

*Leszek Ośródka, Katarzyna Ośródka, Janina Święch-Skiba*

**SMOG ZIMOWY W GÓRNOŚLĄSKIM OKRĘGU PRZEMYSŁOWYM  
JAKO JEDEN ZE SKUTKÓW ANTROPOGENICZNYCH  
ZMIAN KLIMATU LOKALNEGO**

**SMOG IN THE UPPER SILESIA INDUSTRY REGION AS AN ONE  
OF THE CONSEQUENCES OF ANTHROPOGENIC CHANGES  
OF THE LOCAL CLIMATE**

Na podstawie danych pochodzących z Regionalnego Systemu Monitoringu Powietrza w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym (GOP) oraz wcześniejszych badań zaproponowano kryteria identyfikacji epizodów smogu zimowego. Stosując wspomniane kryteria, rozpoznano epizody smogu zimowego w chłodnych sezonach 1993/94–1996/97. Zbadano związki pomiędzy danymi meteorologicznymi oraz stężeniem dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego. Badano wpływ antropogenicznych zmian klimatu lokalnego na występowanie epizodów smogu zimowego.

**WSTĘP**

Automatyczne monitorowanie jakości powietrza pozwala na szybkie i stosunkowo pełne rozpoznanie warunków aerosanitarnych na obszarze objętym badaniami. Poza swą istotną rolę poznawczą oraz prowadzeniem „nadzoru ogólnego” nad zanieczyszczeniem powietrza stwarza także nowe narzędzie ekologiczne – diagnozowanie zagrożenia smogowego.

Większość funkcjonujących w Europie miejskich lub regionalnych sieci monitoringowych spełnia z powodzeniem tę funkcję, choć brak jest – w zasadzie powszechnie przyjętych – uniwersalnych wskaźników zagrożenia smogowego (Breiling, Alcamo 1992; Godzik, Hławiczka, Poborski 1996).

Regionalny Automatyczny System Monitoringu Powietrza w województwie katowickim stoi także przed problemem alarmowania sytuacji smogowych. Alarmowanie sytuacji smogowych jest ściśle związane z kryteriami epizodu smogowego i poziomów alertowych (Walczewski 1993).

Niniejsza praca ma na celu przedstawienie takich sytuacji aerosanitarnych, które zgodnie z ustalonymi w wyniku wykorzystania różnych podejść badawczych kryteriami klasyfikowałyby się do miana epizodów smogu zimowego, a także na wskazanie wpływu antropogenicznych zmian klimatu lokalnego na występowanie takiego zagrożenia.

### MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY

Wykorzystany w opracowaniu materiał pomiarowy pochodzi z następujących podsystemów gromadzenia danych:

1) bazy danych Centralnej Stacji Akwizycji Danych Automatycznego Systemu Monitoringu Zanieczyszczeń Powietrza w województwie katowickim,

2) bazy danych meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział w Katowicach.

Z pierwszego źródła pochodzą dane imisyjne i meteorologiczne dla 11 stacji pomiarowych, wchodzących w skład systemu i zlokalizowanych na terenie GOP i jego obrzeża.

Analizę sytuacji smogowych przeprowadzono dla półrocza chłodnego październik 1993 – marzec 1997 na podstawie danych o stężeniach dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego.

### WYBÓR KRYTERIUM OCENY SYTUACJI SMOGOWEJ W GOP

Dla potrzeb niniejszego opracowania terminem epizodu smogowego opatruje się takie sytuacje aerosanitarnie, których wystąpienie – ze względu na natężenie zjawiska i jego długotrwałość – może spowodować narażenie organizmów żywych na upośledzenie swych funkcji fizjologicznych (Zejda 1996).

W przypadku smogu zimowego powszechnie stosowanym wskaźnikiem zagrożenia jest stężenie pyłu zawieszonego (PM10) i dwutlenku siarki (Hławiczka 1986; Bower 1994; Schwartz 1996).

Przekroczenie wartości krytycznych tych substancji w określonym czasie jest miarą stopnia zagrożenia smogowego.

Istotnym problemem badawczym, a także praktycznym są kryteria, na podstawie których wyznacza się próg zagrożeń smogowych, przy czym stosowane są następujące podejścia:

– administracyjne (wartości krytyczne określa się na podstawie krotności norm ustawowych),

– statystyczne (wartości krytyczne określa się na podstawie parametrów rozkładu statystycznego populacji pomiarów stężeń zanieczyszczeń, np. określony percentyl rozkładu),

– medyczne (wartości krytyczne określa się na podstawie badań, najczęściej epidemiologicznych, wpływu stężeń zanieczyszczeń powietrza na zdrowie populacji).

Bogaty materiał pomiarowy dotyczący zanieczyszczenia powietrza, warunków meteorologicznych w GOP oraz epidemiologii chorób układu krążenia i układu oddechowego umożliwił prowadzenie różnymi metodami prac określających kryterium występowania smogu zimowego na tym terenie.

Do wyznaczenia kryteriów epizodów smogu zimowego w GOP skorzystano przede wszystkim z wyników pracy Zejdy (1996), który na podstawie związków pomiędzy stężeniami dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego a zachorowaniami i zgonami na choroby układu krążenia i oddechowego ustalił, że przekroczenie dobowego poziomu  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , traktowanego jako wskaźnik zanieczyszczeń, średniego obszarowego stężenia dwutlenku siarki powoduje istotne statystycznie skutki zdrowotne w danej populacji.

Inne podejście statystyczne zaproponowano w pracy Ośródk i in. (1997). Opierając się na podobnych danych, progi kryteriów usiłowano wyznaczyć za pomocą metody analizy skupień.

Tabela 1

Parametry rozkładu stężeń średniodobowych dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego z okresu październik 1993 – wrzesień 1997

Parameters of distribution of mean daily concentrations of sulphur dioxide and suspended dust during the period October 1993 – September 1997

Badane zanieczyszczenia	Wartości $S_{24}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Wartości $S_{24}$ dla wybranych percentyli ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	śr.	min.	max.	25%	50%	75%	90%	95%	98%	99%
Średnia obszarowa dla GOP: SO <sub>2</sub> PM10	56	9	315	27	42	73	114	145	179	192
Średnia obszarowa dla GOP: SO <sub>2</sub>	61	7	370	35	50	72	111	149	194	231
Stacja maksymalna: Bytom PM10	75	7	554	33	54	98	159	210	270	313
Stacja maksymalna: Bytom	73	6	447	45	60	86	129	166	230	255

Analiza wykazała, że brane pod uwagę sytuacje ułożyły się w cztery grupy, przy czym podwyższone ryzyko zdrowotne występowało w kompleksie sytuacji meteorologiczno-aerosanitarnej, przy której średnia obszarowa w dobie wartość stężenia dwutlenku siarki oscylowała około  $150 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , a równocześnie zawartości pyłu zawieszonego na całym obszarze były wyższe od  $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ustalone w ten sposób wartości krytyczne porównano z rozkładami statystycznymi populacji badanych zanieczyszczeń. Analizę przeprowadzono dla dwóch parametrów, służących tutaj do identyfikacji epizodów, tj. dla dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego (tab. 1). Wartość odpowiadająca 98 percentylowi w przybliżeniu jest zbieżna z wartościami wyznaczonymi na podstawie kryteriów medycznych (Zejda i in. 1996; Ośródką i in. 1997). Obok rozkładu statystycznego dla średniej obszarowej przedstawiono również rozkład dla stacji o maksymalnych w GOP stężeniach zanieczyszczeń (Bytom).

Jeżeli odnieść 98 percentyl rozkładu do populacji danych o stężeniach na stacji o maksymalnych zanieczyszczeniach w GOP, okaże się, że wyznaczone w ten sposób wartości są podobne do norm obowiązujących w systemie krakowskim. Zagrożenie smogowe (alert) jest tam ogłaszane wtedy, gdy średnie dobowe stężenie dwutlenku siarki przekroczy  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lub  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pyłu zawieszonego (Walczewski 1993). Wartości te odnoszą się jednak do poszczególnych stacji lub grup stacji o maksymalnych na danym terenie stężeniach.

Biorąc zatem pod uwagę zgodność wartości uzyskanych z badań medycznych, statystycznych i administracyjnych za wartości kryterialne epizodu smogowego, w GOP przyjęto wartości odpowiadające w przybliżeniu 98 percentylowi rozkładu badanych zanieczyszczeń. Ich wartości podano w tab. 2.

Tabela 2

Kryteria epizodu smogowego przyjęte dla GOP

Criterion of smog episodes for GOP

Parametr	Dwutlenek siarki ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Pył zawieszony ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Średnia obszarowa	180	190
Stacja maksymalna	270	230

### EPIZODY SMOGU ZIMOWEGO W GÓRNOŚLĄSKIM OKRĘGU PRZEMYSŁOWYM

Przyjęte w poprzednim rozdziale kryteria identyfikacji epizodów smogowych pozwoliły na wydzielenie takich sytuacji w Górnośląskim Okręgu Przemys-

lowym w chłodnych sezonach lat 1993–1997. W tab. 3 przedstawiono rozkład liczby dni z epizodami smogu zimowego na obszarze GOP.

Tabela 3

Rozkład liczby dni z podwyższonymi stężeniami dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego w sezonach zimowych 1993/94–1996/97. Średnia obszarowa dla GOP

Distribution of frequencies of days with increased concentrations of sulphur dioxide and suspended dust in winter seasons 1993–94/1996/97. Areal averages for GOP

Sezon	Miesiąc							Suma
	X	XI	XII	I	II	III	IV	
1993/94	–	9 PM10	–	–	–	–	–	9
1994/95	–	1 PM10	SO <sub>2</sub> 1	SO <sub>2</sub> 4	–	–	–	6
1995/96	1 PM10	+S 2 PM10	SO <sub>2</sub> 5 PM10	SO <sub>2</sub> 6 PM10	SO <sub>2</sub> 3 +P	–	–	17
1996/97	–	–	SO <sub>2</sub> 6 PM10	SO <sub>2</sub> 9 PM10	–	–	–	15
Razem	1 PM10	+S 12 PM10	SO <sub>2</sub> 12 PM10	SO <sub>2</sub> 19 PM10	SO <sub>2</sub> 3 PM10	–	–	47

Objaśnienia: SO<sub>2</sub> – przekroczenie stężenia 180 µg/m<sup>3</sup>, odpowiadającego 98 percentylowi rozkładu stężeń średniodobowych SO<sub>2</sub>, +S – j.w. przez mniej niż połowę dni, PM10 – przekroczenie stężenia 190 µg/m<sup>3</sup>, odpowiadającego 98 percentylowi rozkładu stężeń średniodobowych pyłu zawieszonego, +P – j.w. przez mniej niż połowę dni.

Explanations: SO<sub>2</sub> – exceeding of concentration 180 µg/m<sup>3</sup>, corresponding to percentile 98 of mean daily concentration SO<sub>2</sub> distribution, +S – see above for less than half of days, PM10 – exceeding of concentration 190 µg/m<sup>3</sup>, corresponding to percentile 98 of mean daily concentration of suspended dust distribution, +P – see above for less than half of days.

W tab. 4 przedstawiono rozkład liczby dni z epizodami smogu zimowego na obszarach najbardziej narażonych (stacja o maksymalnych stężeniach zanieczyszczeń).

Z analizy danych wynika, że epizody smogowe zdarzają się najczęściej w okresie od listopada do stycznia. Interesującym spostrzeżeniem jest fakt, że zagrożenie epizodem smogowym wywołanym pyłem zawieszonym jest powszechniejsze w ciągu całego badanego okresu, podczas gdy ryzyko wystąpienia smogu zimowego wywołanego dwutlenkiem siarki jest charakterystyczne dla okresu

grudzień-styczeń. Nasuwa to podejrzenie, że stężenie dwutlenku siarki jest silniej związane z warunkami termicznymi niż stężenie pyłu zawieszonego. Okazuje się także, że przypadki epizodów smogowych wywołanych wysokimi stężeniami pyłu zawieszonego są powszechniejsze na terenie całego obszaru GOP niż obserwowane na stacji o maksymalnych stężeniach zanieczyszczeń.

Czas trwania epizodów smogowych waha się od trzech do sześciu dni i jest związany z czasem trwania określonego typu pogody nad całym obszarem GOP.

Tabela 4

Rozkład liczby dni z podwyższonymi stężeniami dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego w sezonach zimowych 1993/94–1996/97. Stacja maksymalna: Bytom

Distribution of frequencies of days with increased concentrations of sulphur dioxide and suspended dust in winter seasons 1993–94/1996/97. Maximum station: Bytom

Sezon	Miesiąc							Suma
	X	XI	XII	I	II	III	IV	
1993/94	–	3 PM10	–	SO <sub>2</sub> 1	SO <sub>2</sub> 6	–	–	10
1994/95	–	2 PM10	SO <sub>2</sub> 2 +P	SO <sub>2</sub> 2 +P	–	–	–	6
1995/96	–	SO <sub>2</sub> 3 PM10	SO <sub>2</sub> 6 PM10	SO <sub>2</sub> 7 PM10	SO <sub>2</sub> 4 PM10	–	1 PM10	21
1996/97	–	–	SO <sub>2</sub> 3 +P	+S 3 PM10	–	1 PM10	–	7
Razem	–	+S 8 PM10	SO <sub>2</sub> 11 PM10	SO <sub>2</sub> 13 PM10	SO <sub>2</sub> 10 PM10	1 PM10	1 PM10	44

Objaśnienia: SO<sub>2</sub> – przekroczenie stężenia 270 µg/m<sup>3</sup>, odpowiadającego 98 percentylo i rozkładu stężeń średniodobowych SO<sub>2</sub>, +S – j.w. przez mniej niż połowę dni, PM10 – przekroczenie stężenia 230 µg/m<sup>3</sup>, odpowiadającego 98 percentylowi rozkładu stężeń średniodobowych pyłu zawieszonego, +P – j.w. przez mniej niż połowę dni.

Explanations: SO<sub>2</sub> – exceeding of concentration 270 µg/m<sup>3</sup>, corresponding to percentile 98 of mean daily concentration of SO<sub>2</sub> distribution. +S – see above for less than half of days, PM10 – exceeding of concentration 230 µg/m<sup>3</sup>, corresponding to percentile 98 of mean daily concentration of suspended dust distribution, +P – see above for less than half of days.

## WPLYW ZMIAN KLIMATU LOKALNEGO NA POWSTAWANIE EPIZODÓW SMOGU ZIMOWEGO W GOP

Jak wiadomo, epizody smogu zimowego związane są z sytuacją synoptyczną. Natężenie zjawiska jest także zależne (poza wielkością emisji) od lokalnych warunków meteorologicznych.

W warunkach GOP ustalono, że epizody smogu zimowego spowodowane wysokimi stężeniami dwutlenku siarki lub dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego jednocześnie występują najczęściej przy zbiegu następujących okoliczności:

1) stacjonarnej sytuacji antycyklonalnej (centrum wyżu lub klin wyżowy) z ciśnieniem atmosferycznym wyższym od średniego dla okresu chłodnego o około 10 hPa,

2) średniej dobowej temperaturze powietrza niższej od  $-1^{\circ}\text{C}$ ,

3) średniej dobowej prędkości wiatru około 1,5 m/s,

4) średniej dobowej wilgotności względnej powietrza  $> 85\%$ .

Do zaistnienia epizodu smogowego wywołanego pyłem zawieszonym (PM10) potrzebna jest niższa średnia dobową prędkość wiatru (około 1,2 m/s), zaś temperatura powietrza może oscylować nawet powyżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Jednocześnie nie musi być spełniony warunek o tak wysokiej wilgotności powietrza. Współistnienie takich warunków meteorologicznych powoduje wystąpienie epizodu smogu zimowego na całym obszarze GOP i w jego najbliższym otoczeniu (O ś r ó d k a i in. 1997).

W tym miejscu powstaje pytanie – w jakim stopniu modyfikacje klimatu związane z czynnikami antropogenicznymi mogą przyczyniać się do pogłębienia bądź zaistnienia epizodów smogu zimowego.

Z dotychczasowych badań wynika, że szczególnie podatnymi na czynnik antropogeniczny w warunkach miejsko-przemysłowych są: temperatura powietrza i prędkość wiatru (L a n d s b e r g 1983).

Wobec tego stanu rzeczy w dalszym ciągu pracy zbadano związek pomiędzy występowaniem stężeń zanieczyszczeń powodujących epizody smogu zimowego w GOP a średnią dobową temperaturą i średnią dobową prędkością wiatru. Wyniki analizy regresji przedstawiono w tab. 5.

Analiza wyników doprowadza do wniosku, że w dni o zagrożeniu zimowym epizodem smogowym istotny statystycznie jest jedynie związek średnich dobowych wartości pyłu zawieszonego i prędkości wiatru. Wobec tego można stwierdzić, że modyfikacja temperatury powietrza związana z antropogenicznym przekształceniem klimatu nie powoduje istotnych zmian w częstości występowania epizodów smogu zimowego, zarówno tych, za które odpowiada dwutlenek siarki, jak też i pył zawieszony. Natomiast zmiana średniej dobowej prędkości wiatru o 1 m/s powoduje zmianę stężenia pyłu zawieszonego o około  $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabela 5

Zależność stężeń dobowych pyłu zawieszonego (PM10) i dwutlenku siarki od średniej dobowej temperatury powietrza i prędkości wiatru w warunkach sprzyjających powstawaniu epizodów smogu zimowego

Dependence of daily concentrations of suspended dust (PM10) and sulphur dioxide on mean daily air temperature and wind speed in conditions favouring winter smog episodes

Element meteorologiczny	PM10	SO <sub>2</sub>
Prędkość wiatru (v) [m/s]	0,640 p. < 0,05 PM10 = - 106,4* + 354,8	NZ
Temperatura powietrza	NZ	NZ

NZ – współczynnik korelacji nieistotny statystycznie.

NZ – Correlation coefficient statistically insignificant.

Na podstawie badań prowadzonych dla GOP wynika, iż szorstkość podłoża silnie modyfikuje prędkość wiatru w jego centrum, redukując średnie dobowe wartości tego elementu przeciętnie o 20% (Ośródka, Kruczała 1997). W takim przypadku część epizodów smogu zimowego wywołanych wysokimi stężeniami pyłu zawieszonego wywołana jest tym skutkiem antropogenicznych zmian klimatu. Badając faktyczne prędkości wiatru w takich sytuacjach na stacji położonej w terenie pozamiejskim oraz na podstawie wyliczonego równania regresji, wyznaczono hipotetyczne wartości stężeń pyłu zawieszonego w warunkach miejskich przy braku modyfikacji prędkości wiatru spowodowanych zwiększoną szorstkością terenu. Na tej podstawie określono, że czynnik antropogeniczny odpowiada za około 20% epizodów smogowych, spowodowanych wysokimi stężeniami pyłu zawieszonego, występujących w centrum GOP (Bytom).

#### LITERATURA

- Bower J. S., Broughton G. F. J., Stedman J. R., Williams M. L., 1994, *A Winter Smog Episode in U.K.*, *Atm. Environ.*, No 28, s. 461–475
- Breiling M., Alcamo J., 1992, *Emergency Air Protection: a Survey of Smog Alarm Systems*, IIASA, Laxenburg
- Godzik S., Hławiczka P., Poborski P., 1996, *Smog – przyczyny – skutki przeciwdziałania*, Państw. Insp. Ochr. Środ., Bibl. Monitoringu Środ.
- Hławiczka S., 1986, *Koncepcja regionalnych alarmów smogowych*, *Gaz–Woda–Techn. Sanit.*, 6, s. 134
- Landsberg H. E., 1983, *Klimat goroda*, Gidromieteoizdat, Leningrad
- Ośródka L., Kruczała A., 1997, *Rola Regionalnego Systemu Monitoringu Powietrza w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym w poznaniu klimatu lokalnego aglomeracji katowickiej* (w tym tomie)



- Ośródka L., Wojtylak M., Święch-Skiba J., *Próba identyfikacji epizodów smogu zimowego w GOP na podstawie kryteriów meteorologicznych i aerosanitarnych. Przyczynek do dyskusji nad kryteriami ogłaszania alarmów smogowych*, Wiad. IMGW (w druku)
- Schwartz J., Dockery D. W., Neas L. M., 1996, *Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles?* Air – Waste Manage. Assoc., s. 927–939
- Walczewski J., 1993, *Air Pollution Warning System in Cracow*, [w:] *Mat. Konf. Emergency Air Protection*, Budapeszt
- Zejda J. E. i in., 1996, *Ocena zagrożenia zdrowia w następstwie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego na obszarze miejskim województwa katowickiego. Oszacowanie ryzyka i opracowanie schematu komunikowania ryzyka w odniesieniu do poziomów zanieczyszczeń pyłowych i gazowych*, Raport z prac badawczych w ramach umowy z WFOŚiGW w Katowicach (maszynopis)

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Oddział w Katowicach

#### SUMMARY

Based on data collected at the Regional System of Air Quality Monitoring in Upper Silesia Industry Region (GOP) and earlier studies, criteria of indicating winter smog episodes have been suggested. Applying mentioned criteria, episodes of winter smog during cold seasons 1993/94–1996/97 have been identified. The meteorological data and the concentration of sulphur dioxide and dust (PM10) have been correlated. The influence of anthropogenic local climate changes on the winter smog episodes occurrence has been tested.