



## Ocena wpływu stężeń zanieczyszczeń powietrza w GOP-ie na jakość powietrza w rejonie Opola i Kędzierzyna-Koźła

*Tadeusz Tumidajski<sup>\*</sup>, Jarosław Siewior<sup>\*\*</sup>,  
Dariusz Foszcz<sup>\*</sup>, Tomasz Niedoba<sup>\*</sup>*

*<sup>\*</sup>Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*

*<sup>\*\*</sup>Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska,  
Wydział Inspekcji, Katowice*

### 1. Wprowadzenie

Jednymi z podstawowych zanieczyszczeń powietrza, podlegającymi szczegółowej analizie są ditlenek siarki (SO<sub>2</sub>) oraz pyły zawieszone o rozmiarach cząstek poniżej 10 mikrometrów (PM10), ze względu na ich silny, negatywny wpływ na środowisko, w tym zdrowie ludzi (Juda-Rezler, 2006). Ponadto charakteryzują się one długotrwałymi okresami utrzymywania się w atmosferze i zdolność propagacji ich przez ruchy powietrza (wiatr). Transport tych zanieczyszczeń może dotyczyć sporych odległości. Sposoby badania propagacji wymienionych dwóch zanieczyszczeń mogą być różne. Autorzy w prezentowanym artykule stosują opracowane modele stochastyczne propagacji zanieczyszczeń wykorzystując je do oceny napływu zanieczyszczeń z Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego na rejon Opola i Kędzierzyna-Koźła. Górnośląski Okręg Przemysłowy jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych rejonów w Polsce. Ze względu na lokalizację kilkunastu znaczących zakładów produkcyjnych przemysłu ciężkiego zachodzi konieczność ciągłego monitorowania stężeń różnego rodzaju zanieczyszczeń pyłowych i gazowych w tym rejonie. Wykorzystując możliwości stochastycznego modelowania zanieczyszczeń powietrza na podstawie danych zbieranych przez

stacje monitoringu i wykorzystania ich do prognozowania stężeń zanieczyszczeń przez stacje monitoringu można oceniać wpływ poszczególnych zakładów emitujących zanieczyszczenia na średnie stężenia w obszarach przyległych. Generalnie rzecz biorąc propagację zanieczyszczeń powietrza można opisywać za pomocą modeli deterministycznych, wykorzystujących równania różniczkowe fizyki atmosfery lub modeli fenomenologicznych analizujących statystycznie zebrane dane pomiarowe. Zgodność obu typów modeli z danymi rzeczywistymi jest różna, zakres i sens ich stosowalności także są inne i wielokrotnie wybór modelu jest określony celem jego stosowania (Markiewicz, 2004; Namieśnik i Warndencki, 2002; Zwoździak, 1998) oraz posiadanym zbiorem danych.

W przypadku analizy propagacji zanieczyszczeń w dużych aglomeracjach przemysłowych stosowanie modeli deterministycznych jest praktycznie niemożliwe ze względu na potrzeby w zakresie danych (charakterystyka źródeł emisji, topografii terenu, charakterystyk meteorologicznych itp.) i dlatego próbuje się wykorzystać fenomenologiczne podejście do problemu opisu propagacji z zastosowaniem różnych technik obliczeniowych – od prostych metod statystycznych do sieci neuronowych (Bolzern et al., 1982; Bringfelt, 1971; Finzi i Tebaldi, 1982; Holnicki-Szulc, 2006; Markiewicz, 2004; Morawska-Horawska, 1988; Skrzypski, 2001; Zwoździak, 1998).

Istnieje wiele podejść określających postacie modeli statystycznych wiążących stężenia zanieczyszczeń powietrza z warunkami meteorologicznymi i sytuacjami synoptycznymi które były opracowywane dla wielu aglomeracji oraz różne zespoły badawcze (Bolzern et al., 1982; Bringfelt, 1971; Finzi i Tebaldi, 1982; Skrzypski, 2001). Nasz zespół także zajmował się przez lata tym zagadnieniem w odniesieniu do Krakowa i GOP-u (Foszcz et al., 2000; 2006; Tumidajski et al., 2007; 2009; Siewior et al., 2011).

Prezentowany artykuł poświęcony jest próbie wykorzystania modelu opracowanego przez zespół autorów do oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza produkowanych w rejonie GOP-u na poziom zanieczyszczeń powietrza w rejonach sąsiednich, tzn. w Kędzierzynie-Koźlu i Opolu. Jest to zarazem próba opracowania metodyki takiej oceny na podstawie analizy różny wiatrów i percentyli zanieczyszczeń powietrza ocenianych przez stacje pomiarowe badanych ośrodków. Ten rodzaj modeli nadaje się najlepiej do realizacji tego typu zadań.

Należy zwrócić także uwagę na fakt, że problematyką praktycznego modelowania propagacji zanieczyszczeń w sposób istotny zajmuje się kilka ośrodków w kraju (m. in. Politechnika Gdańska, Politechnika Warszawska, Politechnika Wrocławska, Politechnika Lubelska) rozwiązując te zagadnienia dla innych obszarów i stosując różne metody matematyczne (Astel et al., 2001; 2002; Juda-Rezler, 2006; Namieśnik i Warndencki, 2002; Markiewicz, 2004; Pawłowski, 2011; Zwoździak, 1998).

## 2. Przyjęte modele stochastyczne jako baza oceny propagacji zanieczyszczeń – ditlenku siarki i pyłów zawieszonych PM10

Wieloletnie badania średniodobowych stężeń SO<sub>2</sub> mierzonych w stacjach zlokalizowanych w miastach GOP-u doprowadziły do następujących wniosków:

- stężenia SO<sub>2</sub> w dwu kolejnych dobach są ze sobą skorelowane na bardzo wysokim poziomie istotności (Tumidajski et al., 2007; 2009),
- wraz ze wzrostem prędkości wiatru stężenie SO<sub>2</sub> (średniodobowe) spada, co można opisać parabolą lub hiperbolą (Bolzern et al., 1982; Finzi i Tebaldi, 1982; Tumidajski et al., 2005),
- analogicznie zachowuje się zależność między SO<sub>2</sub> i temperaturą.

Te obserwacje pozwalają na zaproponowanie addytywnej postaci zależności SO<sub>2</sub>(*t*) i wymienionych wyżej wielkości czyli:

$$\text{SO}_2(t) = a\text{SO}_2(t-1) + b(v - v_0)^2 + c(T - T_0)^2 + d \quad (1)$$

gdzie:

SO<sub>2</sub>(*t*), SO<sub>2</sub>(*t*-1) – średniodobowe stężenia SO<sub>2</sub> w dniach *t* i *t*-1,  
*v* i *T* – średnie prędkości wiatru i temperatury powietrza w dniu *t*,  
*v*<sub>0</sub> i *T*<sub>0</sub> – przyjęte współrzędne (odcięte) wierzchołków parabol.

Analogiczny model został wykorzystany do oceny transportu zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym w rejonie Wiednia, przy czym wykorzystano w nim uogólnione zależności hiperboliczne [Bolzern et al., 1982].

Przykładem zastosowania modelu (1) do opisu zmian średniodobowych zanieczyszczeń  $\text{SO}_2$  w okolicach stacji pomiarowej w Zabrzu są modele zamieszczone w zestawie 1 [Siewior et al., 2011]. Warto zwrócić uwagę, że współczynniki tych równań (modeli *a posteriori*) są praktycznie stabilne (nie zmieniają się bardzo w kolejnych okresach – sezonach grzewczych branych pod uwagę w trakcie prowadzonych badań (zwłaszcza przy  $\text{SO}_2(t-1)$ ), co może być interpretowane na korzyść poprawności wyboru postaci modelu. Współczynniki wszystkich równań są istotne (ich błędy znajdują się w nawiasach kwadratowych) oraz istotne są także współczynniki korelacji wielokrotnej  $R$ .

### **Zestaw 1. Modele średniodobowych zanieczyszczeń powietrza $\text{SO}_2$ dla Zabrza w sezonach grzewczych 2008/2009, 2009/2010**

#### **Zabrze**

##### **Sezon 2008/2009**

$$S(t) = -13,11 + 0,515 \cdot S(t-1) + 0,091 \cdot (T-5)^2 + 0,982 \cdot (v-6)^2$$

[4,485] [0,0555] [0,0181] [0,1864]

$$R^2 = 51,58\%, S_r = 13,942$$

##### **Sezon 2009/2010**

$$S(t) = -21,11 + 0,570 \cdot S(t-1) + 0,075 \cdot (T-5)^2 + 1,334 \cdot (v-6)^2$$

[5,508] [0,0502] [0,0115] [0,2324]

$$R^2 = 67,51\%, S_r = 14,323$$

Biorąc pod uwagę fakt, że punkty o współrzędnych będących wartościami średnimi rozpatrywanych zmiennych spełniają badane równanie regresji można, na podstawie wyznaczonych średnich, stwierdzić że największy wpływ na kształtowanie się stężeń  $\text{SO}_2(t)$  ma stężenie  $\text{SO}_2(t-1)$  około 40–50%, potem prędkość wiatru około 40–45% i wreszcie temperatura około 5–10%. Wynika z tego też, że współczynnik przy  $\text{SO}_2(t-1)$  przejmuję pewien ułamek wpływu temperatury.

Na podstawie uzyskanych danych dla sezonu 2009/2010 wyznaczono modele dla  $S(t)$  oraz pyłu zawieszonego poniżej 10 mikrometrów  $\text{PM}_{10}(t)$  w obszarze Opola i Kędzierzyna-Koźła. Ze względu na to, że

rozkład prędkości wiatrów w tych miastach był inny niż w miastach GOP-u przyjęto dla  $v_0$  wartość 3 m/s.

## Zestaw 2. Modele średniodobowych zanieczyszczeń powietrza SO<sub>2</sub> dla Opola i Kędzierzyna-Koźła w sezonie grzewczym 2009/2010

### Opole

#### Sezon 2009/2010

$$S(t) = 0,089435 + 0,5813 \cdot S(t-1) + 0,0514 \cdot (T-5)^2 + 0,3388 \cdot (v-3)^2$$

[2,091]    [0,0506]            [0,0071]            [0,4458]

$$R^2 = 69,89\%, S_r = 8,199$$

$$PM10(t) = -3,3344 + 0,4484 \cdot PM10(t-1) + 0,1319 \cdot (T-5)^2 + 5,0237 \cdot (v-3)^2$$

[6,3642]    [0,0575]            [0,0192]            [1,2403]

$$R^2 = 54,99\%, S_r = 23,849$$

### Kędzierzyn-Koźle

#### Sezon 2009/2010

$$S(t) = -3,71457 + 0,51892 \cdot S(t-1) + 0,04961 \cdot (T-5)^2 + 1,15149 \cdot (v-3)^2$$

[2,3477]    [0,0597]            [0,0089]            [0,4379]

$$R^2 = 62,55\%, S_r = 9,527$$

$$PM10(t) = -21,2093 + 0,4112 \cdot PM10(t-1) + 0,1874 \cdot (T-5)^2 + 8,5520 \cdot (v-3)^2$$

[6,9125]    [0,0507]            [0,0226]            [1,2379]

$$R^2 = 66,18\%, S_r = 27,050$$

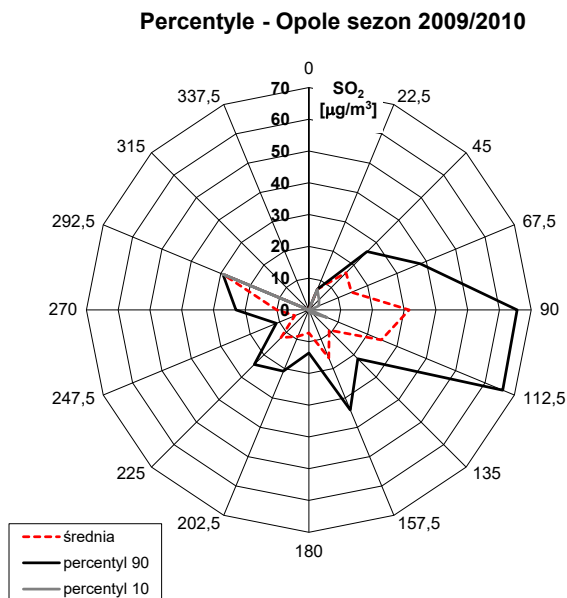
Wszystkie współczynniki regresji w modelach są istotne (z wyjątkiem współczynnika przy prędkości wiatru w Opolu). Błędy estymacji (odchylenie resztkowe  $S_r$ ) dla SO<sub>2</sub> są porównywalne z błędami dla Zabrze; błędy oszacowania dla pyłu zawieszzonego dla Opola i Kędzierzyna-Koźła są także porównywalne. Warto zwrócić uwagę na to, że efekty zalegania stężeń są wyższe dla SO<sub>2</sub>, co oznacza, że przewietrzanie i osia-

danie pyłów jest lepsze w Opolu i Kędzierzynie-Koźlu. Warto zauważyć, że opracowany dla GOP-u (Tumidajski et al., 2007) ogólny model propagacji zanieczyszczeń (1) sprawdza się doskonale dla obszarów przyległych. Można więc stwierdzić, że model (1) ma charakter modelu powszechnie obowiązującego.

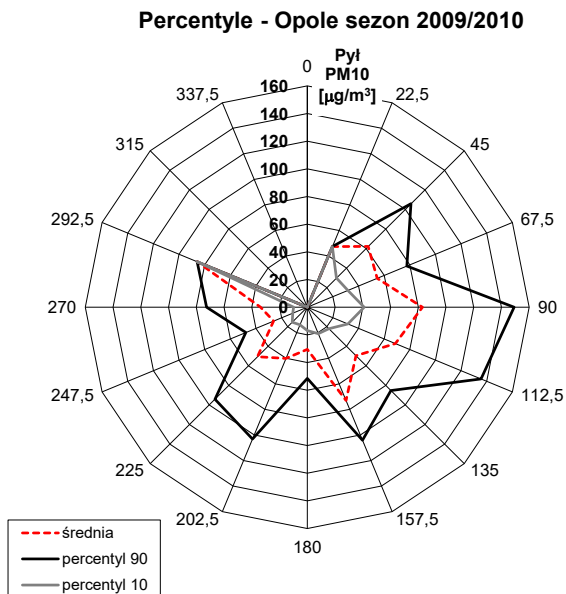
### 3. Analiza wpływu zanieczyszczeń powietrza w GOP-ie na ich stężenia w rejonach Opola i Kędzierzyna-Koźla

Na podstawie zebranych danych przeprowadzono analizę rozkładu percentyli w obszarze Opola i Kędzierzyna-Koźla, tzn. wyznaczono poziomy osiągnięcia 10% i 90% wartości stężenia zanieczyszczenia na danym kierunku, co zostało przedstawione na rys. 1a, b, c, d. Jak łatwo zauważyć najwyższe wartości percentyli odnotowano na kierunkach związanych z Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym (patrz mapa rys. 2), co dowodzi napływu zanieczyszczeń z tego obszaru (na kierunkach 292,5° do 360° nie odnotowano średnich kierunków wiatrów w ciągu doby)

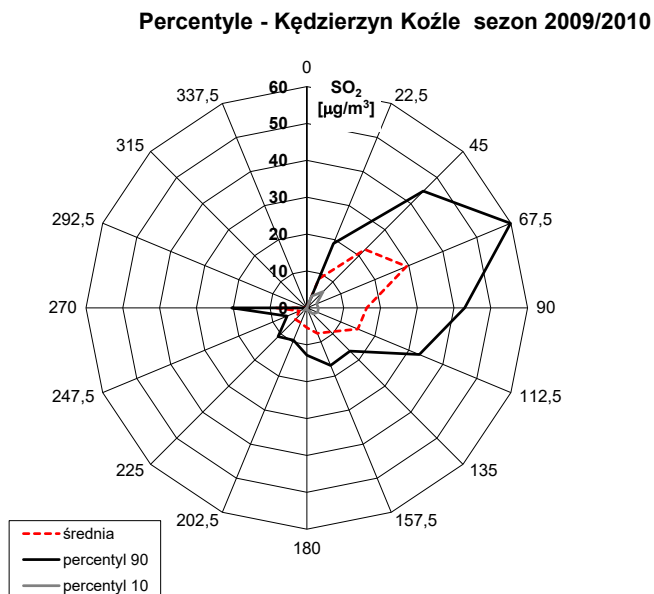
a)



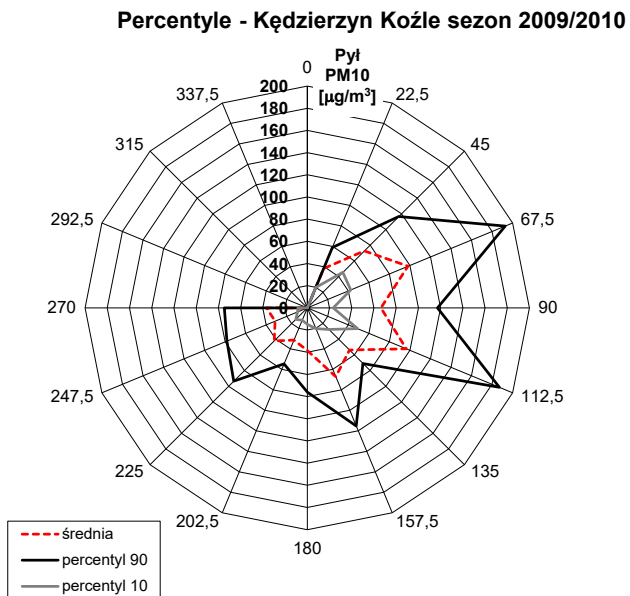
b)



c)

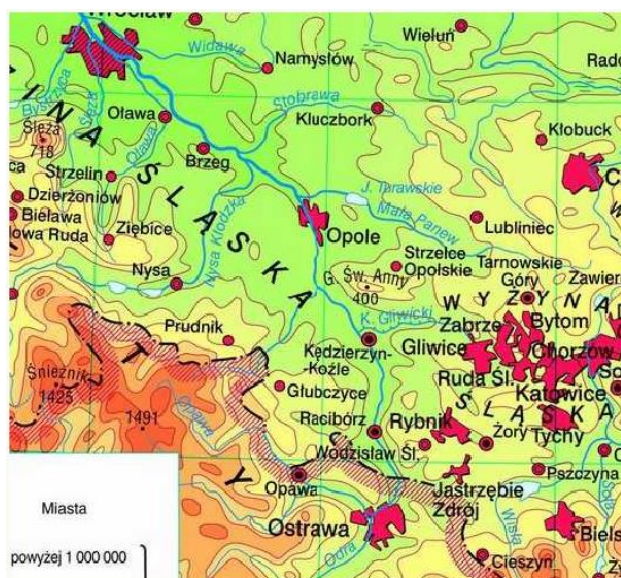


d)



**Rys. 1.** Percentyle dla miast Opole i Kędzierzyn-Koźle; a) SO<sub>2</sub> – Opole; b) PM10 – Opole; c) SO<sub>2</sub> – Kędzierzyn-Koźle; d) PM10 – Kędzierzyn-Koźle  
**Fig. 1.** Percentiles for cities Opole and Kędzierzyn-Koźle; a) SO<sub>2</sub> – Opole; b) PM10 – Opole; c) SO<sub>2</sub> – Kędzierzyn-Koźle; d) PM10 – Kędzierzyn-Koźle





**Rys. 2.** Mapa okolic Opola i Kędzierzyna-Koźla;

Źródło: <http://www.swiatpodrozy.pl>

**Fig. 2.** Map of the area of Opole and Kędzierzyn-Koźle;

Source: <http://www.swiatpodrozy.pl>

Stosując zasadę wprowadzania zmiennych pozornych do równań regresji można uwzględnić kierunki napływu powietrza na badany region. Jeżeli przyjmiemy, że zmienna losowa  $Q_i$  przyjmuje wartość 1 gdy wiatr wieje z zadanego kierunku (przyjętego kąta napływu) natomiast wartość 0 dla pozostałych kierunków możemy taką zmienną wprowadzić do równania. W równaniu regresji otrzymujemy współczynnik przy zmiennej  $Q_1$ , który oznacza ilość nanoszonego zanieczyszczenia z wybranego kierunku. Równanie (1) przyjmuje więc postać (Tumidajski et al., 2007).

$$SO_2(t) = aSO_2(t-1) + b(v - v_0)^2 + c(T - T_0)^2 + dQ_i + e \quad (2)$$

gdzie:

$Q_1$  – kierunki napływu zanieczyszczonego powietrza ( $Q_1=1$ ),

$Q_2$  – kierunki napływu czystego powietrza ( $Q_2=1$ )

**Zestaw 3. Modele średniodobowych zanieczyszczeń powietrza SO<sub>2</sub> dla Opola i Kędzierzyna-Koźła w sezonie grzewczym 2009/2010, z uwzględnieniem zmiennych pozornych**

**Opole**

Q<sub>1</sub> – od 67,5° do 112,5° – zanieczyszczone powietrze

Q<sub>2</sub> – od 157,5° do 270° – czyste powietrze

$$S(t) = 0,3284 + 0,57474 \cdot S(t-1) + 0,04839 \cdot (T-5)^2 + 0,21225 \cdot (v-3)^2 + 5,0941 \cdot Q_1$$

[2,0584] [0,0498] [0,0071] [0,4411] [1,9406]

$$R^2 = 70,89\%, S_r = 8,062$$

$$S(t) = 1,0269 + 0,58052 \cdot S(t-1) + 0,04975 \cdot (T-5)^2 + 0,45470 \cdot (v-3)^2 - 3,5878 \cdot Q_2$$

[2,0767] [0,0496] [0,0070] [0,4390] [1,2691]

$$R^2 = 71,06\%, S_r = 8,038$$

$$PM10(t) = -3,01865 + 0,44724 \cdot PM10(t-1) + 0,12820 \cdot (T-5)^2 + 4,86048 \cdot (v-3)^2 + 5,76412 \cdot Q_1$$

[6,3706] [0,0575] [0,0195] [1,2502] [5,6112]

$$R^2 = 54,24\%, S_r = 23,846$$

$$PM10(t) = 0,4093 + 0,4308 \cdot PM10(t-1) + 0,1300 \cdot (T-5)^2 + 5,2699 \cdot (v-3)^2 - 10,6673 \cdot Q_2$$

[6,3679] [0,0566] [0,0188] [1,2181] [3,6829]

$$R^2 = 56,06\%, S_r = 23,367$$

## Kędzierzyn-Koźle

$Q_1$  – od  $45^\circ$  do  $90^\circ$  – zanieczyszczone powietrze

$Q_2$  – od  $180^\circ$  do  $270^\circ$  – czyste powietrze

$$S(t) = - 3,03046 + 0,51815 \cdot S(t-1) + 0,03587 \cdot (T-5)^2 + 0,83812 \cdot (v-3)^2 + 10,42709 \cdot Q_1$$

[2,1732]    [0,0551]            [0,0086]            [0,4087]            [1,8760]

$$R^2 = 68,01\%, S_r = 8,805$$

$$S(t) = 0,04198 + 0,49863 \cdot S(t-1) + 0,04794 \cdot (T-5)^2 + 0,75361 \cdot (v-3)^2 - 3,74939 \cdot Q_2$$

[2,8354]    [0,0596]            [0,0088]            [0,4659]            [1,6278]

$$R^2 = 64,27\%, S_r = 9,412$$

$$PM10(t) = - 20,9990 + 0,4114 \cdot PM10(t-1) + 0,1824 \cdot (T-5)^2 + 8,4426 \cdot (v-3)^2 + 3,7454 \cdot Q_1$$

[6,9309]    [0,0508]            [0,0239]            [1,2509]            [5,6815]

$$R^2 = 66,83\%, S_r = 26,345$$

$$PM10(t) = - 12,8017 + 0,4003 \cdot PM10(t-1) + 0,1820 \cdot (T-5)^2 + 7,7052 \cdot (v-3)^2 - 8,3022 \cdot Q_2$$

[8,2912]    [0,0507]            [0,0227]            [1,3159]            [4,5860]

$$R^2 = 66,61\%, S_r = 26,878$$

Uzyskane równania ze zmiennymi pozornymi charakteryzują się następującymi własnościami:

- współczynniki przy zmiennych  $Q_1$  są dodatnie, tzn. odnotowano napływ zanieczyszczeń z GOP-u; stężenie ich rośnie zgodnie z wartością współczynnika (patrz rys. 1 i 2),
- współczynniki przy zmiennych  $Q_1$  dla pyłów są nieistotne; oznacza to, że transport pyłów z terenów GOP-u jest niewielki,
- współczynnik przy  $Q_1$  w równaniu dla  $SO_2(t)$  w rejonie Kędzierzyna-Koźła jest około dwa razy większy niż w Opolu, wg autorów jest to spowodowane usytuowaniem, na drodze transportu na teren Opola, Góry św. Anny (patrz mapa, rys. 2),
- współczynniki przy  $Q_2$  we wszystkich równaniach są ujemne oraz istotne, czyli przy napływie czystego powietrza (napływającego z obszarów uprzemysłowionych w niewielkim stopniu – rys. 2) zapylenie i ilość  $SO_2$  w sposób oczywisty spada,
- współczynniki przy  $Q_2$  w równaniach opisujących  $SO_2(t)$  są niewielkie, czyli zmiany związane z kierunkiem napływu nie wywołują większych skutków,
- współczynniki przy  $Q_2$  w równaniach opisujących  $PM_{10}(t)$  są duże, czyli zmniejszenie ilości pyłu poprzez napływ czystego powietrza jest znaczący. Można postawić hipotezę, że różnice w nanosie zanieczyszczeń (ich zmniejszaniu) dla Opola i Kędzierzyna-Koźła są nieistotne.

## 5. Wnioski końcowe

Podsumowując zaprezentowane badania należy stwierdzić, że model zaprezentowany (wzory 1 i 2) przez zespół autorów ma charakter uniwersalny i może być z powodzeniem stosowany do opisu średniodobowych stężeń zanieczyszczeń ( $SO_2$  i pyłu zawieszonego  $PM_{10}$ ) w aglomeracjach miejskich. Rozłożenie wielkości stężeń zanieczyszczeń na trzy składowe reprezentujące zaleganie (inercję) zanieczyszczeń, wpływ temperatury średniej powietrza oraz wiatru w ciągu doby pozwala na ustalenie ich ważności (rangi wpływu). Wprowadzenie zmiennych pozornych charakteryzujących kierunki napływu powietrza pozwala wyznaczyć wielkość średnią ilości nanoszonych zanieczyszczeń z obszarów przylegających. Przedstawiane modele mogą być podstawą organizacji systemu prognozowania poziomów stężeń w danym obszarze, jeżeli

w tych równaniach będą używane prognozy średniej temperatury dobowej w obszarze, średniej prędkości wiatru a także średniego jego kierunku. Należy zwrócić uwagę, że przy występujących bardzo wysokich poziomach stężeń (i przekroczeń ich poziomów dopuszczalnych) pojawia się potrzeba prowadzenia akcji profilaktycznych oraz likwidujących takie stany. Z problemem przekraczania dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń boryka się wiele polskich miast, np. Warszawa, Kraków, Tarnów. Problem ten został zauważony przez odpowiednie organy Unii Europejskiej, które w roku 2013 nakazały złożyć odpowiednie wyjaśnienia i podjąć określone działania w tej kwestii. Przykładem takich działań może być Kraków, w którym ustalono 3 stopnie zagrożenia zanieczyszczeniem powietrza: I – o charakterze informacyjnym, II – informacyjno-ostrzegawczym, III – o charakterze nakazowym. Przy tym ostatnim można by podejmować decyzje ograniczające emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Np. dopuszczalne będzie nakazanie ograniczenia produkcji przez firmy wytypowane do redukcji emisji. Już przy II stopniu możliwe byłoby zaś wprowadzenie zakazu wjazdu do centrum miasta wszystkich samochodów poza komunikacją miejską, policją i pogotowiem. Działania o tym charakterze podejmowane są w całej Europie.

Autorzy zamierzają kontynuować prace w omawianej tematyce.

*Artykuł został wykonany w ramach realizacji  
pracy statutowej nr 11.11.100.276.*

## Literatura

1. **Astel A., Mazerski J., Polkowska Z., Namieśnik J.:** Zastosowanie analizy szeregów czasowych do oceny zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w rejonie Trójmiasta, *Chem. Inż. Ekol.*, 8, 826–839 (2002).
2. **Astel A., Mazerski J., Polkowska Z., Namieśnik J.:** Wpływ trans regionalnego transportu zanieczyszczeń na stan powietrza atmosferycznego w rejonie Trójmiasta (Polska). Część II. Wykorzystanie analizy wariancji i analizy wiązkowej, *Chem. Inż. Ekol.*, 8, 582–599 (2001).
3. **Bolzern P., Fronza G., Runze E., Uberhuber C.:** *Statistical analysis of winter sulphur dioxide concentration data in Vienna*, *Atmosph. Envir.*, vol. 16 no 8, 1899–1906 (1982).
4. **Bringfelt B.:** *Important factors for the sulphur dioxide concentration in central Stockholm*. *Atmosph. Envir.* 5, 949–972 (1971).

5. **Finzi G., Tebaldi G.:** *A mathematical model for air pollution forecast and alarm in an urban area.* Atmosph. Envir., vol. 16, no 9, 2055–2090 (1982).
6. **Foszcz D., Niedoba T., Siewior J., Tumidajski T.:** *Stochastic models of air pollutants spreading as the method of emission amount management allowing elimination of high pollution concentrations in ecosystems,* Environmental Management Accounting and Cleaner Production Conference, CD, Graz, Austria, 2006.
7. **Foszcz D., Niedoba T., Siewior J.:** *The methods of forecasting of SO<sub>2</sub> and suspended dust concentrations for warning purposes in the example of selected polluted regions in Poland,* in Ecosystems and Sustainable Development V, red. E. Tiezzi, C.A. Brebbia, S.E. Jorgensen and D. Almorza Gomar, pp. 477-491, WIT Press, Southampton, Boston, Great Britain, 2005.
8. **Holnicki-Szulc P.:** *Modele propagacji zanieczyszczeń atmosferycznych w zastosowaniu do kontroli i sterowania jakością środowiska,* Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2006.
9. <http://www.swiatpodrozy.pl>
10. **Juda-Rezler K.:** *Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko,* Wyd. OWPW, Warszawa, 2006.
11. **Markiewicz M.T.:** *Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2004.
12. **Morawska-Horawska M.:** *Stochastyczne modele prognozy średniego dobowego stężenia SO<sub>2</sub> dla Krakowa,* Wiadomości IMGW, t. IX, z. 3, 1988.
13. **Namieśnik J., Wardencki W.:** *Monitoring and analytics of atmospheric air pollution,* Pol. J. Environ. Stud., 11, 211–218 (2002).
14. **Pawłowski L.:** *Rola monitoringu w realizacji zrównoważonego rozwoju,* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection) 13, 333–346 (2011).
15. **Siewior J., Tumidajski T., Foszcz D., Niedoba T.:** *Prognozowanie stężeń zanieczyszczeń powietrza w GOP-ie modelami statystycznymi.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection) 13, 1261–1274 (2011).
16. **Skrzypski J.:** *Analiza i modelowanie pól imisji zanieczyszczeń powietrza w dużych miastach,* Polska Akademia Nauk, Łódź, 2001.
17. **Tumidajski T., Foszcz D., Niedoba T., Siewior J.:** *Modele stochastyczne zanieczyszczeń powietrza w aglomeracjach przemysłowych,* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection) 11, 543–554 (2009).

18. **Tumidajski T., Foszcz D., Niedoba T., Siewior J.:** *Ocena napływu zanieczyszczeń powietrza różnymi metodami statystycznymi*, Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, no 23, Koszalin – Darłowo, Wydawnictwo Uczelniane PK, 2007.
19. **Tumidajski T., Foszcz D., Siewior J.:** *Wpływ lokalizacji stacji pomiarowych na efekty modelowania stochastycznego stężeń SO<sub>2</sub> w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym*, Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, no 22, Koszalin – Ustronie Morskie, Wydawnictwo Uczelniane PK, 2005.
20. **Zwoździak J.:** *Prognozy i analizy stężeń zanieczyszczeń w powietrzu w regionie Czarnego Trójkąta*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1998.

## **Evaluation of Air Pollution Concentrations Influence in Upper Silesia on Air Quality in Area of Opole and Kędzierzyn-Koźle**

### **Abstract**

The stochastic models of air pollution spreading may be used as good description of its changeability considering mean daily changes of mean temperature, winds velocity and their directions. Applying the earlier elaborated forms of models (equations 1 and 2) and the collected data the equations for Opole and Kędzierzyn-Koźle were determined. The obtained results were very satisfying (high statistical significance of models and their coefficients) for models a posteriori (equation 1) and models with applied dummy variables (equation 2) describing directions of air flow.

It should be stated that the elaborated type of model is correct for every type of conditions for which it was designed what means evaluation of average daily concentrations of pollution in selected areas.

The correctness of the model form should be verified by the more precise analyzes of this type of modeling conducted for other areas, not necessary located in the neighborhood of such polluted region as Upper Silesia.

**Słowa kluczowe:** prognozowanie zanieczyszczenia powietrza, modele statystyczne stężeń zanieczyszczeń, monitoring środowiska

**Key words:** forecasting of air pollution, statistical models of pollution concentrations, environmental monitoring