysokości geometrycznej emitora  $h$  oraz prędkości wiatru na wysokości anemometru  $U_a$ . Program, podobnie jak dla  $U_h$ , przyjmie  $U_{sr}=0,5$  m/s, gdy średnia prędkość wiatru będzie mniejsza niż 0,5 m/s. Następnie dokonywana zostaje weryfikacja ilorazu efektywnej wysokości emitera  $H_p$  oraz współczynnika aerodynamicznej szorstkości terenu  $z_0$ .

Kolejnym etapem realizacji algorytmu jest obliczanie współczynników topograficznych  $A$  i  $B$  zależnych od współczynnika meteorologicznego  $m$  oraz ilorazu efektywnej wysokości emitora  $H_p$  i współczynnika aerodynamicznej szorstkości terenu  $z_0$ . Na podstawie obliczonych współczynników topograficznych  $A$  i  $B$ , dobranych wcześniej współczynników empirycznych  $a$  i  $b$  (zależnych od stanu równowagi) oraz odległości receptora od emitora  $x$  [m] obliczone zostają współczynniki dyspersji poziomej  $S_y$  i pionowej  $S_z$ . Ostatnim parametrem, który program oblicza w zależności od wartości emisji gazów  $E_g$ , średniej prędkości wiatru  $U_{sr}$ , odległości emitora od receptora  $y$ , wysokości receptora  $z$  oraz współczynników dyspersji  $S_y$  i  $S_z$  jest stężenie jednogodzinne substancji gazowej  $S$ . Ta wartość finalnie umieszczana jest na wykresie w postaci graficznych pasm przedstawionych na rysunku 5. Z prawej strony wykresu automatycznie generowana jest legenda, z opisem wartości poszczególnych barw.

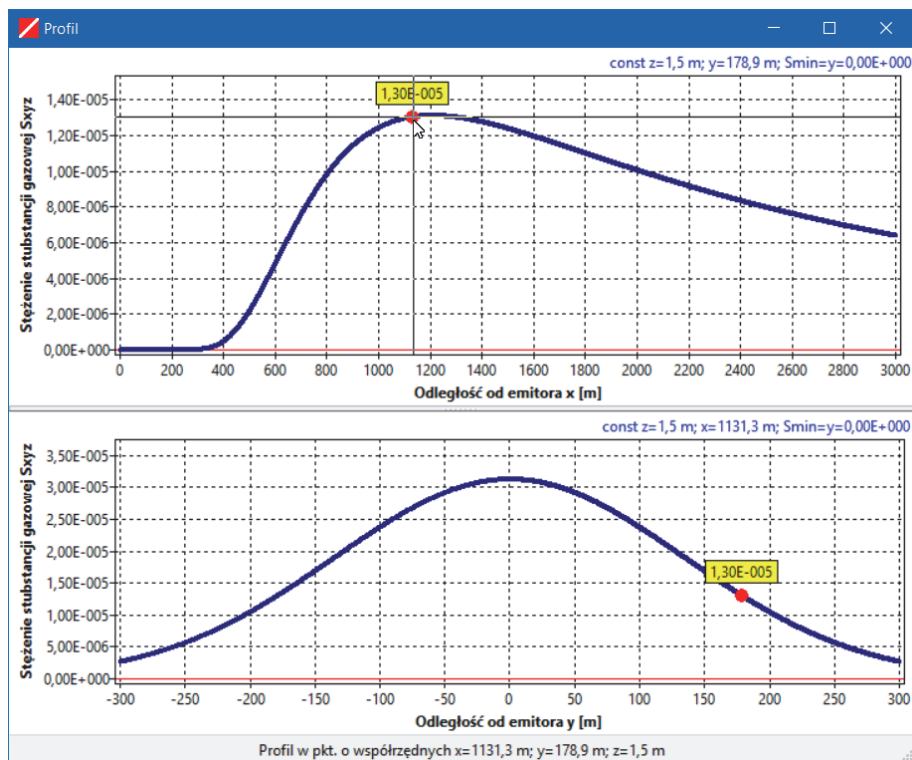
W celu ułatwienia obsługi aplikacji w obrębie podstawowego wykresu funkcjonują opcje dostępne po wybraniu prawego przycisku myszki (POPMENU) – rysunek 6.

Po wyborze z podręcznego menu (rysunek 6) opcji „Wstaw receptor” program umożliwia umieszczenia receptora w postaci graficznej na podstawowym wykresie w danej lokalizacji kursora (rysunek 5). Ponadto program wzbogacono w możliwość zmiany lokalizacji poszczególnych, wprowadzonych wcześniej receptorów, poprzez wybór receptora oraz wciśnięcie przycisku SHIFT i wskazanie nowej lokalizacji.



Rys. 6. Menu podręczne

Fig. 6. Popup menu



Rys. 7. Graficzne przedstawienie rozkładu stężenia zanieczyszczeń

Fig. 7. Graphical representation of pollution concentration distribution



Opcja „Wykres profili” służy do generowania wykresów przedstawionych na rysunku 7. Wykres górny prezentuje zmianę wartości stężenia substancji gazowej  $S_{xyz}$  w zależności od odległości od emitora w osi  $X$ . W tym przypadku parametrami stałymi są:  $z$ ,  $y$  oraz  $S_{min}$ . Czerwony punkt na wykresie symbolizuje wybrany punkt w lokalizacji kursora na wykresie podstawowym. Z kolei wykres dolny przedstawia zmianę wartości stężenia substancji gazowej  $S_{xyz}$  w zależności od odległości od emitora w osi  $Y$ . Parametrami stałymi są wartości:  $z$ ,  $x$  oraz  $S_{min}$ . Również i na tym wykresie czerwony punkt symbolizuje wybrany punkt w lokalizacji kursora na wykresie podstawowym.

Po wyborze z podręcznego menu (rysunek 6) opcji „Obliczenia” aplikacja otwiera okno tekstowe, które zawiera szczegółowe wyniki obliczeń, podzielone jest pod względem informacyjnym na trzy części. Część pierwsza zawiera dane początkowe, tj.: parametry emitora (emisja substancji, wysokość emitora, średnica wewnętrzna wylotu przewodu emitującego, prędkość gazów na wylocie z emitora, temperatura gazów odlotowych na wylocie z emitora), parametry meteorologiczne (prędkość wiatru na wysokości anemometru, średnia temperatura obliczeniowa, stan równowagi atmosfery, współczynnik aerodynamicznej szorstkości terenu). W części drugiej raportu przedstawione są ogólne wyniki obliczeń, tj. wartości: współczynników  $m$ ,  $a$  i  $b$ , prędkości wiatru na wysokości wylotu z emitora, emisji ciepła z emitera, wyniesienia gazów odlotowych, efektywnej wysokości emitera, średniej prędkości wiatru w warstwie od  $z=h$  do  $z=H_p$  oraz współczynników obliczeniowych  $A$  i  $B$ . Natomiast w części trzeciej raportu zawarte są wyniki obliczeń w lokalizacji wprowadzonych receptorów, tzn. wartości: współczynników dyspersji poziomej i pionowej oraz stężenia 1-godzinnego substancji gazowej.

Pozostałe opcje zawarte w podręcznym menu (rysunek 6) umożliwiają usuwanie z podstawowego wykresu (rysunek 5) zarówno wskazanych pojedynczych („Usuń wybrany receptor”), jak również i wszystkich receptorów („Usuń wszystkie receptory”). Ponadto program wyposażono w możliwość eksportu podstawowego wykresu do postaci zewnętrznej pliku graficznego („Eksport”). Do wyboru udostępniono zapis do postaci: \*.bmp, \*.jpg, \*.png, \*.wmf oraz \*.tiff. Po wyborze z podręcznego menu opcji „Zapisz do schowka” program umieszcza w systemowym schowku podstawowy wykres, który można w zależności od potrzeb poddać dowolnej edycji.

W trakcie pracy z programem, poprzez wybranie opcji „Skala” istnieje możliwość wizualizacji legendy wykresu podstawowego w zakresie zmiany wartości  $S_{xyz}$  od 0 do  $S_{max}$ . Natomiast po wybraniu opcji „Interpolacja” opracowano procedurę interpolowanego przejścia pomiędzy poszczególnymi barwami symbolizującymi różne wartości  $S_{xyz}$ . Opcja „LOG” umożliwia wyświetlenie w dolnej części okna, w którym prowadzone są w formie komentarzy wszystkie kluczowe operacje wykonywane w trakcie działania aplikacji. Uzupełniającym elementem programu jest możliwość generowania raportu w postaci pliku MICROSOFT WORD (\*.docx). Raport zawiera szczegółowe wyniki obliczeń.

### 3. Przykład zastosowania programu

Celem przetestowania opracowanego oprogramowania wraz z jego funkcjonalnościami wykonano symulację numeryczną dla źródła emisji o charakterystyce i parametrach oraz towarzyszących warunkach meteorologicznych (tabela 1).

**Tabela 1.** Dane wstępne

**Table 1.** Preliminary data

<b>Parametry emitora</b>				
Lp.	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Emisja substancji	E <sub>g</sub>	g/s	24,5
2	Średnica wewnętrzna wylotu przewodu emitującego	D	m	1,50
3	Wysokość geometryczna emitora (od powierzchni terenu)	H	m	58,00
4	Prędkość gazów na wylocie z emitora	V	m/s	5,10
5	Temperatura gazów odlotowych na wylocie z emitora	T	°C	152,4

Tabela 1. cd.

Table 1. cont.

Parametry meteorologiczne i inne				
Lp.	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Średnia temperatura obliczeniowa	$T_0$	°C	20,00
2	Prędkość wiatru na wysokości anemometru	$U_a$	°C	11,80
3	Stan równowagi atmosfery	ATM	ATM	4
4	Współ. aerodynamicznej szorstkości terenu (miasto powyżej 10 tys. do 100 tys. mieszkańców – zabudowa niska)	–	m	0,5

Tabela 2. Ogólne wyniki obliczeń

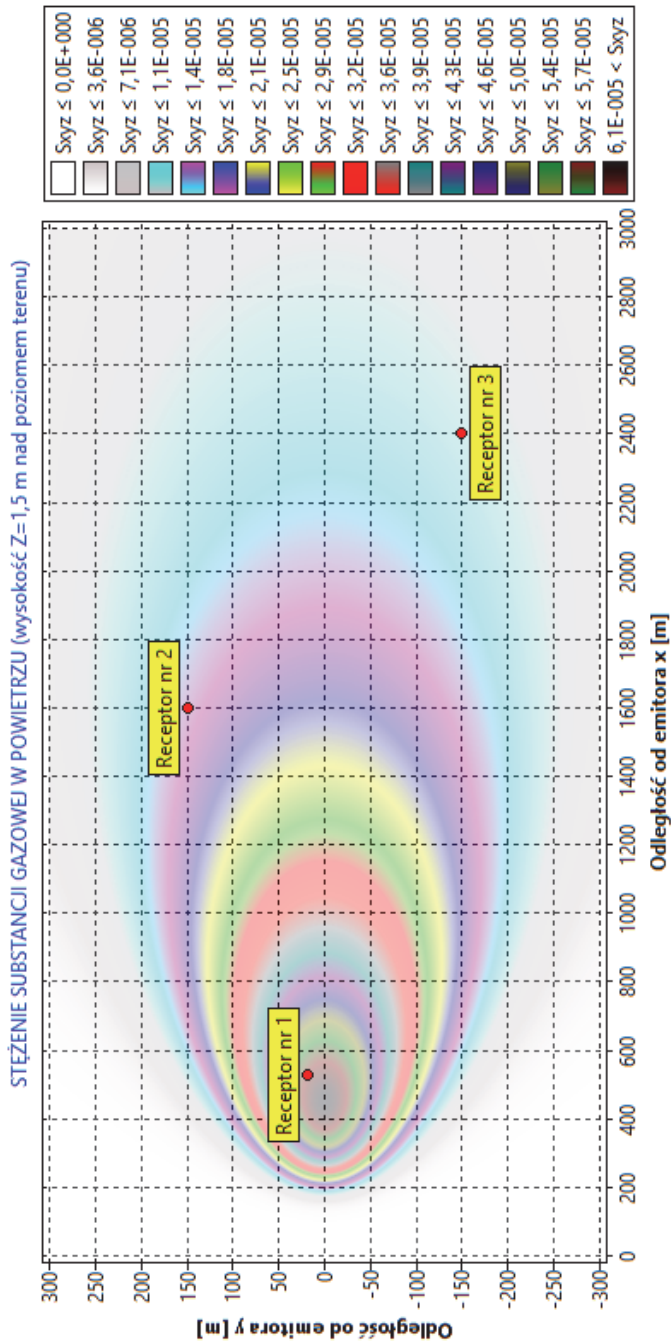
Table 2. General calculation results

Obliczenia ogólne				
Lp.	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Współczynnik	M	-	0,270
2	Współczynnik	A	-	0,818
3	Współczynnik	B	-	0,822
4	Prędkość wiatru na wysokości wylotu z emitora	$U_h$	m	17,32
5	Emisja ciepła z emitora	Q	kJ/s	996
6	Wyniesienie gazów odlotowych	$D_h$	m	0,00
7	Efektywna wysokość emitera	$H_p$	m	58,00
8	Średnia prędkość wiatru w warstwie od $z=h$ do $z=H_p$	$U_{sr}$	m/s	17,30
9	Współczynnik	A	-	0,45
10	Współczynnik	B	-	0,27

**Tabela 3.** Wyniki obliczeń w lokalizacji receptora**Table 3.** Calculation results at the receptor location

Receptor nr 1 (Lokalizacja: x=530,0 m; y=18,50 m; z=1,50 m)				
Lp.	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Współ. dyspersji poziomej	Sy	m	76,15
2	Współ. dyspersji pionowej	Sz	m	46,85
3	Stężenie 1-godzinne substancji gazowej	Sxyz	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,7E-05
Receptor nr 2 (Lokalizacja: x=1600,0 m; y=150 m; z=1,50 m)				
Lp.	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Współ. dyspersji poziomej	Sy	m	188,01
2	Współ. dyspersji pionowej	Sz	m	116,19
3	Stężenie 1-godzinne substancji gazowej	Sxyz	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,33E-05
Receptor nr 3 (Lokalizacja: x=2400,0 m; y=-150 m; z=1,50 m)				
Lp.	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Współ. dyspersji poziomej	Sy	m	261,95
2	Współ. dyspersji pionowej	Sz	m	162,14
3	Stężenie 1-godzinne substancji gazowej	Sxyz	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	8,45E-06

Na rysunku 8 przedstawiono wygenerowany przez program rozkład stężeń zanieczyszczeń w zależności od odległości od emitora z uwzględnieniem receptorów na wysokości 1,5 m nad poziomem terenu. Wykres przedstawia płaszczyznę o wymiarach: 3000 m (odległość od emitora wzdłuż osi x),  $\pm 300$  m (odległość od emitora prostopadle osi x). Z prawej strony wykresu znajduje się legenda, z opisem wartości poszczególnych barw, gdzie wartość maksymalna  $S_{xyz_{\max}}=6,1\text{E-}05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na płaszczyźnie przedstawiono trzy receptory, które szczegółowo opisuje tabela 3.



**Rys. 8.** Rozkład stężeń zanieczyszczeń w zależności od odległości od emitora z uwzględnieniem receptorów  
**Fig. 8.** Distribution of pollutant concentrations depending on the distance from the emitter including emitters

## 4. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono prostą metodę tworzenia aplikacji numerycznej do symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Aplikacja na podstawie danych wejściowych charakteryzujących emitora, parametry meteorologiczne oraz współczynnik szorstkości terenu umożliwia wyprowadzenie w oparciu o formułę Pasquilla, w sposób graficzny rozkładu stężeń substancji gazowej w zależności od odległości od emitora. Program stanowi niewątpliwie alternatywę dla aplikacji komercyjnych, ponieważ powstał w oparciu o darmowe środowisko programistyczne LAZARUS. W związku z tym intencją autorów programu ATMO jest udostępnienie w sposób wolny i otwarty kodu źródłowego oraz wersji wynikowej na stronie internetowej Rocznika Ochrona Środowiska celem umożliwienia dalszego rozwijania i weryfikacji działania aplikacji w aspekcie symulacji rozprzestrzeniania standardowych oraz specyficznych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego np. odorów.

## Literatura

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 2012 r. sierpnia w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2012 r., poz. 1031).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. nr 87).
- Głodkowska, W., Kobaka, J. (2012). The model of brittle matrix composites for distribution of steel fibres. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(1), 145-150.
- Głodkowska, W., Kobaka, J. (2013). Modelling of properties and distribution of steel fibres within a fine aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 44(7), 645-653.
- Holnicki, P., Kałuszko, A., Nahorski Z., Stankiewicz K., Trapp W. (2017). Air quality modeling for Warsaw agglomeration. *Archives of Environmental Protection* 43(1), 48-64.
- Koniecznyński, J. (2012). *Ochrona powietrza w teorii i praktyce*, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze, Zabrze, 2, 153-161.
- Kościelnik, B., Dąbrowski, T. (2015). *Podstawy Ochrony Atmosfery*, Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej.

- Michalczyk, J.K., Murawski, K. (2001). Symulacje numeryczne dyspersji zanieczyszczeń gazowych w atmosferze. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 35(5), 175-185.
- Piekarski, J. (2003). *Wybrane przykłady obliczeń komputerowych zastosowanych w inżynierii środowiska*. Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
- Piekarski, J., Lubierski, M. (2003). *Komputerowa symulacja rozprzestrzeniania zanieczyszczeń*. Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej.
- Piekarski, J. (2009). *Numeryczne modelowanie procesu filtracji i sorpcji*. Monografia, Koszalin: Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej.
- Sówka, I., Miller, U., Sobczyński, P. (2015). Dynamic olfactometry and modeling as methods for the assessment of odour impact of public utility objects. *Environment Protection Engineering*, 42(3).

## Methodology of Creating Numerical Application for Simulation Pollutants Diffusion in the Atmosphere

### Abstract

There is many programs that allow doing calculations of spreading pollution in the atmosphere. Most programs are very complicated and commercial. In this article are shown easy methods of creating simulations of spreading pollution in atmosphere applications in free, numeric programming environment. Application is free and open source software to make a possibility to its verification and further development.

### Streszczenie

Istnieje wiele programów, przy pomocy których można dokonywać obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze. Większość tego typu aplikacji to skomplikowane programy o charakterze komercyjnym. W niniejszym artykule przedstawiono prostą metodę tworzenia w darmowym numerycznym środowisku programistycznym aplikacji do symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Aplikacja ma charakter wolnego i otwartego oprogramowania (WiOO) w celu umożliwienia zainteresowanym weryfikacji i dalszego rozwijania.

### Słowa kluczowe:

metody numeryczne, modelowanie, rozprzestrzenianie zanieczyszczeń

### Keywords:

numerical methods, modeling, diffusion of pollutants