

Robert KALBARCZYK, Eliza KALBARCZYK

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

Zmienność stężenia gazowych zanieczyszczeń powietrza na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej w zależności od warunków meteorologicznych

Variability of gas concentration of air pollution in the countryside area of Szczecin Lowland correlated with weather conditions

Słowa kluczowe: ditlenek azotu, ditlenek siarki, elementy meteorologiczne, Nizina Szczecińska

Key words: nitrogen dioxide, sulphur dioxide, meteorological elements, Szczecin Lowland

Wprowadzenie

Poziomy stężenie zanieczyszczeń w powietrzu wynikają bezpośrednio z wielkości emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz warunków meteorologicznych. Emisja zanieczyszczeń w województwie zachodniopomorskim koncentruje się w trzech powiatach (gryfiński, policki i miasto Szczecin) położonych w zachodniej części regionu (Czarnecka i Kalbarczyk 2004).

Wielkości stężeń ditlenku azotu na obszarze województwa są zróżnicowane – najniższe stężenia występują na obszarach wiejskich oraz w małych miejscowościach, w punktach oddalonych od

komunikacji samochodowej, najwyższe (w 2005 r. przekroczony dopuszczalny średnioroczny poziom) – w Szczecinie (Raport... 2006). W ostatnich 10 latach stężenia średnioroczne w Szczecinie i Stargardzie wykazują tendencję spadkową, będącą wynikiem modernizacji dróg i lepszej jakości poruszających się po drogach samochodów; jednak od 2000 roku poziomy stężenie NO_2 utrzymują się w tych punktach na poziomie od 50 do 75% poziomu dopuszczalnego, bez wyraźnej tendencji spadkowej.

Stężenia ditlenku siarki w województwie zachodniopomorskim są niskie, znacznie poniżej poziomów dopuszczalnych (Raport... 2006). W ostatnich latach obserwuje się spadkową tendencję stężeń SO_2 w powietrzu, głównie dzięki proekologicznym inwestycjom w zakładach stanowiących duże, punktowe źródła emisji (Zespół Elektrowni

„Dolna Odra”, Zakłady Chemiczne „Police”).

Warunki pogodowe (temperatura i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, opad atmosferyczny, ciśnienie atmosferyczne) odpowiedzialne są za rozprzestrzenianie się i akumulację zanieczyszczeń emitowanych z różnych źródeł (van der Wal i Janssen 2000, Skotak i in. 2002). Opisanie związków między warunkami meteorologicznymi a wielkością stężenia zanieczyszczeń powietrza dotyczy najczęściej obszarów o licznych źródłach emisji (Kleniewska 2004, 2005), brak jest tego rodzaju badań prowadzonych dla obszarów pozamiejskich.

Celem pracy było określenie zależności stężenia ditlenku azotu i ditlenku siarki na obszarze pozamiejskim od wybranych elementów meteorologicznych.

Material i metody

Podstawę opracowania stanowiły wartości dobowych stężeń ditlenku azotu i ditlenku siarki oraz dobowe dane meteorologiczne według miesięcy i okresów: suma promieniowania całkowitego, temperatura powietrza (średnia, maksymalna i minimalna), suma opadów atmosferycznych i prędkość wiatru w latach 1998–2005, odpowiednio dla automatycznej stacji imisyjnej i agrometeorologicznej, zlokalizowanych w Lipniku koło Stargardu Szczecińskiego, oraz ciśnienie atmosferyczne w stacji meteorologicznej w Szczecinie. Zarówno stacja imisyjna, jak i agrometeorologiczna leżą na terenie pozamiejskim w centralnej części Niziny Szczecińskiej ($\varphi = 53^{\circ}21'$; $\lambda = 14^{\circ}58'$) na wysokości

30 m n.p.m. Stacja imisyjna w Lipniku wchodzi w skład sieci kilku stacji, monitorujących zanieczyszczenia powietrza emitowanych przez Zespół Elektrowni „Dolna Odra” S.A., zlokalizowanych w Nowym Czarnowie koło Gryfina i w Szczecinie. Dane dotyczące emisji uzyskano dzięki pomiarom wykonywanym przez Inspekcję Ochrony Środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska.

We wszystkich przeprowadzonych w pracy analizach uwzględniono wartości dobowe, przy czym ze względu na braki w obserwacjach zbiory danych wyjściowych z ośmiu lat liczyły od 134 elementów (we wrześniu i w listopadzie) do 204 (w styczniu) dla ditlenku azotu oraz od 147 (w lutym) do 206 (w sierpniu i październiku) dla ditlenku siarki.

Zależność stężenia gazowych zanieczyszczeń atmosfery na obszarze pozamiejskim od elementów meteorologicznych zbadano za pomocą analizy regresji pojedynczej i wielorakiej. Wartości stężenia ditlenku azotu lub ditlenku siarki w kolejnych miesiącach roku i w rozpatrywanych okresach grzewczym (X–IV) i letnim (V–IX), stanowiące zmienną zależną, miały rozkład różny od normalnego, dlatego przeprowadzono normalizację zmiennych zależnych za pomocą funkcji:

$$f(\text{NO}_2) = \sqrt{\text{NO}_2}, \quad f(\text{SO}_2) = \sqrt{\text{SO}_2}$$

gdzie:

NO_2 – wartość stężenia ditlenku azotu [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$],

SO_2 – wartość stężenia ditlenku siarki [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$].

Za miarę dopasowania funkcji regresji do danych empirycznych posłużył

współczynnik determinacji (%), natomiast w przypadku istotnego trendu liniowego współczynnik korelacji cząstkowej (%).

Wyniki

Na Nizinie Szczecińskiej w latach 1998–2005 przeciętne stężenie ditlenku azotu było większe niż ditlenku siarki (tab. 1), za wyjątkiem trzech miesięcy: marca, maja i sierpnia. W okresie grzewczym średnie stężenie ditlenku azotu wynosiło $9,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i było o $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ wyższe niż ditlenku siarki, natomiast w okresie letnim różnica ta była o połowę mniejsza. Najwyższe stężenie NO_2 występowało w lutym i marcu (po $10,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), a następnie we wrześniu ($10,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i w listopadzie ($10,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), najniższe zaś w czerwcu ($6,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Z kolei najwyższe stężenie SO_2 notowano w marcu ($10,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), najniższe zaś w kwietniu ($4,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i w lipcu ($7,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej stężenie NO_2 i SO_2 nie wykazywało wyraźnej struktury sezonowej. Zarówno w okresie grzewczym, jak i letnim przeciętne stężenie SO_2 wynosiło tyle samo (po $7,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). W latach 1998–2005 maksymalne stężenie średniodobowe NO_2 , wynoszące $57,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, odnotowano 14 października w 1998 roku, natomiast SO_2 , wynoszące $193,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 6 marca w 1998 roku.

Na Nizinie Szczecińskiej wieloletnia zmienność stężeń ditlenku azotu była wyraźnie mniejsza niż ditlenku siarki w ośmiu miesiącach, za wyjątkiem lutego, kwietnia, października i listopada (tab. 1). Odchylenie standardowe NO_2 wahało się od $4,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w czerwcu do

$8,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ we wrześniu, natomiast SO_2 od $2,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w kwietniu do $18,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w grudniu. W okresie grzewczym odchylenie standardowe dla NO_2 było prawie dwukrotnie mniejsze niż dla SO_2 , natomiast w okresie letnim prawie o połowę. Największą różnicę między górnym a dolnym kwartylem dla stężenia obu zanieczyszczeń gazowych odnotowano w marcu, najmniejszą w czerwcu dla NO_2 i w kwietniu dla SO_2 . Według Czarneckiej i Kalbarczyka (2005), na Pomorzu zmienność rocznych oraz sezonowych stężeń SO_2 jest przeważnie co najmniej dwukrotnie większa niż NO_2 .

Pogorszenie jakości powietrza na Nizinie Szczecińskiej wynikało z rosnącej tendencji stężenia NO_2 , za wyjątkiem dwóch miesięcy sierpnia i września. Największe współczynniki determinacji uzyskano w sierpniu ($R^2 = 20,1\%$) dla ujemnego trendu, a następnie w listopadzie ($R^2 = 16,8\%$) dla dodatniego. Z kolei polepszenie jakości powietrza w ciągu całego roku wynikało z malejącej tendencji emisji SO_2 . Współczynniki determinacji dla trendu SO_2 były wielokrotnie wyższe niż dla NO_2 i wahały się od $20,4\%$ w lipcu do nawet $55,2\%$ w maju. Istotny trend stężenia obu zanieczyszczeń gazowych udowodniono również w okresie grzewczym i letnim – ujemny dla NO_2 , a dodatni dla SO_2 . Podobne wyniki uzyskali Czarnecka i Kalbarczyk (2005), według których w wielu miastach Pomorza notuje się spadkową tendencję stężenia obu zanieczyszczeń, nie tylko w skali całego roku, ale również w sezonach.

Diagramy częstości dobowych stężeń NO_2 w przyjętych przedziałach wielkości wykazały, że ponad 35% wszystkich uzyskanych wyników w latach

TABELA 1. Statystyczne charakterystyki stężenia NO₂ i SO₂ [µg·m⁻³] na obszarze pozamijskim Niziny Szczecińskiej w latach 1998–2005
 TABLE 1. Statistical characteristics of the NO₂ and SO₂ concentrations [µg·m⁻³] in the countryside area of Szczecin Lowland in 1998–2005

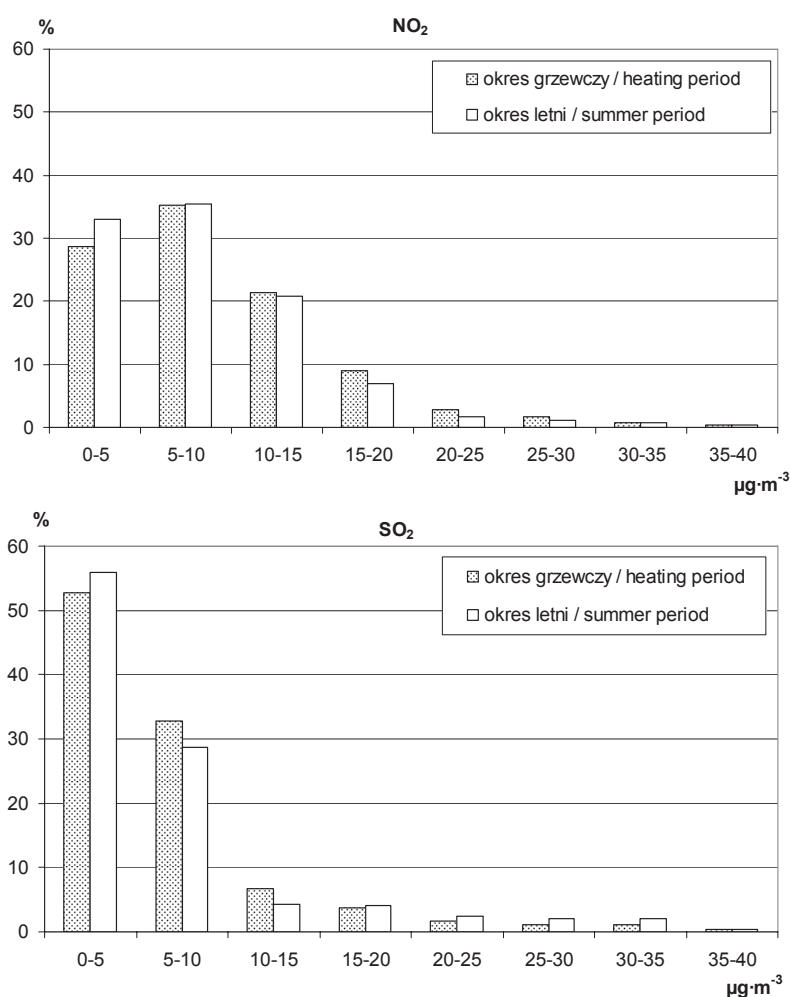
Rodzaj zanie- czy- szeń Kind of pollution	Charakterystyki Characteristics	Miesiąc / Month												Okres / Period	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	grzew- czy heating (X-IV)	letni summer (V-IX)
NO ₂	średnia mean	10,0	10,8	10,8	8,4	8,4	6,8	7,3	9,5	10,5	9,0	10,3	9,6	9,3	8,5
	dolny kwartył lower quartile	6,2	6,5	5,0	4,5	5,3	4,0	4,0	4,3	5,0	3,8	5,3	4,4	4,7	4,3
	górnny kwartył upper quartile	12,6	13,1	14,9	11,7	11,2	8,8	10,4	13,2	12,5	11,5	14,4	13,2	13,4	11,0
	odchylenie stan- dardowe standard deviation	4,8	6,6	8,3	5,3	4,6	4,1	4,3	6,5	8,5	8,1	6,3	7,1	6,6	6,0
	trend liniowy linear trendline	+++ (3,0)	++++ (7,9)	++++ (10,2)	++++ (7,2)		+++ (3,6)		---- (20,1)	---- (9,8)	---- (16,8)	+++ (3,3)	+++ (1,0)	+++ (1,0)	++++ (1,3)
SO ₂	średnia mean	7,8	5,8	10,9	4,5	8,5	6,7	6,4	9,6	8,0	5,7	6,3	9,6	7,8	7,8
	dolny kwartył lower quartile	4,0	2,9	3,2	2,8	3,8	2,1	2,9	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	3,0	2,8
	górnny kwartył upper quartile	10,8	7,4	10,1	6,0	8,0	7,6	7,0	6,9	9,9	7,3	6,8	8,7	7,7	7,3
	odchylenie stan- dardowe standard deviation	5,0	4,5	19,0	2,2	7,5	7,7	5,8	13,8	9,1	3,4	5,5	18,0	12,2	9,3
	trend liniowy linear trendline	---- (21,4)	---- (26,2)	---- (43,7)	---- (28,4)	---- (55,2)	---- (26,1)	---- (20,4)	---- (49,6)	---- (51,5)	---- (33,1)	---- (44,9)	---- (22,5)	---- (29,5)	---- (38,5)

Objaśnienia / Explanations:

-/+ trend ujemny/dodatni / negative/positive trend; *** istotny dla $\alpha \leq 0,01$ / significant at $\alpha \leq 0,01$; ** istotny dla $\alpha \leq 0,05$ / significant at $\alpha \leq 0,05$; w nawiasie podano wartości współczynnika determinacji / in parenthesis values of determination coefficients [%].

1998–2005 mieściło się w zakresie od 5 do 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ale z niewiele mniejszą częstością (około 30%) występowały również w zakresie od 0 do 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (rys. 1). Niższe, wynoszące od 0 do 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ stężenia NO_2 , notowano częściej w okresie letnim, wyższe zaś, wynoszące ponad 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, w okresie grzewczym. W ponad 52% w okresie grzewczym i w

prawie 56% w okresie letnim stężenia SO_2 mieściły się w przedziale od 0 do 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ale często (około 30%) także w zakresie od 5 do 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Zdecydowanie większy procentowy udział stężenia ditlenku siarki w zakresie od 5 do 15 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ notowano w okresie grzewczym niż w letnim. Ta odmienna struktura dobowych wartości stężenia analizowanych



RYSUNEK 1. Częstość występowania dobowych stężeń NO_2 i SO_2 w przyjętych przedziałach na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej w latach 1998–2005
 FIGURE 1. The frequency of occurrence of the NO_2 and SO_2 concentrations in the accepted intervals in the countryside area of Szczecin Lowland in 1998–2005

zanieczyszczeń na obszarze pozamiej-
skim jest charakterystyczna również dla
miast w całym kraju (Skotak i in. 2002,
Czarnecka i Kalbarczyk 2005).

Analiza regresji obu zanieczyszczeń
gazowych od wybranych elementów
meteorologicznych wykazała, że wię-
cej statystycznie istotnych związków
stwierdzono dla NO₂ niż SO₂, zwię-
sza względem maksymalnej temperatu-
ry powietrza, opadów atmosferycznych
i ciśnienia atmosferycznego (tab. 2 i 3).
Dla wszystkich statystycznie istotnych
związków między imisją NO₂ i SO₂
a warunkami solarnymi uzyskano dodat-
nie znaki, co świadczy o tym, że promie-
niowanie słoneczne przyczyniało się do
zwiększenia stężenia obu gazów (tab. 2).
Według Kleniewskiej (2005), promie-
niowanie słoneczne istotnie wpływa na
stężenie ditlenku siarki w niektórych sy-
tuacjach pogodowych, na przykład przy
pogodzie słonecznej i prędkości wiatru
poniżej 1 m·s⁻¹. Średnia temperatura
powietrza w okresie od października do
lutego oddziaływała korzystnie na czy-
stość powietrza, natomiast w kwietniu,
maju i sierpniu – niekorzystnie. Najści-
ślejszą zależność zarówno dla NO₂, jak
i SO₂ stwierdzono w listopadzie – R²
wyniósł odpowiednio 9,4 i 25,2%. Istotne
zależności między średnim dobowym
stężeniem SO₂ a średnią dobową tem-
peraturą powietrza wykazali m.in.: Mi-
czyński i Zawora (1993), Nowicka i inni
(2004) oraz Kleniewska (2005). Wzrost
maksymalnej temperatury powietrza
w czasie od lutego do maja oraz w lipcu
i w sierpniu w odniesieniu do NO₂ lub
w kwietniu i w maju w odniesieniu do
SO₂ przyczyniał się do zwiększenia stę-
żenia obu gazów, natomiast powodował
zmniejszenie ich imisji w miesiącach

od listopada do stycznia. Najściślej-
sze zależności, podobnie jak w przy-
padku średniej temperatury powietrza,
udowodniono w listopadzie – R² wy-
niósł 12,7% dla NO₂ i 27,1% dla SO₂.
Według Kleniewskiej (2004), wzrost
temperatury powietrza może przyczy-
niać się do spadku wydajności reakcji
utlenienia SO₂ i tym samym do pogor-
szenia czystości atmosfery. Z kolei po-
nadprzeciętna minimalna temperatura
powietrza oddziaływała korzystnie na
zmniejszenie się gazowych zanieczysz-
czeń atmosfery na Nizinie Szczecińskiej.
We wszystkich istotnie potwierdzonych
związkach NO₂ i SO₂ z minimalną tem-
peraturą powietrza lepszy opis uzyskano
dla SO₂, za wyjątkiem czerwca. Istotne
współczynniki determinacji wahały
się od 1,9% we wrześniu do 8,5%
w listopadzie względem NO₂ i od 1,9%
w czerwcu do 20,9% w listopadzie wzglę-
dem SO₂. Korelacja stężenia NO₂ i SO₂
z sumą opadów atmosferycznych ujawni-
ła wyłącznie pozytywną rolę tego ele-
mentu w mechanicznym oczyszczaniu
atmosfery (tab. 3). Jednak współczynniki
determinacji dla tej zależności były bar-
dzo niskie i wahały się od 1,9 do 9,5%
dla NO₂. Dla SO₂ udało się udowodnić
istotny związek z tym elementem tylko
w lutym. W miesiącach jesienno-zimo-
wych ciśnienie atmosferyczne korelo-
wało dodatnio z wielkością imisji obu
zanieczyszczeń, natomiast w letnich –
ujemnie. Analiza regresji zanieczyszczeń
gazowych atmosfery od prędkości wiatru
ujawniła wyłącznie pozytywną rolę tego
elementu, jako podstawowego czynnika
naturalnej wentylacji powietrza. Wpływ
prędkości wiatru na stężenie obu za-
nieczyszczeń był największy głównie
w miesiącach zimowych. Najściślej-
szą

TABELA 2. Istotne współczynniki korelacji cząstkowej [%] dla zależności liniowej między stężeniem NO₂ i SO₂ na obszarze pozamijskim Niziny Szczecińskiej a warunkami solarno-termicznymi, przy uwzględnieniu istotnego trendu liniowego w latach 1998–2005

TABLE 2. Significant coefficients of partial correlation [%] for the linear relationship between the concentrations of NO₂ and SO₂ in the countryside area of Szczecin Lowland and the solar-thermal conditions, taking into account the significant linear trend in 1998–2005

Rodzaj zanieczyszczeń Kind of pollution	Miesiąc / Month												Okres / Period grzewczy heating (X–IV) letni summer (V–IX)	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Sumy promieniowanie całkowitego / Total solar radiation [W·m ⁻²]														
NO ₂	+++	+++				+++				+				+++
	6,2	7,7				8,3				2,3				0,9
SO ₂	++	++		+++										++
	5,2	7,7		6,6										0,4
Średnia temperatura powietrza / Mean air temperature [°C]														
NO ₂	---			++	++				+	---	---			---
	5,4			2,3	2,7				1,6	2,9	9,4			1,7
SO ₂	---	---		+++	+						---	---		---
	15,4	2,5		5,0	1,7						25,2	2,3	1,4	0,7
Maksymalna temperatura powietrza / Maximum air temperature [°C]														
NO ₂	---	+	++	+++	+++				++	---	---			---
	5,6	1,5	2,0	3,7	5,2				2,3	2,6	12,7			1,0
SO ₂	---			+++	++						---	---		---
	16,9			7,3	2,6						27,1	4,6	0,9	
Minimalna temperatura powietrza / Minimum air temperature [°C]														
NO ₂	---					---				---	---			---
	4,9					4,5			1,9	4,6	8,5			2,7
SO ₂	---	---				---			---	---	---	---		---
	14,4	5,1				1,9	10,2	4,8	5,6		20,9	2,6	5,0	

Objaśnienia / Explanations:

-/+ zależność ujemna/dodatnia / negative / positive effect; *** istotna dla $\alpha \leq 0,01$ / significant at $\alpha \leq 0,01$; ** istotna dla $\alpha \leq 0,05$ / significant at $\alpha \leq 0,05$;

* istotna dla $\alpha \leq 0,1$ / significant at $\alpha \leq 0,1$.

TABELA 3. Istotne współczynniki korelacji cząstkowej [%] dla zależności liniowej między stężeniem NO₂ i SO₂ na obszarze pozamijskim Niziny Szczecińskiej a opadami, ciśnieniem i prędkością wiatru, przy uwzględnieniu istotnego trendu liniowego w latach 1998–2005

TABLE 3. Significant coefficients of partial correlation [%] for the linear relationship between the concentrations of NO₂ and SO₂ in the countryside area of Szczecin Lowland and the precipitation, the pressure and the speed of wind, taking into account the significant linear trend in 1998–2005

Rodzaj zanieczyszczeń Kind of pollution	Miesiąc / Month										Okres / Period			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	grzewczy heating (X–IV)	letni summer (V–IX)
	Suma opadów atmosferycznych / Precipitation total [mm]													
NO ₂	–*** 9,5	–* 2,2			–** 2,7				–* 1,9			–** 4,2	–** 0,3	
SO ₂		–*** 3,7												
	Ciśnienie atmosferyczne / Air-pressure [hPa]													
NO ₂		+*** 6,7		+*** 5,2		–* 2,3			+* 2,2	+* 3,0			+** 0,4	
SO ₂	+*** 5,5	+** 4,1				–*** 6,2	–*** 4,9							
	Średnia prędkość wiatru / Mean wind speed [m·s ⁻¹]													
NO ₂	–*** 27,8	–*** 19,5	–*** 6,0		–*** 10,9	–*** 6,3		–*** 5,3	–*** 11,8		–** 7,3	–*** 41,9	–*** 3,6	–*** 3,5
SO ₂	–*** 12,1	–*** 14,7			–*** 5,0		–* 4,1	–*** 6,8	–*** 15,7	–*** 10,7	–*** 31,2	–*** 1,1	–*** 1,8	

Objaśnienia, zob. tab. 2. / Explanations, see Table 2.

zależność udowodniono w grudniu dla obu zanieczyszczeń – R^2 wyniósł 41,9% dla NO_2 i 31,2% dla SO_2 . Podobne wyniki zależności NO_x i SO_2 w Olsztynie od prędkości wiatru, dotyczące kierunku i siły oddziaływania, uzyskali Nowicka i inni (2004).

Analiza regresji wielokrotnej umożliwiła wytypowanie najważniejszych elementów meteorologicznych spośród całego zespołu istotnie wpływających na miesięczną wielkość imisji obu zanieczyszczeń gazowych na Nizinie Szczecińskiej (tab. 4 i 5). Zastosowano procedurę krokową, a oprócz elementów meteorologicznych włączono funkcję czasu, ale tylko dla tych miesięcy, w których udowodniono istotny trend liniowy dla NO_2 i SO_2 . Wyniki zaprezentowano w takiej formie, która umożliwia rekonstrukcję równania w pełnej postaci. W tym celu – oprócz współczynników regresji wielokrotnej – dla elementów meteorologicznych podano również wartość liczbową wyrazu wolnego, stanowiącego integralną część równania regresji. Dane zamieszczone w tabeli 4 wskazują, że najlepsze wyniki dotyczące opisu zmienności stężenia NO_2 przez elementy meteorologiczne uzyskano w sierpniu – R^2 wyniósł 68,1%. Spośród siedmiu rozpatrywanych elementów meteorologicznych najczęściej o wielkości stężenia ditlenku azotu decydowały: średnia prędkość wiatru we wszystkich miesiącach, z wyjątkiem kwietnia, lipca i października, oraz ciśnienie atmosferyczne, znacznie rzadziej – maksymalna i średnia temperatura powietrza oraz promieniowanie słoneczne. Jak wskazują cząstkowe współczynniki korelacji, największy wpływ na wielkość imisji NO_2 miała prędkość wiatru – r^2

wahał się od 3,6% w czerwcu do 41,9% w grudniu. Współczynniki determinacji dla SO_2 były zdecydowanie wyższe niż dla NO_2 i wahały się od 34,3% w czerwcu do 74,6% w sierpniu (tab. 5). Z równań regresji wielokrotnej wynika, że główną rolę odgrywała, tak jak przy imisji NO_2 , średnia prędkość wiatru oraz maksymalna temperatura powietrza, przy czym kwadrat współczynnika korelacji cząstkowej dla prędkości wiatru wahał się, w zależności od miesiąca, od 4,1 do 24,9%, natomiast dla maksymalnej temperatury powietrza – od 6,1 do 16,1%. Podobne wyniki uzyskali autorzy opracowania Wykorzystanie... (2000) oraz Kleniewska (2005), z których badań wynika, że o wielkości stężenia SO_2 decydują przede wszystkim: prędkość wiatru, temperatura powietrza i opady. Zarówno w równaniach regresji dla stężenia NO_2 , jak i dla SO_2 nie udało się uwzględnić warunków opadowych w postaci sum. Van der Wal i Janssen (2000) piszą, że o efektywności opadów w usuwaniu zanieczyszczeń z powietrza decyduje ich częstota, w mniejszym zaś stopniu ich wielkość.

Wnioski

1. Na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej rozkład czasowy stężenia NO_2 i SO_2 nie wykazał wyraźnej struktury sezonowej. W okresie grzewczym wielkość imisji SO_2 była taka sama jak w okresie letnim.
2. W latach 1998–2005 polepszenie jakości powietrza na Nizinie Szczecińskiej wynikało z malejącej tendencji stężenia SO_2 we wszystkich miesiącach roku oraz stężenia NO_2 w sierpniu i we wrześniu.

TABELA 4. Istotne współczynniki regresji wielokrotnej i korelacji cząstkowej [%] dla zależności stężenia ditlenku azotu od wybranych elementów meteorologicznych na obszarze pozamięskim Niziny Szczecińskiej, przy uwzględnieniu trendu liniowego w latach 1998–2005
 TABLE 4. The significant coefficient of multiple regression and partial correlation [%] for the relationship between the concentration of nitrogen dioxide and the selected meteorological elements in the countryside area of Szczecin Lowland, taking the linear trend in 1998–2005 into consideration

Miesiąc Month	Wyraz wolny Slope	Rok Year	Element meteorologiczny / Meteorological element							R ²	
			R _s	T	T _{max}	T _{min}	Op	P	V		
Styczeń January	rw r ² 176,13	0,0901 5,5*								-0,37 27,8***	29,3
Luty February	rw r ² -365,27	0,18 17,9***			0,058 6,9***				0,016 5,7**	-0,28 14,9***	38,0
Marzec March	rw r ² -266,00019	0,14 15,9***								-0,21 6,0***	21,2
Kwiecień April	rw r ² -136,64	0,069 2,4***			0,0301 3,2**				0,000084 4,7***		18,2
Maj May	rw r ² -41,077	0,22 28,9***							-0,032 6,9**	-0,52 13,2***	38,8
Czerwiec June	rw r ² 2,56		0,00011 5,4***							-0,203 3,6**	11,5
Lipiec July	rw r ² 1,89				0,029 2,3**						2,3
Sierpień August	rw r ² 701,11	-0,34 67,4***								-0,21 5,3**	68,1
Wrzesień September	rw r ² 620,93	-0,31 36,9***							0,00011 4,6**	-0,390 12,2***	39,1
Październik October	rw r ² -17,85			-0,072 3,3**					0,021 2,5**		6,2
Listopad November	rw r ² -168,67	0,0801 12,8***								-0,18 7,3**	21,3
Grudzień December	rw r ² 5,056									-0,70032 41,9***	41,9

Objaśnienia / Explanations:

R² – współczynnik determinacji / determination coefficient [%]; rw – współczynnik regresji wielokrotnej / multiple regression coefficient; r² – kwadrat współczynnika korelacji cząstkowej / square of partial correlation coefficient [%]; *** – współczynnik istotny przy $\alpha \leq 0,01$ / regression coefficient significant at $\alpha \leq 0,01$; ** – współczynnik istotny przy $\alpha \leq 0,05$ / regression coefficient significant at $\alpha \leq 0,05$; R_s – sumy promieniowania całkowitego / total solar radiation [W·m⁻²]; T – średnia temperatura powietrza / mean air temperature [°C]; T_{max} – maksymalna temperatura powietrza / maximum air temperature [°C]; T_{min} – minimalna temperatura powietrza / minimum air temperature [°C]; Op – sumy opadów atmosferycznych / precipitation total [mm]; P – ciśnienie atmosferyczne / air-pressure [hPa]; V – średnia prędkość wiatru / mean wind speed [m·s⁻¹].

TABELA 5. Istotne współczynniki regresji wielokrotnej i korelacji cząstkowej [%] dla zależności stężenia ditlenku siarki od wybranych elementów meteorologicznych na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej, przy uwzględnieniu trendu liniowego w latach 1998–2005
 TABLE 5. The significant coefficient of multiple regression and partial correlation [%] for the relationship between the concentration of sulphur dioxide and the selected meteorological elements in the countryside area of Szczecin Lowland, taking the linear trend in 1998–2005 into consideration

Miesiąc Month	Wyraz wolny Slope	Rok Year	Element meteorologiczny / Meteorological element								R ²	
			R _s	T	T _{max}	T _{min}	Op	P	V			
Styczeń January	rw r ² 622,35	-0,309 30,8***	0,00051 4,9**								-0,207 11,8***	47,1
Luty February	rw r ² 310,76	-0,15 32,1***		-0,056 9,7***							-0,13 7,4***	41,2
Marzec March	rw r ² 976,95	-0,49 43,9***										43,9
Kwiecień April	rw r ² 217,84	-0,108 20,9***		0,033 11,4***						-0,000048 9,0***		42,1
Maj May	rw r ² 831,44	-0,41 64,7***		0,0402 3,5**							-0,21 4,2***	66,3
Czerwiec June	rw r ² 567,094	-0,26 29,6***								-0,051 6,2***		34,3
Lipiec July	rw r ² 459,33	-0,22 35,4***				-0,086 11,4***				-0,023 3,2**		40,2
Sierpień August	rw r ² 1313,88	-0,66 73,8***									-0,26 4,1**	74,6
Wrzesień September	rw r ² 1060,190	-0,53 72,9***		0,051 6,1***							-0,21 5,6***	73,4
Październik October	rw r ² 500,47	-0,25 61,2***									-0,13 8,3***	61,8
Listopad November	rw r ² 548,93	-0,27 69,6***		-0,035 6,9***							-0,13 7,1***	72,8
Grudzień December	rw r ² 601,25	-0,29 58,1***		-0,056 16,1***							-0,29 24,9***	67,8

Objaśnienia, zob. tab. 4 / Explanations, see Table 4.

3. Najwięcej istotnych związków obu zanieczyszczeń gazowych z elementami meteorologicznymi udowodniono w okresie grzewczym, zwłaszcza w styczniu i w lutym, najmniej w okresie letnim – w lipcu.
4. Spośród analizowanych elementów meteorologicznych ze stężeniem NO₂ i SO₂ najsilniej ujemnie skorelowane były: minimalna temperatura powietrza, suma opadów atmosferycznych i prędkość wiatru.
5. W zespole elementów meteorologicznych najsilniej skorelowanych ze stężeniem obu zanieczyszczeń gazowych największą rolę odgrywały: średnia prędkość wiatru, ciśnienie atmosferyczne i maksymalna temperatura powietrza.

Literatura

- CZARNECKA M., KALBARCZYK R. 2004: Zanieczyszczenie powietrza – emisja (I i II) i imisja (I i II) [w:] Atlas zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza (red.) Cz. Koźmiński, B. Michalska. AR Szczecin: 18–21.
- 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.
- KLENIEWSKA M. 2004. Związek między stężeniem dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym a rodzajem napływających mas powietrza w półroczu chłodnym w Ursynowie SGGW. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2(29): 161–167.
- KLENIEWSKA M. 2005. Kształtowanie się stężenia dwutlenku siarki na terenach zróżnicowanych pod względem rodzaju emisji SO₂ na przykładzie stacji Warszawa Ursynów i Bielsk Duży. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 4(1): 59–70.
- MICZYŃSKI J., ZAWORA T. 1993: Variation in time, and spatial distribution of air pollutants and dust fall in the vicinity of notable water reservoir in Dobrzyce. *Ekol. Pol.* 41 (3,4): 307–317.
- NOWICKA A., RYMKIEWICZ I., DRAGAŃSKA E., PANFIL M. 2004: Wpływ elementów meteorologicznych na stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Olsztynie. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 13(28): 126–132.
- Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2004–2005, 2006 (red.) M. Landsberg-Uczciwek. Biblioteka Monitoringu Środowiska, IOŚ Warszawa.
- 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.
- van der WAL J.T., JANSSEN L.H.J.M. 2000: Analysis of spatial and temporal variations of PM10 concentrations in the Netherlands using Kalman filtering. *Atmospheric Environment* 34: 3675–3687.
- Wykorzystanie danych meteorologicznych w monitoringu jakości powietrza (podstawy fizyczne i wskazówki metodyczne), 2000. (red.) J. Walczewski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, IOŚ Warszawa.

Summary

Variability of gas concentration of air pollution in the countryside area of Szczecin Lowland correlated with weather conditions. The aim of the studies was to determine relationships between the concentration of nitrogen dioxide and sulphur dioxide in the countryside area and the selected meteorological elements. In the studies the data concerning the immission of gas pollution and meteorological data were taken into account and they were gathered, respectively, at the station monitoring the air quality and the agrometeorological station of Agricultural University of Szczecin, situated in the middle part of Szczecin Lowland (in Lipnik,

near Stargard Szczeciński) in 1998–2005. In the countryside area of Szczecin Lowland the time distribution of the NO₂ and SO₂ concentrations did not show a distinct seasonal structure. During the seasonal heating the amount of the SO₂ immission was the same as during the summer. In 1998–2005 the improvement of the air quality in Szczecin Lowland resulted from a decreasing tendency of the SO₂ concentration during all the months of the year and a decreasing tendency of the NO₂ concentration in August and September. In the set of meteorological elements, the most strongly correlated with

concentrations of the two gas pollution factors and of the strongest role were the average speed of wind, the atmospheric pressure and the maximum air temperature.

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