

**DOKUMENTACJA**

# **“SMOG”**

**symulacja rozprzestrzeniania się  
pyłu zawieszonego  $PM_{10}$  oraz  $PM_{2.5}$  w centrum Krakowa**

**projekt realizowany w ramach zajęć Modelowanie i Symulacja Systemów**

Ewa Hechsman, Agata Sidło, Katarzyna Wilczak  
rok akademicki 2018/2019

# 1. Wprowadzenie do tematu

## 1.1 Opis problemu

Głównym celem projektu "SMOG" jest stworzenie uproszczonego modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w centrum Krakowa. Obejmuje przeprowadzenie pomiarów zanieczyszczeń - pyłów zawieszonych PM10 oraz PM2.5, a także czynników, takich jak: wiatr, temperatura, ciśnienie, opad, wilgotność, mających wpływ na przemieszczanie się smogu.

## 1.2 Analiza wstępna

Istnieje wiele potencjalnych możliwości rozwiązania problemu. Przytoczona w punkcie 2 literatura sugeruje obszerny opis matematyczny zjawiska rozprzestrzeniania się pyłu zawieszonego. Opis matematyczny dostarcza wiele wzorów, które uwzględniają odpowiednie warunki atmosferyczne, jak i rodzaj pyłu oraz główne źródła zanieczyszczeń. Nie oferuje jednak dobrych rozwiązań symulacyjnych, ponieważ dane można przedstawić głównie za pomocą wykresów, co nie pozwala na pokazanie obszaru centrum Krakowa.

Rozważaliśmy multi-agentowe podejście do problemu. Model przedstawiałby wybrane cząstki zanieczyszczenia jako agentów i umieszczał je na mapie. Jest to jednak mało wizualnie atrakcyjna i nieintuicyjna metoda, ponieważ człowiek nie jest w stanie w normalnych warunkach zobaczyć pojedynczych cząstek pyłu. Widzimy raczej "chmury pyłu", obszary zanieczyszczone.

Znaleziona w literaturze interpolacja Kriginga oraz interpolacja RIO są dosyć szczegółowym przedstawieniem danych, które również pozwalają na uwzględnienie odpowiednich warunków atmosferycznych. Nie rozróżniają pojedynczych cząstek pyłu, ale wyliczają wartości pomiędzy punktami pomiarowymi i na ich podstawie "kolorują" odpowiednie obszary na wykresie, co bardziej odpowiada intuicyjnemu przedstawieniu zanieczyszczenia. Interpolacja RIO jest bardziej zaawansowaną techniką interpolacyjną. Ogólny model Kriginga jest wykorzystywany często przy interpolacji danych m.in. przy symulacji wiatrów, temperatur i innych czynników meteorologicznych.

# 2. Przegląd literatury i innych źródeł

- <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1210046/1210046.pdf>  
**"Integrated agent-based transport simulation and air pollution modelling in urban areas-the example of Munich"** Friederike Hülsmann -symulacja stanu powietrza na przykładzie miasta Monachium. Autor pracy oprócz zanieczyszczeń, bierze pod uwagę również ruch uliczny i integruje symulację zanieczyszczenia z symulacją ruchu ulicznego. Modeluje zanieczyszczenia jako system multi-agentowy używając metody MATSim, która zawiera 4 podstawowe kroki: generacja planów (jeden plan każdego dnia dla każdego czynnika), symulacja ruchu ulicznego (integracja planów z pkt. 1 z fizycznym systemem ruchu), przeliczanie (dane wejściowe z pkt. 2 są

przeliczone przez funkcję - inną dla każdego czynnika), nauka (agenci interpretują obecne plany i w następnej iteracji nanoszą zmiany w czasie, trasie i modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń). Uzyskane dane z symulacji przedstawia na odpowiednich wykresach.

- <http://smog.imgw.pl/home>

**Hajto M. J. , Godłowska J., Kaszowski W., Tomaszewska A.M.; 2012, System prognozowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń powietrza FAPPS – założenia, możliwości, rozwój. [W:] Ochrona powietrza w teorii i praktyce. T. 2 (red. Koniecznyński J.), Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze**

System FAPPS (Forecasting of Air Pollution Propagation System) - przewidywanie stężenia zanieczyszczeń w województwie Małopolskim i Krakowie. Stosuje 5 stopniową skalę stanu zanieczyszczenia powietrza (niski, średni, wysoki, bardzo wysoki, ryzykowny). Rozprzestrzenianie PM10 jest tutaj przedstawione w ujęciu makroskopowym jako obszary na mapie województwa. System FAPPS działa na bazie zespołu następujących modeli:

- i. numeryczna prognoza pogody ALADIN - zapewnia warunki początkowe i brzegowe dla modelu MM5,
- ii. niehydrostatyczny, mezoskalowy model meteorologiczny MM5 - prognozuje pola meteorologiczne,
- iii. preprocesor meteorologiczny CALMET - oblicza głębokość mieszania, klasę stabilności, kinematyczne efekty terenu, termodynamiczne efekty występujące w terenie nachylonym oraz blokujące efekty występowania przeszkód terenowych,
- iv. dyspersyjny model obłoku CALPUFF - oblicza prognozy stężeń zanieczyszczeń.

- **Mapa czujników Airly** - rozmieszczone na mapie czujniki smogu i warunków atmosferycznych pokazują stan pyłu zawieszonego w danym momencie i w danym punkcie pomiarowym. Do opisu stanu smogu na mapie wykorzystują trzy kolory - zielony (bardzo dobry stan powietrza), pomarańczowy (średni), czerwony (zły). Istnieje możliwość oglądania pomiarów czujników do 24h wstecz oraz prognozy na następne godziny.

- **“Wykorzystanie modeli statystycznych do oceny i prognozowania stężeń zanieczyszczeń powietrza na przykładzie Górnośląskiego Okręgu”**

**Przemysław Mgr inż. Jarosław Siewior (rozprawa doktorska)**

<http://docplayer.pl/23939538-Akademia-gorniczo-hutnicza-im-stanislawa-staszica-wydzial-gornictwa-i-geoinzynierii-katedra-inzynierii-srodowiska-i-przerobki-surowcow.html>

Praca opisuje kilka deterministycznych modeli matematycznych propagacji zanieczyszczeń powietrza (m.in. Gaussa, Lagrange’a, Eulera) oraz modele stochastyczne oparte na pomiarach. Do modelowania problemu wykorzystuje jednak model ARX tzn. taki, który uwzględnia autokorelację stężeń

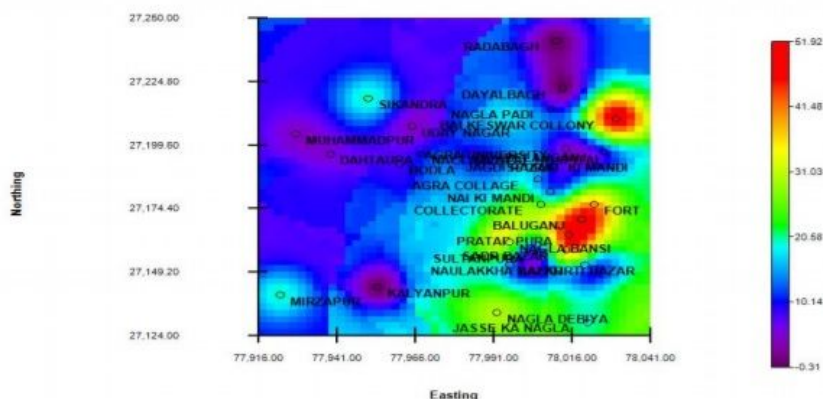
zanieczyszczeń oraz zmienne egzogenne (typu X) czyli warunki meteorologiczne. Jest to opis w większości matematyczny, poparty wzorami i wprowadzeniami. Dane końcowe przedstawione są na wykresie.

- ***"Computer Treatment of Large Air Pollution Models" Zahari Zlatev***  
Według autora, najpierw należy zlokalizować źródła emisji zanieczyszczeń, m.in.: transport uliczny, elektrownie, przemysłowe oraz domowe spalanie, procesy przemysłowe i określić wielkość ich wpływu na stan jakości powietrza. Największy wpływ na transport cząsteczek w powietrzu ma wiatr. Kiedy zanieczyszczenia znajdują się już w atmosferze, dochodzi do zjawiska dyfuzji, podczas której następują różne reakcje chemiczne. Warunkują one powstawanie nowych pyłów lub tworzenie nowych, lecz nieszkodliwych składników. Wraz z opadem, zanieczyszczenia mogą ulec depozycji (usunięciu). Po wstępnej analizie problemu, należy zamodelować transport szkodliwych cząsteczek. Zahari Zlatev opisuje matematyczny sposób poszczególnego modelowania emisji, transportu, dyfuzji, procesu depozycji oraz reakcji chemicznych zanieczyszczeń. Możliwe jest również otrzymanie generalnego matematycznego modelu tworząc kombinację matematycznych wyrażeń użytych do opisu wcześniej wspomnianych procesów. W książce znajdziemy również porównanie modeli Lagrange'a i Eulera, a także numeryczne podejście do modelowania zanieczyszczeń powietrza.
- <http://www.apis.ac.uk/air-pollution-modelling>  
Na stronie opisane zostały modele dyspersji powietrza, które służą do oszacowania stężenia zanieczyszczeń powietrza emitowanych z procesów przemysłowych - źródło punktowe lub drogi - źródło linii. Modele są wykorzystywane do modelowania lokalnego (<20 km), dalekiego zasięgu, regionalnego oraz zanieczyszczeń powietrza (>50 km). Opisano modele krótkiego zasięgu - ADMS, AERMOD, SCAL, DMRB oraz długiego zasięgu - FRAME.
- [https://www.mos.gov.pl/g2/big/2009\\_05/d9f172f280b8d79bc85879350fabe\\_bfe.pdf](https://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_05/d9f172f280b8d79bc85879350fabe_bfe.pdf)  
***"Wskazówki metodyczne dotyczące modelowania matematycznego w systemie zarządzania jakością powietrza" Ministerstwo Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa, 2003***  
Opisane zostały różne klasy modeli: emisji, meteorologiczny, transportu zanieczyszczeń, gaussowskie modele smugi, gaussowskie i lagranżowskie modele obłoków, lagranżowskie modele ruchu pseudocząstek (Monte Carlo), siatkowe modele eulerowskie, modele receptorowe. Podczas modelowania wyróżniono etapy: zdefiniowanie celów modelowania, obszar wyników i rozdzielczość siatki receptorowej, okres opracowania danych, dane wejściowe (emisje, ich agregacja, dane meteorologiczne, geofizyczne, geograficzne), wybór modeli, weryfikacja, korekcja i adiustacja wyników.

- [https://www.ripublication.com/ijeem\\_spl/ijeemv4n3\\_05.pdf](https://www.ripublication.com/ijeem_spl/ijeemv4n3_05.pdf)

**"Applying Kriging Approach on Pollution Data using GIS Software" Aman Tyagi, Preetvanti Singh**

Dokument dokładnie opisuje zastosowanie interpolacji Kriginga do modelowania danych związanych z zanieczyszczeniami powietrza. Pomiary przeprowadzono w Indiach. Model opisuje algorytm interpolacji, metodę wyznaczania semi-wariogramu oraz prezentuje przykłady zastosowania do modelowania konkretnych danych pomiarowych.



**Rys. 2.1 Wynik zastosowania algorytmu Kriginga (Ordinary Kriging) na danych dla Dayalbagh**

- [https://www.researchgate.net/publication/252915197\\_RIO\\_A\\_NOVEL\\_APPROACH\\_FOR\\_AIR\\_POLLUTION\\_MAPPING](https://www.researchgate.net/publication/252915197_RIO_A_NOVEL_APPROACH_FOR_AIR_POLLUTION_MAPPING)

**"RIO: A NOVEL APPROACH FOR AIR POLLUTION MAPPING" Stijn Janssen, , Frans Fierens, , Gerwin Dumont, Clemens Mensink**

Publikacja opisuje model interpolacji RIO, który stanowi wydajne narzędzie do oceny jakości powietrza. Może również zostać wykorzystany do tworzenia analitycznych map rekordów danych historycznych. Model RIO jest rodzajem modelu Kriging, jednak jest on dokładniejszy i uwzględnia lokalne zanieczyszczenia powietrza. W publikacji znajdziemy również przykładowe schematy i mapy jakości powietrza.

- <http://iks.pn.sggw.pl/z36/art10.pdf>

**"Próba zastosowania metody krigingu do wykonania map izolinii stężenia pyłu zawieszonego PM10 dla rejonu aglomeracji warszawskiej" Andrzej Brandyk, Grzegorz Majewski, Laura Poretta, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW, Zakład Hydrologii i Zasobów Wodnych, Zakład Meteorologii i Klimatologii**

Praca opisuje proces zastosowania metody krigingu do wyliczenia stężenia pyłu zawieszonego PM10, a następnie zaprezentowaniu wyników na mapie izolinii. Zostają poruszone kwestie m.in.: ilości punktów pomiarowych, a wiarygodności uzyskanych wyników, warunki meteorologiczne, tworzenie wariogramu.

### **3. Proponowany model/modele zjawiska**

#### **3.1 Cele modelu**

Model ma za zadanie pokazać przepływ zanieczyszczeń na mapie centrum Krakowa w punktach pomiarowych, jak i pomiędzy nimi. Głównymi źródłami pyłu zawieszonego w centrum Krakowa jest zwiększony ruch uliczny przy alei Słowackiego i Mickiewicza. Nasz model ma na celu ukazanie stanu jakości powietrza w okolicach Rynku Głównego w Krakowie, oraz w okolicach otoczonych zatłoczonymi ulicami.

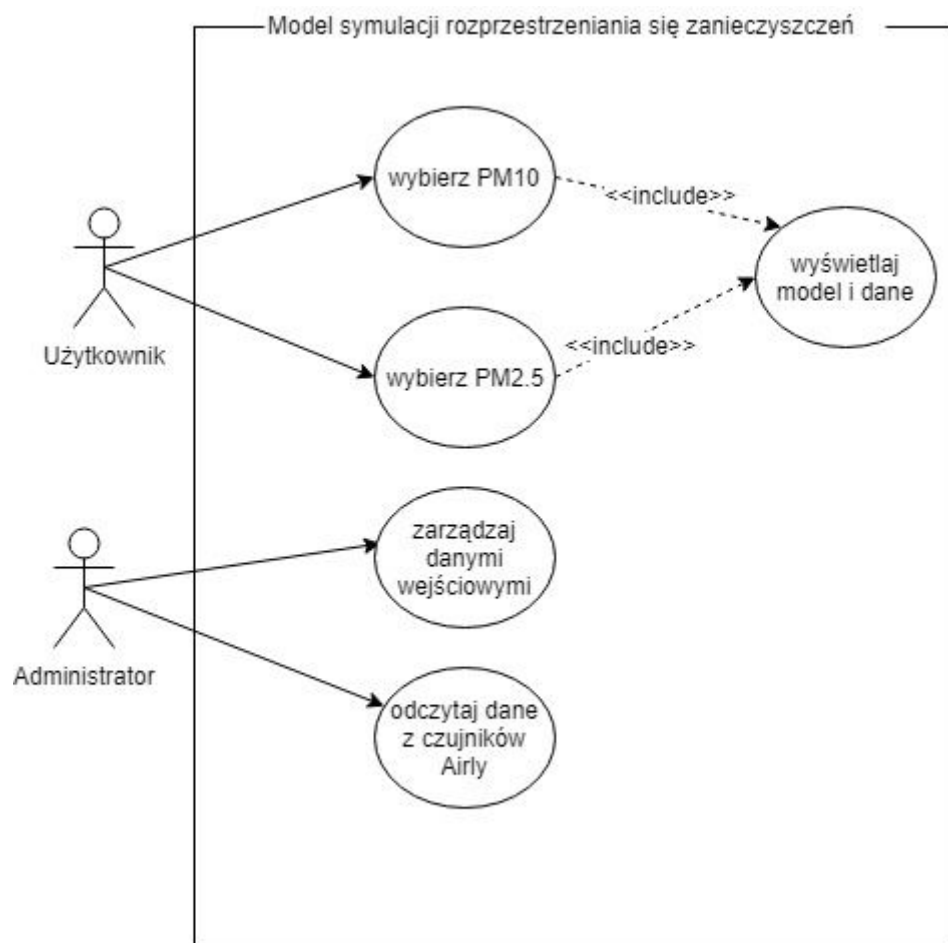
#### **3.2 Wejścia i wyjścia modelu**

Wejściem systemu są dane pomiarowe z czujników zanieczyszczeń powietrza Airly oraz dane meteorologiczne (temperatura, prędkość i kierunek wiatru, opady) z serwisu Windy.com. Dane zapisywałyśmy codziennie co 12 godzin oraz w jeden dzień bardziej szczegółowo - co godzinę.

Na wyjściu otrzymamy mapę centrum Krakowa z naniesioną mapą interpolacyjną wykonaną metodą Kriginga oraz punktami pomiarowymi (rozmieszczonymi w miejscach czujników Airly). Mapa będzie dostępna dla dwóch rodzajów zanieczyszczeń: pyłu zawieszonego PM10 oraz PM2.5. Poniżej mapy będą wypisywane dane meteorologiczne dla danego czasu pomiaru. Kolory będą opisywać stan powietrza w danym miejscu.

#### **3.3 Założenia algorytmów i porównanie z podejściem literaturowym**

#### **3.4 Diagram przypadków użycia**



**Rys. 3.1** Diagram przypadków użycia modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń

## 4. Symulacja zjawiska - implementacja

### 4.1 Wybór technologii

### 4.2 Diagram klas oraz opis implementacji

## 5. Wyniki symulacji

## 6. Wnioski