

Jerzy Skrzypski

**ROLA CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W KSZTAŁTOWANIU
STOPNIA CZYSTOŚCI POWIETRZA NAPŁYWAJĄCEGO
NAD AGLOMERACJE MIEJSKO-PRZEMYSŁOWE
(NA PRZYKŁADZIE ŁODZI)**

**THE IMPACT OF AIR CIRCULATION ON PURITY
OF THE AIR FLOWING OVER URBAN AND INDUSTRIAL
AGGLOMERATION (A STUDY CASE OF ŁÓDŹ)**

Zanalizowano zmiany poziomu zanieczyszczenia pyłem zawieszonym i SO_2 mas powietrznych napływających nad zachodnie i wschodnie peryferie Łodzi. Stwierdzono wyraźne zmniejszenie tego poziomu, a także jego zależność od typu cyrkulacji atmosferycznej. Wykazano, że obserwowana w miastach Polski poprawa sytuacji aerosanitarnej wynika z uwarunkowań zewnętrznych. Wykazano również wpływ zmian frekwencji poszczególnych typów cyrkulacji (wpływ okresowości procesów cyrkulacyjnych) na zanieczyszczenie powietrza w aglomeracjach miejsko-przemysłowych.

WPROWADZENIE

Zanieczyszczenie powietrza jest charakterystycznym i bardzo znaczącym elementem bioklimatu miast oraz obszarów uprzemysłowionych (Lewińska i in. 1990; Skrzypski 1995). Stan zanieczyszczenia w aglomeracjach miejsko-przemysłowych jest uzależniony zarówno od czynników wewnętrznych (emisja zanieczyszczeń, wysokość emitorów, możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w konkretnych warunkach urbanistycznych), jak i zewnętrznych (poziom zanieczyszczenia napływających mas powietrznych) (Kuroś, Morawska-Horawska 1989; Niedźwiedź, Olecki 1994).

W opracowaniu rozpatrzono zagadnienie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na stan zanieczyszczenia powietrza na peryferiach Łodzi. Wykonano analizę porównawczą zależności stężeń SO_2 i pyłu zawieszonego w powietrzu od

typów i makrotypów cyrkulacji atmosferycznej w latach 1976–1995. Wykorzystano dane pomiarowe z badań WSSE w Łodzi oraz katalogi występowania typów cyrkulacji sklasyfikowane przez B. Osuchowską-Klein. Uwzględniono wartości emisji z dwóch punktów pomiarowych położonych na zachodnich (ul. Wici) i wschodnich (ul. Rokicińska) peryferiach Łodzi, w odległości po około 6 km od centrum miasta. Analizowano wartości średnie oraz wartości percentyla 98, uwzględniając podział na półrocze chłodne (pokrywające się w przybliżeniu z sezonem grzewczym) i półrocze ciepłe (od kwietnia do września).

WYNIKI

W analizowanym okresie 1976–1995 średnie 5-letnie stężenia dwutlenku siarki w centrum Łodzi zmniejszyły się o 100–130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w półroczu chłodnym i o 25–35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w półroczu ciepłym. W odniesieniu do pyłu zawieszonego średnie wartości 5-letnie zmniejszyły się w centrum o 40–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w półroczu chłodnym i o 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w półroczu ciepłym (tab. 7).

W latach 1976–1995 stężenia zanieczyszczeń powietrza w obu punktach pomiarowych Łodzi znacząco się zmniejszyły. Średnioroczne stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu zmniejszyły się z około 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w połowie lat siedemdziesiątych do około 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w połowie lat dziewięćdziesiątych. Średnioroczne stężenia SO_2 na peryferiach miasta zmalały odpowiednio z 40–45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 15–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

W półroczu chłodnym pomierzone spadki stężeń zanieczyszczeń powietrza były jeszcze większe. W odniesieniu do pyłu zawieszonego obniżyły się z poziomu 60–65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na początku okresu badań do 30–35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w końcu okresu.

W odniesieniu do SO_2 odpowiednie wartości wyniosły 80–85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, co oznacza spadek aż o około 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w ciągu badanych 20 lat.

W półroczu ciepłym zmniejszenia stężeń zanieczyszczeń powietrza były nie duże, ale wyraźne. Stężenia pyłu zawieszonego zmniejszyły się o 6–8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (spadek z 20 do 12–14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Stężenia SO_2 zmniejszyły się o 12–14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (spadek z 20 do 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Niezależnie od pory roku i rodzaju zanieczyszczenia zaobserwowane w okresie 20 lat spadki stężeń zanieczyszczeń powietrza stanowią znaczny odsetek początkowej wartości stężeń (z połowy lat siedemdziesiątych). Odsetek ten niekiedy wyraźnie przekraczał nawet 50%. Tak duże zmiany czystości powietrza napływającego niewątpliwie odzwierciedliły się w stężeniach zanieczyszczeń na obszarze całej Łodzi.

Średnioroczne stężenia pyłu zawieszonego w skali całej Łodzi (ściślej: we wszystkich punktach pomiarowych WSSE) zmniejszyły się w latach 1976–1995 z około 70 do 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś stężenia SO_2 – z około 77 do około 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Sk r z y p s k i 1996). Spadki wyniosły więc 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla pyłów i 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla SO_2 , podczas gdy poprawa czystości powietrza napływającego wyniosła 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla pyłów i 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla SO_2 .

W odniesieniu do półrocza chłodnego spadki średnich stężeń pyłu zawieszonego dla wszystkich punktów pomiarowych w Łodzi wyniosły 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ze 100 do 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), zaś w odniesieniu do półrocza ciepłego spadki te wyniosły 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (z 40 do 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Przeciętne dla wszystkich punktów pomiarowych Łodzi stężenia SO_2 w powietrzu zmalały w latach 1976–1995 o około 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ze 120–125 do około 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) w półroczu chłodnym oraz o około 20–25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (z 30–35 do 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) w półroczu ciepłym (Sk r z y p s k i 1996).

Także w ujęciu sezonowym udział poprawy poziomu czystości powietrza napływającego jest bardzo znaczący (kilkadziesiąt procent) w tworzeniu spadku poziomu stężeń zanieczyszczeń powietrza nad całym obszarem miasta.

Wartości stężeń SO_2 i pyłu zawieszonego na peryferiach Łodzi oraz w jej centrum są wyraźnie zależne od typu cyrkulacji atmosferycznej. Regułą jest, iż stężenia te są mniejsze po dowietrznej stronie miasta (dla cyrkulacji typu A, C₂D, CB, D, D₂C przy napływie z zachodu oraz dla cyrkulacji typu E, E₀, E₁, E₂C przy napływie mas powietrznych ze wschodu) niż po stronie zawietrznej, na co wpływ ma przesuwanie się zanieczyszczeń wyemitowanych w centrum (tab. 1, 2, 6).

Charakterystyczne dla danego typu cyrkulacji wartości stężeń SO_2 i pyłu zawieszonego w powietrzu na peryferiach Łodzi wyraźnie zmniejszały się w każdym następnym 5-letnim okresie. Redukcja była przy tym większa w odniesieniu do cyrkulacji wschodnich (E, E₀, E₁, E₂C) niż zachodnich (A, C₂D, CB, D, D₂C). W efekcie, aktualny stan zanieczyszczenia powietrza napływającego w półroczu chłodnym jest taki, jak stan czystości powietrza napływającego w latach 1976–1980 w półroczu ciepłym (tab. 1, 2).

Ogólnie, wyższe wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza są charakterystyczne dla makrotypu cyrkulacji antycyklonicznej (w porównaniu z cyrkulacjami cyklonicznymi), co szczególnie widoczne jest w półroczu chłodnym. Podczas sytuacji antycyklonicznych z centrum nad Polską stężenia zanieczyszczeń są na peryferiach Łodzi relatywnie najwyższe (tab. 3). Jest to uwarunkowane zarówno efektem osiadania mas powietrza, jak i utworzenia się miejskiej wyspy ciepła ze specyficzną wtedy cyrkulacją powietrza w warstwie mieszania nad miastem.

Częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej uległa w kolejnych 5-letnich okresach znaczącym zmianom. Szczególnie odmiennieści charakterystyczne są dla lat 1991–1995 (tab. 4).

Tabela 1

Wartości średnie i percentyl 98 stężenia SO_2 i pyłu zawieszonego w powietrzu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na wschodnich peryferiach Łodzi (ul. Rokicińska) podczas występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej w kolejnych 5-letnich okresach 1976–1995

Mean values and 98 percentile of SO_2 and dust concentrations in the air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in the eastern suburbs of Łódź (Rokicińska St.) at particular types of air circulation in subsequent 5-year periods in the years 1976–1995

Zanieczyszczenie	Półrocze	Okres	Typ cyrkulacji										wartości średnie				
			wartości														
			A	B	BE	C ₂ D	CB	D	D ₂ C	E	E ₀						
SO ₂	chłodne	1976–1980	70,5	45,2	45,9	62,1	63,5	56,9	71,3	50,0	75,6	67,7	86,4	49,0	56,9		61,3
		1981–1985	37,1	33,0	40,8	56,3	47,7	32,4	44,8	37,1	46,0	45,7	69,8	48,2	72,4	49,5	45,2
		1986–1990	33,9	33,3	24,0	45,4	32,0	28,6	45,8	32,1	48,1	33,4	59,4	31,5	57,5		38,1
		1991–1995	28,4	16,7	27,2	41,1	27,8	26,8	37,1	27,2	29,3	27,9	34,3	29,3	43,3	31,0	31,8
	ciepłe	1976–1980	26,3	23,1	15,4	22,4	22,6	20,2	16,2	15,7	17,3	22,0	17,9	19,0	18,0	24,5	19,2
		1981–1985	16,4	14,7	16,3	14,9	16,5	12,2	14,5	10,9	12,3	13,4	14,7	14,1	12,1	22,0	13,6
		1986–1990	11,9	17,5	15,2	11,0	14,6	13,7	10,7	8,7	9,9	10,8	9,2	12,4	12,0	10,8	11,5
		1991–1995	9,3	13,9	7,7	7,8	9,5	8,9	7,1	4,8	8,8	6,4	7,5	6,5	5,9	8,3	8,0
Pył zawieszony	chłodne	1976–1980	52,5	50,2	44,5	53,4	48,4	54,1	60,1	42,4	53,4	55,0	48,5	54,0	55,8		51,3
		1981–1985	27,3	42,6	53,2	45,6	37,8	40,7	63,6	43,7	46,7	50,8	86,4	50,2	72,0	52,0	46,4
		1986–1990	27,3	48,2	47,5	30,4	38,8	34,1	46,7	38,5	49,8	54,6	55,3	51,8	62,5		43,7
		1991–1995	32,0	34,5	38,4	39,2	23,7	43,6	49,9	29,1	22,8	41,0	34,9	40,3	62,5	46,1	37,9
	ciepłe	1976–1980	23,0	19,7	18,7	25,6	20,8	24,5	21,0	19,4	18,8	32,1	21,5	17,5	22,0	31,5	21,0
		1981–1985	19,3	18,9	18,3	19,8	15,4	17,6	21,4	14,9	16,2	20,0	23,7	16,3	17,4	12,0	17,2
		1986–1990	14,8	19,2	28,1	18,6	15,9	16,1	17,6	17,3	15,2	21,2	17,4	18,6	20,0	7,5	17,4
		1991–1995	17,6	16,1	28,9	15,5	17,0	19,9	16,6	10,5	13,6	8,9	13,8	10,8	12,0	19,9	15,8
SO ₂	chłodne	1976–1980	188,4	99,0	115,4	155,6	165,5	130,4	269,4	173,6	175,1	209,3	241,2	127,7	160,2		186,6
		1981–1985	76,3	86,9	113,9	124,7	113,7	76,2	155,8	111,6	127,6	158,8	202,0	144,9	186,9	72,1	161,4
		1986–1990	56,7	93,8	72,7	131,0	82,5	59,3	144,6	124,0	155,0	155,2	187,3	103,6	163,1		136,4
		1991–1995	61,0	25,7	73,0	136,4	70,0	73,0	85,9	60,3	86,2	86,0	97,0	112,6	125,6	68,1	89,2
	ciepłe	1976–1980	75,3	86,0	39,1	74,7	65,3	64,0	32,0	59,3	64,1	101,7	57,9	49,0	47,1	33,6	71,0
		1981–1985	34,0	67,6	39,1	43,0	51,0	30,3	43,6	35,0	35,4	29,1	36,5	45,8	30,5	37,4	43,0
		1986–1990	24,0	79,4	29,5	37,0	55,5	34,7	24,2	33,5	26,0	25,0	25,7	23,4	41,3	23,1	37,0
		1991–1995	24,8	32,7	17,8	26,1	28,7	23,9	16,2	15,0	26,6	17,0	22,0	23,3	23,4	24,0	26,0
Pył zawieszony	chłodne	1976–1980	143,6	127,5	114,4	120,0	174,0	169,7	140,0	118,4	170,0	178,7	148,0	142,7	114,2		168,2
		1981–1985	73,0	173,0	152,0	90,7	113,6	129,7	155,7	106,0	134,1	145,9	286,0	177,4	216,1	72,2	152,0
		1986–1990	58,0	125,0	116,7	62,3	126,0	78,4	173,0	85,0	192,5	248,0	139,4	154,4	170,8		141,0
		1991–1995	119,6	59,0	110,3	152,4	64,3	91,8	125,1	68,6	55,0	148,8	124,0	77,6	174,7	137,8	134,9
	ciepłe	1976–1980	46,4	40,1	35,4	54,2	54,5	69,4	42,9	66,8	65,0	182,5	57,7	41,4	51,5	44,5	60,5
		1981–1985	34,0	43,7	30,7	51,0	50,3	35,0	62,6	40,0	44,8	52,1	55,7	47,9	55,4	19,7	51,0
		1986–1990	25,8	68,2	49,0	52,8	40,3	48,0	81,2	78,2	42,0	31,0	47,1	37,0	70,6	14,6	59,2
		1991–1995	62,3	32,0	118,8	67,1	87,1	60,8	22,9	45,8	49,6	42,2	58,9	44,6	30,0	105,2	69,6

wartości percentyla 98

Wartości średnie i percentyl 98 stężenia SO_2 i pyłu zawieszonego w powietrzu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) na zachodnich peryferiach Łodzi (ul. Wici) podczas występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej w kolejnych 5-letnich okresach 1976–1995

Mean values and 98 percentile of SO_2 and dust concentrations in the air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in the western suburbs of Łódź (Wici St.) at particular types of air circulation in subsequent 5-year periods in the years 1976–1995

Zanieczyszczenie	Półrocze	Okres	Typ cyrkulacji													X	A-X
			A	B	BE	C ₂ D	CB	D	D ₂ C	E	E ₀	E ₁	E ₂ C	F	G		
			wartości średnie														
SO ₂	chłodne	1976-1980	48,0	65,4	83,7	42,1	49,4	59,5	53,1	61,9	73,1	95,5	79,7	78,1	58,7	71,0	65,6
		1981-1985	25,4	36,4	47,3	47,1	30,4	24,8	41,7	37,3	49,4	48,1	32,3	59,9	64,6		
		1986-1990	16,7	22,6	29,3	22,1	21,8	20,3	31,0	27,0	23,6	33,0	42,0	37,0	30,3		
		1991-1995	17,5	12,5	27,6	22,6	15,8	20,7	26,4	34,8	19,2	34,2	22,8	21,6	29,2		
	ciepłe	1976-1980	19,0	20,9	21,9	19,3	15,7	18,2	17,4	21,1	16,6	24,1	21,6	25,3	21,4	14,0	19,4
		1981-1985	7,9	12,4	21,3	12,8	11,4	11,4	13,0	11,8	9,9	13,2	13,6	11,4	14,5		
		1986-1990	9,8	12,6	10,4	7,8	8,5	9,9	10,1	9,0	7,7	16,9	7,7	15,5	10,3		
		1991-1995	6,2	11,0	8,1	6,9	6,8	8,3	8,9	6,4	7,3	11,7	5,2	9,0	7,1		
Pył zawieszony	chłodne	1976-1980	36,4	64,4	75,1	49,3	36,6	58,3	61,5	61,4	55,0	88,5	47,0	65,9	92,0	93,0	60,0
		1981-1985	29,7	56,4	68,0	52,1	31,7	44,8	85,2	60,1	50,1	78,1	52,6	72,6	86,0		
		1986-1990	20,1	48,1	57,0	26,7	29,5	33,5	44,3	51,7	39,5	61,1	45,9	62,0	60,7		
		1991-1995	18,1	28,3	38,3	26,3	16,7	32,2	46,9	38,7	18,7	37,7	26,1	33,8	53,9		
	ciepłe	1976-1980	18,5	20,6	17,6	19,3	12,6	21,6	25,6	20,7	16,0	22,4	21,7	18,1	28,4	27,5	18,6
		1981-1985	15,3	23,2	27,9	20,8	16,5	22,7	21,4	22,0	19,2	23,7	23,9	25,3	30,5		
		1986-1990	13,1	15,1	29,7	15,2	15,3	15,0	16,0	19,7	12,4	32,9	17,0	23,9	17,6		
		1991-1995	9,3	22,5	13,9	11,1	8,9	14,4	19,9	11,6	12,2	13,1	8,1	14,9	12,6		
wartości procentyla 98																	
SO ₂	chłodne	1976-1980	257,1	162,3	238,8	143,0	156,0	147,2	204,2	202,0	212,6	279,6	307,4	226,5	139,8	81,6	212,6
		1981-1985	96,7	170,3	153,7	140,7	116,3	71,8	124,6	124,3	173,1	177,0	75,8	159,0	200,7		
		1986-1990	46,8	57,3	81,6	60,6	126,4	73,5	92,0	94,5	74,6	134,2	185,0	153,2	99,0		
		1991-1995	53,4	26,4	58,4	62,6	60,0	64,7	71,8	111,7	64,8	86,7	92,1	84,8	92,1		
	ciepłe	1976-1980	56,7	53,0	39,7	76,2	47,0	48,3	37,6	60,0	50,1	64,6	94,5	65,9	51,3	14,0	61,5
		1981-1985	25,9	25,8	39,0	41,8	49,6	30,0	39,6	40,4	26,7	26,5	46,3	26,5	48,0		
		1986-1990	40,2	46,9	17,2	25,9	32,0	34,0	31,4	25,9	27,9	55,0	20,6	58,4	22,9		
		1991-1995	18,7	21,0	13,0	25,2	17,9	26,6	20,9	26,0	18,0	28,3	11,8	19,4	27,8		
Pył zawieszony	chłodne	1976-1980	147,9	167,6	189,6	147,0	149,2	159,3	163,8	175,6	170,2	232,2	123,4	212,7	245,6	120,0	198,0
		1981-1985	90,1	152,6	133,4	115,1	99,8	157,8	186,4	169,0	125,0	183,4	125,0	147,0	311,2		
		1986-1990	53,8	139,0	144,4	88,1	109,9	91,2	150,1	170,0	162,6	156,5	154,2	124,5	135,1		
		1991-1995	80,8	65,5	88,1	92,0	60,8	95,6	158,8	127,1	50,8	122,4	132,0	82,0	270,4		
	ciepłe	1976-1980	66,6	52,8	47,3	54,4	38,5	60,6	38,3	58,0	58,2	54,7	56,8	41,2	82,1	38,5	58,0
		1981-1985	27,4	56,0	41,2	49,2	52,1	64,4	58,5	64,0	65,0	45,5	52,3	61,6	123,4		
		1986-1990	34,0	45,2	63,6	42,6	56,6	42,9	46,5	86,4	37,8	121,0	48,4	63,1	45,9		
		1991-1995	27,4	77,3	31,0	41,4	28,9	48,6	38,6	28,8	30,0	37,3	25,5	35,0	35,7		

wartości percentyla 98

wartości średnie

Tabela 3

Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 godz.) na wschodnich peryferiach Łodzi (ul. Rokicińska w zależności od makrotypu cyrkulacji atmosferycznej (wg klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein) w okresie 1976–1995

Mean daily concentration of dust in the air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 h) in the eastern suburbs of Łódź (Rokicińska St.) according to the macrotype of air circulation (after B. Osuchowska-Klein's classification) in the years 1976–1995

Makrotyp cyrkulacji atmosferycznej	Półrocze ciepłe					Półrocze chłodne				
	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1976–1995	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1976–1995
Wschodni cykloniczny	18,77	16,15	15,17	13,60	16,33	53,35	46,72	49,84	22,81	47,98
Wschodni antycykloniczny	21,19	17,17	17,76	11,34	17,75	49,32	50,39	49,51	36,23	47,41
Zachodni cykloniczny	20,93	16,26	16,22	16,90	17,67	51,35	37,60	36,04	30,90	39,27
Zachodni antycykloniczny	24,94	20,14	18,35	15,57	19,32	55,91	51,61	38,18	42,17	45,47
Antycykloniczny centralny	22,03	17,36	20,02	12,04	17,39	55,80	72,04	62,53	62,47	63,57
Wschodni (cykloniczny + + antycykloniczny	20,43	16,83	16,90	12,06	17,29	50,50	49,50	49,59	34,48	47,54
Zachodni (cykloniczny + + antycykloniczny)	21,79	17,37	16,99	16,52	18,15	52,30	40,72	36,70	34,60	40,93
Cykloniczny (wschodni + + zachodni)	20,20	16,22	15,89	16,18	17,26	51,82	39,34	38,47	30,33	40,79
Antycykloniczny (wschodni + zachodni)	21,92	18,02	17,99	13,02	18,23	51,07	50,73	45,29	39,15	46,73

Tabela 4

Częstość występowania (%) typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce w 5-letnich okresach 1976–1995 (wg klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein)

Frequency (%) of air circulation types in Poland in the years 1976–1995 (after B. Osuchowska-Klein's classification)

Typ cyrkulacji atmosferycznej		Półrocze ciepłe				Półrocze chłodne			
nazwa	symbol	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995
Zachodnia cykloniczna	A	3,83	3,50	4,27	12,90	6,36	7,02	7,57	18,88
Południowa cykloniczna	B	3,93	7,65	4,16	1,97	7,24	7,68	4,39	1,76
Południowa pośrednia pomiędzy cyklonicznym i antycyklonicznym	BE	1,09	1,09	1,42	3,61	4,17	2,09	2,74	3,95
Zachodnia antycykloniczna	C ₂ D	7,43	9,29	11,72	11,37	6,36	7,35	8,12	12,73
Północno-zachodnia cykloniczna	CB	18,91	16,17	15,01	12,02	16,01	18,00	12,62	12,40
Południowo-zachodnia cykloniczna	D	3,28	5,36	6,13	3,72	7,68	9,55	11,96	3,73
Południowo-zachodnia i południowa antycykloniczna	D ₂ C	1,09	2,84	4,60	0,98	3,40	3,40	7,79	4,39
Północno-wschodnia antycykloniczna	E	26,78	19,23	19,39	9,62	11,62	12,51	8,56	4,39
Północno-wschodnia i wschodnia cykloniczna	E ₀	16,28	15,19	13,47	8,96	10,86	9,00	7,24	2,63
Południowo-wschodnia i wschodnia antycykloniczna	E ₁	4,26	5,36	3,50	2,19	13,38	11,86	13,39	8,56
Północno-zachodnia antycykloniczna	E ₂ C	4,26	4,26	4,71	6,78	2,40	2,31	5,38	5,16
Południowo-wschodnia cykloniczna	F	5,36	5,36	5,04	4,15	6,03	3,07	3,62	3,51
Centralna antycykloniczna	G	3,28	4,48	6,13	6,89	4,50	5,93	6,59	9,55
Inna (nietyпова)	X	0,22	0,22	0,44	14,86	0,00	0,22	0,00	8,34

Tabela 5

Wpływ zmian częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji na zmiany średnich sezonowych stężeń zanieczyszczeń powietrza na wschodnich i zachodnich peryferiach Łodzi określony poprzez względną (%) wartość stężeń tych zanieczyszczeń w kolejnych okresach 5-letnich, przy założeniu, że stężenia średnie dla poszczególnych typów cyrkulacji są w całym 20-leciu równe wartościom z lat 1991–1995

The effect of changes in the frequency of particular types on variations in mean seasonal air pollutants concentrations in the eastern and western suburbs of Łódź determined by the relative (%) concentrations in subsequent 5-year periods at the assumption that the mean concentration for particular circulation types in the whole 20-year were equal to the values from the years 1991–1995

Lata	Zanieczyszczenie							
	SO ₂ w półroczu				pyłem zawieszonym w półroczu			
	ciepłym		chłodnym		ciepłym		chłodnym	
	W	E	W	E	W	E	W	E
1991–1995	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1986–1990	110,81	96,55	102,55	95,62	104,26	88,89	10,245	97,42
1981–1985	113,98	99,59	96,43	92,01	104,69	87,57	97,41	88,17
1976–1980	109,37	95,08	101,17	91,29	98,07	85,06	97,71	90,78

W, E – zachodnie i wschodnie peryferia Łodzi. Western and eastern suburbs of Łódź.

Zmiany częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji, w związku z charakterystycznymi dla każdego typu wartościami stężeń zanieczyszczeń powietrza, są przyczyną zmian średnich sezonowych stężeń zanieczyszczeń mas powietrza nad peryferiami Łodzi, wpływają także na „tło” wyjściowe dla zanieczyszczenia powietrza w centrum. Wpływ zmian tej częstości typów cyrkulacji na poziom średnich stężeń SO₂ i pyłu wynosi od kilku do kilkunastu procent (tab. 5).

WNIOSKI

Rola zewnętrznych czynników kształtujących stan zanieczyszczenia powietrza w aglomeracjach miejsko-przemysłowych jest znacząca.

Sukcesywne zmniejszanie emisji zanieczyszczeń w Polsce i w Europie jest wynikiem zarówno realizacji krajowej polityki ekologicznej, jak i realizacji międzynarodowych programów i protokołów, w tym np. zmniejszenia emisji i depozycji zanieczyszczeń kwasotwórczych jako bazowych dla kwaśnych opadów atmosferycznych. Ta znacząca redukcja emisji w sposób istotny zwiększa czystość przepływających nad kontynentem mas powietrza, a w kon-

Tabela 6

Średnie wartości stężeń SO_2 i pyłu zawieszonego w powietrzu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) w centrum Łodzi (ul. Zachodnia) oraz na zachodnich (ul. Wici) i na wschodnich (ul. Rokicińska) peryferiach miasta w okresie 1976–1995 podczas występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej (wg klasyfikacji Osuchowskiej-Klein)

Mean concentrations of SO_2 and dust in the air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in the city centre (Zachodnia St.) and in the western (Wici St.) and eastern (Rokicińska St.) suburbs of Łódź in the years 1976–1995 according to the air circulation types (after Osuchowska-Klein's classification)

Zanieczyszczenie	Półrocze	Stacja (ulica)	Typ cyrkulacji														
			A	B	BE	C ₂ D	CB	D	D ₂ C	E	E ₀	E ₁	E ₂ C	F	G	X	A-X
D ₂	chłodne	Zachodnia	84,9	126,8	126,9	112,7	112,0	116,1	122,5	129,6	131,8	138,9	127,5	143,0	133,5	65,3	119,9
		Wici	23,9	42,0	50,0	31,2	30,8	31,4	36,3	42,7	49,8	56,1	40,5	54,0	43,1	27,3	39,2
		Rokicińska	37,9	36,0	34,7	49,1	44,3	36,6	48,5	38,4	55,4	45,4	57,2	40,5	56,1	31,5	44,1
	ciepłe	Zachodnia	30,9	38,7	32,5	32,8	33,7	31,4	32,3	33,5	31,2	35,8	27,2	34,6	27,8	18,5	32,0
		Wici	9,0	14,2	12,4	10,8	11,0	11,5	11,5	13,8	11,0	17,0	11,1	16,1	12,1	5,8	12,0
		Rokicińska	13,1	17,2	11,5	13,1	16,6	13,7	12,1	11,2	12,7	14,3	11,6	13,2	11,2	8,8	13,1
pył zawieszony	chłodne	Zachodnia	138,7	165,7	160,0	159,9	147,2	145,5	169,9	144,3	160,0	168,3	167,4	159,9	197,9	156,9	157,6
		Wici	23,6	54,9	59,2	36,0	29,4	42,9	55,6	56,0	46,8	69,3	40,2	59,3	69,5	41,8	47,0
		Rokicińska	33,7	46,1	45,2	41,0	38,1	42,2	53,1	40,3	48,0	51,5	52,3	50,5	63,6	46,3	45,1
	ciepłe	Zachodnia	75,4	63,5	62,9	66,0	70,6	66,4	59,0	48,5	62,6	58,2	59,8	57,4	54,8	64,7	61,5
		Wici	12,2	20,7	19,4	16,0	13,6	18,2	19,0	19,6	15,3	23,9	16,3	20,8	20,8	13,8	17,1
		Rokicińska	18,2	18,9	25,7	19,4	17,6	18,9	19,0	16,6	16,3	22,2	18,6	16,3	17,4	19,5	17,9

Wartości średnie i percentyl 98 stężenia SO_2 i pyłu zawieszonego w powietrzu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) w centrum Łodzi (ul. Zachodnia) podczas występowania poszczególnych typów cyrkulacji atmosferycznej w kolejnych 5-leciach okresu 1976–1995

Mean values and 98 percentile of SO_2 and dust concentrations in the air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in the city centre (Zachodnia St.) at particular types of air circulation in subsequent 5-year periods in the year 1976–1995

Zanieczyszczenie	Półrocz	Okres	Typ cyrkulacji														A-X
			A	B	BE	C ₂ D	CB	D	D ₂ C	E	E ₀	E ₁	E ₂ C	F	G	X	
			wartości średnie														
SO ₂	chłodne	1976–1980	145,2	166,5	173,0	156,8	146,3	145,4	147,4	166,0	179,4	221,6	174,1	192,3	187,8		170,8
		1981–1985	87,4	103,1	128,2	102,5	92,2	91,5	89,0	108,9	108,4	134,4	133,2	143,5	131,9		107,3
		1986–1990	98,3	118,6	104,6	121,8	106,9	110,0	130,3	108,4	115,3	105,8	150,3	127,9	129,8		115,3
		1991–1995	50,0	52,3	83,5	64,3	53,7	72,5	76,1	135,6	71,3	87,6	67,4	84,4	97,6	63,3	70,5
	ciepłe	1976–1980	65,1	58,9	53,8	63,7	48,8	53,2	45,4	43,7	41,3	51,0	44,0	45,4	54,9	84,0	48,5
		1981–1985	25,4	30,3	36,0	27,6	32,1	26,8	26,7	31,6	29,5	28,4	24,7	38,3	25,1	16,5	29,9
		1986–1990	29,7	30,3	47,6	30,3	27,3	26,3	31,9	26,0	24,2	39,8	26,7	32,5	23,7	39,5	28,1
		1991–1995	22,3	46,1	18,4	20,5	21,1	26,6	35,3	24,7	26,1	23,2	19,5	20,0	18,7	17,3	21,9
Pył zawieszony	chłodne	1976–1980	190,2	178,8	181,9	212,6	187,4	182,6	196,9	173,4	190,0	217,4	188,5	185,4	210,6		191,9
		1981–1985	133,4	159,7	162,4	165,0	137,4	139,4	177,0	138,5	161,4	177,4	206,3	170,0	208,1	142,5	156,5
		1986–1990	113,8	173,6	130,9	124,5	134,1	130,5	152,7	124,2	139,1	125,9	164,9	158,3	177,7		138,4
		1991–1995	136,4	115,8	157,4	154,6	127,2	138,7	173,5	136,5	118,5	152,9	140,6	107,2	199,7	157,3	147,0
	ciepłe	1976–1980	107,1	77,3	61,8	93,3	85,1	95,8	81,7	58,1	71,4	62,7	72,2	59,3	71,9	200,0	73,7
		1981–1985	64,5	64,9	58,4	59,5	68,9	65,8	66,2	45,5	63,3	58,3	56,3	72,6	50,9	23,0	59,9
		1986–1990	60,6	47,7	72,5	51,5	56,0	49,2	48,2	39,2	47,2	55,5	50,4	45,9	44,0	64,5	48,8
		1991–1995	73,1	61,4	60,8	70,7	69,8	71,3	57,2	47,2	68,1	53,5	61,1	49,4	58,9	64,3	63,9
SO ₂	chłodne	1976–1980	307,0	301,6	297,5	322,0	345,9	324,4	304,0	404,1	433,2	432,0	323,4	420,0	333,8		386,5
		1981–1985	189,8	270,9	196,3	205,1	207,7	192,3	165,0	221,3	238,2	284,0	387,2	250,2	321,1	149,5	250,0
		1986–1990	228,4	190,9	201,6	246,4	245,8	214,0	327,2	266,5	250,3	202,4	278,3	194,7	270,0		253,2
		1991–1995	118,8	75,3	321,0	218,6	179,0	275,3	218,4	278,1	215,4	261,2	166,0	263,0	320,8	161,9	263,0
	ciepłe	1976–1980	180,6	191,9	121,0	144,5	124,9	112,8	82,6	137,0	116,1	111,1	102,6	177,7	130,4	84,0	135,8
		1981–1985	63,2	94,4	90,4	69,0	95,1	56,9	47,0	97,9	115,7	76,7	77,5	113,4	70,8	27,5	95,4
		1986–1990	68,8	82,8	85,5	96,9	96,8	78,4	101,0	87,8	62,4	92,6	66,7	79,2	53,9	49,5	87,3
		1991–1995	74,5	102,0	38,0	54,8	54,0	90,3	54,0	127,2	102,6	77,6	76,5	49,3	68,6	49,0	88,3
Pył zawieszony	chłodne	1976–1980	325,7	325,6	329,2	383,1	377,9	340,5	370,9	377,0	373,3	448,1	367,6	378,4	353,4		377,8
		1981–1985	276,8	399,0	266,6	300,0	281,8	305,8	298,3	293,8	378,6	419,8	421,9	290,2	492,4	162,2	389,4
		1986–1990	253,5	298,3	269,5	251,6	267,0	246,0	421,4	252,0	261,1	257,6	275,2	268,3	381,2		291,8
		1991–1995	234,0	165,0	246,2	297,4	220,9	252,4	304,1	340,4	177,0	376,2	282,2	167,3	561,1	326,8	348,0
	ciepłe	1976–1980	196,0	199,4	98,6	187,9	163,0	187,7	129,5	156,1	197,1	139,5	160,0	121,3	144,0	200,0	190,0
		1981–1985	117,0	130,0	106,7	123,4	175,7	138,6	159,5	105,0	166,3	107,1	121,1	167,8	148,8	36,4	155,0
		1986–1990	119,0	106,7	121,3	112,8	158,2	128,9	112,8	122,2	107,7	130,2	132,3	175,8	121,6	92,0	137,0
		1991–1995	156,7	153,0	104,5	144,0	136,7	203,3	81,8	106,4	144,8	130,5	115,3	110,0	154,0	148,0	148,0

sekwencji przyczynia się do zmniejszenia wielkoprzestrzennego poziomu bazowego (tzw. tła) imisji zanieczyszczeń.

Znaczący udział w wykazanych redukcjach stężeń zanieczyszczeń powietrza w Łodzi miało zwiększenie czystości powietrza na peryferiach Łodzi. Spadki te byłyby niekiedy jeszcze o kilka, a nawet kilkanaście procent większe, gdyby nie zmiany częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji, szczególnie odpowiedzialnych za przenoszenie mas powietrznych oraz za depozycje zanieczyszczeń. Zmiany tej częstości są prawdopodobnie spowodowane wkraczaniem w kolejną fazę cyrkulacyjną (K o ż u c h o w s k i 1993; Osuchowska-Klein 1987; Ustrnul 1997).

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr 234/T09/97/13, pt. „Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych”, sponsorowanego przez KBN w roku 1997.

LITERATURA

- K o ż u c h o w s k i K., 1993, *Makrotypy ogólnej cyrkulacji atmosfery a główne typy cyrkulacji nad Polską*, Przegl. Geofiz., R. 38, z. 3-4
- K u r o ś E., M o r a w s k a - H o r a w s k a M., 1989, *Wpływ sytuacji synoptycznych na wielkość stężeń zanieczyszczeń powietrza nad GOP*, Wiad. IMGW, t. 12(33), z. 1-2
- L e w i Ń s k a J., Z g u d K., B a ś c i k J., W i a t r a k W., 1990, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, Inst. Gosp. Przestrz. i Komunal., Warszawa
- N i e d Ź w i e d Ź T., O l e c k i Z., 1994, *Wpływ sytuacji synoptycznych na zanieczyszczenie powietrza w Krakowie*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., z. 96
- O s u c h o w s k a - K l e i n B., 1987, *Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie w bieżącym stuleciu*, Przegl. Geofiz., R. 32, z. 1
- S k r z y p s k i J., 1995, *Zanieczyszczenie atmosfery aglomeracji miejskich jako najważniejszy czynnik bioklimatyczny*, [w:] *Klimat i bioklimat miast*, red. K. Kłysik, Wyd. UŁ, Łódź
- S k r z y p s k i J., 1995, *Significance of Atmosphere Monitoring of the Upper Silesian Industrial Region for Ecodevelopment of the Region and Poland*, [w:] *Monitoring der Antropogenen Landschaften in Mittel und Osteuropa*, Bibl. Monitoringu Środ., Warszawa
- S k r z y p s k i J., 1996, *The Variability of Processes and the Results of Degradation of the Atmosphere of Town – the Example of Łódź, Poland*, [w:] *International Conference on Urban Climatology*, Essen
- U s t r n u l Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*, Mat. Bad. IMGW, Meteor., z. 27

SUMMARY

Changes in dust and SO_2 concentration in the air masses flowing onto western and eastern suburbs of Łódź are analyzed. A significant decrease in these values was observed and dependence of the concentration on the type of air circulation was found. It was shown that improvement in the aero-sanitary conditions was caused by external factors. It was also shown that changes in the frequency of particular circulation types had influence on the air pollution in urban and industrial agglomerations.