

**Robert KALBARCZYK, Eliza KALBARCZYK**

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Akademia Rolnicza w Szczecinie  
Department of Meteorology and Climatology, Agricultural University in Szczecin

## **Sezonowa zmienność stężenia SO<sub>2</sub> w wybranych miejscowościach północno-zachodniej Polski w zależności od warunków pogodowych**

### **Seasonal variability of the SO<sub>2</sub> concentration in selected localities in north-western Poland in relation to weather conditions**

**Słowa kluczowe:** stężenie SO<sub>2</sub>, analiza regresji, elementy meteorologiczne, Polska  
**Key words:** the SO<sub>2</sub> concentration, regression analysis, meteorological elements, Poland

#### **Wprowadzenie**

Głównym źródłem emisji SO<sub>2</sub> do powietrza jest energetyka zawodowa i ciepła oraz procesy technologiczne. Na poziom stężeń tego zanieczyszczenia w powietrzu istotny wpływ ma także emisja powierzchniowa z ogrzewania mieszkań w sektorze komunalno-bytowym. W bardzo znikomym procencie emisja ditlenku siarki do powietrza pochodzi ze spalin silników samochodowych. Przy wysokich stężeniach wykazuje działanie toksyczne, atakuje najczęściej drogi oddechowe i struny głosowe. Ditlenek siarki ma także duży udział w tworzeniu smogu, który zawiera zawieszony w powietrzu cząstki stałe oraz szkodliwe

związki chemiczne i powstaje przy niekorzystnych warunkach meteorologicznych: znacznej wilgotności powietrza (mgła) i bezwietrznej pogodzie. Również niższe stężenia ditlenku siarki nie są obojętne dla środowiska – stanowi ono szczególne zagrożenie dla lasów i terenów zielonych z uwagi na zdolność niszczenia chlorofilu w roślinach. Ustalono, że przy dłuższym czasie oddziaływania już w średnim stężeniu SO<sub>2</sub> w powietrzu, wynoszącym 15–30 µg·m<sup>-3</sup>, straty w przyroście masy drzewnej drzew iglastych wynoszą około 20% (Raport... 2006). Oprócz wielkości emisji stężenie SO<sub>2</sub> w powietrzu zależy od warunków meteorologicznych, które z jednej strony mogą sprzyjać naturalnej wentylacji atmosfery, z drugiej – przenosić zanieczyszczenia z odległych źródeł emisji. Według Kicińskiej (2001), w północnej Polsce zwiększenie stężenia ditlenku siarki następuje głównie w warunkach

adwekcji mas powietrza z sektora południowo-wschodniego, natomiast jego zmniejszenie, gdy napływa powietrze z północnego zachodu. Badania Czarneckiej i Kalbarczyka (2005) wykazały największy wpływ na stężenie ditlenku siarki temperatury powietrza i liczby dni z opadem dobowym  $\geq 0,5$  mm przede wszystkim zimą, natomiast Kleniewska (2004) potwierdziła wyraźny związek średniego stężenia  $\text{SO}_2$  głównie z temperaturą powietrza.

Celem pracy była ocena sezonowej zmienności stężenia ditlenku siarki w wybranych miejscowościach północno-zachodniej Polski w zależności od warunków meteorologicznych.

## Material i metody

Podstawę opracowania stanowiły wartości dobowe stężenia ditlenku siarki, pochodzące z monitoringu jakości powietrza, prowadzonego przez Wojewódzką Inspekcję Ochrony Środowiska w Szczecinie, Poznaniu i Zielonej Górze. Dobowe wartości stężenia  $\text{SO}_2$  w okresie od 1 maja 2005 roku do 30 kwietnia 2007 roku zebrano dla czterech sezonów: wiosna (III–V), lato (VI–VIII), jesień (IX–XI) i zima (XII–II) oraz 5 stacji (Gorzów Wlkp., Koszalin, Piła, Widuchowa i Szczecin), położonych w północno-zachodniej Polsce (rys. 1).

Dobowe dane meteorologiczne: średnia temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, suma opadów atmosferycznych, prędkość wiatru i ciśnienie atmosferyczne, pochodziły ze stacji meteorologicznych, funkcjonujących w ramach stacji imisyjnych.

Zależność stężenia ditlenku siarki według analizowanych stacji imisyjnych od elementów meteorologicznych określono za pomocą analizy regresji. Zmienną zależną każdorazowo były znormalizowane wartości stężenia ditlenku siarki w rozpatrywanych sezonach roku. Normalizację zmiennych zależnych przeprowadzono za pomocą następującej funkcji:

$$f(\text{SO}_2) = \log \text{SO}_2$$

gdzie  $\text{SO}_2$  – wartość stężenia ditlenku siarki [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ].

Parametry funkcji regresji liniowej zostały wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów. Hipotezę o istotności funkcji regresji, tzn. współczynnika korelacji wielokrotnej, zbadano testem F-Snedecora, natomiast istotność współczynników regresji testem *t*-Studenta. Występowanie autokorelacji składników losowych sprawdzono za pomocą testu Durbina-Watsona (Sobczyk 1998).

## Wyniki i dyskusja

W północno-zachodniej Polsce w okresie od 1 maja 2005 roku do 30 kwietnia 2007 roku średnie stężenie (obliczone dla 4 sezonów roku i 5 stacji imisyjnych) ditlenku siarki wynosiło  $5,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  i wahało się od  $3,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  w Widuchowej do  $6,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  w Szczecinie; w Gorzowie Wlkp. wyniosło  $6,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w Pile i Koszalinie – odpowiednio po  $4,2$  i  $4,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zdecydowanie wyższe stężenia  $\text{SO}_2$  notuje się w aglomeracjach katowickiej i ostrawsko-karwińskiej (Błażek i in. 1999), w których średnia (z lat 1994–1997) wynosiła odpowiednio  $52$  i  $34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,

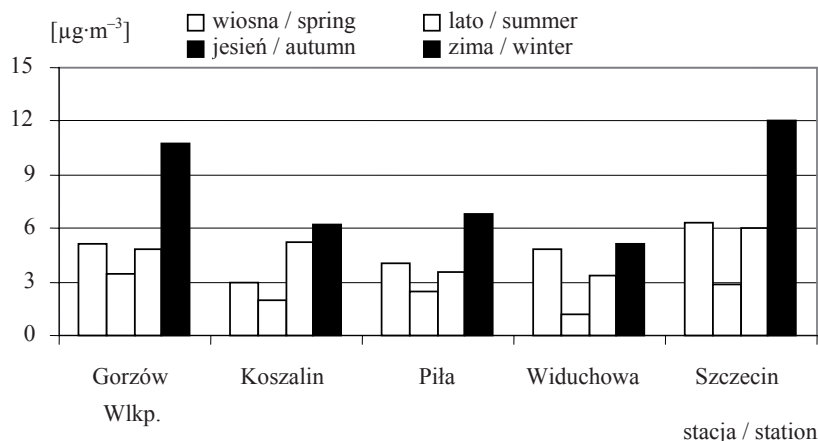


Stacja Station	Numer Number	$\lambda$ (E)	$\varphi$ (N)	Wysokość [m n.p.m.] Elevation [height above sea level In m]
Gorzów Wlkp.	1	15°13'	52°44'	22
Koszalin	2	16°11'	54°11'	43
Piła	3	16°45'	53°09'	71
Szczecin	4	14°33'	53°26'	20
Widuchowa	5	14°23'	53°17'	2

RYSUNEK 1. Usytuowanie stacji Państwowego Monitoringu Środowiska, prowadzących pomiary stężenia  $\text{SO}_2$  w północno-zachodniej Polsce  
 FIGURE 1. Location of the PMS (National Environmental Monitoring) stations conducting measurements of the  $\text{SO}_2$  concentration in north-western Poland

natomiast niższe w Suwałkach (Kalbarczyk i Kalbarczyk 2007b) –  $2,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (średnia z lat 1994–2003). W miejscowościach północno-zachodniej Polski przeciętnie najwyższe, wynoszące ponad  $8,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , stężenie  $\text{SO}_2$  notowano zimą, najniższe, wynoszące  $2,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  – latem; jesienią o  $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  niższe niż wiosną. W sezonie zimowym najwyższe, wynoszące  $12,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , stężenie  $\text{SO}_2$  występowało w Szczecinie – tak jak w całym roku; w pozostałych stacjach, oprócz

Gorzowa Wlkp., stężenie było prawie o połowę niższe niż w Szczecinie i wahało się od  $5,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  w Widuchowej do  $6,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  w Pile (rys. 2). W sezonie letnim najwyższe stężenie  $\text{SO}_2$  spośród wszystkich rozpatrywanych stacji imisyjnych było w Gorzowie Wlkp. ( $3,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), a następnie w Szczecinie ( $2,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), najniższe zaś w Widuchowej ( $1,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). W sezonach wiosennym i jesiennym stężenie ditlenku siarki odznaczało się inną strukturą przestrzenną niż latem

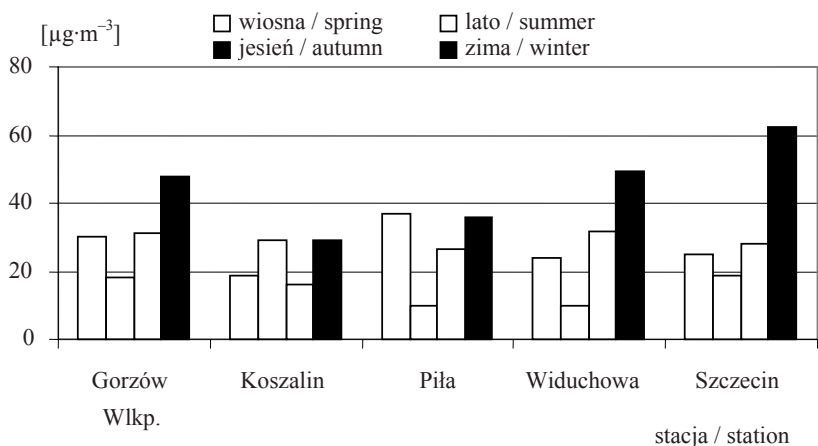


RYSUNEK 2. Średnie stężenie SO<sub>2</sub> według sezonów  
 FIGURE 2. Average concentration of SO<sub>2</sub> according to seasons

i zimą – najwyższe stężenie występowało w Szczecinie w obu sezonach (odpowiednio 6,3 i 6,1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), a następnie w Gorzowie Wlkp. – wiosną (5,1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), w Koszalinie – jesienią (5,2  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), natomiast najniższe w Koszalinie – wiosną (3,0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), a w Widuchowej – jesienią (3,4  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

Najwyższe maksymalne (absolutne) dobowe stężenie SO<sub>2</sub> wystąpiło zimą na

trzech stacjach: Szczecin (62,3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Widuchowa (49,3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) i Gorzów Wlkp. (48,0  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), wiosną w Pile (36,7  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), natomiast latem w Koszalinie (29,2  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ); jesienią w stacjach położonych w zachodniej części regionu (Szczecin, Widuchowa, Gorzów Wlkp.), a wiosną – we wschodniej (Koszalin i Piła) (rys. 3).



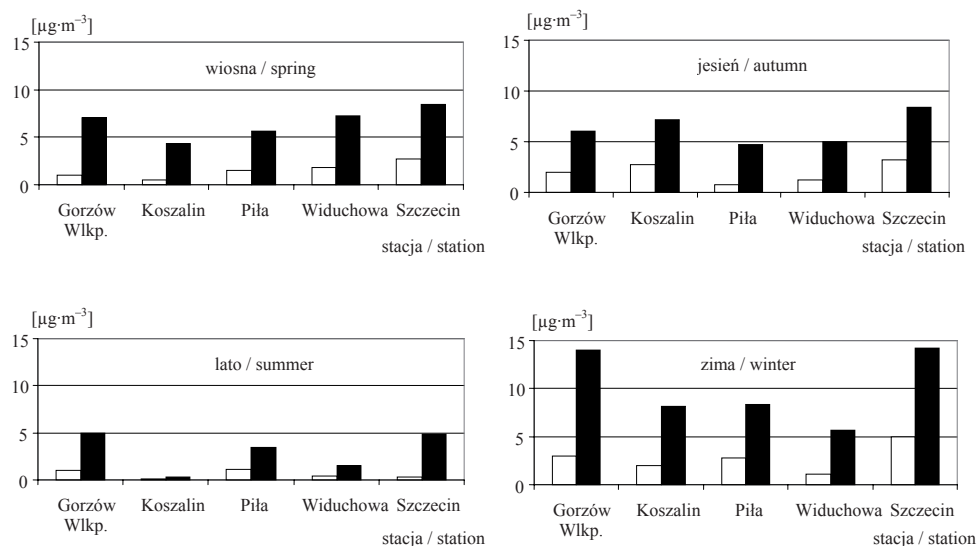
RYSUNEK 3. Maksymalne absolutne stężenie SO<sub>2</sub> według sezonów  
 FIGURE 3. Maximum absolute concentration of SO<sub>2</sub> according to seasons

Największą zmiennością stężenia ditlenku siarki, opisaną kwartylami i odchyleniem standardowym, odznaczał się sezon zimowy, zwłaszcza w Gorzowie Wlkp. i Szczecinie, najmniejszą sezon letni – w Koszalinie, a następnie w Widuchowej (rys. 4 i 5). Większą zmiennością wyników dobowych stężeń  $\text{SO}_2$  charakteryzował się sezon wiosenny niż jesienny, za wyjątkiem stacji Koszalin.

Diagram częstości dobowych stężeń  $\text{SO}_2$  w przyjętych przedziałach wielkości wykazał, że najczęściej uzyskanych wyników, we wszystkich analizowanych stacjach, mieściło się w zakresie od 0 do  $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a następnie od 5 do  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , zdecydowanie mniej w zakresie od 10,1 do ponad  $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (rys. 6). W przedziale od 0 do  $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  wyniki stężeń  $\text{SO}_2$  najczęściej notowano w Widuchowej (około 77%) i w Pile (około 74%), najrzadziej w Szczecinie (około 50%); w drugim przedziale wielkości,

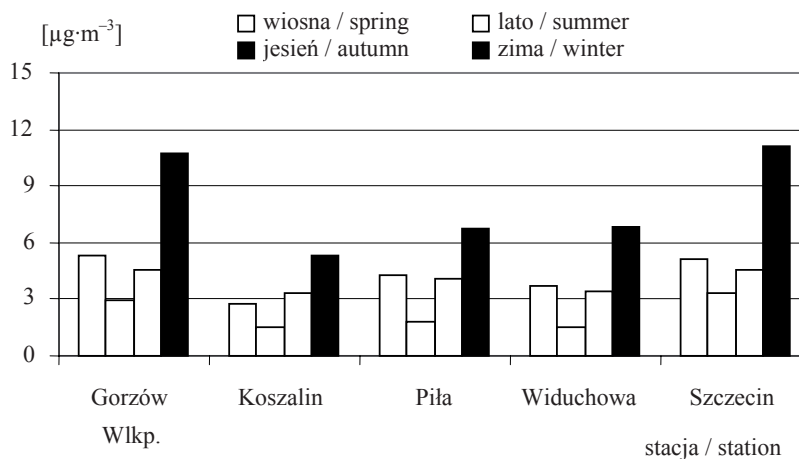
od 5 do  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , odwrotnie – odpowiednio najczęściej w Szczecinie (około 32%) i najrzadziej w Widuchowej (około 18%). Podobne wyniki, dotyczące struktury częstości dobowych wartości stężenia  $\text{SO}_2$  dla innych miejscowości kraju, uzyskali Skotak i in. (2002), Czarnecka i Kalbarczyk (2005) oraz Kalbarczyk i Kalbarczyk (2007a, b).

Analiza regresji stężenia  $\text{SO}_2$  i elementów meteorologicznych wykazała, że najczęściej statystycznie istotnych związków stwierdzono względem średniej temperatury powietrza, a następnie wilgotności powietrza (tab. 1). Temperatura powietrza istotnie korzystnie oddziaływała na zmniejszenie stężenia ditlenku siarki w trzech spośród czterech analizowanych sezonów: wiosną, jesienią i zimą, niekorzystnie – tylko latem i to we wszystkich stacjach imisyjnych. Podobne wyniki uzyskali Kalbarczyk i Kalbarczyk (2007b), według których temperatura powietrza może niekorzyst-

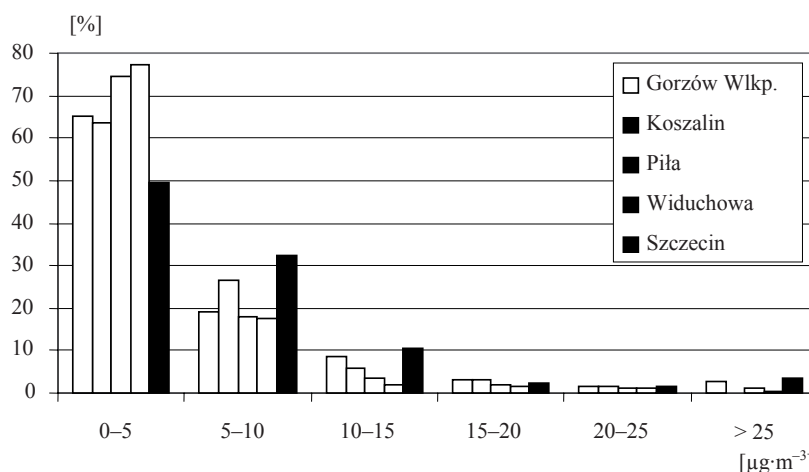


RYSUNEK 4. Dolny i górny kwartyl stężenia  $\text{SO}_2$  według sezonów

FIGURE 4. Lower and upper quartile of the  $\text{SO}_2$  concentration according to seasons



RYSUNEK 5. Odchylenie standardowe stężenia SO<sub>2</sub> według sezonów  
 FIGURE 5. Standard deviation of the SO<sub>2</sub> concentration according to seasons



RYSUNEK 6. Częstość występowania wartości dobowych stężenia SO<sub>2</sub> w przyjętych przedziałach w ciągu całego roku  
 FIGURE 6. Frequency of occurrence of the 24 hour period values of the SO<sub>2</sub> concentration in the accepted intervals during a whole year

nie oddziaływać na wielkość emisji dwutlenku siarki w okresie od czerwca do lipca. Według Kleniewskiej (2004), wzrost temperatury powietrza może przyczyniać się do spadku wydajności reakcji utlenienia SO<sub>2</sub> i tym samym do pogorszenia czystości atmosfery. Najwyższy współczynnik determinacji dla zależno-

ści stężenia SO<sub>2</sub> i temperatury powietrza udowodniono w sezonie zimowym w Szczecinie (R<sup>2</sup> około 34%) i Gorzowie Wlkp. (R<sup>2</sup> około 33%), najniższy w Pile (R<sup>2</sup> około 6%); w pozostałych sezonach R<sup>2</sup> wahał się od 3,9 do 8,7% wiosną, od 4,5 do 12,8% latem i od 5,9 do 20,8% jesienią.

TABELA 1. Kierunek oddziaływania, istotność oraz współczynnik determinacji [%] dla zależności między stężeniem SO<sub>2</sub> a wybranymi elementami meteorologicznymi

TABLE 1. The direction of the effect, significance and coefficient of determination [%] for the relationship between the SO<sub>2</sub> concentration and selected meteorological elements

Sezon Season	Stacja Station	Element meteorologiczny / Meteorological element				
		TP	RH	RF	PH	WS
Wiosna Spring	Gorzów Wlkp.		–**, (3,6)			
	Koszalin	–***, (8,70)	–***, (7,1)		–**, (4,10)	
	Piła	–***, (3,9)				–***, (4,6)
	Szczecin	–***, (4,6)	–***, (4,5)			–**, (2,9)
	Widuchowa	–***, (5,5)	–***, (12,9)		–***, (5,1)	
Lato Summer	Gorzów Wlkp.	+***, (5,0)	–***, (11,70)		+***, (7,5)	
	Koszalin	+***, (6,7)	–***, (5,1)			–***, (16,9)
	Piła	+**, (9,6)	–***, (5,5)			
	Szczecin	+***, (12,8)	–***, (8,90)			–**, (2,8)
	Widuchowa	+**, (4,5)	–***, (6,0)			–**, (2,4)
Jesień Autumn	Gorzów Wlkp.	–***, (6,2)	–***, (8,9)			
	Koszalin	–***, (20,8)			–**, (2,9)	
	Piła				–*, (2,6)	
	Szczecin	–***, (12,8)			–*, (2,7)	+***, (3,7)
	Widuchowa	–***, (5,9)			–***, (4,5)	+***, (8,8)
Zima Winter	Gorzów Wlkp.	–***, (32,8)	–**, (2,8)		+***, (5,3)	–***, (4,1)
	Koszalin	–***, (16,7)				–***, (5,2)
	Piła	–**, (6,3)				
	Szczecin	–***, (33,7)	–***, (7,7)		+**, (3,1)	
	Widuchowa	–***, (17,4)	–***, (10,1)			

Oznaczenia / Explanations:

TP – średnia temperatura powietrza / mean air temperature [°C],

RH – wilgotność względna powietrza / air humidity [%],

RF – suma opadów atmosferycznych / precipitation total [mm],

PH – ciśnienie atmosferyczne / air-pressure [hPa],

WS – średnia prędkość wiatru / mean wind speed [m·s<sup>-1</sup>],

\*\*\* Istotny dla  $\alpha \leq 0,01$ . / Significant at  $\alpha \leq 0.01$ .

\*\* Istotny dla  $\alpha \leq 0,05$ . / Significant at  $\alpha \leq 0.05$ .

\* Istotny dla  $\alpha \leq 0,1$ . / Significant at  $\alpha \leq 0.1$ .

–/+ Zależność ujemna / dodatnia. / Negative / positive effect.

W nawiasie podano wartości współczynnika determinacji. / In parenthesis values of determination coefficients [%].

Korelacja stężenia  $\text{SO}_2$  z wilgotnością względną powietrza ujawniła wyłącznie pozytywną rolę tego elementu w zmniejszaniu gazowego zanieczyszczenia atmosfery. Według Miczyńskiego (1989), wilgotność względna powietrza posiada największy wpływ na katalityczne utlenienie  $\text{SO}_2$ , które zachodzi w fazie ciekłej najczęściej w obecności jonów metali ciężkich. Jednak współczynniki determinacji dla zależności stężenia  $\text{SO}_2$  i wilgotności powietrza były niższe niż dla zależności stężenia  $\text{SO}_2$  i temperatury powietrza i wahały się od 2,8 do 12,9%, przy czym najwyższe, istotne współczynniki udowodniono wiosną w stacji Widuchowa ( $R^2 = 12,9\%$ ), a następnie latem w stacji Gorzów Wlkp. ( $R^2 = 11,7\%$ ). Zdecydowanie więcej istotnych związków między  $\text{SO}_2$  i wilgotnością powietrza udowodniono wiosną i latem, mniej – jesienią i zimą.

Nie potwierdzono dla żadnej stacji i sezonu istotnego wpływu sumy opadów atmosferycznych na stężenie  $\text{SO}_2$ . Z badań Czarnieckiej i Kalbarczyka (2005) wynika, że o efektywności opadów w usuwaniu zanieczyszczeń gazowych z powietrza decyduje ich częstość, w mniejszym zaś stopniu ich wielkość.

Wzrost ciśnienia atmosferycznego przyczyniał się do zwiększenia, ale i do zmniejszenia imisji opisywanego zanieczyszczenia gazowego, gdyż niekorzystnie na jakość powietrza oddziaływał latem (w Gorzowie Wlkp.) i zimą (w Gorzowie Wlkp. i Szczecinie), a korzystnie wiosną (w Koszalinie i Widuchowej) i jesienią (we wszystkich stacjach, za wyjątkiem Gorzowa Wlkp.). Współczynniki determinacji uzyskane dla tej zależności były niskie i wahały się od 2,6 do 7,5% – najwyższe dla Gorzowa Wlkp.

Z kolei analiza regresji  $\text{SO}_2$  i średniej prędkości wiatru ujawniła przede wszystkim pozytywną rolę tego elementu, jako podstawowego czynnika naturalnej wentylacji powietrza, za wyjątkiem sezonu jesiennego. Największy, korzystny wpływ prędkości wiatru na stężenie ditlenku siarki stwierdzono latem w Koszalinie ( $R^2 = 16,9\%$ ), a niekorzystny jesienią w Widuchowej ( $R^2 = 8,8\%$ ), co może świadczyć o napływie w tym sezonie zanieczyszczeń z dużych odległości, w tym transgranicznych. Również Miczyński (1989) zauważył, że niskie stężenie  $\text{SO}_2$  w okresie od czerwca do września występuje podczas ciszy.

Na podstawie analizy regresji wyznaczono średnie dobowe wartości elementów meteorologicznych, którym towarzyszył wyższy od średniego poziom stężenia  $\text{SO}_2$ , ale tylko dla istotnych statystycznie zależności przedstawionych w tabeli 1. W pracy przyjęto, że zwiększona wartość stężenia  $\text{SO}_2$  stanowiła 115% średniej, liczonej oddzielnie dla danej stacji i sezonu. Wiosną wyższy od średniego poziom  $\text{SO}_2$  występował w północno-zachodniej Polsce, gdy wilgotność powietrza była przeciętnie niższa od 67% (w Koszalinie < 66,8%, w Gorzowie Wlkp. < 67,1%, w Widuchowej < 68,7%, w Szczecinie < 69,7%), temperatura powietrza niższa od 7,0°C (w Koszalinie < 6,9°C, w Widuchowej < 7,1°C, w Pile < 7,3°C, w Szczecinie < 8,3°C) oraz prędkość wiatru mniejsza od 0,9 m·s<sup>-1</sup> (w Szczecinie i Pile), natomiast ciśnienie atmosferyczne niższe od 1010 hPa (w Koszalinie < 1012,2 hPa i w Widuchowej < 1010,1 hPa) (tab. 2). Latem 115% średniego stężenia  $\text{SO}_2$  notowano, gdy średnia temperatura powietrza wyniosła powyżej 17,8–18,6°C, wil-



TABELA 2. Średnie dobowe wartości elementów meteorologicznych, przy których występuje podwyższony poziom (115% średniej w danej miejscowości i sezonie) stężenia SO<sub>2</sub>

TABLE 2. Average 24 hour period values of meteorological elements at which an increased level (115% of the average in a given locality and season) of the SO<sub>2</sub> concentration occurs

Sezon Season	Stacja Station	Element meteorologiczny / Meteorological element				
		TP	RH	RF	PH	WS
Wiosna Spring	Gorzów Wlkp.		< 67,1			
	Koszalin	< 6,9	< 66,8		< 1012,2	
	Piła	< 7,3				< 0,9
	Szczecin	< 8,3	< 69,7			< 0,9
	Widuchowa	< 7,1	< 68,7		< 1010,1	
Lato Summer	Gorzów Wlkp.	> 18,3	< 60,1		> 1007,3	
	Koszalin	> 17,9	< 62,2			< 0,4
	Piła	> 18,0	< 63,1			
	Szczecin	> 18,6	< 64,0			< 0,7
	Widuchowa	> 17,8	< 63,7			< 1,0
Jesień Autumn	Gorzów Wlkp.	< 10,8	< 78,7			
	Koszalin	< 10,5			< 1006,7	
	Piła				< 1004,5	
	Szczecin	< 10,4			< 1007,7	> 0,9
	Widuchowa	< 10,2			< 1003,9	> 1,3
Zima Winter	Gorzów Wlkp.	< -1,1	< 85,6		> 1009,1	< 0,9
	Koszalin	< -0,6				< 1,3
	Piła	< -0,9				
	Szczecin	< -0,8	< 87,2		> 1010,2	
	Widuchowa	< -0,1	< 84,4			

Objaśnienia: zob. tabela 1. / Explanations: see Table 1.

gotność powietrza poniżej 60,1–64,0% i prędkość wiatru poniżej 0,4–1,0 m·s<sup>-1</sup>. Jesienią wyższy od średniego poziom stężenia ditlenku siarki występował, gdy temperatura powietrza była niższa od 10,2°C oraz prędkość wiatru i ciśnienie odpowiednio powyżej 0,9 m·s<sup>-1</sup> i poniżej 1003,9 hPa. Zimą podwyższonemu poziomowi SO<sub>2</sub> towarzyszyła wilgotność powietrza poniżej 84,4–87,2%, temperatura powietrza poniżej -1,1–0,1°C,

prędkość wiatru poniżej 0,9–1,3 m·s<sup>-1</sup> i ciśnienia powyżej 1009,1–1010,2 hPa.

Kończącym etapem pracy była analiza wpływu zespołu wybranych elementów meteorologicznych na stężenie ditlenku siarki, przy zastosowaniu analizy regresji wielokrotnej (metoda krokowa postępująca ze standaryzowanymi zmiennymi). Ze względu na małe, kształtujące się od około 10 do 40% współczynniki determinacji opisywanej zależności w pracy

nie przedstawiono równań regresji. Najlepszy opis zmienności stężenia ditlenku siarki przez warunki meteorologiczne uzyskano dla Koszalina i Szczecina, najgorszy – dla Piły. We wszystkich 20 równaniach regresji występowała średnia temperatura powietrza, w 12 równaniach – wilgotność względna powietrza, w 4 równaniach – prędkość wiatru, w 2 równaniach – ciśnienie atmosferyczne. W sezonie letnim istotny wpływ na stężenie SO<sub>2</sub> miały tylko temperatura powietrza i wilgotność względna powietrza, R<sup>2</sup> wahał się od około 9,9% dla Piły do około 39% dla Gorzowa Wlkp. i Szczecina. W pozostałych trzech analizowanych sezonach istotny wpływ na stężenie SO<sub>2</sub> wywierały dodatkowo prędkość wiatru i ciśnienie atmosferyczne. W sezonie wiosennym najlepszy opis, przy uwzględnieniu w równaniu temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza, uzyskano dla Gorzowa Wlkp. (R<sup>2</sup> około 23%), w sezonie jesiennym, przy uwzględnieniu w równaniu temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza i ciśnienia atmosferycznego – dla Koszalina (R<sup>2</sup> około 36%) oraz w sezonie zimowym, przy uwzględnieniu w równaniu temperatury powietrza i prędkości wiatru – również dla Koszalina (R<sup>2</sup> około 24%).

## Wnioski

1. W analizowanych miejscowościach północno-zachodniej Polski rozkład czasowy stężenia SO<sub>2</sub> wykazywał wyraźną strukturę sezonową. W sezonie zimowym wielkość emisji SO<sub>2</sub> była ponad trzykrotnie większa niż w letnim i prawie dwukrotnie większa niż w wiosennym i jesiennym. Najwyższe roczne stężenie SO<sub>2</sub> stwierdzono w Szczecinie (6,8 µg·m<sup>-3</sup>), a następnie w Gorzowie Wlkp. (6,1 µg·m<sup>-3</sup>), najniższe zaś – w Widuchowej (3,6 µg·m<sup>-3</sup>).
2. Największa zmienność stężenia SO<sub>2</sub> występowała w sezonie zimowym, najmniejsza w letnim, przy czym zdecydowanie większa w Gorzowie Wlkp. i Szczecinie niż w pozostałych miejscowościach (Koszalin, Piła, Widuchowa).
3. Na obszarze miejskim w północno-zachodniej Polsce średnie dobowe wyniki stężenia ditlenku siarki notowano najczęściej w przedziale od 0 do 5 µg·m<sup>-3</sup> (od 50% w Szczecinie do 77% w Widuchowej), a następnie od 5 do 10 µg·m<sup>-3</sup> (od 18% w Widuchowej i Piły do 32% w Szczecinie), powyżej 10 µg·m<sup>-3</sup> stanowiły przeciętnie tylko 11% wszystkich uzyskanych wyników.
4. Najwięcej istotnych związków z wielkością stężenia SO<sub>2</sub> udowodniono względem średniej temperatury powietrza i wilgotności powietrza – więcej latem, mniej jesienią.
5. Najwyższy współczynnik determinacji równań regresji wielokrotnej, opisującej związek stężenia ditlenku siarki z elementami meteorologicznymi, uzyskano w sezonie letnim i wahały się one od 10% w stacji Piła do około 40% w stacji Gorzów Wlkp. i Szczecin.

## Literatura

- BLAŻEK Z., OŚRÓDKA K., OŚRÓDKA L., ŚWIĘCH-SKIBA J., WOJTYLAK M. 1999: Porównanie wybranych stężeń zanieczyszczeń powietrza w aglomeracjach karwińsko-ostrowskiej i katowickiej oraz ich związek z warunkami meteorologicznymi. *Wiad. IMGW* 3: 37–48.
- CZARNECKA M., KALBARCZYK R. 2005: Zmienność stężenia ditlenku siarki i ditlenku azotu w zależności od warunków meteorologicznych. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 5 (14): 93–106.
- KALBARCZYK R., KALBARCZYK E. 2007a: Zmienność stężenia gazowych zanieczyszczeń powietrza na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej w zależności od warunków meteorologicznych. *Przegl. Nauk. IKŚ* 2(36): 73–85.
- KALBARCZYK R., KALBARCZYK E. 2007b: Concentration of gas and particulate air pollutants in Suwałki analysed in relation to meteorological conditions. *Pol. J. Natur. Sc.* (w druku).
- KICIŃSKA B. 2001: Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na stężenie dwutlenku siarki w Polsce. *Pr. St. Geogr. UW* 28: 223–233.
- KLENIEWSKA M. 2004: Związek między stężeniem dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym a rodzajem napływających mas powietrza w półroczu chłodnym w Ursynowie SGGW. *Przegl. Nauk. IKŚ* 2(29): 161–167.
- MICZYŃSKI J. 1989: Zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w warunkach górskich na przykładzie woj. nowosądeckiego. Rozpr. hab. *Zesz. Nauk.* 134, AR Kraków.
- Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2004–2005, 2006. Red. M. Landsberg-Uczciwek. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- SKOTAK K., IWANEK J., MITOSEK G., PRZĄDKA Z. 2002: Zanieczyszczenie powietrza w Polsce w 2001 roku na podstawie pomiarów krajowej sieci stacji podstawowych. Biblioteka Monitoringu Środowiska. IOŚ, Warszawa.

SOBCZYK W. 1998: Statystyka, podstawy teoretyczne, przykłady – zadania. UMCS, Lublin.

## Summary

**Seasonal variability of the SO<sub>2</sub> concentration in selected localities in north-western Poland in relation to weather conditions.** The study was aimed at the evaluation of seasonal variability of the sulphur dioxide concentration in selected localities in north-western Poland in relation to weather conditions. The research was based on the 24 hour period concentration values of sulphur dioxide and on 24 hour period meteorological data collected from 1 May 2005 to 30 April 2007 at five stations (Gorzów Wlkp., Koszalin, Piła, Widuchowa and Szczecin), situated in north-western Poland. The temporal distribution of the SO<sub>2</sub> concentration in the analysed localities of north-western Poland was characterized by a distinct seasonal structure and the largest variability of the SO<sub>2</sub> concentration occurred in winter and the lowest in summer. The largest number of significant relations to the amount of SO<sub>2</sub> concentration was observed in respect of the average air temperature and air humidity, more in summer and fewer in autumn. The largest coefficients of determination of multiple regression equations describing the relation of the sulphur dioxide with meteorological elements were obtained in summer and they varied from 10% at the Piła station to about 40% at the stations in Gorzów Wlkp. and Szczecin.

### Author's address:

Robert Kalbarczyk  
Akademia Rolnicza w Szczecinie  
Katedra Meteorologii i Klimatologii  
ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-469 Szczecin  
Poland  
e-mail: robkalb@agro.ar.szczecin.pl