

*Halina Pyta**, *Grażyna Trzpiot***

ANALIZA MAKSYMALNYCH POZIOMÓW STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ DLA GÓRNEGO ŚLĄSKA***

Streszczenie. Prognozowanie zmian zanieczyszczenia powietrza można ująć w sposób deterministyczny lub stochastyczny. Notowano również próby łączenia obu sposobów opisu. W podejściu deterministycznym charakterystyczne jest szukanie związków przyczynowo-skutkowych. Relacje pomiędzy stężeniem a emisją, meteorologią, topografią można opisać globalnie, badając złożone zjawisko dyspersji zanieczyszczeń – modele dyfuzyjne. Inną grupę stanowią modele regresji liniowej. Artykuł prezentuje analizę maksimum dla czterech zanieczyszczeń gazowych (CO, NO₂, O₃, SO₂), charakteryzujących się różnym pochodzeniem, podlegającym różnym transformacjom natury fizykochemicznej, o różnych rozkładach sezonowych. Wyniki analizy zależności przeprowadzono za pomocą wielowymiarowej analizy regresji dla dwóch wybranych okresów badawczych.

Słowa kluczowe: emisja, meteorologia, wielowymiarowa analiza regresji.

I. WPROWADZENIE

W związku z obserwowanym w ostatnich latach rozwojem sieci automatycznych stacji monitoringu, zarówno w aglomeracjach miejskich, jak i w rejonach o dużym nasyceniu przemysłu, rośnie zapotrzebowanie na coraz doskonalsze i możliwe proste narzędzia prognozowania stężenia, nie wymagające instalowania maszyn o dużej mocy obliczeniowej czy kosztownego sprzętu do badania pionowych profili stanu atmosfery. Budowa takich sieci pozwala kontrolować wystąpienia niebezpiecznie wysokich poziomów stężenia i przy odpowiednich warunkach technicznych umożliwia podejmowanie działań interwencyjnych. Jednym z elementów procedur alarmowych jest system prognozowania zmian stężenia. Pierwsze polskie doświadczenia

* Dr, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Zabrze.

** Dr hab., Katedra Statystyki, Akademia Ekonomiczna, Katowice.

*** Praca została zrealizowana w ramach grantu KBN 6 P04G 086 14.

w tym zakresie związane są z wykorzystaniem modelu regresji do przewidywania średniodobowego stężenia SO_2 w Krakowie w okresie grzewczym (m. in. na podstawie szacunkowych ilości spalanego węgla). Opracowano również algorytmy prognozy średniodobowego stężenia CO , pyłu i SO_2 dla niektórych stacji monitoringu w rejonie GOP wykorzystujące odmianę modelu autoregresji. Brakuje modelu do predykcji krótkoterminowych wartości stężenia, istotnych w aspekcie procedur alarmowych, np. – do prognozowania maksimum 30 min w ciągu doby.

Do niedawna można było wyróżnić dwa, zasadniczo odmienne sposoby podejścia do prognozowania zmian zanieczyszczenia powietrza – deterministyczny i stochastyczny. Notowano również próby łączenia obu sposobów opisu. W podejściu deterministycznym charakterystyczne jest szukanie związków przyczynowo-skutkowych. Relacje pomiędzy stężeniem a takimi czynnikami jak emisja, meteorologia, topografia można opisać globalnie, badając złożone zjawisko dyspersji zanieczyszczeń – modele dyfuzyjne. Inną grupę stanowią modele regresji liniowej. Stężenie jest w tym przypadku sumą ważoną kilku predyktorów. Wiedza na temat mechanizmów wynoszenia, transportu, konwersji zanieczyszczeń i wielu innych zjawisk towarzyszących pomaga właściwie dobrać grupę predyktorów spośród dostępnych danych pomiarowych. Predyktorem może być nietypowa zmienna objaśniająca, np. dzień tygodnia, jako kategoria przypisywana emisji. Zmienną niezależną może być nawet stężenie obserwowane wcześniej, co można tłumaczyć bezwładnością układu, związaną z określoną cyrkulacją powietrza, wymuszoną warunkami. Zdefiniowany model, podobnie jak wszystkie modele statystyczne, ma zasięg ograniczony do lokalnych warunków i musi być aktualizowany w miarę dopływu danych. Zaletą tej metody jest możliwość sklasyfikowania istotnych czynników wpływu według wartości ich wag. Warunkiem stosowania modelu regresji jest spełnienie dość ostrych założeń dotyczących członu losowego, zależności między zmiennymi niezależnymi i autokorelacji w pojedynczej serii czasowej.

II. CHARAKTERYSTYKA DANYCH POMIAROWYCH

Do analizy wykorzystano dane rocznej serii pomiarowej (średnie 30-minutowe) z automatycznej stacji monitoringu w Zabrze. O wyborze tej stacji zdecydowało jej specyficzne położenie, gdzie zaobserwować można zarówno oddziaływanie źródeł przemysłowych, jak również niskiej emisji komunalnej i wpływów komunikacji. Równie istotnym argumentem był szeroki zakres pomiarów, obejmujący SO_2 , NO , NO_2 , CO , O_3 , pył PM_{10} i sumę węglowodorów (THC). Dodatkowo w stacji mierzone są następujące elementy meteorologiczne: temperatura (TEMP) i wilgotność powietrza

(WILG), prędkość (PRED) i kierunek wiatru (KIER), promieniowanie całkowite (PROM). Wybrano dane z okresu 1.04.1995–31.03.1996, bez większych anomalii pogodowych typu wyjątkowo mroźna i długa zima czy zimne i deszczowe lato.



Rys. 1. Plan sytuacyjny położenia stacji pomiarowej w Zabrzu

Do analizy wybrano jedynie rekordy danych zawierające 30-minutowe maksimum stężenia określonego zanieczyszczenia w ciągu doby i zapisy pozostałych wielkości z tej samej chwili. Do każdego rekordu wprowadzono dodatkowo kod miesiąca (NRM) i dnia tygodnia (NRD). Dla uproszczenia opisu zrezygnowano z oznaczenia kierunku wiatru w stopniach na rzecz numeru sektora 8-kierunkowej róży wiatrów (N = 0, NE = 1 itd.).

Stacja znajduje się w parterowym budynku Domu Harcerza przy ul. Wolności 350a. Lokalizację stacji pokazano na rys. 1. Za źródło przemysłowe o zasadniczym oddziaływaniu należy uznać Kombinat Koksowniczy ZABRZE (odległość ok. 100 m, otaczający stację łukiem od strony N-NE do E) oraz w mniejszym stopniu Elektrociepłownię – ZABRZE (odległość ok. 900 m w kierunku SE). Lokalnym źródłem emisji w sezonie grzewczym są indywidualne paleniska domowe 3-kondygnacyjnych budynków mieszkalnych położonych w odległości ok. 20 m w kierunku NE. W odległości ok. 30 m w kierunku SW biegnie ul. Wolności (w lecie oddzielona ścianą wysokiej zieleni), gdzie szczytowe natężenie ruchu wynosi ok. 1,5 tys. samochodów na godzinę.

Spśród sześciu oznaczanych zanieczyszczeń i pięciu parametrów meteorologicznych, zrezygnowano w analizie z udziału THC. Stosowana zasada oznaczenia, przebiegająca ze spalaniem, budzi ogólne trudności w interpretacji wyniku spowodowane zakłócającym wpływem CO, istotnym w warunkach miejskich. Poza tym zapis stężenia THC cechuje kilkakrotnie wyższy

Tablica 1

Podstawowe charakterystyki analizatorów stężenia w stacji monitoringu w Zabrze

Metoda oznaczenia	Zakres pomiaru	Granica detekcji	Dokładność
Analizator stężenia CO ML 8830			
Absorpcja promieniowania IR	0 do 50 ppm	200 ppb	1% pełnego zakresu
Analizator stężenia O ₃ ML 8810			
Absorpcja promieniowania UV	0 do 500 ppb	2 ppb	2 ppb (dla 80% zakresu)
Analizator stężenia NO _x ML 8841			
Chemoluminescencja	0 do 500 ppb	0,5 ppb	1,5 ppb
Analizator stężenia SO ₂ ML 8850 S			
Fluorescencja wywołana promieniowaniem UV	0 do 500 ppb	1 ppb	1 ppb
Analizator stężenia węglowodorów THC DANI TNMH 451			
Jonizacja płomieniowa	0 do 10 ppm	0,01 ppm	0,03 ppm dla 80% zakresu 0,02 ppm dla 20% zakresu
Analizator stężenia pyłu zawieszzonego TEOM 1400 z głowicą R & P PM10			
Mikrowaga oscylacyjna	0 do 1000 µg/m ³	5 µg/m ³	5 mg/m ³ (przepł. 1 l/min)

odsetek wartości brakujących, co znacznie ogranicza liczbę analizowanych (kompletnych) rekordów danych.

III. WYNIKI ANALIZY MAKSYMALNYCH POZIOMÓW STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ

Zdecydowano się wykonać analizę maksimum dla 4 zanieczyszczeń gazowych (CO, NO₂, O₃, SO₂), charakteryzujących się różnym pochodzeniem, podlegającym różnym transformacjom natury fizykochemicznej, o różnych rozkładach sezonowych. Analizę przeprowadzono oddzielnie dla sezonu letniego (ZABRZE: kwiecień–wrzesień 1995 roku) oraz sezonu zimowego (ZABRZE – październik 1995 r. marzec 1996 r.). Wyniki analizy zależności przeprowadzonej przy pomocy wielowymiarowej analizy regresji dla dwóch wybranych okresów badawczych prezentują tab. 2–9. Prezentowane modele mają istotne parametry i spełniają założenia o autokorelacji modelu (test *F*).

Zależności dla okresu letniego dla poziomu zanieczyszczeń CO i NO₂ charakteryzuje stosunkowo niski poziom skorygowanego R₂. Modele dla poziomu zanieczyszczeń O₃ i SO₂ charakteryzuje wysoki poziom dopasowania, ale zależą od dużej liczby zmiennych objaśniających (początkowy zbiór zmiennych był równy 11 zmiennym).

W badanym zimowym okresie najlepiej udaje się za pomocą regresji wyjaśnić zależność dla maksymalnych poziomów CO, następnie O₃ i SO₂. Modele dla tej części roku dają prognozy z mniejszym średnim błędem szacunku.

Tablica 2

Model regresji liniowej zależności CO od czynników meteorologicznych oraz chemicznych dla okresu letniego w Zabrzu

$R = 0,73$		$R^2 = 0,53$		Skorygowane $R^2 = 0,53$		
$F(7,1261) = 204,66$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 0,53		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	<i>t</i>	<i>p</i> -level
Stała			3,26	0,16	19,82	0,00
NRM	-0,30	0,02	-0,15	0,01	-13,56	0,00
TEMP	-0,25	0,03	-0,04	0,00	-9,94	0,00
WILG	-0,21	0,03	-0,01	0,00	-8,16	0,00
PM10	0,18	0,02	0,00	0,00	7,16	0,00
NO	0,37	0,03	0,02	0,00	14,70	0,00
NO ₂	0,24	0,03	0,01	0,00	8,70	0,00
OZON	-0,11	0,03	-0,01	0,00	-3,74	0,00

Tablica 3

Model regresji liniowej zależności NO₂ od czynników meteorologicznych
oraz chemicznych dla okresu letniego w Zabrzu

$R = 0,75$		$R^2 = 0,57$		Skorygowane $R^2 = 0,56$		
$F(10,1385) = 180,35$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 10,73		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p -level
Stała			23,65	3,47	6,82	0,00
NRD	-0,08	0,02	-0,69	0,15	-4,71	0,00
KIER	0,05	0,02	0,46	0,17	2,72	0,01
PRED	-0,18	0,02	-3,63	0,49	-7,39	0,00
TEMP	0,48	0,03	1,34	0,08	16,41	0,00
WILG	-0,07	0,03	-0,07	0,03	-2,39	0,02
PROM	-0,21	0,03	-0,02	0,00	-7,55	0,00
SO ₂	0,15	0,03	0,06	0,01	5,78	0,00
PM10	0,08	0,03	0,04	0,01	2,99	0,00
NO	0,37	0,02	0,58	0,04	15,53	0,00
OZON	-0,15	0,03	-0,13	0,03	-5,25	0,00

Tablica 4

Model regresji liniowej zależności O₃ od czynników meteorologicznych
oraz chemicznych dla okresu letniego w Zabrzu

$R = 0,87$		$R^2 = 0,76$		Skorygowane $R^2 = 0,76$		
$F(11,1232) = 354,89$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 14,93		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p -level
Stała			84,84	4,16	20,39	0,00
NRM	-0,18	0,02	-3,58	0,36	-9,89	0,00
NRD	0,09	0,02	1,34	0,23	5,82	0,00
KIER	0,06	0,02	0,90	0,23	3,97	0,00
TEMP	0,52	0,03	2,26	0,12	19,42	0,00
WILG	-0,27	0,02	-0,43	0,04	-11,36	0,00
PROM	-0,07	0,02	-0,01	0,00	-3,02	0,00
SO ₂	0,05	0,02	0,08	0,03	2,29	0,02
PM10	0,15	0,02	0,23	0,03	8,01	0,00
NO	-0,31	0,02	-2,73	0,19	-14,20	0,00
NO ₂	-0,08	0,02	-0,32	0,10	-3,22	0,00
CO	-0,08	0,02	-11,55	2,41	-4,80	0,00

Tablica 5

Model regresji liniowej zależności SO_2 od czynników meteorologicznych oraz chemicznych dla okresu letniego w Zabrze

$R = 0,79$		$R^2 = 0,62$		Skorygowane $R^2 = 0,62$		
$F(11,1388) = 203,81$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 29,13		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p-level
Stała			94,09	11,13	8,45	0,00
NRM	-0,05	0,03	-1,50	0,76	-1,99	0,05
KIER	-0,24	0,02	-6,06	0,49	-12,39	0,00
PRED	0,18	0,03	7,97	1,19	6,70	0,00
TEMP	-0,18	0,04	-1,25	0,25	-5,04	0,00
WILG	-0,23	0,03	-0,63	0,09	-7,36	0,00
PROM	0,23	0,03	0,05	0,01	8,03	0,00
PM10	0,49	0,03	0,72	0,04	17,83	0,00
NO	0,09	0,03	0,47	0,15	3,12	0,00
NO_2	0,18	0,03	0,60	0,09	7,07	0,00
CO	-0,11	0,02	-9,41	2,09	-4,50	0,00
OZON	-0,13	0,03	-0,29	0,06	-4,62	0,00

Tablica 6

Model regresji liniowej zależności CO od czynników meteorologicznych oraz chemicznych dla okresu zimowego w Zabrze

$R = 0,93$		$R^2 = 0,87$		Skorygowane $R^2 = 0,87$		
$F(11,1174) = 690,72$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 0,54		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p-level
Stała			0,20	0,23	0,84	0,40
NRM	0,05	0,01	0,03	0,01	3,48	0,00
NRD	-0,05	0,01	-0,04	0,01	-4,25	0,00
KIER	-0,08	0,01	-0,01	0,00	-6,32	0,00
PRED	-0,15	0,02	-0,27	0,03	-9,63	0,00
TEMP	-0,09	0,02	-0,02	0,00	-4,84	0,00
WILG	0,1	0,02	0,01	0,00	5,93	0,00
PROM	-0,13	0,02	-0,00	0,00	-7,40	0,00
PM10	0,51	0,02	0,01	0,00	23,00	0,00
NO	0,35	0,02	0,02	0,00	17,54	0,00
NO_2	0,05	0,02	0,01	0,00	2,94	0,00
OZON	0,07	0,02	0,01	0,00	3,80	0,00

Tablica 7

Model regresji liniowej zależności NO_2 od czynników meteorologicznych oraz chemicznych dla okresu zimowego w Zabrzu

$R = 0,76$		$R^2 = 0,59$		Skorygowane $R^2 = 0,58$		
$F(9,1462) = 228,53$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 11,35		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p-level
Stała			69,02	2,70	25,56	0,00
NRM	-0,35	0,02	-1,92	0,11	-17,91	0,00
NRD	-0,11	0,02	-0,96	0,15	-6,48	0,00
KIER	-0,09	0,02	-0,12	0,03	-4,77	0,00
TEMP	0,34	0,02	0,76	0,05	13,97	0,00
WILG	-0,17	0,02	-0,26	0,03	-9,00	0,00
PROM	0,08	0,02	0,04	0,01	4,38	0,00
SO_2	0,14	0,03	0,04	0,01	5,29	0,00
PM10	0,19	0,03	0,03	0,01	5,77	0,00
CO	0,18	0,03	1,94	0,34	5,69	0,00

Tablica 8

Model regresji liniowej zależności O_3 od czynników meteorologicznych oraz chemicznych dla okresu zimowego w Zabrzu

$R = 0,82$		$R^2 = 0,68$		Skorygowane $R^2 = 0,68$		
$F(6,1372) = 485,25$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 11,07		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p-level
Stała			106,43	1,74	61,13	0,00
NRM	-0,30	0,02	-1,84	0,10	-18,64	0,00
NRD	0,04	0,02	0,35	0,15	2,27	0,02
WILG	-0,50	0,02	-0,55	0,02	-31,13	0,00
SO_2	-0,34	0,02	-0,11	0,01	-17,61	0,00
NO	0,38	0,03	0,28	0,02	12,87	0,00
CO	-0,52	0,03	-11,03	0,63	-17,51	0,00

Wyniki regresji dały podstawy do wyselekcjonowania zmiennych objaśniających dla modeli do prognozowania maksymalnego poziomu zanieczyszczeń. Wyraźny jest wpływ czynnika sezonowego – wszystkie modele miały jako istotną zmienną miesiąc i dzień tygodnia (NRM i NRD). We wszystkich modelach występuje po stronie zmiennych objaśniających wilgotność powietrza (WILG), ważnym czynnikiem jest również wiatr, jego kierunek i prędkość (KIER lub PRED). Ciekawym wynikiem jest zestawienie czynników warun-

kujących to samo zanieczyszczenie w różnych okresach roku. Wysoki poziom CO latem warunkuje poziom pyłu, NO, NO₂ i O₃, zimą natomiast po stronie czynników chemicznych nie mamy zmian, natomiast dochodzi uzależnienie od warunków meteorologicznych.

Tablica 9

Model regresji liniowej zależności SO₂ od czynników meteorologicznych oraz chemicznych dla okresu zimowego w Zabrzu

$R = 0,82$		$R^2 = 0,67$		Skorygowane $R^2 = 0,67$		
$F(9, 1218) = 272,89$		$p < 0,0000$		średni błąd szacunku 46,18		
Dane	BETA	st. err. w BETA	B	st. err. w B	t	p -level
Stała			204,69	16,91	12,11	0,00
NRD	0,06	0,02	2,20	0,68	3,25	0,00
KIER	0,23	0,02	1,57	0,12	12,86	0,00
PRED	-0,07	0,02	-7,07	2,04	-3,47	0,00
TEMP	-0,45	0,02	-4,73	0,26	-18,15	0,00
WILG	-0,22	0,03	-1,33	0,16	-8,51	0,00
PROM	0,24	0,03	0,17	0,02	9,26	0,00
NO	0,34	0,02	1,02	0,06	16,13	0,00
NO ₂	0,21	0,02	1,13	0,12	9,10	0,00
OZON	-0,35	0,03	-2,24	0,16	-13,74	0,00

Wysoki poziom NO latem zależy od SO₂, NO, O₃ i od poziomu pyłu, zimą nieistotny jest wpływ NO. Poziom alarmujący dla ozonu występuje latem w zależności od występowania wszystkich badanych czynników chemicznych, zimą zaś od NO, CO i SO₂. Zanieczyszczenie, jakim jest SO₂ zimą, jest związane z występowaniem NO, NO₂ i O₃, latem należy uwzględnić dodatkowo poziom pyłu i CO.

LITERATURA

- Enders G. (1982), *Deposition of Ozone to Mature Spruce Forest: Measurements and Comparison to Models*, Environ. Pollut., **75**, 61-67.
- McCullister G. M., Wilson K. R. (1975), *Linear Stochastic Models for Forecasting Daily Maxima and Hourly Concentrations of Air Pollutants*, Atmos. Environ., **9**, 417-423.
- Simpson R. W., Layton A. P. (1983), *Forecasting Peak Ozone Levels*, Atmos. Environ., **17**, 1649-1654.
- Zasady projektowania elementów sieci monitoringu zanieczyszczenia atmosfery. Sieci alarmowe w aglomeracjach miejsko-przemysłowych*, PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1991.

Halina Pyta, Grażyna Trzpiot

**AN ANALYSIS OF MAXIMUM CONCENTRATION OF POLLUTION
FOR UPPER SILESIA**

(Summary)

Forecasting of pollution of the air can be made in a deterministic or stochastic way. Both ways of analysis have also been used. In the deterministic way we try to find relations between variables such as meteorological variables and ozone, carbon oxide, nitrogen oxide and nitrogen dioxide (O_3 , CO, NO, NO_2). Another possibility is to build regression models. We present the result of multivariable regression models of the maximum level of concentration of each variable for two different seasons of the year.