

WARUNKI METEOROLOGICZNE KSZTAŁTUJĄCE JAKOŚĆ POWIETRZA W STYCZNIU I W LIPCU 2006 ROKU W SZCZECINIE

Małgorzata Czarnecka, Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Akademia Rolnicza
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-434 Szczecin
e-mail: czarnecka@agro.ar.szczecin.pl

Streszczenie. Podstawą analizy były godzinne wartości emisji ditlenku siarki, ditlenku azotu oraz pyłu zawieszonego PM10 oraz dane obejmujące podstawowe elementy meteorologiczne, z 3 stacji pomiarowych Szczecina, w styczniu i w lipcu 2006 roku. Stwierdzono, że wielkość emisji podstawowych zanieczyszczeń powietrza na obszarze aglomeracji szczecińskiej w styczniu i lipcu 2006 roku różnicowały warunki anemometryczne. Kierunek wiatru decydował o napływie zanieczyszczeń, natomiast wzrost prędkości na ogół przyczyniał się do zmniejszenia ich stężeń. Rola prędkości wiatru, jako czynnika dyspersji, uwidoczniła się przede wszystkim w odniesieniu do emisji ditlenku azotu w lipcu. Jakość powietrza w styczniu 2006 r. w Szczecinie, oprócz warunków anemometrycznych, kształtowały głównie temperatura i wilgotność względna powietrza, których wzrost przyczyniał się do zmniejszenia emisji. Nietypowa pogoda panująca w styczniu 2006 r. silniej determinowała stężenia pyłu zawieszonego PM10, natomiast w lipcu – ditlenku azotu. Wpływ warunków meteorologicznych na stężenia ditlenku azotu, w obu miesiącach, był większy w podmiejskich częściach Szczecina, mniejszy w centrum.

Słowa kluczowe: ditlenek siarki, ditlenek azotu, pył zawieszony PM10, warunki meteorologiczne, analiza regresji

WSTĘP

Zanieczyszczenie powietrza należy do najbardziej niebezpiecznych zagrożeń środowiska. Ilość zanieczyszczeń mogących występować w powietrzu jest niezmiernie duża a ich szkodliwość zależy od wielu czynników m.in. od właściwości chemiczno - toksycznych, stanu skupienia, stopnia dyspersji i stężenia w powietrzu. Dla zdrowia ludzkiego szczególnie niebezpieczne są epizody nagłego i silnego zanieczyszczenia powietrza nazywane smogiem. Bezpośrednią przyczyną powstawania smogu są duże emisje zanieczyszczeń powietrza, jednak czynnikami umożliwiającymi i potęgującymi jego powstanie są specyficzne warunki meteoro-

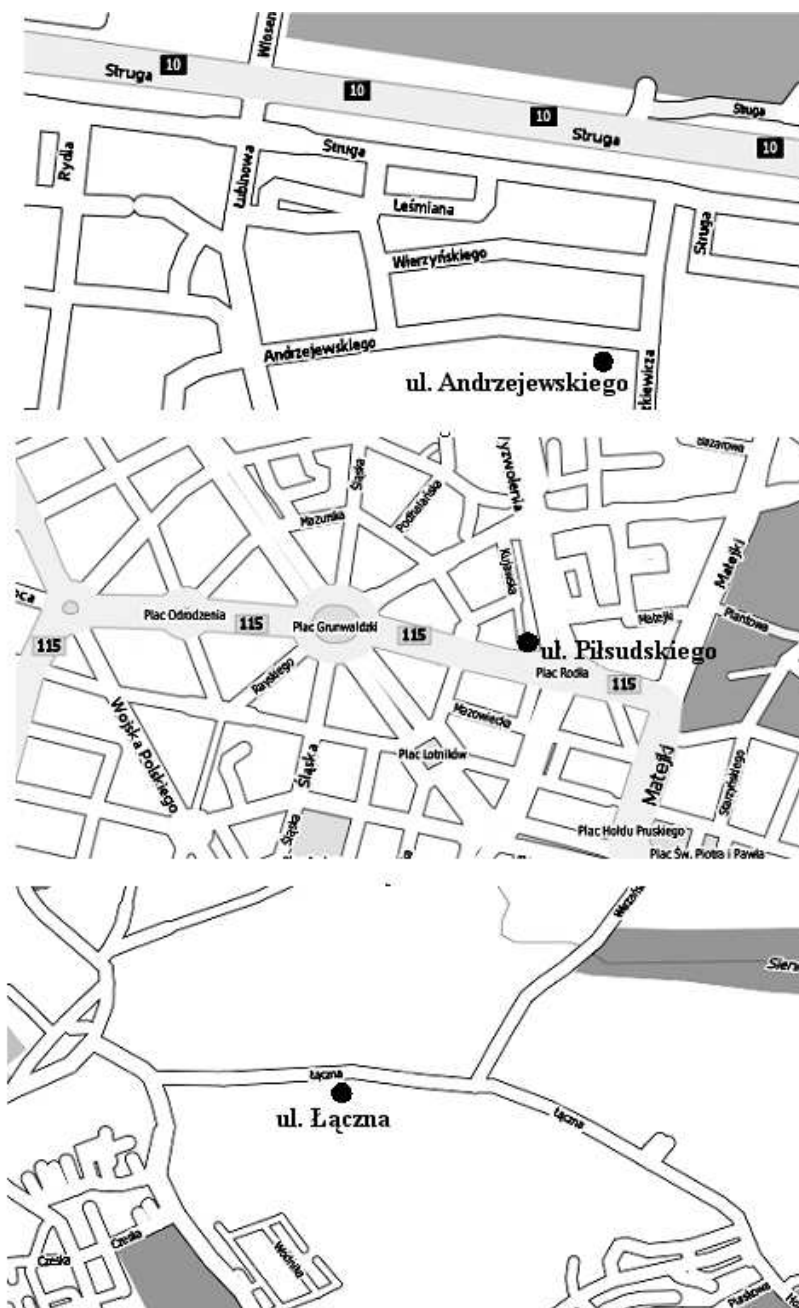
logiczne a także lokalna topografia terenu. Obserwowany w warunkach zimowych tzw. czarny smog oraz wiosną i latem tzw. smog fotochemiczny są ściśle związane z występowaniem pogody antycyklonalnej i słabego wiatru (Błażek i in. 1999, Godłowska 2004, Ośródką i Święch-Skiba 1997, Walczewski 2005). W przypadku smogu fotochemicznego istotną rolę odgrywa nasłonecznienie i temperatura powietrza, których wysokie wartości inicjują reakcje fotochemiczne. Badania Ośródką i Święch-Skiby (1997) wykazały, że na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, zagrożenie smogiem fotochemicznym jest obserwowane zawsze, gdy chwilowa wartość promieniowania całkowitego przekracza $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Wpływ warunków pogodowych na zmienność imisji podstawowych zanieczyszczeń powietrza, w ujęciu wybranych elementów meteorologicznych lub ich zespołów wykazano w wielu pracach (np. Czarnecka i Kalbarczyk 2005 i 2008, Hoffman i Jasiński 1998, Kleniewska 2003, Majewski 2005, Rozbicka 2004). Prosty wskaźnik meteorologiczny (WZ) pozwalający określić prawdopodobieństwo wzrostu zanieczyszczenia powietrza w okresie zimowym opracował Walczewski (1997, 2005). Wskaźnik uwzględnia podstawowe elementy meteorologiczne: temperaturę powietrza, prędkość wiatru, opad oraz ciśnienie atmosferyczne, ale także występowanie niskiej warstwy inwersyjnej. W opinii autora, który testował wskaźnik w warunkach Krakowa, maksima wskaźnika są skorelowane w czasie z maksimami stężeń zanieczyszczeń. Wymieniony wskaźnik okazał się również przydatny do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza ditlenkiem siarki oraz pyłem PM10 w warunkach aglomeracji warszawskiej (Majewski i Przewoźniczuk, 2006). Matematyczny opis oddziaływania pogody na stężenie zanieczyszczeń powietrza można uzyskać także dzięki modelom dyspersji zanieczyszczeń (np. Burzyński 2004, Rogula i Żeliński 2005).

W roku 2006, zarówno zimą, jak i latem, warunki meteorologiczne w Szczecinie, tak jak w całym kraju, znacznie odbiegały od normy, co przyczyniło się do wyraźnego pogorszenia jakości powietrza, a w przypadku pyłu zawieszonego, w styczniu, nawet do znacznego przekroczenia dopuszczalnej normy. Stąd, zasadniczym celem pracy była ocena wpływu warunków meteorologicznych na podwyższone i ponadnormatywne stężenia głównych zanieczyszczeń, decydujących o jakości powietrza w aglomeracji szczecińskiej w 2006 roku.

MATERIAŁY I METODY

Podstawę opracowania stanowiły godzinne wartości imisji ditlenku siarki, ditlenku azotu i pyłu zawieszonego w styczniu i lipcu w 2006 roku, rejestrowane na trzech stacjach imisyjnych w Szczecinie, których położenie zaznaczono na rysunku 1. Stacja przy ul. Piłsudskiego znajduje się w centralnej części miasta i służy pomiarom zanieczyszczeń komunikacyjnych, natomiast stacja przy ul. Andrzejewskiego reprezentuje tzw. tło miejskie.



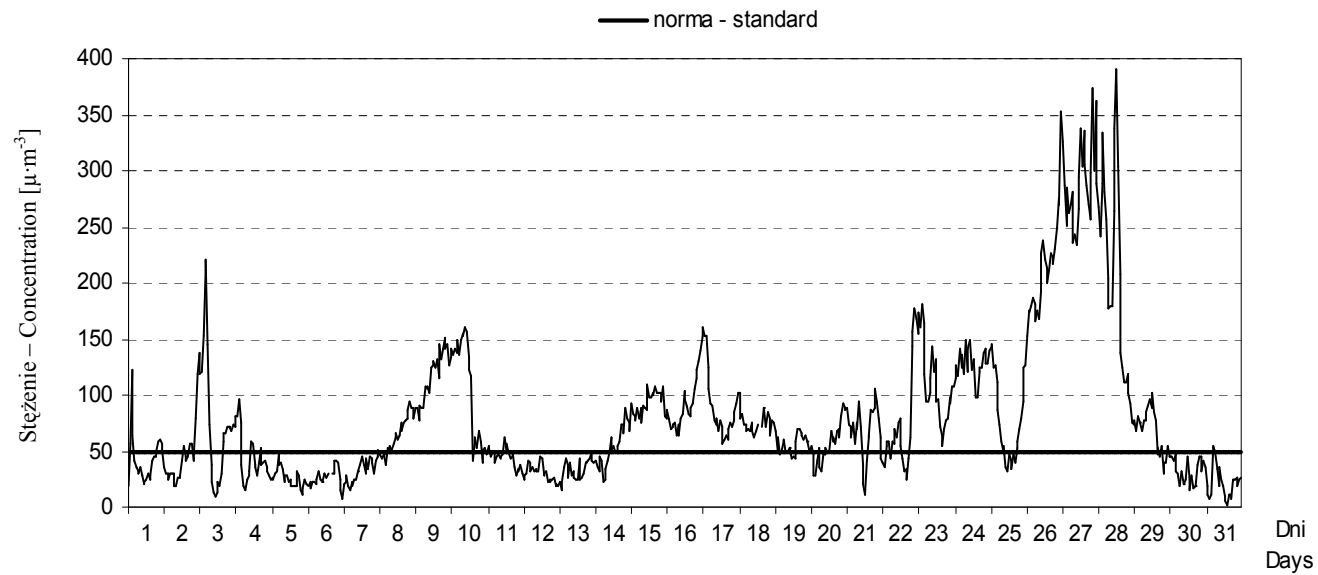
Rys. 1. Lokalizacja stacji imisyjnych i meteorologicznych w Szczecinie
Fig. 1. Location of immission and meteorological stations in Szczecin

Z kolei zasadniczym celem pomiarów prowadzonych przy ul. Łącznej jest ocena oddziaływania Zakładów Chemicznych Police na jakość powietrza w Szczecinie. Ze względu na lokalne warunki topograficzne reprezentatywność stanowiska pomiarowego przy ul. Łącznej, dla objętych analizą zanieczyszczeń, wynosi kilkanaście kilometrów, natomiast przy ul. Piłsudskiego i Andrzejewskiego ogranicza się do kilkuset metrów, a tylko w odniesieniu do SO_2 , odpowiednio: do kilku i kilkunastu km (<http://www.wios.szczecin>). Wykorzystane w opracowaniu dane meteorologiczne pochodziły ze stacji automatycznych, zlokalizowanych obok stacji imisyjnych i obejmowały promieniowanie całkowite, temperaturę powietrza, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność względną powietrza oraz prędkość i kierunek wiatru. Wpływ elementów meteorologicznych na stężenie analizowanych zanieczyszczeń określono przy zastosowaniu analizy korelacji oraz regresji pojedynczej i wielokrotnej, na poziomach istotności $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$.

WYNIKI

W roku 2006 szczególnie niekorzystne dla jakości powietrza warunki meteorologiczne panowały przede wszystkim w styczniu, ale także w lipcu. W większości dni stycznia pogodę kształtował rozległy wyż rosyjski, sprowadzający do Polski mroźne i suche powietrze. W Szczecinie średnia miesięczna temperatura była o $4,7^\circ\text{C}$ niższa od normy za lata 1961-2000, a opady stanowiły jedynie 33% średniej wieloletniej (Biuletyn..., 2006). Skutkiem niekorzystnych warunków pogodowych, wymuszających intensyfikację procesów grzewczych a ograniczających naturalną wentylację i samooczyszczanie powietrza był znaczny wzrost emisji głównych zanieczyszczeń. Średnie miesięczne stężenia ditlenku siarki i ditlenku azotu były około dwukrotnie, a pyłu zawieszonego – nawet trzykrotnie większe od średniej z lat 1993-2002 (Czarnecka i Kalbarczyk, 2004). Poza tym 1-godzinne stężenia pyłu PM_{10} wykazały w dniach 19-22 stycznia w niektórych punktach pomiarowych przekroczenia dopuszczalnej normy. W rejonie ul. Andrzejewskiego największe stężenia pyłu, rejestrowane w dniach 26-28 stycznia, nawet 7-8 razy przewyższały normę 1-godzinną (rys. 2). Ponadnormatywne stężenia pyłu PM_{10} , stwierdzone także jeszcze w innych miesiącach roku 2006, zadecydowały o zakwalifikowaniu aglomeracji Szczecin, jako jedynej strefy w województwie zachodniopomorskim, do najbardziej niekorzystnej (w skali trzystopniowej) klasy C, co nałożyło na wojewodę obowiązek opracowania programu ochrony powietrza, mającego zapewnić dotrzymanie standardów jakości powietrza przez ten rodzaj zanieczyszczenia (Roczna ocena..., 2007).

Lipiec 2006 roku był ekstremalnie ciepły i skrajnie suchy, gdyż temperatura o $4,7^\circ\text{C}$ przekroczyła normę, a opady stanowiły zaledwie 24% średniej wieloletniej sumy miesięcznej. W takich warunkach największy wzrost emisji wykazał



Rys. 2. Godzinne stężenie pyłu zawieszonego PM10 w styczniu 2006 roku, przy ul. Andrzejewskiego w Szczecinie
Fig. 2. Daily concentration of suspended particulate matter PM10 in Andrzejewskiego Street in Szczecin in January 2006

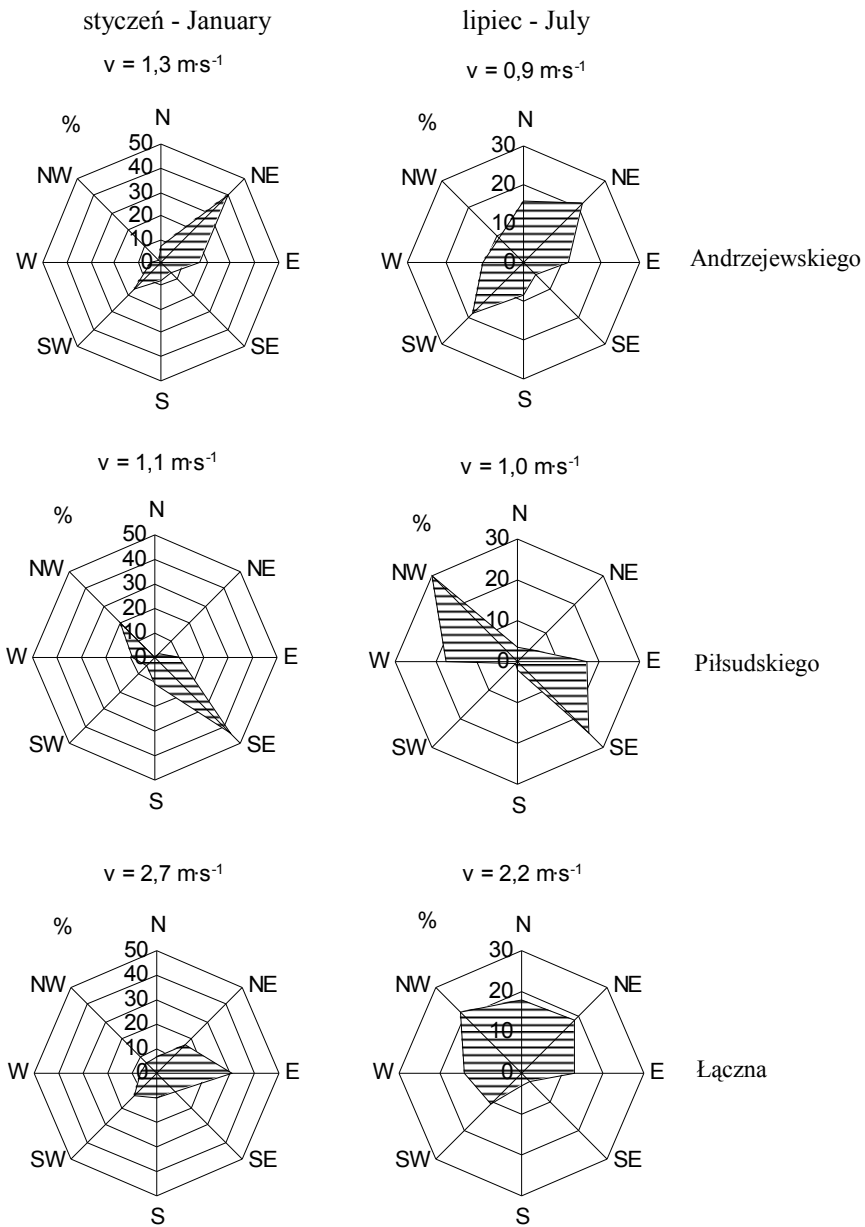
ditlenek azotu, którego stężenia były około dwukrotnie większe od przeciętnych z lat 1993–2002 (Czarnecka i Kalbarczyk, 2004), jednak standardy jakości powietrza dla wszystkich zanieczyszczeń były dotrzymane.

W większości dni stycznia i lipca, w warunkach pogody antycyklonalnej, prędkość wiatru na ogół nie przekraczała $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, co zasadniczo ograniczało naturalną wentylację powietrza. Jak wskazuje rysunek 3 prędkość, a szczególnie kierunek wiatru, wykazywały duże zróżnicowanie w zależności od położenia stacji pomiarowej. Pomimo że warunki pogodowe w styczniu 2006 r. kształtowała generalnie cyrkulacja z sektora wschodniego, to w centralnej części miasta dominowały wiatry SE, przy ul. Łącznej – E, a przy ul. Andrzejewskiego –NE.

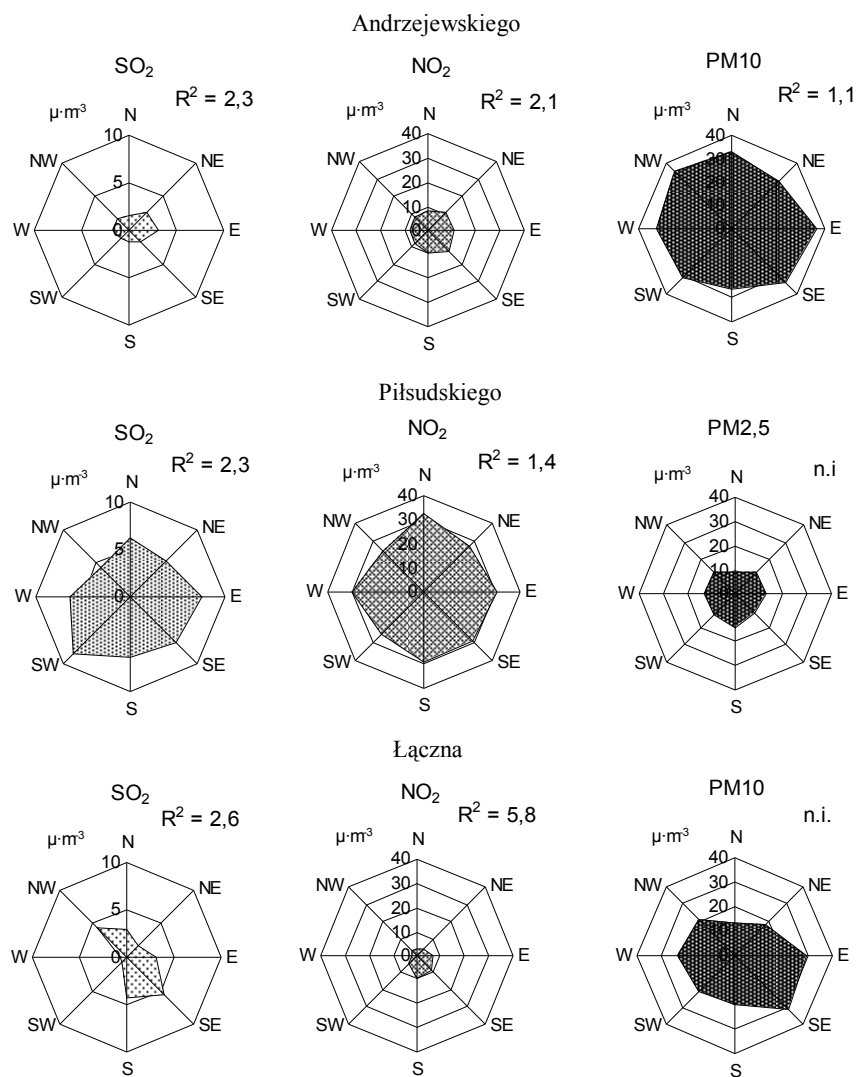
Równie duże kontrasty warunków anemometrycznych pomiędzy stacjami zaznaczyły się w lipcu. W śródmieściu Szczecina wiatry NW i SE występowały z podobną częstością, podczas gdy w niezabudowanej części miasta, przy ul. Łącznej, wiatrów z kierunku SE prawie nie notowano, natomiast najczęściej występowały wiatry z sektora północnego – z podobną częstością z NW, N i NE. Zdecydowanie największymi prędkościami wiatru charakteryzował się niezabudowany rejon ulicy Łącznej. Zarówno w styczniu, jak i w lipcu średnia prędkość wiatru w tym rejonie była ponad dwukrotnie większa niż przy ul. Piłsudskiego i Andrzejewskiego.

Na terenach miast kierunek wiatru jest zasadniczym czynnikiem napływu zanieczyszczeń z lokalnych źródeł komunalnych i przemysłowych oraz transportu drogowego (Elminir 2005, Hoffman i Jasiński 1998, Majewski i Przewoźniczuk 2006). Z analizy rysunków 4 i 5 wynika, że warunki anemometryczne wyraźnie różnicowały stężenia zanieczyszczeń powietrza w Szczecinie w styczniu i lipcu 2006 r. Rolę kierunku wiatru w kształtowaniu imisji analizowanych zanieczyszczeń, pomimo jego niewielkich prędkości w warunkach pogody wyżowej, odzwierciedlają współczynniki determinacji, które w zdecydowanej większości przypadków były statystycznie istotne na najwyższym przyjętym poziomie $\alpha = 0,01$. Kierunek wiatru w większym stopniu kształtował zmienność stężeń w stacjach reprezentujących tło miejskie, naj słabiej w warunkach zwartej zabudowy centrum miasta. W styczniu silniejszy związek z kierunkiem wiatru wykazywała imisja pyłu PM10 w rejonie głównej drogi dojazdowej do Szczecina, przy ul. Andrzejewskiego, natomiast w lipcu – ditlenku azotu, w niezabudowanym rejonie przy ul. Łącznej.

Przeciętnie największymi stężeniami ditlenku siarki i azotu, zarówno w styczniu, jak i w lipcu 2006 r., charakteryzował się rejon stacji komunikacyjnej przy ul. Piłsudskiego, w centralnej części miasta (rys. 4 i 5). W obu miesiącach najmniejsze stężenia ditlenku siarki rejestrowano na niezabudowanym obszarze przy ul. Łącznej. W styczniu 2006 r., w zwartej zabudowie centrum miasta, większa imisja zanieczyszczeń gazowych miała miejsce przy wiatrach wschodnich, natomiast w lipcu podwyższone stężenia SO_2 występowały przy wiatrach SW, podczas gdy stężenia NO_2 nie były wyraźnie różnicowane przez kierunek wiatru. Pomimo, że



Rys. 3. Charakterystyka kierunku i prędkości wiatru w styczniu i w lipcu 2006 roku w Szczecinie
Fig. 3. The characteristics of the direction and speed of wind in Szczecin in January and July, 2006

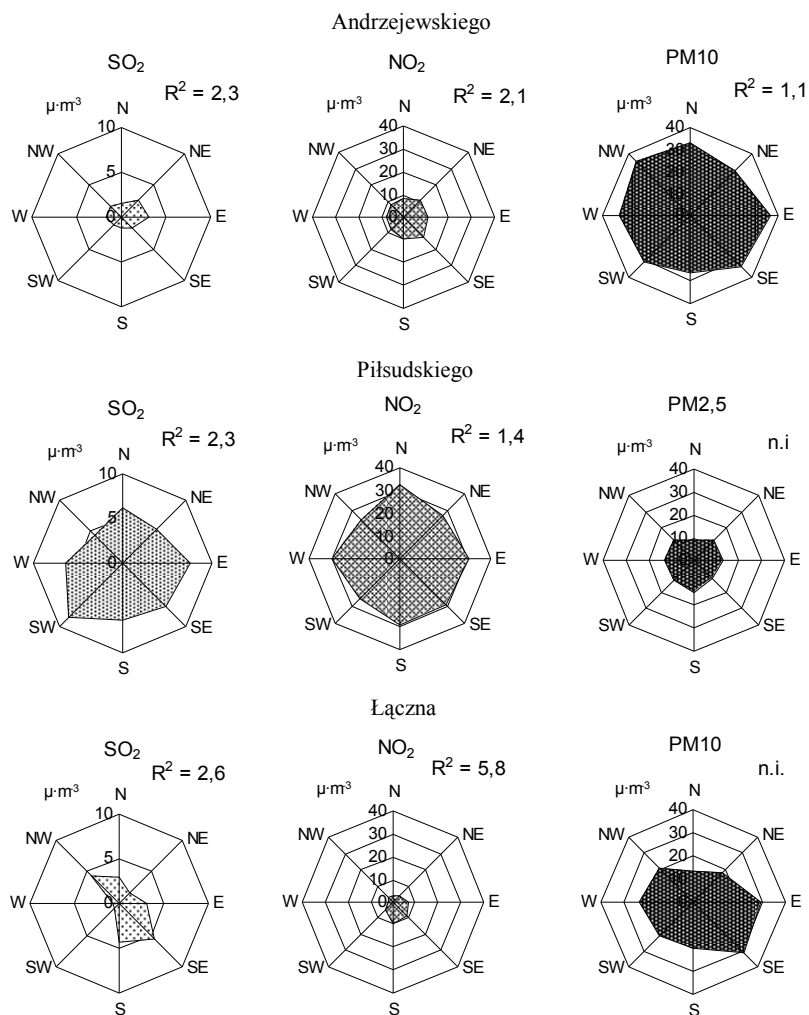


R^2 – współczynnik determinacji (%) dla zależności stężenia zanieczyszczenia od kierunku wiatru, istotny na poziomie $\alpha = 0,01$

R^2 – coefficient of determination (%) for the relationship between the concentration of impurities and the direction of wind, significant at $\alpha = 0.01$

Rys. 4. Stężenia ditlenku siarki, ditlenku azotu i pyłu zawieszzonego PM10 w styczniu 2006 roku w Szczecinie w zależności od kierunku wiatru

Fig. 4. Concentrations of sulphur dioxide, nitrogen dioxide and suspended particulate matter PM10 in Szczecin in January, 2006, in relation to the direction of wind



R^2 – współczynnik determinacji (%) dla zależności stężenia zanieczyszczenia od kierunku wiatru, istotny na poziomie $\alpha = 0,01$

R^2 – coefficient of determination (%) for the relationship between the concentration of impurities and the direction of wind, significant at $\alpha = 0.01$

Rys. 5. Stężenia ditlenku siarki, ditlenku azotu i pyłu zawieszonoego PM10 w lipcu 2006 roku w Szczecinie w zależności od kierunku wiatru

Fig. 5. Concentrations of sulphur dioxide, nitrogen dioxide and suspended particulate matter PM10 in Szczecin in July, 2006, in relation to the direction of wind

w styczniu 2006 r., w rejonie ul. Łącznej, przeważały wiatry z kierunków E i NE, to większe stężenia SO_2 i pyłu PM_{10} notowano przy wiatrach SE, co wskazuje na ich napływ ze śródmieścia. Również przy ul. Andrzejewskiego, usytuowanej w pobliżu głównej drogi dojazdowej do Szczecina, mimo zdecydowanej przewagi wiatrów NE, większe stężenia NO_2 i PM_{10} notowano przy kierunku W, co również świadczyłoby o ich napływie z lewobrzeżnej części aglomeracji szczecińskiej. W lipcu 2006 r., w obu stacjach reprezentujących tło miejskie, większe stężenia analizowanych zanieczyszczeń notowano przy wiatrach SE i E. Z porównania rysunków 3, 4 i 5 wynika, że w każdym punkcie pomiarowym, na ogół większe stężenia zanieczyszczeń notowano przy przeważającym w tym rejonie kierunku wiatru, bądź przy kierunku z tego samego sektora. Wskazuje to na większą rolę wiatru jako czynnika transportu zanieczyszczeń z lokalnych źródeł emisji w porównaniu z jego funkcją przewietrzania, co przy jego niewielkich prędkościach w warunkach pogody wyżowej w styczniu i w lipcu 2006 r. i to w obszarze zabudowanym, wydaje się oczywiste.

Oprócz kierunku wiatru, zmienność imisji głównych zanieczyszczeń powietrza w Szczecinie w styczniu i lipcu 2006 r. kształtowały także inne elementy pogody, wytypowane za pomocą procedury krokowej analizy regresji (tab. 1). Warunki meteorologiczne silniej oddziaływały na jakość powietrza w styczniu, szczególnie na stężenie pyłu zawieszonego PM_{10} , podczas gdy nietypowa pogoda w lipcu 2006 determinowała głównie imisję NO_2 , zwłaszcza w śródmieściu Szczecina. Silniejsze, ale przede wszystkim wyraźnie zróżnicowane związki stężeń analizowanych zanieczyszczeń z głównymi elementami meteorologicznymi stwierdzono dla poszczególnych kierunków wiatru. W styczniu, w trzech stacjach imisyjnych Szczecina, niemal wszystkie współczynniki determinacji były istotne na najwyższym przyjętym poziomie istotności, a niektóre przekraczały nawet 80% (tab. 2). Tak silny związek imisji z wytypowanymi elementami pogody stwierdzono w rejonie ul. Andrzejewskiego dla obu zanieczyszczeń gazowych przy wiatrach W, a ditlenku siarki – także przy kierunku SE oraz przy ul. Łącznej - dla stężenia pyłu zawieszonego przy wiatrach W. We wszystkich punktach Szczecina największe współczynniki determinacji częściej dotyczyły imisji pyłu. Na ogół najsilniejsze związki imisji z warunkami pogodowymi dotyczyły kierunków innych niż występujące najczęściej, czy też kierunków, przy których stężenia osiągały największe wartości. Jedynie w rejonie ul. Andrzejewskiego największe współczynniki determinacji uzyskano dla kierunku, przy którym stężenia ditlenku azotu i pyłu zawieszonego PM_{10} były największe, czyli kierunku W.

Tabela 1. Współczynniki determinacji R^2 (%) dla zależności stężenia ditlenku siarki, ditlenku azotu oraz pyłu zawieszzonego od warunków meteorologicznych, istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, w styczniu i w lipcu 2006 roku w Szczecinie

Table 1. Coefficient of determination R^2 (%) for the relationship between sulphur dioxide, nitrogen dioxide and suspended particulate matter and meteorological conditions, significant at $\alpha = 0.01$, in Szczecin in 2006

Miesiące Months	ul. Andrzejewskiego			ul. Piłsudskiego			ul. Łączna		
	SO ₂	NO ₂	PM10	SO ₂	NO ₂	PM2,5	SO ₂	NO ₂	PM10
Styczeń	33,3	36,6	44,9	30,1	28,8	·	30,3	28,9	47,4
Lipiec	17,2	20,8	7,7	8,6	26,4	14,4	10,8	14,7	9,5

· brak danych – · lack of data.

Tabela 2. Współczynniki determinacji (%) dla zależności stężenia zanieczyszczeń od warunków meteorologicznych według kierunków wiatru w styczniu 2006 roku w Szczecinie

Table 2. Coefficients of determination (%) for the relationship between concentration of impurities and meteorological conditions according to the directions of wind in Szczecin in January, 2006

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Andrzejewskiego			ul. Piłsudskiego		ul. Łączna		
	SO ₂	NO ₂	PM10	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	PM10
N	47,9	36,3	43,5	·	·	19,3	46,5	38,3
NE	36,8	40,7	48,8	85,7	21,4	49,0	64,7	55,0
E	40,9	22,3	46,1	50,9	37,8	24,3	29,6	50,4
SE	87,8	19,2	n.i.	24,2	38,1	10,9	40,2	45,8
S	76,7	34,7	5,9	79,2	56,1	8,6*	48,4	59,6
SW	56,8	39,7	57,4	45,3	24,2	68,0	43,5	63,8
W	81,6	85,8	65,4	n.i.	28,8	45,3	75,0	87,1
NW	·	·	·	26,8	41,4	·	·	·

n.i. zależności nieistotne na poziomie $\alpha = 0,05$, n.s. non-significant relationships at $\alpha = 0.05$;

* – istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, * – significant at $\alpha = 0.05$;

nieoznaczone – istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, non-defined– significant at $\alpha = 0.01$;

· brak zjawiska, · absence of phenomenon;

W lipcu warunki meteorologiczne miały znacznie mniejszy wpływ na wielkość emisji występującej przy poszczególnych kierunkach wiatru (tab. 3). W wielu przypadkach zależności były nieistotne lub statystycznie istotne tylko na poziomie $\alpha = 0,05$, a współczynniki determinacji nie przekraczały 35%. W rejonie głównej drogi dojazdowej do Szczecina, przy ul. Andrzejewskiego, lepszy opis uzyskano dla obu zanieczyszczeń gazowych, natomiast w niezabudowanym rejonie ul. Łącznej – dla ditlenku siarki i pyłu zawieszony PM10. W lipcu wpływ warunków pogodowych na emisję zanieczyszczeń silniej zaznaczył się w stacjach reprezentujących tło miejskie, zdecydowanie słabiej – w centrum Szczecina, gdzie nieco więcej statystycznie istotnych współczynników determinacji wytestowano dla ditlenku azotu.

Warunki pogodowe, które istotnie wpływały na zmienność emisji zanieczyszczeń powietrza w styczniu i w lipcu 2006 roku w Szczecinie reprezentowane były przez jeden do trzech elementów meteorologicznych (tab. 4 i 5). Rolę poszczególnych elementów meteorologicznych odzwierciedlają współczynniki determinacji dla regresji pojedynczej bądź determinacji cząstkowej dla regresji wielokrotnej, w przypadkach, kiedy statystycznie istotny wpływ na emisję miały dwa lub trzy elementy.

Tabela 3. Współczynniki determinacji (%) dla zależności stężenia zanieczyszczeń od warunków meteorologicznych według kierunków wiatru w lipcu 2006 roku w Szczecinie

Table 3. Coefficients of determination (%) for the relationship between the concentration of impurities and meteorological conditions according to the directions of wind in Szczecin in July, 2006

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Andrzejewskiego			ul. Piłsudskiego			ul. Łączna		
	SO ₂	NO ₂	PM10	SO ₂	NO ₂	PM2,5	SO ₂	NO ₂	PM10
N	5,8*	13,6	14,2	n.i.	n.i.	n.i.	2,7*	12,4	12,3
NE	22,7	24,2	10,7	n.i.	26,9	n.i.	21,9	12,3	27,0
E	29,0	24,8	3,8	n.i.	18,3	7,6	18,5	10,0	26,3
SE	18,3	32,7	n.i.	8,2	1,8*	6,3	·	·	·
S	30,1	15,3	n.i.	·	·	·	·	·	·
SW	16,6	17,3	6,3	·	·	·	n.i.	10,8	7,8*
W	19,8	n.i.	n.i.	3,5*	2,7*	n.i.	22,4	10,1	3,7*
NW	10,3	n.i.	n.i.	10,3	12,7	2,7	6,8	12,3	n.i.

n.i. zależności nieistotne na poziomie $\alpha = 0,05$, n.s. non-significant relationships at $\alpha = 0.05$;

* – istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, * – significant at $\alpha = 0.05$;

nieoznaczone – istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, non-defined – significant at $\alpha = 0.01$;

· brak zjawiska, · absence of phenomenon;

Tabela 4. Współczynniki determinacji regresji pojedynczej lub determinacji cząstkowej regresji wielokrotnej (%) dla zależności stężenia zanieczyszczeń od elementów lub zespołów elementów meteorologicznych, według kierunków wiatru, w styczniu 2006 roku w Szczecinie

Table 4. Determination coefficients of single regression or partial determination of multiple regression (%) for the relationship between the concentration of impurities and meteorological elements or sets of meteorological elements, according to the directions of wind in Szczecin in January, 2006

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Andrzejewskiego									
	SO ₂			NO ₂			PM10			
	r	t	f	v	t	f	v	t	f	v
N			25	24 ⁽⁺⁾	26		24	40		6
NE		5	28		2	4	25	20		16
E		12	21	38 ⁽⁺⁾	13	3	4	37		5
SE		66	81			19				
S	20 ⁽⁺⁾		53	38	17	21		6		
SW	5 ⁽⁺⁾		47			12	37	23	10	18
W			82		63	24		65		
NW	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Piłsudskiego							
	SO ₂				NO ₂			
	r	t	f	v	t	f	v	
N	.	.	.	.	.	.	.	.
NE	45 ⁽⁺⁾		88					21
E		38	19			19		19
SE		15	7		2	5		28
S		36	47	10		52		20
SW	45 ⁽⁺⁾				24			
W					29			
NW	6 ⁽⁺⁾		15		8	20		

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Łączna										
	SO ₂			NO ₂				PM10			
	t	f	v	r	t	f	v	t	f	v	
N		19				34	23			38	
NE	19	31				9	22	26		33	
E	9	4	3				30	6	4	27	
SE		11		26		41		46		7	
S	9				15	36		46		22	
SW	41	37			30		8	49		15	
W	42		19		75		26	58		23	
NW	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

. - brak zjawiska, . - lack of phenomenon; ⁽⁺⁾ wpływ dodatni, ⁽⁺⁾ a positive effect; r - promieniowanie całkowite (W·m⁻²), total radiation (W·m⁻²); t - temperatura powietrza (°C), air temperature (°C); f - wilgotność względna powietrza (%), relative air humidity (%); v - prędkość wiatru (m·s⁻¹), wind speed (m·s⁻¹)

Tabela 5. Współczynniki determinacji regresji pojedynczej lub determinacji cząstkowej regresji wielokrotnej (%) dla zależności stężenia zanieczyszczeń od elementów lub zespołów elementów meteorologicznych, według kierunków wiatru, w lipcu 2006 roku w Szczecinie

Table 5. Determination coefficients of single regression or partial determination of multiple regression (%) for the relationship between the concentration of impurities and meteorological elements or sets of meteorological elements, according to the directions of wind in Szczecin in July, 2006

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Andrzejewskiego							
	r	SO ₂		NO ₂		PM10		
		t	f	v	v	t	f	v
N			6	4	14	14 ⁽⁺⁾		4
NE		23 ⁽⁺⁾			24	12 ⁽⁺⁾		6
E			6	6 ⁽⁺⁾	25		4	
SE			18		33			
S	12 ⁽⁺⁾		8		15			
SW			17		17			6
W			20					
NW			10					

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Piłsudskiego					
	t	SO ₂		NO ₂		PM2,5
		f	v	t	v	v
N	.	.	.			
NE				27 ⁽⁺⁾		
E				18 ⁽⁺⁾	7	8
SE		8			2	6
S	.	.	.	.	.	.
SW	.	.	.	.	.	.
W		4		3 ⁽⁺⁾		
NW	7 ⁽⁺⁾		10	9 ⁽⁺⁾	10	3

Kierunek wiatru Wind direction	ul. Łączna							
	t	SO ₂		NO ₂		PM10		
		f	v	v	r	t	f	v
N	3 ⁽⁺⁾			12		12 ⁽⁺⁾		
NE		22	8	12	15 ⁽⁺⁾		3	
E	19 ⁽⁺⁾			10	26 ⁽⁺⁾			
SE	.	.	.	.	.	.	.	.
S	.	.	.	.	.	.	.	.
SW				11	10 ⁽⁺⁾			7
W		16	10	10	4 ⁽⁺⁾			
NW	7 ⁽⁺⁾			12				

objaśnienia jak pod tabelą 4 – cf explanations under Table 4.

W styczniu 2006 r. stężenia zanieczyszczeń, występujące przy poszczególnych kierunkach wiatru, na ogół najlepiej opisywały zespoły dwóch lub trzech elementów meteorologicznych, a najczęściej typowanymi za pomocą procedury krokowej były wilgotność względna i temperatura powietrza, rzadziej – prędkość wiatru (tab. 4). Wzrost temperatury i wilgotności powietrza, odzwierciedlający osłabienie pogody antycyklonalnej, przyczyniał się do spadku imisji wszystkich analizowanych zanieczyszczeń. Podobny kierunek był charakterystyczny dla związku imisji z prędkością wiatru. Jedynie przy ul. Andrzejewskiego, wzrost prędkości wiatrów z kierunków N i E powodował zwiększenie imisji ditlenku siarki, prawdopodobnie wskutek emisji lokalnej. W kilku przypadkach zmienność stężenia ditlenków siarki i azotu lepiej niż temperatura wyjaśniały sumy promieniowania, których wzrost skutkowało zwiększeniem ich stężeń. Udział poszczególnych elementów meteorologicznych w opisie zmienności stężeń charakteryzowanych zanieczyszczeń w styczniu 2006 r. wahał się w bardzo szerokim zakresie, od 3 do 88%, w zależności od ich rodzaju, rejonu miasta, ale także od kierunku wiatru.

W lipcu, w przeważającej liczbie przypadków, statystycznie istotny wpływ pogody na wielkość imisji ograniczał się do pojedynczych elementów meteorologicznych (tab. 5). Wśród nich najczęściej pozytywną rolę odgrywała prędkość wiatru, głównie w odniesieniu do imisji ditlenku azotu, przede wszystkim w rejonie drogi dojazdowej do Szczecina, przy ul. Andrzejewskiego. W tym rejonie podwyższone stężenia ditlenku siarki, podobnie jak w styczniu, były skutkiem wzrostu prędkości wiatrów wyłącznie z kierunku E. W centrum Szczecina, w przeciwieństwie do obszarów podmiejskich, istotnym czynnikiem zwiększonej imisji ditlenku azotu był wzrost temperatury powietrza. W lipcu 2006 r. jednoznaczny wpływ na zmniejszenie stężenia ditlenku siarki miał głównie wzrost wilgotności względnej powietrza. Natomiast wzrost temperatury, podobnie jak rosnące sumy promieniowania, przyczyniały się do zwiększenia imisji charakteryzowanych zanieczyszczeń.

Warunki pogodowe, które istotnie kształtowały imisję podstawowych zanieczyszczeń powietrza w styczniu i lipcu 2006 roku w Szczecinie, reprezentowały elementy meteorologiczne, których rolę wykazano zarówno na podstawie ciągłych, kilkuletnich serii obserwacyjnych (np. Czarnecka i Kalbarczyk 2005, 2008; Kalbarczyk i Kalbarczyk 2007, Keary i in. 1998, Kleniewska 2003) jak i w odniesieniu do określonych epizodów pogody wyżowej (Bednar i in. 2001, Błażek i in. 1999, Drzeniecka i in. 2000; Godłowska 2004).

WNIOSKI

1. W styczniu 2006 roku wpływ warunków meteorologicznych na imisję ditlenku siarki, ditlenku azotu i pyłu zawieszzonego w Szczecinie był wyraźnie silniejszy niż w lipcu.

2. Nietypowa pogoda panująca w styczniu 2006 r. silniej determinowała stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀, natomiast w lipcu – ditlenku azotu. Wpływ warunków meteorologicznych na stężenia ditlenku azotu, w obu miesiącach, był większy w podmiejskich częściach Szczecina, mniejszy w centrum.

3. Wielkość imisji podstawowych zanieczyszczeń powietrza na obszarze aglomeracji szczecińskiej w styczniu i lipcu 2006 roku różnicowały warunki anemometryczne. Kierunek wiatru decydował o napływie zanieczyszczeń, natomiast wzrost prędkości na ogół przyczyniał się do zmniejszenia ich stężeń. Rola prędkości wiatru, jako czynnika dyspersji, uwidoczniła się przede wszystkim w odniesieniu do imisji ditlenku azotu w lipcu.

4. Jakość powietrza w styczniu 2006 r. w Szczecinie, oprócz warunków anemometrycznych, kształtowały głównie temperatura i wilgotność względna powietrza, których wzrost przyczyniał się do zmniejszenia imisji.

PIŚMIENNICTWO

- Bednar J., Brechler T., Halenka T., Kopacek J., 2001. Modelling of summer photochemical smog in the Prague region. *Phys. Chem. Earth (B)*, 26(2), 129-136.
- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, 2006. Wyd. IMGW, W-wa.
- Błażek Z., Ośródką K., Ośródką L., Święch –Skiba J., Wojtylak M., 1999. Porównanie wybranych stężeń zanieczyszczeń powietrza w aglomeracjach karwińsko-ostrowskiej i katowickiej i ich związek z warunkami meteorologicznymi. *Wiad. IMGW, T.XXII (XLIII)*, z. 3, 37-48.
- Burzyński J., 2004. Opracowanie metodyki pełnego wykorzystania modelu Calmet-Calpuff wersja 2002 do oceny obszarowej jakości powietrza (na przykładzie woj. małopolskiego). *Wiadomości IMGW*, z. 1, 37-52.
- Czarnecka M., Kalbarczyk R., 2004. Zanieczyszczenie powietrza – imisja (I i II). W: *Atlas zasobów i zagrożeń klimatycznych Pomorza* pod red. C. Koźmińskiego i B. Michalskiej. Szczecin, AR, 20-21.
- Czarnecka M., Kalbarczyk R., 2005. Zmienność stężenia ditlenku siarki i ditlenku azotu na Pomorzu w zależności od warunków meteorologicznych. *Woda–Środowisko-Obszary Wiejskie*, t.5, z. specj., (14), 93-106.
- Czarnecka M., Kalbarczyk R., 2008. Warunki meteorologiczne kształtujące zmienność stężenia pyłu zawieszonego na Pomorzu. *Acta Agrophysica*, 11(2), 357-368.
- Drzeniecka A., Pereyma J., Pyka J.L., Szczurek A., 2000. Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza w Śródmieściu Wrocławia. *Chemia Inż. Ekolog. T.7*, z. 8-9, 865-881.
- Elminir H.K., 2005. Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of the Total Environment*, 350, 225-237.
- Godłowska J., 2004. The particulate matter PM₁₀ air pollution in Cracow. *Wiadomości IMGW*, z. 1, 79-90.
- Hoffman S., Jasiński R., 1998. Wpływ kierunku wiatru na stężenie zanieczyszczeń powietrza na wybranych stacjach pomiarowych regionalnego systemu monitoringu powietrza w województwie katowickim. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 1(2), 171-182.

- Kalbarczyk R., Kalbarczyk E., 2007. Zmienność stężenia gazowych zanieczyszczeń powietrza na obszarze pozamiejskim Niziny Szczecińskiej w zależności od warunków meteorologicznych. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 2(36), 73-85.
- Keary J., Jennings S., O'connor T., Mcmanus B., Lee M., 1998. PM10 concentration measurements in Dublin city. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52, iss. 1-2, 3-18.
- Kleniewska M., 2003. Związek między stężeniem dwutlenku siarki a kierunkiem i prędkością wiatru na stacji Ursynów-SGGW w latach 1997-2002. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 2(27), 96-104.
- Majewski G., 2005. Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 na Ursynowie i jego związek z warunkami meteorologicznymi. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 1(31), 210-223.
- Majewski G., Przewoźniczuk W., 2006. Characteristics of the particulate matter PM10 concentration field and an attempt to determine the sources of air pollution in the living district of Ursynów. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Land Reclamation* n.7, 55-67.
- Ośródka L., Świąch-Skiba J., 1997. Klimatologiczne aspekty powstawania smogu letniego na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *Wiadomości IMGW*, 1, 113-128.
- Roczna ocena jakości w województwie zachodniopomorskim, Raport za 2006 rok, pod red. Landsberg-Uczciwek R., Rewaj R., Trybuchowicz A., Inspekcja Ochrony Środowiska, WIOŚ w Szczecinie, 2007.
- Rogula W., Żeliński J., 2005. Using artificial neural networks in predictions of SO₂, NO and NO₂ concentrations in Gliwice, Poland. *Archives of Environmental Protection*, 31(4), 3-16.
- Rozbicka K., 2004. Wstępne wyniki badań nad stężeniem tlenków azotu NO_x (NO, NO₂) w powietrzu w Warszawie – Ursynowie. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 1(28), 140-151.
- Walczewski J., 1997. Wskaźnik meteorologiczny określający prawdopodobieństwo wzrostu zanieczyszczenia powietrza w okresie zimowym. *Wiadomości IMGW*, 1, 129-135.
- Walczewski J., 2005. Meteorologiczne i klimatyczne warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza. *Przegl. Geofiz. Rocznik L*, z. 3-4, 177-193.

METEOROLOGICAL CONDITIONS DETERMINING THE QUALITY OF AIR IN SZCZECIN IN JANUARY AND IN JULY 2006

Małgorzata Czarnecka, Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz

Department of Meteorology and Climatology, University of Agriculture
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-434 Szczecin
e-mail: czarnecka@agro.ar.szczecin.pl

Abstract. The analysis was based on hourly values of the immission of sulphur dioxide, nitrogen dioxide and suspended particulate matter PM10, and on data involving meteorological elements gathered at 3 measurement stations in Szczecin in January and July, 2006. It was observed that the quantity of the immission of essential air impurities in the area of Szczecin agglomeration in January and in July, 2006, were differentiated by anemometric conditions. The direction of wind decided about the inflow of impurities, whereas wind speed increase caused a decrease in their concentrations. The role of wind velocity as a factor of dispersion was observed first of all with regard to the immission of nitrogen dioxide in July. The air quality in Szczecin in January, 2006,

was mainly determined, apart from the anemometric conditions, by temperature and relative temperature of the air, increase of which resulted in a decrease in immission. Non-typical weather prevailing in January, 2006, determined more strongly the concentrations of suspended particulate matter PM10, while in July – those of nitrogen dioxide. The effect of meteorological conditions on the concentrations of nitrogen dioxide was, in both months, larger in the suburban parts of Szczecin, and smaller in the centre of the city.

Keywords: sulphur dioxide, nitrogen dioxide, suspended particulate matter PM10, meteorological conditions, analysis of regression.