

INTELIGENTNY SYSTEM MONITORINGU
jako instrument zarządzania i/lub kontroli jakości powietrza
(NA PRZYKŁADZIE AGLOMERACJI GDAŃSKIEJ)

Autorzy:

Marek Kowalski
Bogna Mysiek - Laurikainen
Zbigniew Moroz*
Mieczysław Sowiński
Jolanta Wojtkowska

Instytut problemów Jądrowych

*) Politechnika Białostocka

1. WPROWADZENIE

Realizacja zadań określonych Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 06.06.2002 r. (Dz. U. 87 poz. 796) w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu a także Rozporządzenie MŚ z dnia 06.06.2002 roku (Dz. U. 87 poz. 798) w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu będzie wymagała (oprócz utworzenia regionalnych sieci automatycznych stacji pomiarowych) opracowania i wprowadzenia nowych rozwiązań, dotyczących kontroli i zarządzania jakością powietrza, w szczególności w zakresie modelowania rozkładów przestrzenno-czasowych zanieczyszczeń powietrza, wymienionych w rozporządzeniach, prognozowania (predykcji), interpolacji oraz ekstrapolacji tych zanieczyszczeń. Komplementarnym uzupełnieniem sieci automatycznych systemów pomiarowych emisji zanieczyszczeń w czasie rzeczywistym może stać się wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych. Pozwoli to efektywniej wykorzystać olbrzymią ilość danych pomiarowych do wspomagania kontroli i/lub zarządzania jakością powietrza (nie tylko do bieżącej oceny jakości powietrza).

Celem niniejszej pracy jest zbadanie praktycznej użyteczności komputerowych sieci neuronowych do modelowania i predykcji zanieczyszczeń w oparciu o automatyczne pomiary ich stężeń oraz pomiary parametrów meteorologicznych.

Instytut Problemów Jądrowych (IPJ) przy współpracy z Politechniką Białostocką (PB) i Agencją Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej (ARMAAG) przeprowadziły w roku 2002 wstępne badania możliwości zastosowania sieci neuronowych do prognozowania krótko- i długookresowych zmian stężeń zanieczyszczeń powietrza (w pierwszej kolejności SO_2 , NO, NO_2 , pyłu) dla Aglomeracji Gdańskiej. W oparciu o wieloletnią bazę wiarygodnych danych pomiarowych zbieranych i gromadzonych przez ARMAAG. Wyniki tych badań przedstawiono w raporcie AZA (adres internetowy: <http://www.ipj.gov.pl/~p2/aza>).

2. WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ

W niniejszym komunikacie przedstawiamy jedynie kilka przykładów wykorzystania komputerowych sieci neuronowych do predykcji stężeń $\text{SO}_2/\text{NO}/\text{NO}_2$ dla pojedynczej stacji pomiarowej, oraz do predykcji stężeń ww. zanieczyszczeń, uśrednionych po 9-ciu stacjach pomiarowych, z uwzględnieniem parametrów meteorologicznych.

2.1 Predykcja stężeń $\text{SO}_2/\text{NO}/\text{NO}_2$ dla pojedynczej stacji pomiarowej (AM-3, Ryc. 1.1., 1.2., 1.3.)

- dane uśrednione - 1 godz.
- sieć neuronowa, wielowarstwowa, jednokierunkowa, typu 35: n.:1., uczenie metodą propagacji wstecznej,
- predykcja 6-go kolejnego pomiaru stężeń ww. zanieczyszczeń na podstawie 5-ciu poprzednio zmierzonych wielkości stężeń oraz 5-ciu kolejnych pomiarów parametrów meteorologicznych (T, P, M, prędkość i kierunek wiatru) a także stężenie pyłu (analiza danych pomiarowych wykazała zależność pomiędzy stężeniem pyłu w powietrzu a stężeniem ww. zanieczyszczeń gazowych).

2.2 Rozkłady czasowe stężeń SO_2 (wartości godzinne), uśrednione po 9 stacjach pomiarowych, z zaznaczeniem wartości minimalnych i maksymalnych (Ryc.2.)

2.3 Wybrane dobowe rozkłady przestrzenno-czasowe stężeń $\text{SO}_2/\text{NO}/\text{NO}_2/\text{pyłu}$ (Ryc. 3.)

2.4. Rozkłady czasowe stężeń SO_2 w latach 1999-2002 (Ryc.4.1.) z uwzględnieniem parametrów meteorologicznych oraz stężenia pyłu (dokładniejsza analiza danych pomiarowych wykazała zależność pomiędzy stężeniami $\text{SO}_2/\text{NO}/\text{NO}_2$ z jednej strony a stężeniem pyłu z drugiej) uśrednione po 9-ciu stacjach pomiarowych. Do uczenia sieci neuronowej zostały wykorzystane dane pomiarowe z 2000 roku uśrednione po 9-ciu stacjach pomiarowych

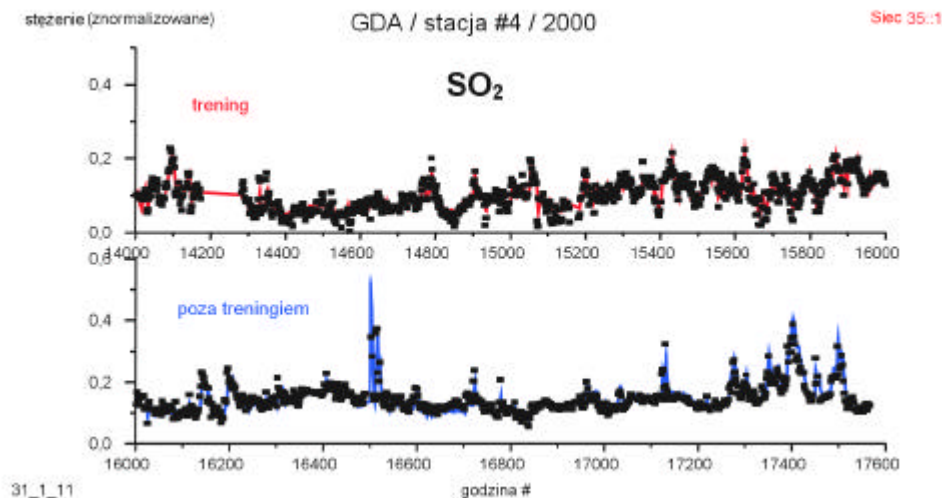
2.5. Predykcja neuronowa stężeń $\text{SO}_2/\text{NO}/\text{NO}_2$ uśrednionych po 9-ciu stacjach pomiarowych (Ryc.4.2.)

- predykcja stężeń dla kolejnego 7 dnia na podstawie 6-ciu poprzednich pomiarów.
- zyskano dobrą zgodność wartości obliczonych z danymi pomiarowymi dla SO_2 i NO_2 w oparciu o jeden model sieci neuronowej uczonej na bazie danych o stężeniach SO_2 z roku 2000 (nieco gorszą zgodność uzyskano dla NO oraz w przypadkach bardzo krótkotrwałych zmian).

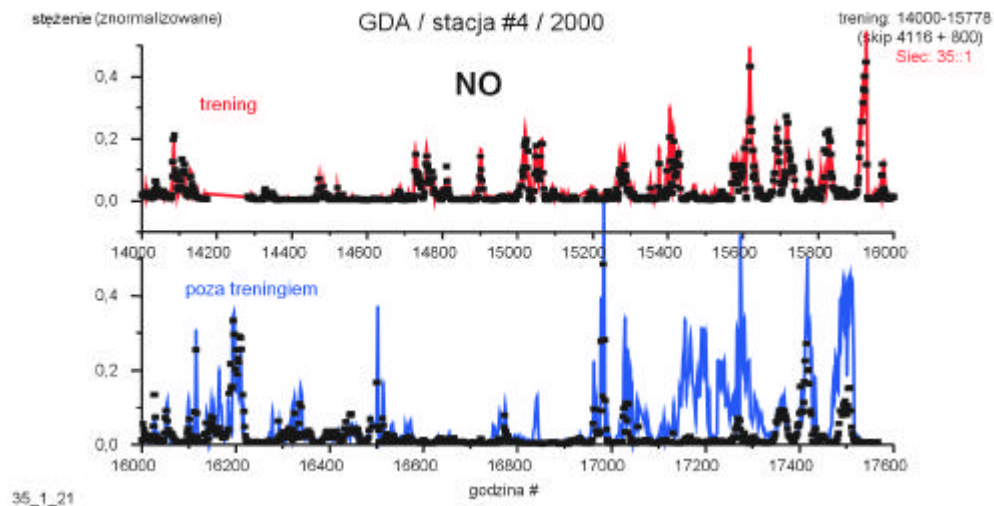
3. PODSUMOWANIE

Wstępne badania uwzględniające jedynie podstawowe parametry (stężenia imisji zanieczyszczeń i warunki meteorologiczne) pokazują, że sieci neuronowe mogą być pomocne dla tych osób lub jednostek organizacyjnych, które posiadają, budują albo projektują sieci stacji pomiarowych (tj. dysponują lub będą dysponować bazą wiarygodnych danych o zanieczyszczeniach oraz parametrach meteorologicznych) i zamierzają wykorzystać posiadane systemy pomiarowe do prognozowania (predykcji) krótko- i/lub długookresowych zmian stężeń zanieczyszczeń powietrza, oceny ryzyka, np. przekraczania wartości alarmowych lub dopuszczalnych, sytuacji smogowych i innych.

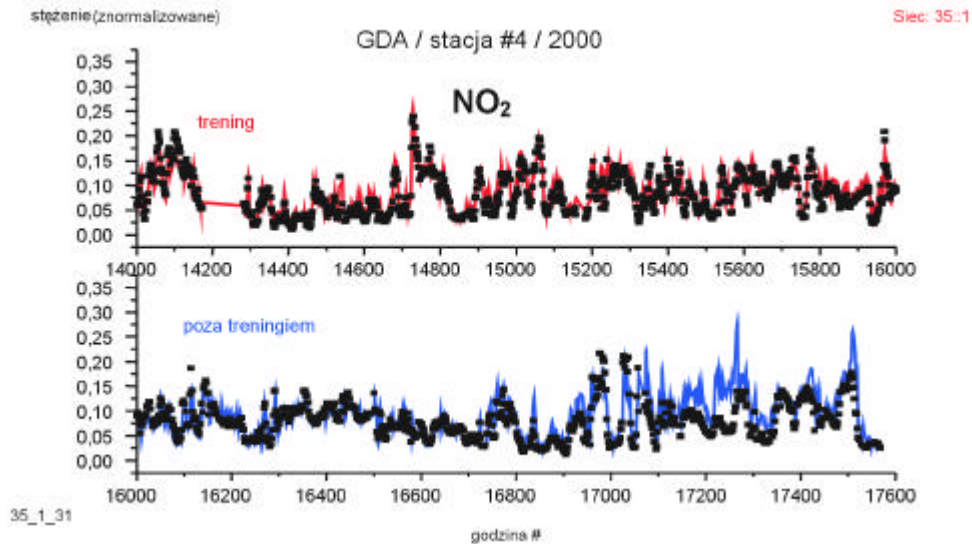
Aktualnie kontynuowane są badania dotyczące praktycznej użyteczności komputerowych sieci neuronowych, w pierwszej kolejności w zakresie modelowania interpolacji i ekstrapolacji zanieczyszczeń powietrza (z uwzględnieniem dodatkowych, niezależnych parametrów) dla Aglomeracji Gdańskiej



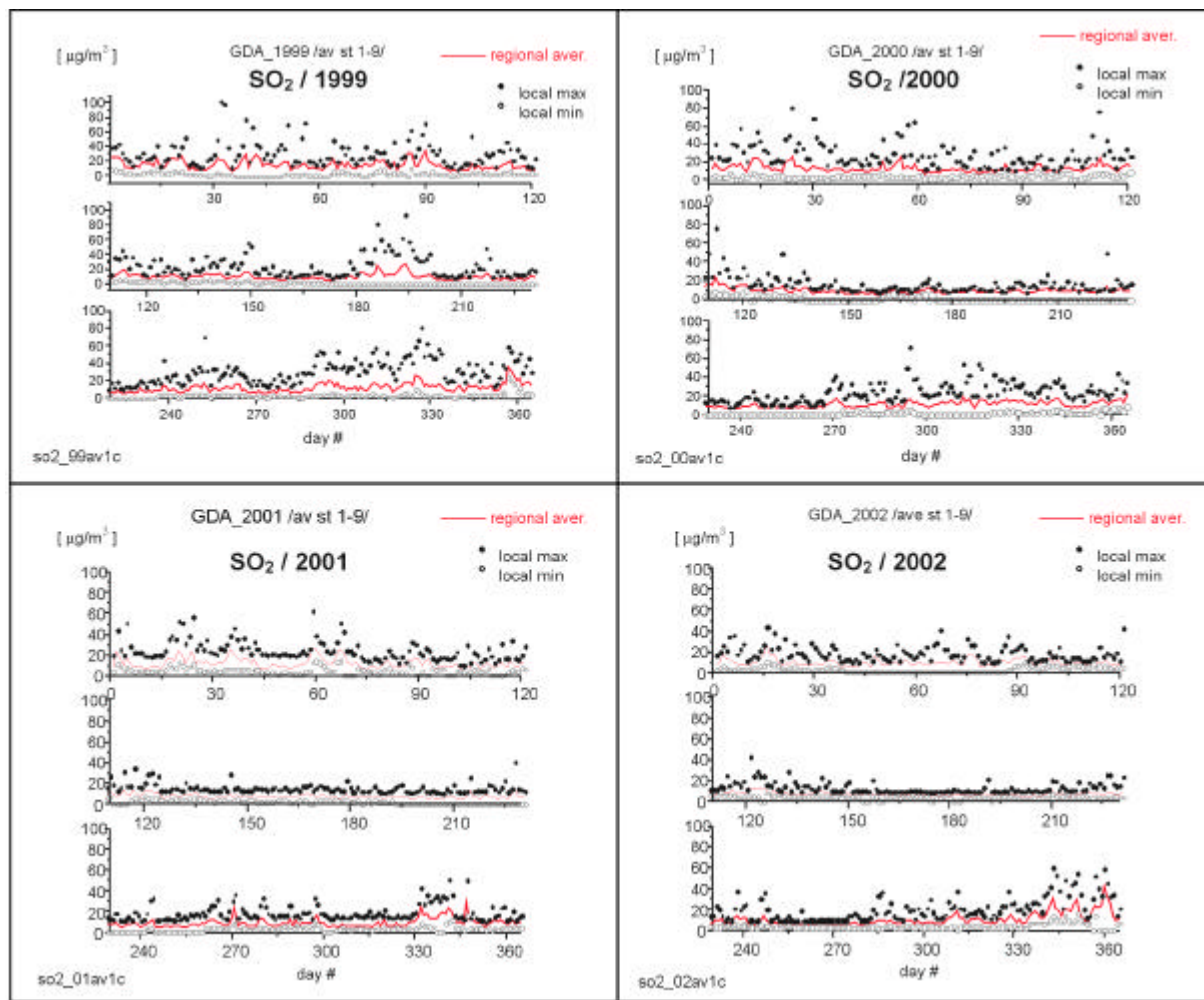
Ryc.1.1. Predykcja stężeń SO_2 dla pojedynczej stacji pomiarowej



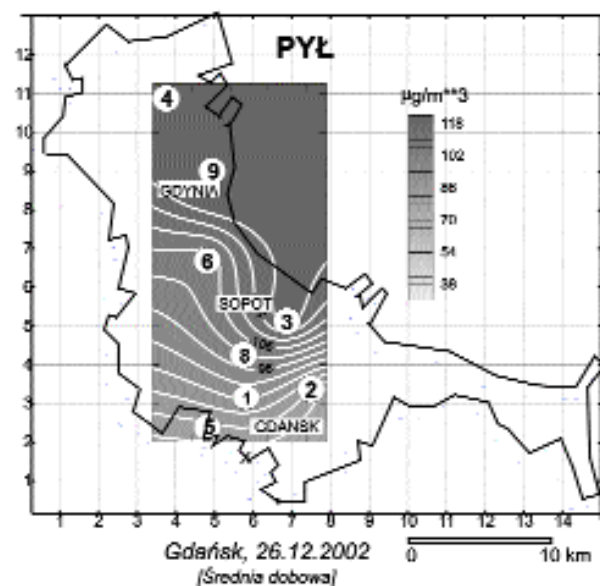
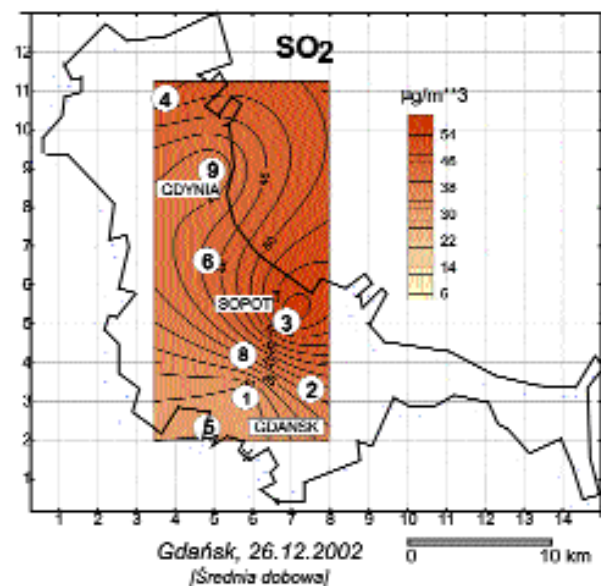
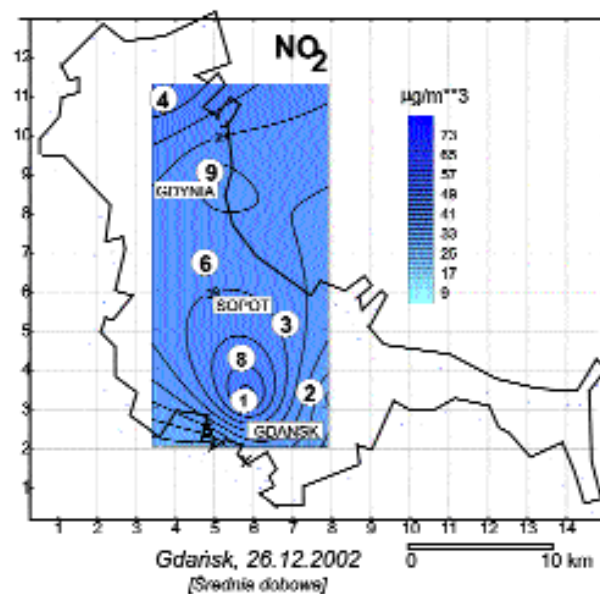
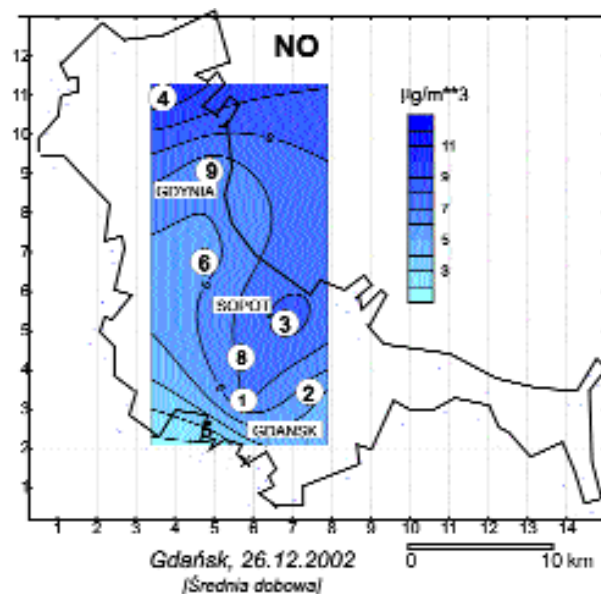
Ryc.1.2. Predykacja stężeń NO dla pojedynczej stacji pomiarowej



Ryc.1.3. Predykacja stężeń NO₂ dla pojedynczej stacji pomiarowej

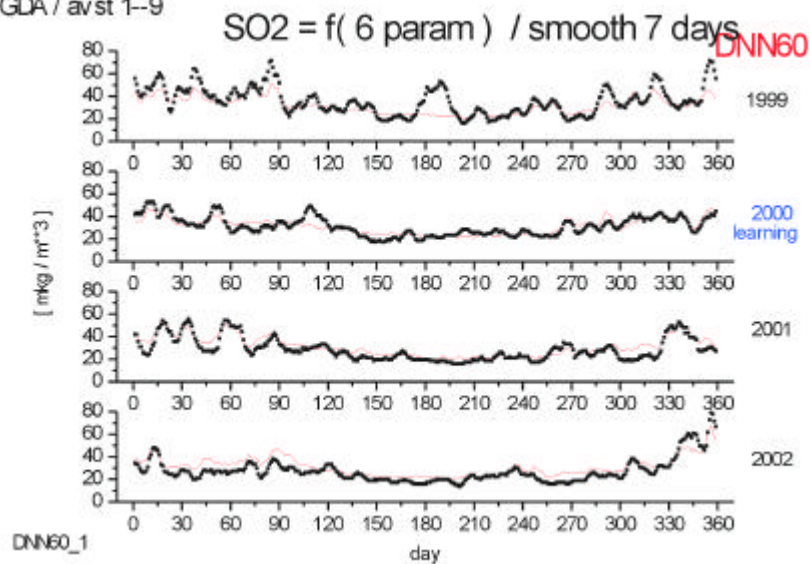


Ryc.2. Rozkłady czasowe stężeń SO_2 (wartości godzinne)



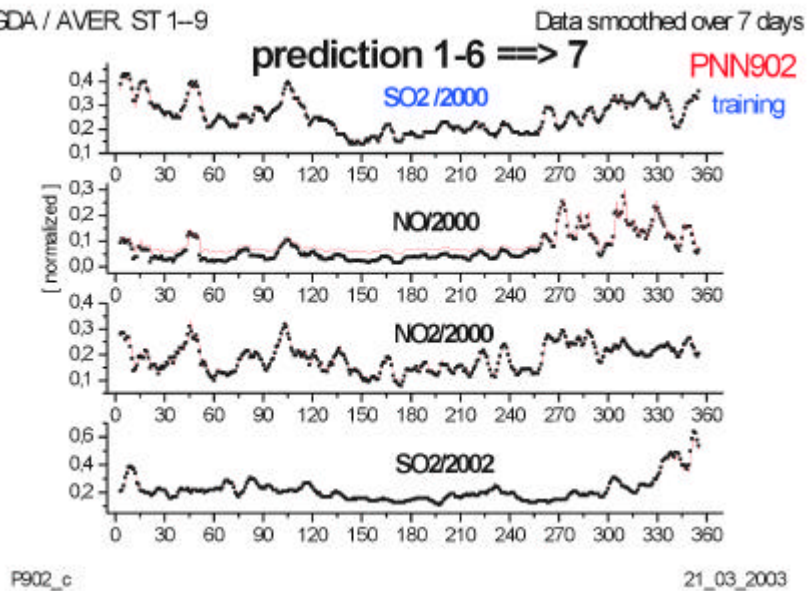
Ryc.3. Wybrane dobowe rozkłady przestrzenno-czasowe stężeń NO/NO₂/SO₂/pyłu

GDA / av st 1-9



Ryc.4.1. Rozkłady czasowe stężeń SO_2 (atm) w latach 1999/2002 atm = { zap., temp., H_2O , p, w_speed, w_dir }
Dane: uśrednione po 9 stacjach

GDA / AVER. ST 1-9



Ryc. 4.2. Predykcja neuronowa stężeń $SO_2/NO/NO_2$ uśrednionych po 9 stacjach pomiarowych { yn-6, yn-5, yn-4, yn-3, yn-2, yn-1 } ==> yn
Dane: wygładzone (7 dni)

Wykorzystanie modelowania w ocenach jakości powietrza i programach ochrony powietrza

Biuro Studiów i Pomiarów Proekologicznych

EKOMETRIA Sp. z o.o.

80-761 Gdańsk, ul. Elbląska 66

tel. (058) 301-42-53, fax (058) 301-42-52

m.fijolek@ekometria.com.pl

wojtek.trapp@ekometria.com.pl

Autorzy:

mgr Mariola Fijolek

mgr inż. Wojciech Trapp

mgr Małgorzata Paciorek

Gdańsk, 2003

1. WSTĘP

Zgodnie z polskim i europejskim prawem podstawą do określenia klasyfikacji stref i wykonania oceny jakości powietrza są pomiary. Jest to założenie w pełni uzasadnione pod warunkiem, że sieć pomiarów, przede wszystkim automatycznych, jest prawidłowo zaprojektowana i utrzymywana w ruchu oraz wdrożone są odpowiednie procedury zapewnienia jakości. W wielu obszarach kraju należy się jednak wesprzeć metodami pomocniczymi, przede wszystkim modelowaniem, jako jedynym źródłem informacji pozwalającym na określenie przestrzennych zróżnicowań stężeń zanieczyszczeń w ramach strefy oraz wyznaczenie krótkookresowych charakterystyk rozkładów. W firmie "Ekometria" Sp. z o.o. w Gdańsku od paru lat prowadzone są prace nad wykorzystaniem modelowania w systemie oceny jakości powietrza w województwach i strefach, czego wynikiem były wykonane oceny jakości powietrza w województwach mazowieckim i łódzkim oraz wyznaczone pełne przestrzenne rozkłady stężeń w województwie zachodniopomorskim.

Poniżej chcielibyśmy zaprezentować wykorzystanie modelu CALMET/CALPUFF w obliczeniu pól meteorologicznych i rozkładów stężeń zanieczyszczeń dla gminy miasta Tczew w oparciu o dane z 2001 roku. Tczew jest niewielkim (ok. 61 tysięcy mieszkańców, powierzchnia 22.3 km²) miastem leżącym nad Wisłą na południe od Gdańska. Na jego terenie znajduje się automatyczna stacja monitoringowa należąca do Agencji Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej (ARMAAG) oraz w niewielkiej odległości od miasta występuje węzeł ogólnosiłkowej sieci gridowej dostarczający informację meteorologiczną na powierzchni ziemi i w profilu pionowym. Stacja ARMAAG z jednej strony dostarcza wiarygodnych danych meteorologicznych, z drugiej umożliwia weryfikację obliczeń stężeń oraz, w dalszej kolejności, kalibrację modeli. Obliczenia dla Tczewa wykonano w siatce receptorów o boku 250 m.

2. OPIS MODELU CALMET/CALPUFF

Model CALPUFF został opracowany w Earth Tech. Inc. w Kalifornii. CALMET/CALPUFF jest modelem obłoku ostatniej generacji uwzględniającym rzeźbę terenu oraz czasową i przestrzenną zmienność warunków meteorologicznych w trzech wymiarach. Jest to wielowarstwowy, niestacjonarny model w układzie Lagrange'a, przygotowany do obliczania stężeń wielu substancji, który może wyznaczać wpływ pól meteorologicznych zmieniających się w czasie i w przestrzeni na transport, przemiany i depozycję zanieczyszczeń. CALPUFF może wykorzystywać informacje z trójwymiarowych pól meteorologicznych lub z pojedynczej stacji naziemnej w formacie zgodnym z modelem ISC3 lub CTDM. Model CALPUFF zawiera moduły umożliwiające opcjonalnie uwzględnienie transportu zanieczyszczeń nad obszarami wodnymi, wpływu dużych zbiorników wodnych (morza), omywania budynków, suchej i mokrej depozycji, prostych przemian chemicznych.

Zasięg modelu CALMET/CALPUFF wynosi od dziesiątków metrów do kilkuset kilometrów. Model ten odznacza się dużą wrażliwością na przestrzenne charakterystyki środowiska oraz zmienność pola meteorologicznego.

Model CALPUFF przyjmuje informacje o emisji ze źródeł:

- punktowych (o stałej bądź zmiennej emisji)
- liniowych (o stałej bądź zmiennej emisji)
- powierzchniowych (o stałej bądź zmiennej emisji).

Model uwzględnia niestacjonarną (o parametrach zmiennych w czasie) emisję i warunki meteorologiczne - trójwymiarowe pola meteorologiczne (wiatr, temperatura), przestrzenną zmienność wysokości warstwy mieszania, szorstkości, prędkości konwekcyjnej, opadu, pionowej i poziomej turbulencji.

Preprocesor meteorologiczny CALMET wyznacza wartości w/w parametrów meteorologicznych w siatce pola obliczeniowego na poziomie gruntu oraz na wskazanej ilości warstw w górę do poziomu 2000 m.

Model CALPUFF wyznacza stężenia wybranych substancji również w siatce pola obliczeniowego na poziomie gruntu oraz na wskazanej ilości warstw w górę do poziomu 2000 m.

Model CALMET/CALPUFF w badaniach mających na celu wyznaczenie zmienności przestrzennej i czasowej stężeń zanieczyszczeń w skalach: miejscowej, regionalnej i ponadregionalnej jest znakomitym narzędziem pozwalającym na uwzględnienie nie tylko zróżnicowanej ilości emitorów, ale i charakterystyk środowiska przyrodniczego.

W pakiecie CALMET/CALPUFF obliczenia są prowadzone w kilku wzajemnie powiązanych siatkach prostokątnych. Wielkość boku pola podstawowego każdej z siatek może być każdorazowo ustalona przez użytkownika i zależy od wielkości obszaru i zróżnicowania jego fizjografii (rzeźba i użytkowanie terenu) oraz od przyjętej skali badań.

Na każdym etapie przetwarzania wykorzystywane są serie czasowe godzinne obliczane dla każdego pola siatki. Oznacza to, że w każdym polu siatki określone są godzinne szeregi czasowe parametrów meteorologicznych i stężeń zanieczyszczeń. Szeregi te są następnie zapisywane do plików wyjściowych i mogą być wielokrotnie przetwarzane przy użyciu specjalnego postprocesora CALPOST ułatwiającego wyznaczenie wszystkich niezbędnych charakterystyk.

3. INFORMACJA METEOROLOGICZNA

Decydujące znaczenie dla rozkładu stężeń zanieczyszczeń ma rozmieszczenie i charakter źródeł emisji oraz zmieniające się warunki meteorologiczne i charakterystyki fizyczno-geograficzne badanego obszaru. Na terenach zabudowanych działalność człowieka jest na ogół skoncentrowana w wybranych sektorach (np. tereny przemysłowe), co powoduje lokalne koncentracje podwyższonych stężeń zanieczyszczeń. Mimo identycznej emisji w tym samym miejscu stężenia zanieczyszczeń mogą się znacznie wahać, co jest spowodowane zmienną meteorologią. Warunki pogodowe są odpowiedzialne za rozprzestrzenianie się lub akumulację zanieczyszczeń. Wiatr i deszcz wzmacniają rozwiewanie, mieszanie i wymywanie substancji. Natomiast warunki antycyklonalne (wysokie ciśnienie i brak zachmurzenia) w powiązaniu ze słabym wiatrem (poniżej 2 m/s) są sprzyjające dla wzrostu koncentracji zanieczyszczeń. Na zróżnicowanie pól meteorologicznych i np. rozkład wiatrów duży wpływ mają istniejące warunki terenu, tzn. rzeźba terenu i jego użytkowanie.

Modele zakładające jednorodność pól meteorologicznych jak np. ISCST3 lub AERMOD przyjmują dane meteorologiczne z jednej stacji naziemnej i aerologicznej zakładając tym samym niezmienną wartość parametrów meteorologicznych na całym badanym obszarze. Zakładana w tych modelach jednorodność warunków meteorologicznych na całym obszarze poddanym modelowaniu jest bardzo dużym uproszczeniem warunków rzeczywistych.

Proste modele gaussowskie zakładające ciągłość smugi i stacjonarność oraz jednorodność warunków meteorologicznych nie uwzględniają ciszy ani wiatrów o niskich prędkościach. Informacja meteorologiczna jest podawana na wejście tych modeli dyspersji na ogół w postaci dwu- lub trójwymiarowej różnicy wiatrów zróżnicowanej ze względu na klasę równowagi atmosfery. Opcjonalnie istnieje możliwość wprowadzenia informacji dotyczącej wysokości warstwy inwersji.

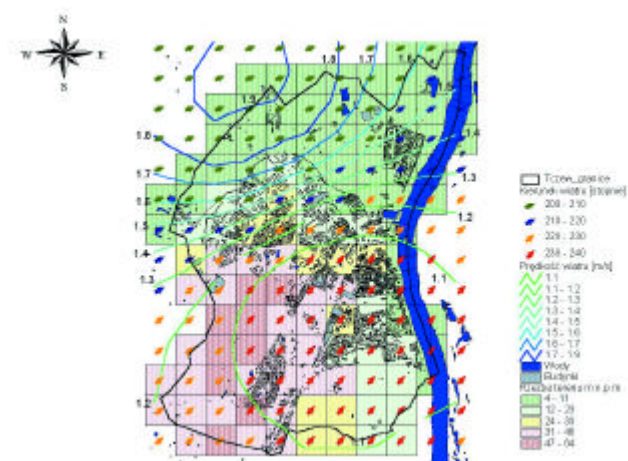
Niektóre modele gaussowskie jak na przykład model ISCST (Industrial Source Complex Short-Term) lub AERMOD posiadają wbudowany preprocesor meteorologiczny, na wejście którego podana musi być informacja w postaci godzinnych szeregów czasowych parametrów meteorologicznych z warstwy powierzchniowej i warstwy mieszania. W rezultacie rośnie zdolność modelu do wychwycenia epizodów podwyższonych stężeń. Jednak w dalszym ciągu zakładana jest jednorodność warunków meteorologicznych, dzięki czemu z jednej strony cały obszar jest opisany przez jeden zbiór danych meteorologicznych (związany z wybranym punktem badanego obszaru), ale z drugiej nie jest możliwe uwzględnienie przestrzennej zmienności pól meteorologicznych.

Model CALPUFF jest modelem obłoku (puff model), w którym zakłada się strukturę wiatru nie w postaci ciągłej strugi powietrza a jako sumy podmuchów. Stanowiąc generalizację modeli gaussowskich CALPUFF uwzględnia niestacjonarność i niejednorodność warunków meteorologicznych. W rezultacie możliwości modelu są w pełni wykorzystywane, jeżeli trójwymiarowa informacja meteorologiczna określona zostanie z uwzględnieniem zmienności przestrzennej (rzeźby i użytkowania terenu) w polach siatki meteorologicznej nałożonej na badany obszar.

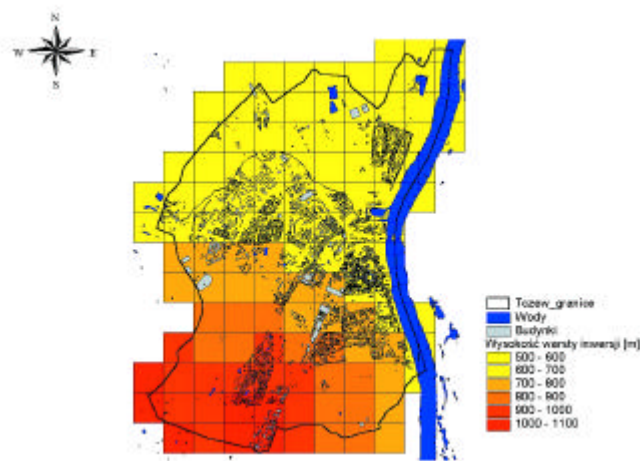
W gminach miejskich, mimo ich stosunkowo niewielkich powierzchni (w większości), występuje dość duże zróżnicowane formy zagospodarowania i rzeźby terenu co po uwzględnieniu przez preprocesor meteorologiczny daje w wyniku dużą zmienność pól meteorologicznych i dość precyzyjne odzwierciedlenie rzeczywistości. Zdecydowanie rośnie więc waga możliwości uwzględnienia niejednorodności pól meteorologicznych. Należy ponadto zauważyć, że często w miastach prowadzone są pomiary meteorologiczne nie tylko przez IMGW ale i przez inne służby publiczne i ośrodki badawcze. W szczególnie interesujących, z punktu widzenia analizy rozkładów stężeń zanieczyszczeń w powietrzu, obszarach klasy I znajdują się stacje monitoringu zanieczyszczeń powietrza wyposażone w własne mierniki parametrów meteorologicznych. Te dodatkowe punkty pomiarów meteorologicznych są bardzo istotne dla wskazania lokalnych warunków meteorologicznych. Tym większego więc znaczenia nabiera zdolność modelu do uwzględnienia informacji z wielu stacji naziemnych i aerologicznych.

Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki obliczeń preprocesora CALMET (czyli meteorologicznej części informacji wejściowej dla modelu dyspersji CALPUFF) dla Tczewa. Rysunki ilustrują wartości średnioroczne odpowiednich parametrów meteorologicznych. Informacja wejściowa w tym wypadku pochodziła z jednej stacji meteorologicznej naziemnej i jednej aerologicznej.

Jak widać wszystkie parametry meteorologiczne wyznaczone przy użyciu preprocesora CALMET, za wyjątkiem klasy równowagi atmosfery, wykazują istotną zmienność na badanym obszarze. W tym przypadku do obliczeń wprowadzono dane tylko z jednej stacji naziemnej i jednej aerologicznej więc uzyskana zmienność jest rezultatem wyłącznie zróżnicowania rzeźby i użytkownia terenu i niewątpliwie znacząco wpływa na rozkłady stężeń zanieczyszczeń.



Rys.1. Prędkość i kierunek wiatru wg modelu meteorologicznego CALMET dla obszaru miasta Tczewa.



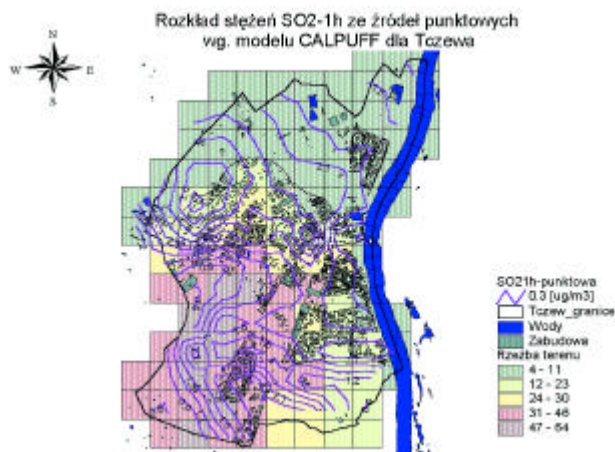
Rys.2. Wysokość warstwy inwersji wg modelu meteorologicznego CALMET dla obszaru miasta Tczewa

Na Rysunku 1 przedstawiono zmienność prędkości i kierunku wiatru oraz rzeźbę terenu. Oczko pola meteorologicznego wynosi 500 x 500 m. Istnieje widoczna zależność pomiędzy kierunkiem i prędkością wiatru a ukształtowaniem oraz sposobem użytkowania terenu. Na obszarze typowo miejskim następuje spowolnienie wiatru, a skręt kierunku następuje za linią wzniesienia. Przedstawiona na ryc. 2 wysokość warstwy inwersji również ma związek z rzeźbą terenu ale także z użytkowaniem. Najniższe wartości występują nad rzeką.

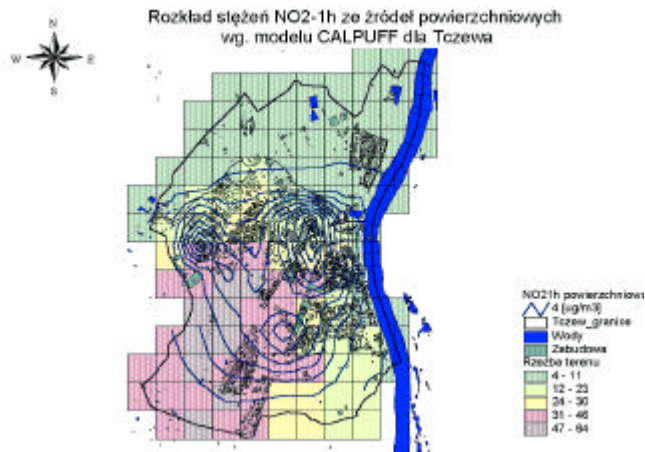
4. PRZESTRZENNE ROZKŁADY ZANIECZYSZCZEŃ

W przykładowych obliczeniach rozkładów zanieczyszczeń dla miasta Tczewa uwzględniono 6 istotnych emitorów punktowych, 12 powierzchniowych oraz 329 emitorów liniowych. W obliczeniach założono stałość w czasie emisji punktowej, sezonowość emisji powierzchniowej oraz dobową zmienność emisji liniowej.

Poniżej pokazano przykładowe rozkłady stężeń poszczególnych zanieczyszczeń pochodzących od źródeł punktowych, powierzchniowych i liniowych.



Rys.3. Rozkład stężeń SO₂ dla źródeł punktowych



Rys.4. Rozkład stężeń NO₂ dla źródeł powierzchniowych

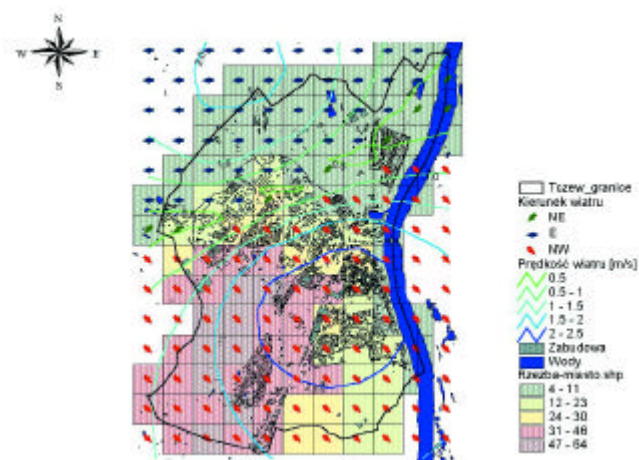
5. SYTUACJA MAKSYMALNYCH STĘŻEŃ NO_x W ROKU 2001 NA TERENIE TCZEWA

Maksymalne stężenia NO_x na obszarze miasta Tczewa w roku 2001 wystąpiły w dniu 23 grudnia o godzinie 8 rano. Poniżej zilustrowano występującą wówczas sytuację meteorologiczną oraz rozkład stężeń NO_x.

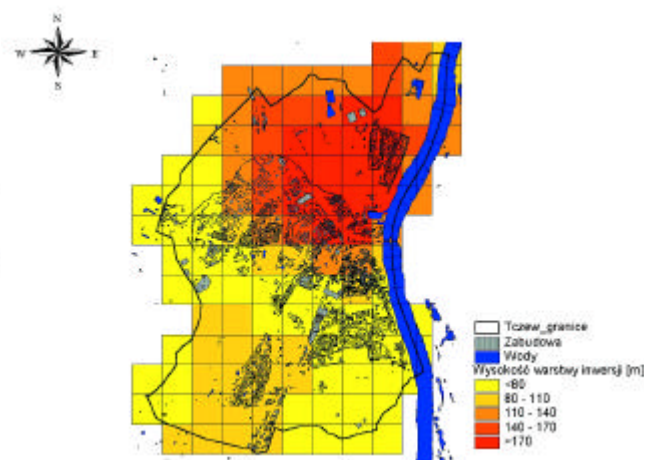
Analiza sytuacji meteorologicznej w pełni uzasadnia wystąpienie wysokich stężeń. Nisko zalegająca warstwa inwersji, zerowe przyspieszenie konwekcji oraz małe prędkości wiatru sprzyjały wystąpieniu incydentu w porze porannego szczytu komunikacji.

Przedstawione poniżej przykłady ilustrują możliwości zastosowania modelu CALMET/CALPUFF. Interesująca na przykład jest możliwość analizy wybranych warunków sprzyjających maksymalnym koncentracjom.

Mając na uwadze rozwój wojewódzkiego systemu oceny jakości powietrza, w którym niewalgaliczną rolę odgrywa sieć automatycznych pomiarów Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej i konieczność wdrożenia funkcji prognostycznej i ostrzegawczej należy zaprojektować i uruchomić system, w którym modelowanie będzie odgrywało znaczącą rolę. Trzeba podkreślić unikalną w skali kraju możliwość wykorzystania zbieranych przez kilka lat wyników pomiarów emisji i parametrów meteorologicznych w celu kalibracji modelu i poprawy tym samym jakości pracy systemu.



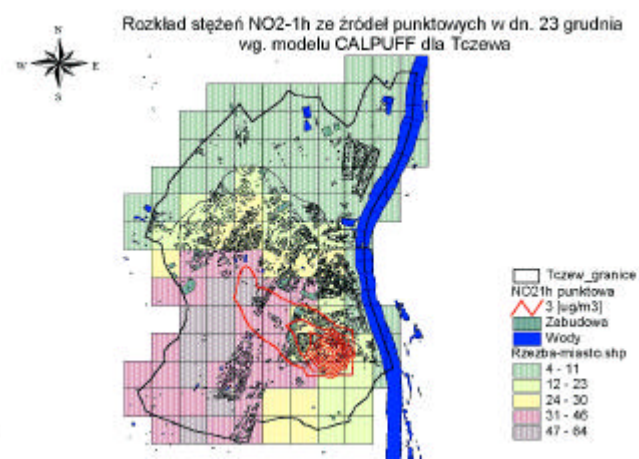
Rys.5. Pole wiatrowe nad Tczewem w dniu 23.12.2001 godz. 8:00



Rys.6. Wysokosc warstwy inwersji w dniu 23.12.2001 roku o godz. 8:00



Rys.7. Klasa rownowagi atmosfery w dniu 23.12.2001 roku o godz. 8:00



Rys.8. Rozklad stężeń NO_2 w dniu 23 grudnia 2001

**WYBRANE ETAPY POPRZEDZAJĄCE
BUDOWĘ PROGNOSTYCZNEGO SYSTEMU
OSTRZEGAWCZEGO WYSOKICH STĘŻEŃ
DWUTLENKU AZOTU*
(NA PRZYKŁADZIE AGLOMERACJI GDAŃSKIEJ)**

PIOTR OSKAR CZECHOWSKI **
zroscar@panda.bg.univ.gda.pl

**UNIWERSYTET GDAŃSKI, ARMII KRAJOWEJ 101, 81-824 SOPOT

POJĘCIA: SZEREG CZASOWY, ANALIZA WIDMOWA, TRANSFORMATA FOURIERA, STACJONARNOŚĆ,
FUNKCJA ACF I PACF, TEST SHAPIRO - WILKA - FRANCIA Z POPRAWKĄ ROYSTONA, TEST BARTLETTA,
RÓWNOWAGA ATMOSFERY; IMISJA, EMISJA, DYSPERSJA ZANIECZYSZCZEŃ

*Projekt dofinansowany przez KBN; BW 2320-5-0111-2

1. WSTĘP

W ostatnich latach coraz częściej podnoszony jest temat ekologii jako czynnika kluczowego dla rozwoju każdego regionu gospodarczego świata. Przekonują o tem min. decydenci Unii Europejskiej, dla których świadomość ekologiczna jest jednym z priorytetów. Atmosfera jest elementem środowiska naturalnego który odgrywa ważną rolę w działalności człowieka. Zanieczyszczenie atmosfery, w połowie ubiegłego stulecia niedoceniane należycie, stało się ważkim czynnikiem determinującym rozwój aglomeracji miejsko - przemysłowych. Jego bezpośredni, niebezpieczny w skutkach, wpływ na organizmy żywe wymusił systematyczne badania, których pierwszymi efektami są programy poprawy warunków aerosanitarnych wdrażane od kilku lat w państwach Unii Europejskiej i usankcjonowane przez prawo międzynarodowe m.in. pod postacią dyrektyw unijnych. Polska musi dostosować prawo i działania do obowiązujących przepisów międzynarodowych, z racji przystąpienia do struktur Unii Europejskiej.

Dotychczasowe badania prowadzone nad stanem zanieczyszczeń atmosfery są niewystarczające. Najczęściej mają one charakter sprawozdawczy. Na podstawie raportów historycznych podejmowane są przeciwdziałania, których efektywność jest niewystarczająca.

Do prognozowania stanu zanieczyszczeń atmosfery używane są modele wykorzystujące fizyczne zależności rządzące atmosferą i rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń. Modele fizyczne pozwalają w praktyce na wysoce przybliżoną rzeczywistą ocenę stanu zagrożeń, gdyż obciążone są dużymi błędami. Rozwiązaniem wydają się być modele statystyczne zanieczyszczeń atmosfery, których początki sięgają lat dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku. Rozwój tego kierunku badań jest ściśle związany z rozwojem technologii przetwarzania danych i budową sieci monitorujących stan atmosfery.

Prognozowanie przy wykorzystaniu metod stochastycznych umożliwia uwzględnienie aspektu dynamiki zjawiska, a także stosunkowo proste dołączanie nowych czynników mających znaczenie dla prognoz, w miarę ich dostępności. Istotnymi zaletami tego nurtu badań zanieczyszczeń atmosfery są m.in. możliwość pełnej identyfikacji struktury procesów kształtujących zanieczyszczenia oraz stosunkowo krótki czas budowy statystycznych modeli prognostycznych, umożliwiający w przyszłości implementację w systemy informatyczne działające w czasie rzeczywistym.

Doświadczenia Polski na polu prognozowania zanieczyszczeń atmosfery metodami statystycznymi są niewielkie i fragmentaryczne. Jedynymi ośrodkami, które podejmują tego rodzaju próby są Kraków i Katowice. Alarmy smogowe w Aglomeracji Katowickiej są na porządku dziennym. Położenie geograficzne Aglomeracji Gdańskiej zapewnia stosunkowo korzystne warunki atmosferyczne, dzięki czemu dotychczas rzadko zdarzały się incydenty na tym obszarze. Począwszy od połowy lat dziewięćdziesiątych inicjatywą miast Aglomeracji Trójmiejskiej przy ścisłej współpracy z naukowcami Uniwersytetu Gdańskiego rozpoczęto realizację projektu ciągłego monitoringu atmosfery Aglomeracji Gdańskiej.

Wydaje się zasadnym podejmowanie działań mających na celu przygotowanie odpowiednich narzędzi prognostyczno - decyzyjnych. Narzędzia służące zarówno podejmowaniu długoterminowych decyzji gospodarczych jak i krótkoterminowych, doraźnych informacji o zagrożeniach, przyczynią się do efektywniejszego gospodarowania regionem jednej z największych polskich aglomeracji przemysłowych a zarazem atrakcyjnego regionu turystycznego. Uniwersalność proponowanych metod pozwala na wykorzystanie ich również w innych regionach geograficznych.

2. ZAKRES OPRACOWANIA

Budowę prognostycznego modelu ostrzegawczego, opartego na analizie składowych głównych, poprzedzono następującymi etapami badawczymi:

- analizą jakości danych pomiarowych, przy wykorzystaniu estymatorów odpornych;
- analizą rozkładów empirycznych metodą największej wiarygodności i aparatu testów statystycznych;
- identyfikacją okresów podwyższonych stężeń w cyklu dobowym wraz z identyfikacją naturalnych i syntetycznych czynników meteorologicznych kształtujących stężenia NO_2 ;
- analizą możliwości budowy prognoz długookresowych w oparciu o metody graficzne i analizę R/S przy wykorzystaniu wykładnika Hursta;
- prognozami jednowymiarowymi czynników meteorologicznych, przy wykorzystaniu procesów rodziny ARIMA i analizy widmowej wraz z pełną analizą założeń budowy modeli.

W dalszej części opracowania, z uwagi na charakter sprawozdawczy, przedstawiono syntetycznie wyniki wybranych etapów badania (etapy: drugi i piąty).

Dane pochodzą z sieci monitorującej stan atmosfery Aglomeracji Gdańskiej - Fundacji ARMAAG. Sieć monitoringu regionalnego Aglomeracji Gdańskiej jest od roku 2000 uczestnikiem Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) oraz Europejskiej Sieci Obserwacyjnej i Informacyjnej (EIONET). Fundacja ARMAAG uzyskała status członka tych organizacji po spełnieniu szeregu wymogów formalnych i organizacyjnych.

Pomiary stężeń zanieczyszczeń i warunków meteorologicznych dokonywane są w cyklu 10 sekundowym z obowiązującym czasem uśredniania do 60 minut (do roku 2002 czas uśredniania wynosił 30 minut).

Rozmieszczenie stacji monitorujących zostało zaprojektowane, w latach 1993 -1996, przez zespół prof. Andrzeja Jerzego Trappa (R. Mysiak i A. Wyszowski z katedry klimatologii Uniwersytetu Gdańskiego) przy współpracy z Politechniką Mediolańską (System Wspomagania Decyzji MoNet - SWD MoNet) i zaakceptowane przez Instytut Ochrony Środowiska i Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska.

Sieć regionalnego monitoringu atmosfery aglomeracji gdańskiej była tworzona zgodnie z wytycznymi wymaganymi przez Państwowego Inspektora Ochrony Środowiska. Zasady i kryteria, którymi kierowali się projektanci przy wyborze obszarów potencjalnej lokalizacji punktów pomiarowych były następujące:

- lokalizacja punktów pomiarowych oraz program badań muszą być związane z celem badań i planowanym wykorzystaniem wyników;
- tworzony system musi zapewniać porównywalność wyników uzyskiwanych w poszczególnych punktach pomiarowych (w skali regionu i gmin) oraz prawidłową ich interpretację;
- należy dążyć do uzyskiwania maksimum informacji przy możliwie najniższych kosztach organizacji systemu i prowadzenia badań, a tym samym przy możliwie najniższej liczbie stanowisk pomiarowych.

Punkty pomiarowe zlokalizowane zostały w rejonach, gdzie wysoki poziom stężeń zanieczyszczenia jest wynikiem nakładania się wpływów wielu źródeł emisji, znajdujących się na terenie miasta lub jego sąsiedztwie. Pomiary na stanowiskach tego typu umożliwiają:

- ocenę stopnia narażenia mieszkańców aglomeracji na zanieczyszczenia powietrza i wynikającego stąd zagrożenia zdrowia;
- opracowanie i weryfikację planów poprawy jakości powietrza;
- ocenę skuteczności długofalowych działań podejmowanych dla poprawy jakości powietrza;
- badanie czasowych i przestrzennych zmian stanu zanieczyszczenia powietrza w poszczególnych gminach i całej aglomeracji;
- ocenę wpływu zewnętrznych źródeł zanieczyszczeń na stan aerosanitarny miast;
- identyfikację obiektów decydujących o zanieczyszczeniu powietrza na terenie aglomeracji, poszczególnych miast oraz ich rejonów;
- opracowanie i weryfikację modeli diagnostycznych i prognostycznych.

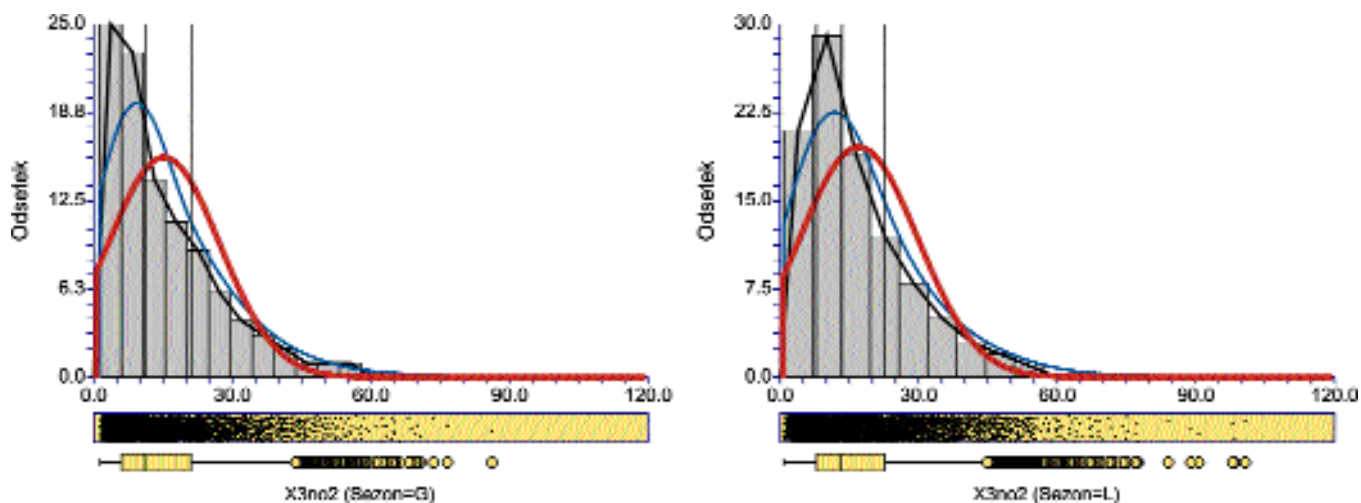
3. ROZKŁADY EMPIRYCZNE STĘŻEŃ DWUTLENKU AZOTU

Znajomość rozkładu jest ważnym elementem badania. Pozwala m. in. na dokładne wyznaczenie percentyli i korektę prognoz. Analizie poddano rozkłady empiryczne w poszczególnych miesiącach oraz okresach (grzewczy i letni) badanych stężeń. Z powodu objętości materiału wynikowego poniżej przedstawiono wybrane wyniki sumaryczne dla stężeń NO_2 . Rozpatrywano następujące rozkłady jednowymiarowe: Weibulla, Gamma, Lognormalny, Lognormalny10, Loglogistyczny, Wykładniczy, Logistyczny, Wartości ekstremalnych. Za kryterium przyjęto logarytm metody największej wiarygodności.

Miesiąc	Rozkład	Log MNW	par. skali	par. kształtu	par. poł.
Styczeń	Weibulla	-2789.554	1.408	20.098	1.800
Luty	Weibulla	-2221.580	1.201	11.834	1.600
Marzec	Lognormalny	-2656.895	2.161	1.000	0.900
Kwiecień	Lognormalny	-2721.331	2.684	0.728	3.300
Maj	Lognormalny	-2634.424	2.517	0.677	2.000
Czerwiec	Lognormalny	-2399.219	2.064	0.864	1.900
Lipiec	Weibulla	-2628.438	1.259	14.497	1.300
Sierpień	Weibulla	-2874.888	1.268	19.975	1.500
Wrzesień	Weibulla	-2552.526	1.153	14.415	0.700
Październik	Weibulla	-2531.012	1.236	12.238	1.600

Tab.1. Analiza rozkładów empirycznych NO₂ w miesiącach roku 2002 (AM3)

[źródło: opracowanie własne]



Tab.2. Analiza rozkładów empirycznych NO₂; histogramy w sezonach roku 2002 (AM3)

[źródło: opracowanie własne]

Tablica 1 wskazuje na występowanie asymetrii prawostronnej w badanych zmiennych, czego należało się spodziewać. Nieco zaskakujące wyniki przedstawia Tablica 2. Oczekiwano rozkładów zbliżonych do rozkładu normalnego (tak jak to ma miejsce w przypadku ozonu). Dalsze dochodzenie potwierdziło zdecydowane odstępstwa rozkładów empirycznych od normalnego (Tablica 3).

Test	Grzewczy				Letni			
	stat. test.	poziom prawd.	alfa 0.1	alfa 0.05	stat. test.	poziom prawd.	alfa 0.1	alfa 0.05
Shapiro-Wilk W	0.91	0.00			0.83	0.00	-	-
Anderson-Darling	43.28	0.00			191.78	0.00	-	-
Martinez-Iglewicz	1.21		1.00	1.00	1.78	-	1.00	1.00
Kolmogorov-Smirnov	0.09		0.02	0.02	0.14	-	0.02	0.02
D'Agostino Skewness	18.92	0.00	1.65	1.96	33.46	0.00	1.65	1.96
D'Agostino Kurtosis	10.77	0.00	1.65	1.96	20.00	0.00	1.65	1.96
D'Agostino Omnibus	473.91	0.00	4.61	5.99	1519.39	0.00	4.61	5.99

Tab.3. Analiza rozkładów empirycznych NO₂; testy normalności w sezonach roku 2002 (AM3)
[źródło: opracowanie własne]

Analogiczne dochodzenie przeprowadzono dla wszystkich pozostałych zmiennych biorących udział w badaniu. Wyniki uzyskane wskazują, że w przypadku danych miesięcznych rozkłady normalne nie są dobrym przybliżeniem rozkładu empirycznego.

4. ANALIZA WIDMOWA

4.1 Wprowadzenie teoretyczne

Celem analizy widmowej jest dekompozycja złożonego szeregu czasowego zawierającego składniki cykliczne na kilka podstawowych funkcji sinusoidalnych (sinus i cosinus) o określonych długościach fali. Dzięki temu możliwa jest identyfikacja kilku cykli okresowych o różnych długościach, które wyglądały na mniej lub bardziej losowy szum.

Długość fali funkcji sinus lub cosinus wyraża się standardowo w kategoriach liczby cykli na jednostkę czasu (częstotliwość).

Okres T funkcji sinus lub cosinus definiuje się jako długość czasu potrzebnego na jeden pełny cykl. Zatem jest to odwrotność częstotliwości:

$$T = \frac{1}{n}$$

Jak napisano wcześniej celem analizy widmowej jest dekompozycja oryginalnego szeregu na podstawowe funkcje sinus i cosinus o różnych częstotliwościach w celu wyznaczenia tych, które okazują się szczególnie silne lub ważne. Jednym ze sposobów wykonania tego byłoby przełożenie tej kwestii na problem regresji wielokrotnej, gdzie zmienną zależną jest obserwowany szereg czasowy, a zmiennymi niezależnymi są funkcje sinus o wszystkich możliwych (dyskretnych) częstotliwościach.

Taki liniowy model regresji wielokrotnej może być zapisany jako:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left[\alpha_i \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) + \beta_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right]$$

$$y_t = f(t) + \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left[\alpha_i \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) + \beta_i \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \right]$$

gdzie:

i - numer harmoniki;

α_0 α_i β_i - szacowane parametry:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t$$

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin\left(\frac{2\pi}{n} it\right) \quad i = 1, \dots, \frac{n}{2} - 1$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos\left(\frac{2\pi}{n} it\right)$$

gdzie:

a_0 a_i b_i - oceny parametrów α_0 α_i β_i

Funkcje sinus i cosinus są wzajemnie niezależne (ortogonalne). W celu otrzymania periodogramu należy zsumować kwadraty współczynników dla każdej częstotliwości:

$$P_k = \sin^2_k \cos^2_k \frac{N}{2}$$

gdzie:

P_k - wartość periodogramu przy częstotliwości,

N - długość szeregu.

Wartości periodogramu można interpretować w kategoriach wariancji (sumy kwadratów) odpowiadającej wahaniom o konkretnej częstotliwości lub okresie. Zwyczajowo wartości periodogramu zostają wykreślone względem częstotliwości lub okresów.

4.2 Przykłady empiryczne

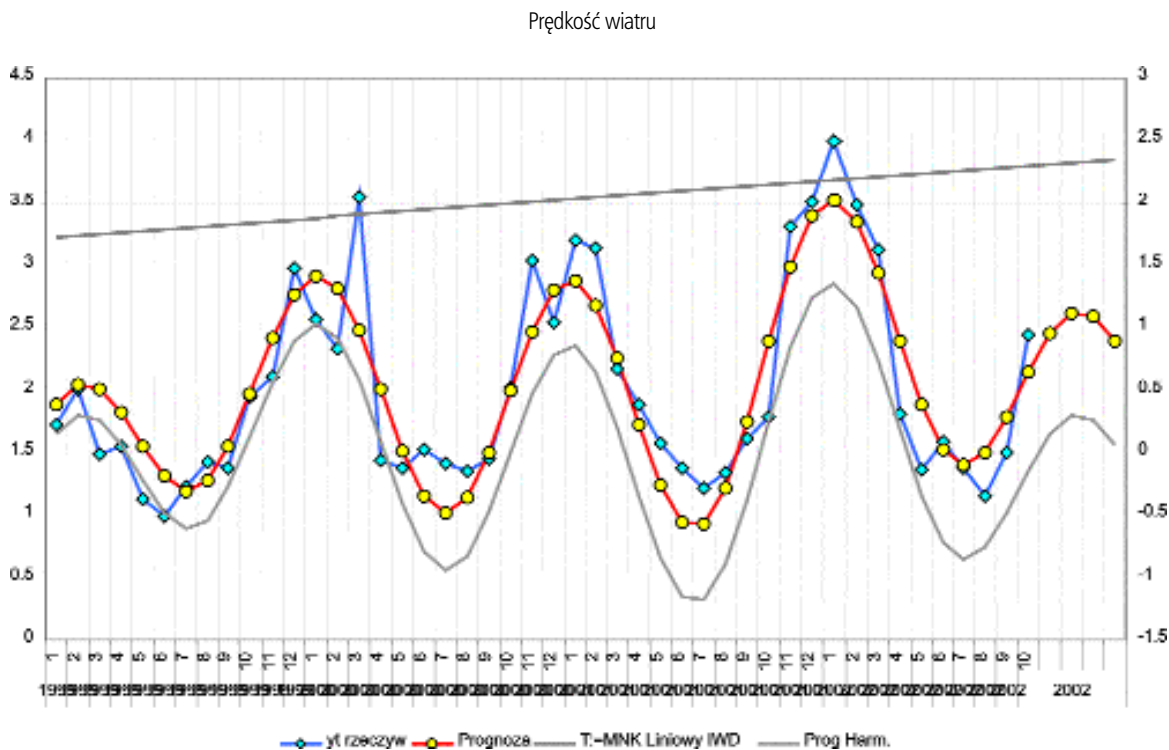
Wybrane zmienne zostały zidentyfikowane jako składniki atmosfery, mające istotny wpływ na kształtowanie się wysokich wartości stężeń NO_2 .

Poniżej przedstawiono graficznie wyniki prognoz wraz z syntetycznymi wnioskami.

Stosowane oznaczenia:

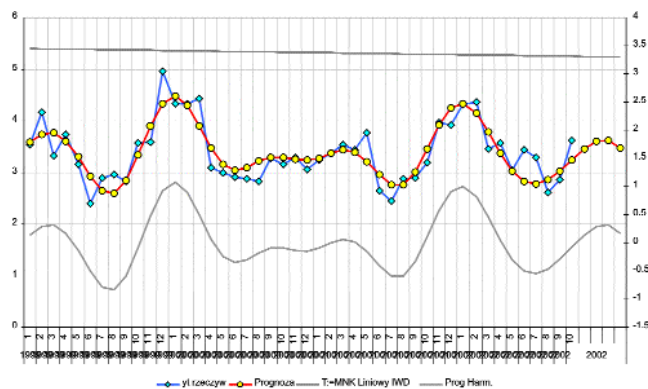
$RMSE$ - błąd średniokwadratowy w dwóch okresach rzeczywistych prognoz (listopad, grudzień);

$P_{n+1/y}$ - udział prognozy w wartości rzeczywistej zmiennej



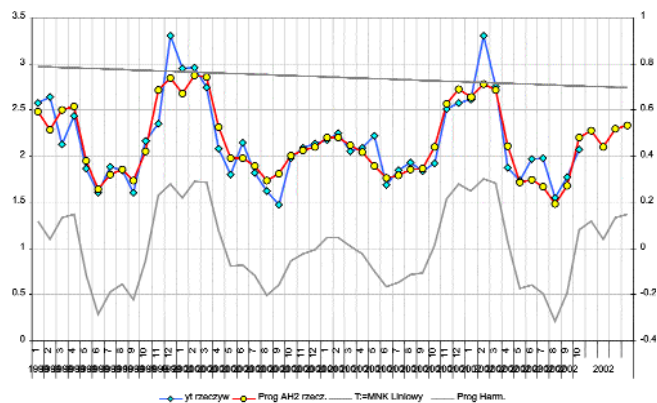
	listopad	grudzień	RMSE	$P_{n+1/y}$	$P_{n+1/y}$
AM1 WSPEED	2.57	2.64	-	-	-
Prognoza	2.45	2.61	0.08	95%	99%

Rys.1. Prognozy dla Stacji AM1: Prędkość wiatru; rok 2002



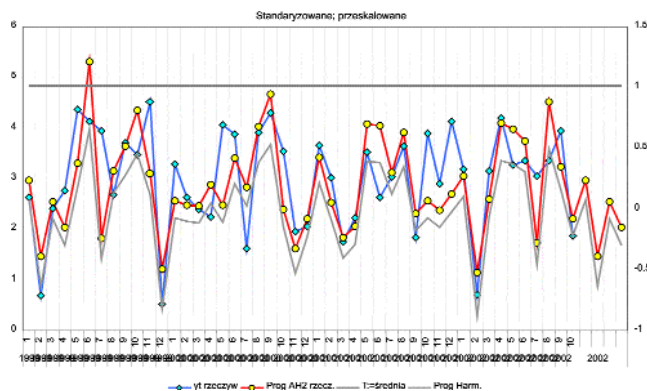
	listopad	grudzień	RMSE	P n+1/y	P n+1/y
AM5 WSPEED	3.43	3.43	-	-	-
Progniza	3.45	3.60	0.12	100%	105%

Rys.2. Prognozy dla Stacji AM5: Prędkość wiatru; rok 2002



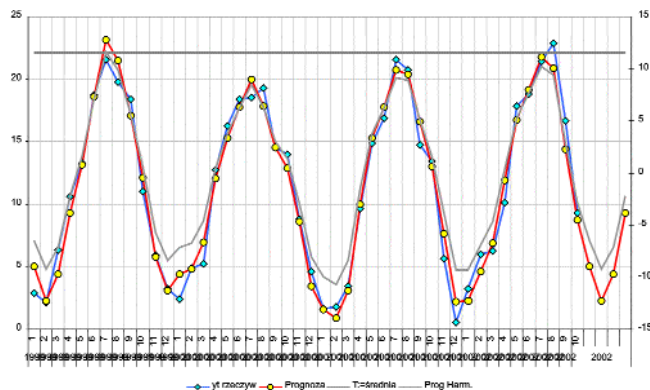
	listopad	grudzień	RMSE	P n+1/y	P n+1/y
AM3 WSPEED	2.04	1.80	-	-	-
Progniza	2.28	2.10	0.27	112%	117%

Rys.3. Prognozy dla Stacji AM3: Prędkość wiatru; rok 2002



	listopad	grudzień	RMSE	P n+1/y	P n+1/y
AM3 WSPEED	1008.94	1020.45	-	-	-
Prognoza	1011.06	1005.84	10.44	100%	99%

Rys.4. Prognozy dla Stacji AM3 :ciśnienie; rok 2002



	listopad	grudzień	RMSE	P n+1/y	P n+1/y
AM1 WSPEED	3.18	-3.84	-	-	-
Prognoza	3.05	0.30	2.93	96%	8%

Rys.5. Prognozy dla Stacji AM1: temperatura; rok 2002

4.3. Wnioski

Uzyskane wyniki wskazują na wysoką dokładność prognoz uzyskanych modelami widmowymi dla wybranych zmiennych meteorologicznych (okresy średnio miesięczne - prognozy w funkcji preparacyjnej). Zmiennymi, które stosunkowo trudno (z założoną dokładnością pomiędzy 75% a 125% udziału prognozy w wartości rzeczywistej) jest prognozować są szeregi temperatur. Prognozy temperatur mieszczą się w przedziałach dopuszczalności dla pierwszych okresów (na jeden, dwa okresy naprzód), są niestabilne w czasie.

5. SYNTETYCZNA ANALIZA EPIZODÓW Z 22 I 23 KWIETNIA 2002 ROKU, PRZY WYKORZYSTANIU ZMODYFIKOWANEJ ANALIZY WIDMOWEJ (STUDIUM PRZYPADKU; DANE GODZINNE)

Początkowy, cały okres badany ograniczono do ostatnich 30 obserwacji). Szczegółowe wyniki procedury poszukiwania okresu jednorodnych wariacji przedstawiono w tablicy (Tablica 4). Statystycznie istotne różnice w wariacjach zaobserwowano począwszy od liczebności 35 ($p = 0.0131$) dla liczby grup $r = 7$. Stąd, okresem jednorodnym wybrano okres 30 ostatnich obserwacji.

Wartym odnotowania jest fakt, że dla zbioru wszystkich obserwacji ($n=55$) nie został zbudowany model, gdyż nie spełniał założeń. Dla wyodrębnionego okresu zbudowano dwa modele, spośród których wybrano model spełniający kryterium min. AICC w całym okresie (okres modelu + okres ante). Zaproponowany model spełnił wszystkie założenia, co przedstawia Rysunek 8 oraz Tablica 5. Do badania zgodności rozkładu wykorzystano test Shapiro-Wilka-Francia z poprawką Roystona dla prób do 2000 obserwacji. Przy badaniu stacjonarności wykorzystano test Q Ljunga Boxa Pierca. Za szereg stacjonarny uznano szereg, dla którego dwanaście pierwszych współczynników autokorelacji i autokorelacji cząstkowej jest statystycznie nieistotne (Tablica 7). Analiza błędów (Tablica 6) potwierdza wysoką jakość uzyskanego modelu.

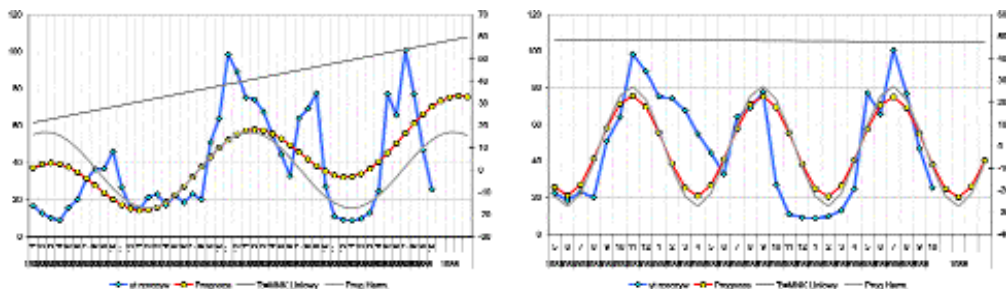
Estymowany model zawiera trend, wyodrębniony metodą iteracyjnej dekompozycji oraz osiem składników harmonicznym wyjaśniających 93,9% wariacji. Nie zastosowano żadnych filtrów (np. filtr Boxa Coxa, różnicowania, czy też filtrów opartych na medianie).

Interesującym wydają się być wnioski z analizy błędów. Niskie wartości (osobno dla okresu modelu 0.24 i ante 0.18) statystyki U oraz niskie RMSE (odpowiednio 3,2 oraz 6) przy dodatkowym oszacowaniu braku autokorelacji ($DW = 2.008$) wskazują na satysfakcjonującą stabilność modelu widmowego.

Jedynym elementem, który jak się wydaje na podstawie funkcji ACF i PACF (Rysunek 8), można by dalej, bardziej szczegółowo przeanalizować jest eliminacja pozostałości w strukturze oceny białego szumu.

Niebezpieczeństwem w stosowaniu analizy widmowej w prognozowaniu wydaje się jej największa zaleta jaką jest własność polegająca na zdolności odtwarzania w niemalże w 100% sygnału pierwotnego. Sytuację taką przedstawia Rysunek 9

Model ten, prawie w 100% generuje prognozy identyczne z wartościami rzeczywistymi (RMSE na poziomie 0.9 i 1.8; Statystyka U: 0.05 i 0.07 - Tablica 8). Błędem byłoby przyjęcie go za model predyktywny, pomijając jego własności, takie jak choćby stabilność parametrów w czasie czy autokorelację. Potrafi on doskonale odtwarzać przeszłość z niewiadomą możliwością predykcji, na wzór czarnej skrzynki.

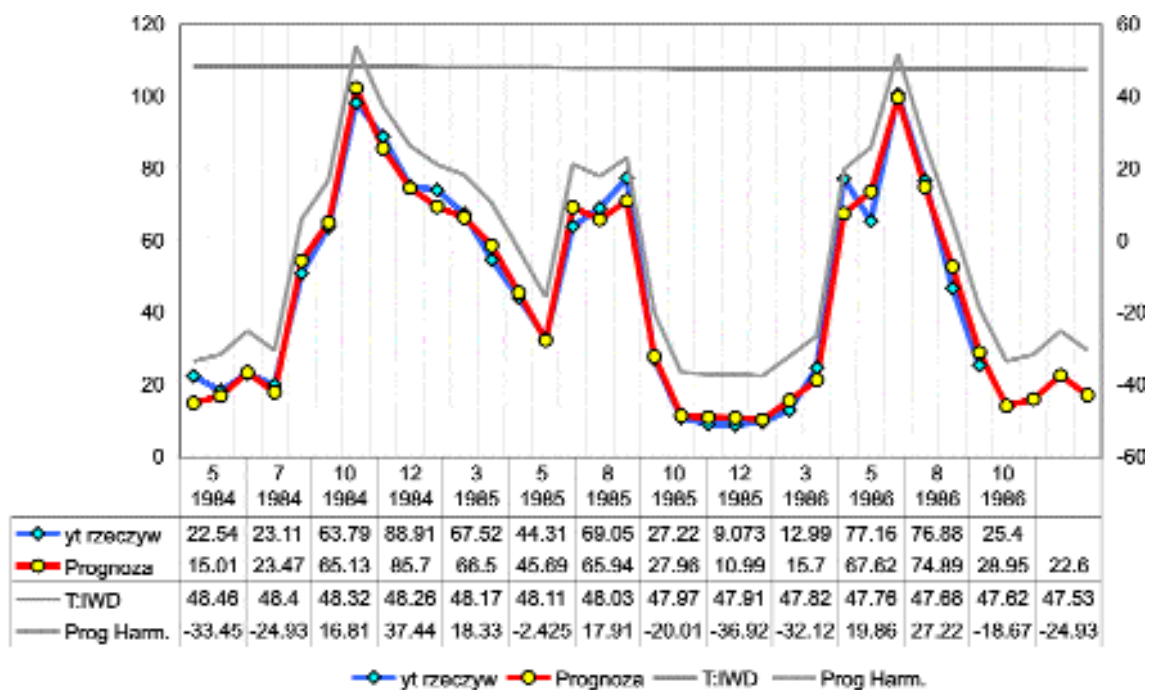


Rys. 6: Analiza jednorodności wariacji dla stężenia AM3 NO₂: (a) cały szereg; (b) wybrany, ostatni okres
[źródło: opracowanie własne]

$S(x_{ij}-x_0)^2$	$S_k(S)$	r_i	n	MSE	$\ln(S^{\wedge}j^2)$	$(n_j-1) \ln S^{\wedge}j^2$	$1/(n_j-1)$	$S_k(A)$	$S_k(B)$	M	C	CHI2	$v=r-1$	$p(CHI2)$	VAR~
3293.1	3293.1	1	5		6.7	26.9	0.25	26.9	0.25				0		
3349.9	6643.0	2	10	830.4	6.7	26.9	0.25	53.8	0.5	0.0	1.1	0.0	1	0.9871	0
4205.7	10848.7	3	15	904.1	7.0	27.8	0.25	81.6	0.75	0.1	1.1	0.1	2	0.9662	0
817.5	11666.2	4	20	729.1	5.3	21.3	0.25	102.9	1	2.6	1.1	2.3	3	0.5049	0
737.4	12403.6	5	25	620.2	5.2	20.9	0.25	123.8	1.25	4.8	1.1	4.4	4	0.3538	0
728.0	13131.6	6	30	547.1	5.2	20.8	0.25	144.6	1.5	6.7	1.1	6.1	5	0.2922	0
49.7	13181.3	7	35	470.8	2.5	10.1	0.25	154.7	1.75	17.7	1.1	16.1	6	0.0131	1
214.2	13395.5	8	40	418.6	4.0	15.9	0.25	170.6	2	22.6	1.1	20.7	7	0.0043	1
83.2	13478.7	9	45	374.4	3.0	12.1	0.25	182.7	2.25	30.6	1.1	28.0	8	0.0005	1

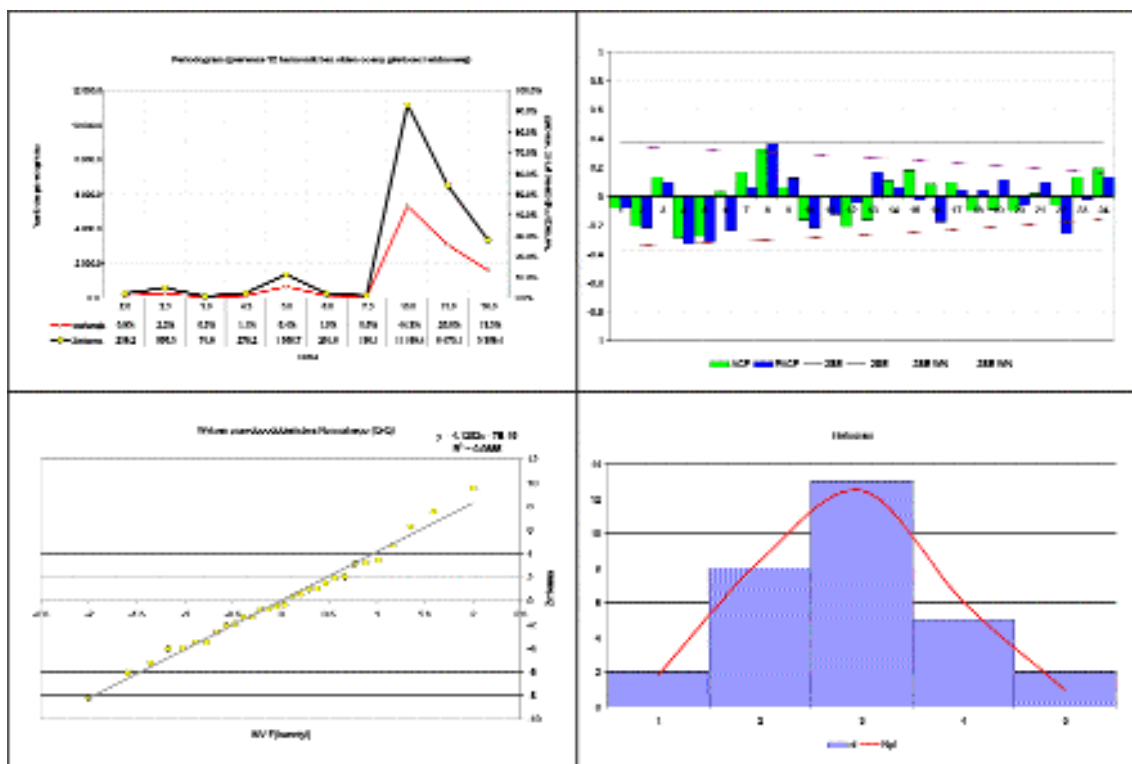
Tab.4. Szczegółowe obliczenia analizy jednorodności wariancji dla stężeń AM3 NO₂

[źródło: opracowanie własne]



Rys.7. Wykres rzeczywistych stężeń AM3 NO₂ (niebieski) wraz z prognozami uzyskanymi scenariuszem harmonicznym (czerwony)

[źródło: opracowanie własne]



Rys.8. Analiza własności prognoz uzyskanych scenariuszem harmonicznym od górnej lewej:
 (a) periodogram z oszacowaniem wariancji; (b) funkcja ACF i PACF z oszacowaniem białego szumu; (c) Wykres QQ reszt; (d) rozkład reszt
 [źródło: opracowanie własne]

Statystyka	Wartość	Decyzja	p0/wart. kryt.	Dodatkowe	Zmienna
R2QQ_N	0.99	Dopasowany	0.00	F = 1906.41	yt - P_t sort+
R2QQ_logN	0.91	Dopasowany	0.00	F = 289.01	yt - P_t sort_LN + MIN
ShapiroW	0.99	Normalny	0.97	v S-W = 30	yt - P_t
Pearson CHI2	1.37	Normalny	1.00	yt - P_t	
ACF	0.00	Stacjonarny		1	yt - P_t
PACF	0.00	Stacjonarny		1	yt - P_t
Kryt. Prognoz:	M M	0			

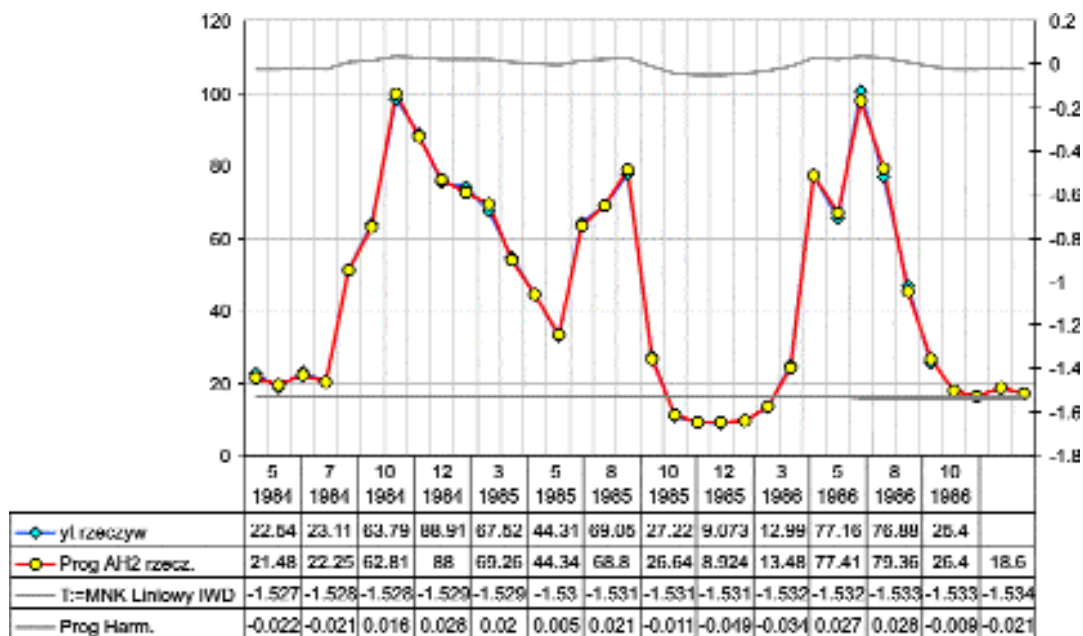
Tab.5. Podsumowanie własności modelu widmowego średniomiesięcznych stężeń NO₂ - reszty;
 [źródło: opracowanie własne]

ANALIZA BŁĘDÓW		NO ₂	
n (m)	24	RMSE m	3.2
n (a)	6	RMSE a	6.0
n (p)	4	RMSE p	
Trend IWD min 100		MAPE MODEL [%]	8.58
Harm: 8		MAPE ex ante [%]	9.23
Filtry: brak		MAPE ex post [%]	
AICC m	1457.7	Stat U Theila modelu	0.24
AICC a	181.5	Stat U Theila ex ante	0.18
AICC p		Stat U Theila ex post	
AICC m+a	2587.0	D-W (model)	1.682
		D-W (model+ex ante)	2.008

Tab.6. Analiza błędów modelu widmowego stężeń NO₂
[źródło: opracowanie własne]

opóźn.	ACF	PACF	Q Ljung	p(Q)	2SE	2SE WN	opóźn.	ACF	PACF	Q Ljung	p(Q)	2SE	2SE WN
1	-0.08	-0.08	0.20	0.65	0.37	0.35	13	-0.16	0.17	19.50	0.11	0.37	0.27
2	-0.21	-0.22	1.70	0.43	0.37	0.34	14	0.11	0.06	20.18	0.12	0.37	0.26
3	0.13	0.10	2.30	0.51	0.37	0.34	15	0.18	-0.02	22.25	0.10	0.37	0.25
4	-0.28	-0.33	5.26	0.26	0.37	0.33	16	0.09	-0.18	22.75	0.12	0.37	0.24
5	-0.28	-0.32	8.29	0.14	0.37	0.32	17	0.09	0.05	23.41	0.14	0.37	0.23
6	0.03	-0.23	8.32	0.22	0.37	0.32	18	-0.11	0.04	24.32	0.14	0.37	0.22
7	0.17	0.05	9.53	0.22	0.37	0.31	19	-0.09	0.12	25.04	0.16	0.37	0.21
8	0.32	0.36	14.11	0.08	0.37	0.30	20	-0.11	-0.06	26.12	0.16	0.37	0.20
9	0.06	0.12	14.29	0.11	0.37	0.30	21	0.02	0.10	26.15	0.20	0.37	0.19
10	-0.16	-0.22	15.54	0.11	0.37	0.29	22	-0.06	-0.26	26.60	0.23	0.37	0.18
11	0.01	-0.12	15.54	0.16	0.37	0.28	23	0.13	-0.02	28.95	0.18	0.37	0.17
12	-0.21	-0.05	17.98	0.12	0.37	0.27	24	0.19	0.14	34.87	0.07	0.37	0.16

Tab.7. Funkcja ACF, PACF, test Q Ljunga Boxa Pierca modelu stężeń NO₂
[źródło: opracowanie własne]



Rys.9. Wykres rzeczywistych stężeń NO₂ (niebieski) wraz z prognozami uzyskanymi scenariuszem harmonicznym (czerwony) bez analizy założeń
[źródło: opracowanie własne]

ANALIZA BŁĘDÓW		NO2	
n (m)	24	RMSE m	0.9
n (a)	6	RMSE a	1.8
n (p)	4	RMSE p	
Trend IWD min 100		MAPE MODEL [%]	2.05
Harm: 12		MAPE ex ante [%]	2.59
Filtry: l=0.5		MAPE ex post [%]	
AICC m	57.5	Stat U Theila modelu	0.05
AICC a	112.6	Stat U Theila ex ante	0.07
AICC p		Stat U Theila ex post	
AICC m+a	343.8	D-W (model)	3.475
		D-W (model+ex ante)	3.537

Tab.8. Analiza błędów modelu widmowego, bez analizy założeń, stężeń NO₂
[źródło: opracowanie własne]

6. PODSUMOWANIE

W części analitycznej raportu przedstawiliśmy szczegółowe wyniki pomiarów stanu i jakości atmosfery w aglomeracji gdańskiej i Tczewie. Podsumowując prowadzony w roku 2002 monitoring trzeba stwierdzić, iż obrazuje on dobrze wszystkie zależności i tendencje, jakim podlegają emisje zanieczyszczeń. W odniesieniu więc do wyników pomiarów można przedstawić następujące wnioski:

- stężenia dwutlenku siarki ustabilizowały się na poziomie około 25-30% normy, niewielki wzrost na niektórych stacjach spowodowany był mroźnymi dniami w grudniu 2002,
- stężenia dwutlenku azotu i tlenków azotu odnotowują niewielki wzrost, zauważalny szczególnie na stacjach położonych w pobliżu ciągów komunikacyjnych (AM1) lub w otoczeniu niskiej zabudowy z indywidualnym ogrzewaniem gazowym (AM9),
- problemem, jak i w całej Europie, jest poziom stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀; średnioroczne stężenia pyłu wzrosły we wszystkich stacjach, z wyjątkiem stacji w Sopocie, gdzie wskutek podejmowanych działań ograniczających emisje zanotowano spadek o 10%,
- stężenia ozonu w aglomeracji gdańskiej o wartościach powyżej 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ występowały przez 17 dni nie przekraczając dopuszczalnej (60) wielkości,
- pomiary zanieczyszczeń komunikacyjnych wykonywane przy pomocy urządzenia DOAS wskazują na występowanie w rejonie intensywnego ruchu samochodowego bardzo wysokich stężeń, zarówno zanieczyszczeń podstawowych, jak i węglowodorów.

10 lat działalności Fundacji ARMAAG pozwala z całą pewnością na sformułowanie spostrzeżeń i wniosków dotyczących celów i organizacji sieci monitoringu atmosfery.

Poniżej najważniejsze z nich:

- wraz z podnoszeniem świadomości ekologicznej społeczeństwa wzrasta zapotrzebowanie na dobrą, obiektywną informację o jakości powietrza,
- informacja o jakości powietrza pozyskana z automatycznych stacji o określonym poziomie jakości jest traktowana bardzo poważnie przez odbiorców, jako informacja obiektywna,
- rozłożenie kosztów działania sieci automatycznych pomiarów na organa samorządu i administracji rządowej wynikające z zasady sub sydiarności umożliwia prawidłową eksploatację i stały rozwój sieci monitoringu, a w dalszym etapie systemów ocen jakości powietrza,
- każda sieć musi posiadać udokumentowany system zapewnienia jakości rozumiany jako zestaw procedur, w wyniku stosowania których można zapewnić informacje o wysokim poziomie wiarygodności,
- sieć monitoringu regionalnego ARMAAG w chwili obecnej jest otwartą platformą informacyjną o jakości powietrza w aglomeracji gdańskiej i Tczewie, korzystającą w pełni z dostępnych narzędzi informatycznych.

Fundacja ARMAAG zrealizowała pierwszą misję sieci monitoringu - zdobywania danych odpowiedniej jakości. Na tej bazie można budować dalsze etapy systemu oceny jakości powietrza w aglomeracji gdańskiej i w Tczewie realizując następne misje:

- rozpowszechniania danych z odpowiednim komentarzem i analizą zdarzeń,
- prognoz długoterminowych i krótkookresowych,
- misje szkoleniowe i strategiczne polegające na edukacji i doradztwie przy wdrażaniu nowych sieci monitoringu.

Zamieszczone w punkcie 5 opracowania autorskie przedstawiają możliwości wykorzystania pozyskanych danych z sieci ARMAAG w opracowaniach naukowych i progностycznych. Potwierdzają jednocześnie dobrą jakość tych danych.

Wyrażamy nadzieję, że nasze doświadczenia będą przydatne w budowaniu systemów ocen jakości powietrza.

NOTATKI

Fundacja ARMAAG
80-761 Gdańsk ul. Elbląska 66
www.armaag.gda.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone
ISBN 83-913904-2-03

Egzemplarz bezpłatny

Projekt i opracowanie graficzne: Karolina Menegon