

WARUNKI METEOROLOGICZNE KSZTAŁTUJĄCE ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA PYŁU ZAWIESZONEGO NA POMORZU

Małgorzata Czarnecka, Robert Kalbarczyk

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

Streszczenie. Celem pracy była ocena wpływu głównych elementów meteorologicznych na stężenie pyłu zawieszonego na Pomorzu. Materiały podstawowe stanowiły średnie dobowe stężenia pyłu zawieszonego całkowitego (TSP) oraz pyłu z separacją ziaren poniżej 10 μm (PM10) w latach 1993-2002, pochodzące z ośmiu miejskich stacji pomiarowych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska oraz średnie dekadowe wartości dziewięciu elementów meteorologicznych ze stacji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. W analizowanym wieloleciu 1993-2002 warunki meteorologiczne, łącznie ze statystycznie istotnym trendem imisji, wyjaśniały od 9 do 25% wielkości dekadowego stężenia pyłu zawieszonego w poszczególnych miesiącach i od 17 do 44% – w kalendarzowych porach roku. W kompleksie warunków meteorologicznych kształtujących stężenia pyłu zawieszonego PM10 największą rolę odgrywała częstość opadów, wyrażona liczbą dni z opadem dobowym co najmniej 0,5 mm, mniejszą natomiast temperatura powietrza oraz prędkość wiatru.

Słowa kluczowe: stężenie pyłu całkowitego (TSP) i < 10 μm (PM10), elementy meteorologiczne, analiza regresji, Polska północno-zachodnia

WSTĘP

Emisja pyłu od 1989 roku systematycznie maleje, ale wysokie stężenia pyłu zawieszonego, szczególnie na obszarach miejskich, są zasadniczym problemem dotrzymania standardów jakości powietrza w Polsce. Stężenia pyłu w miastach są ponad dwukrotnie większe niż na obszarach pozamiejskich, częściej niż inne zanieczyszczenia przekraczają dopuszczalne normy, a w wielkich aglomeracjach są nadal wyraźnie większe niż w innych miastach europejskich. (Zanieczyszczenia powietrza..... 2005). Źródłem pierwotnej emisji pyłu zawieszonego, w tym także pyłu o średnicy poniżej 10 μm (PM10) są procesy spalania w źródłach stacjonarnych, przy czym największy udział, około 37%, ma sektor bytowo-komunalny.

Do wtórnej emisji zanieczyszczeń pyłowych dochodzi podczas transportu gazów i lotnych związków organicznych oraz pylenia z podłoża oraz składowisk odpadów. Na terenie miast ważną rolę odgrywa reemisja, czyli unoszenie pyłu z podłoża, której dominującym źródłem jest transport drogowy (Badyda i Majewski 2006, Keary i in. 1998, Majewski i Przewoźniczuk 2006, Yli-Tuomi i Raunemaa 1997).

Wielkość i zmienność emisji pyłu, podobnie jak i zanieczyszczeń gazowych, w ogromnej mierze kształtują warunki meteorologiczne, które mogą być zarówno efektywnym czynnikiem rozcieńczania, jak i koncentracji zanieczyszczeń, co wykazano w wielu pracach m. in. (Błażek i in. 1999, Drzeniecka i in. 1999, Godłowska 2004, Nowicka i in. 2004, van der Wal i Janssen 2000, Yang 2002). Najczęściej przedmiotem analizy były oceny oddziaływania poszczególnych elementów meteorologicznych na stężenie pyłu zawieszonego, ale także identyfikacja sytuacji pogodowych, w których dochodzi do znacznego wzrostu emisji, które Walczewski (2005) proponuje określać jako „klimat dyspersyjny”. Opracowany przez niego zagregowany „wskaźnik zanieczyszczenia” uwzględnia wpływ standardowych elementów meteorologicznych, a mianowicie temperatury powietrza, prędkości wiatru, wielkości opadów i ciśnienia atmosferycznego, ale także dane o inwersjach, co już wymaga wyposażenia stacji meteorologicznych w sodar (Walczewski 1997, Walczewski i in. 2000).

Celem pracy była ocena wpływu głównych elementów meteorologicznych na imisję pyłu zawieszonego na Pomorzu i wytypowanie spośród nich zespołów czynników najlepiej opisujących jego miesięczną i sezonową zmienność.

MATERIAŁY I METODY

Materiały podstawowe stanowiły średnie dobowe stężenia pyłu zawieszonego w latach 1993-2002 z ośmiu miejskich stacji pomiarowych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, funkcjonujących w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Warunki meteorologiczne reprezentowały dekadowe wartości: usłonecznienia rzeczywistego, średniej, minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza, niedosytu wilgotności, wilgotności względnej z godz. 13⁰⁰, sum opadów i liczby dni z opadem oraz prędkości wiatru ze stacji meteorologicznych IMGW, położonych najbliżej stacji GIOŚ. Zbiór danych imisyjnych był niejednorodny gdyż obejmował wyniki pomiarów stężenia całkowitego pyłu zawieszonego (TSP) oraz pyłu zawieszonego z separacją ziaren poniżej 10 µm (PM10). Wyniki pomiarów stężenia pyłu TSP pochodziły głównie z stacji imisyjnych w Gdyni i Gdańsku, natomiast pyłu PM10, przede wszystkim ze Szczecina i Piły, a z lat 2001-2002 także z Bydgoszczy, Gdańska oraz Gdyni.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 28. 04. 1998 r. (Dz. U. Nr 55 poz. 355) norma dopuszczalna dla pyłu zawieszonego ogółem TSP wynosiła $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla 24 godz. i $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla roku, natomiast dla pyłu zawieszonego PM10 odpowiednio $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Natomiast według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 05. 12. 2002 r. (Dz. U. 2003 Nr 1 poz. 12) od 2003 roku normą dopuszczalną objęte są wyłącznie stężenia pyłu zawieszonego PM10. Norma dla 1 godziny wynosi $280 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast roczna – $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Wpływ elementów meteorologicznych na stężenie pyłu zawieszonego określano przy zastosowaniu analizy korelacji oraz regresji pojedynczej i wielokrotnej, na poziomach istotności $\alpha = 0,10$, $\alpha = 0,05$ i $\alpha = 0,01$, dla miesięcy, pór kalendarzowych oraz roku, przy czym we wszystkich analizach korelowane zmienne były ujęte w postaci wartości dekadowych (średnich, bądź sum).

WYNIKI

W latach 1993-2002 średnie miesięczne stężenie pyłu zawieszonego PM10 na Pomorzu wahało się od około 25 do $43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast stężenia pyłu całkowitego TSP wynosiły od około 38 do $53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, przy czym najmniejsze stężenia obu rodzajów pyłu występowały w miesiącach letnich, a największe – w czasie zimy (Czarnecka i in. 2007). Największą zmiennością stężenia pyłu zawieszonego charakteryzowały się grudzień i styczeń, a we wszystkich miesiącach roku zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 była większa niż pyłu całkowitego TSP. W latach 1993-2003 zaznaczył się statystycznie istotny spadek stężenia pyłu zawieszonego PM10 w skali roku, a także prawie we wszystkich porach kalendarzowych, za wyjątkiem lata. Szczególnie duży spadek nastąpił w lutym oraz w marcu, dla których współczynniki determinacji trendu liniowego wynosiły odpowiednio: około 53 i 42%, ale istotny spadek stwierdzono także jeszcze w październiku i listopadzie. W przypadku pyłu całkowitego TSP niewielka ujemna tendencja, istotna tylko przy $\alpha = 0,10$, zaznaczyła się jesienią, przede wszystkim w październiku, natomiast w czerwcu stężenia wyraźnie wzrosły.

Wyniki statystycznej oceny roli elementów meteorologicznych w kształtowaniu zmienności stężenia pyłu całkowitego TSP były nieliczne, dotyczyły głównie warunków termicznych w skali całego roku, a w przypadku średniej temperatury – także w miesiącach zimowych. Nieporównywalnie więcej statystycznie istotnych wyników uzyskano dla pyłu zawieszonego PM10, którego zbiór danych wyjściowych był prawie dwukrotnie większy niż pyłu TSP. Wyniki analizy regresji stężenia pyłu PM10 od wybranych elementów meteorologicznych, z uwzględnieniem trendu liniowego, we wszystkich przypadkach kiedy był on statystycznie istotny, zawierają tabele 1 i 2.

W większości miesięcy usłonecznienie rzeczywiste istotnie kształtowało zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10. Współczynniki kierunkowe wskazują, że wysokie sumy usłonecznienia, odzwierciedlające pogodę wyżową, o generalnie niekorzystnych warunkach naturalnej wentylacji powietrza, na ogół przyczyniały się do wzrostu stężenia pyłu PM10 (z wyjątkiem listopada), co szczególnie uwidoczniło się w sierpniu. Wpływ warunków termicznych na stężenie pyłu zawieszonego PM10 na ogół najlepiej wyjaśniała średnia temperatura, najsilniej w czasie kalendarzowej zimy (XII-II), szczególnie w styczniu. Rolę warunków termicznych powietrza w kształtowaniu zmienności pyłu zawieszonego dobrze odzwierciedlały także jej ekstremalne wartości, przy czym w miesiącach zimowych lepszy opis zależności uzyskano za pomocą temperatury minimalnej, natomiast w miesiącach wiosennych i letnich, częściej temperatury maksymalnej. Wzrost temperatury w okresie zimowym, a co za tym idzie mniejsza intensywność procesów grzewczych, jednoznacznie przyczyniał się do zmniejszenia emisji pyłu, co stwierdzono także dla pyłu całkowitego TSP, natomiast w cieplej porze roku był czynnikiem niekorzystnym.

Wpływ wiatru w propagacji zanieczyszczeń pyłowych zaznaczył się w miesiącach chłodnego półrocza (tab. 1). W analizowanym dziesięcioleciu, w skali Pomorza, przeważała korzystna, wentylacyjna rola wiatru (zależność dodatnia), szczególnie w lutym i marcu. Jednak współczynniki korelacji nie były zbyt duże w porównaniu do uzyskanych dla innych elementów meteorologicznych, których związek ze stężeniem pyłu nie jest bezpośredni ale często tylko pozorny, np. jak temperatury powietrza. Może to wynikać z faktu, że wiatr jest nie tylko podstawowym, dynamicznym czynnikiem naturalnej wentylacji powietrza, ale w zależności od kierunku, może być źródłem zanieczyszczeń transgranicznych.

Rolę warunków wilgotnościowych powietrza w kształtowaniu zmienności stężenia pyłu PM10, ocenianą w okresie kwiecień – październik, w większości miesięcy lepiej odzwierciedlała wilgotność względna powietrza z godz. 13⁰⁰, słabiej niedosyt wilgotności (tab. 2). Szczególnie duży wpływ wzrostu wilgotności względnej powietrza w zmniejszaniu zapylenia powietrza zaznaczył się w sierpniu. Jak wykazano we wcześniejszej pracy (Czarnecka i in. 2007) opady wywierają statystycznie istotny wpływ na stężenie pyłu zawieszonego PM10, zarówno ich sumy, jak i częstość występowania.

Kierując się wynikami analizy regresji pojedynczej obliczono przeciętne wielkości tych elementów meteorologicznych, których związek ze stężeniem pyłu zawieszonego był istotny na najwyższym poziomie istotności $\alpha = 0,01$, przy czym uwzględniono trzy lub cztery przedziały stężenia, w zależności od jego zmienności w poszczególnych porach roku. Ponieważ podstawą wszystkich przeprowadzonych w pracy analiz były wartości dekadowe, stąd wyniki przedstawione w tabeli 3 zawierają, w zależności od elementu meteorologicznego, średnie lub sumy dekadowe.

Tabela 1. Współczynniki determinacji (%) dla zależności liniowej między stężeniem pyłu zawieszonego PM10 a elementami meteorologicznymi, z uwzględnieniem istotnego trendu liniowego. Lata 1993-2002

Table 1. Coefficients of determination (%) for the relationship between the linear determination of suspended particulate matter PM10 concentration and the meteorological elements, with the significant linear trend taken into consideration. 1993-2002

Element meteorologiczny Meteorological element	Miesiąc – Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Usłonecznienie rzeczywiste Sunshine duration (h)		+**	+**	+***	+**			+***	+**	+***	-***	
		(16,8)	(8,9)	(26,4)	(11,7)			(39,5)	(11,7)	(9,7)	(15,4)	
Średnia temperatura powietrza Mean air temperature (⁰ C)	-***	-**		+***	+**		+	+***				-***
	(28,3)	(9,6)		(20,5)	(9,2)		(6,0)	(20,7)				(15,5)
Maksymalna temperatura powietrza Maximum air temperature (⁰ C)	-*			+	+***	+**	+		+**	+		-**
	(7,3)			(9,4)	(16,7)	(10,6)	(6,5)		(15,0)	(7,3)		(10,5)
Minimalna temperatura powietrza Minimum air temperature (⁰ C)	-***	-***	-*	-*	-**	-**						-**
	(19,2)	(17,9)	(8,5)	(9,0)	(8,9)	(14,3)						(10,8)
Średnia prędkość wiatru Mean wind speed (m·s ⁻¹)		-***	-***					-**		-**	-**	-**
		(20,3)	(31,4)					(14,1)		(11,6)	(11,3)	(13,8)

-/+ zależności ujemna/dodatnia – negative/positive relationship,

istotny: * dla $\alpha = 0,1$, ** dla $\alpha = 0,05$, *** dla $\alpha = 0,01$ - significant: * at $\alpha = 0.1$, ** at $\alpha = 0.05$, *** at $\alpha = 0.01$.

Tabela 2. Współczynniki determinacji (%) dla zależności liniowej między stężeniem pyłu zawieszonego PM10 a warunkami wilgotnościowymi powietrza, z uwzględnieniem istotnego trendu liniowego. Lata 1993-2002

Table 2. Coefficients of determination (%) for the relationship between the linear determination of suspended particulate matter PM10 concentration and air humidity conditions, with the significant linear trend taken into consideration, 1993-2002

Element meteorologiczny Meteorological Element	Miesiąc – Month						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Niedosyt wilgotności Deficiency in air humidity (hPa)	+*** (22,2)	+*** (32,9)	+* (13,0)	+* (6,6)	+*** (31,8)	+** (9,4)	+* (8,0)
Wilgotność względna Relative air humidity (%)	_** (16,2)	_*** (32,8)	_*** (23,2)	_*** (14,1)	_*** (49,7)	_*** (22,9)	_* (6,5)

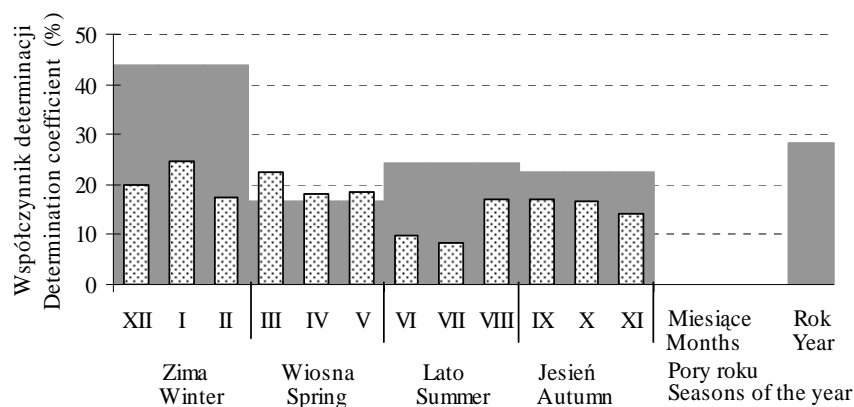
Objaśnienia jak w tabeli 1 – explanations, see Table 1.

Elementem meteorologicznym, który statystycznie istotnie kształtował zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 we wszystkich porach roku były warunki opadowe, wyrażone sumami i częstością opadów. W czasie kalendarzowej zimy przeciętnie najmniejsze stężenia, poniżej $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, występowały wówczas gdy dekadowe sumy opadów wynosiły około 19 mm, a opady dobowe ponad 0,5 mm notowano w ciągu 7 dni, w tym w co najmniej 5 dniach o sumie przekraczającej 1 mm. Zmniejszenie dekadowej sumy opadów o ponad połowę, a także spadek częstości opadów przyczynił się do nawet 4-5 krotnego wzrostu stężenia pyłu PM10. Przeciętnie niekorzystne w skali Pomorza warunki pogodowe dla imisji pyłu PM10 w tej porze roku reprezentowała ponadto średnia dekadowa temperatura powietrza $-2,0^{\circ}\text{C}$ i niska, około -16°C , temperatura minimalna, a także prędkość wiatru nieprzekraczająca $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wiosną i jesienią do wzrostu stężenia pyłu PM10 przyczyniał się spadek wielkości i częstości opadów. O ile jednak wiosną najniższe stężenia pyłu PM10, nie przekraczające $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, występowały gdy dekadowa suma opadów wynosiła około 19 mm, to jesienią – dopiero wówczas gdy osiągała co najmniej 26 mm. Natomiast większe stężenia pyłu, od $25-50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a także $50-75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, w obu porach roku, notowano w zbliżonych warunkach opadowych. W zestawie elementów meteorologicznych statystycznie istotnie oddziałujących na wzrost stężenia pyłu PM10 ponad $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ w okresie kalendarzowego lata były takie, które wskazują na wyżowy typ pogody, a mianowicie duże usłonecznienie rzeczywiste, o sumie dekadowej ponad 90 godzin, temperatura maksymalna 29°C , mała wilgotność względna, poniżej 50%, a duży niedosyt wilgotności, ponad 4 hPa oraz niewielka suma opadów, 10 mm.

Tabela 3. Dekadowe wartości elementów meteorologicznych, statystycznie istotnie kształtujących stężenia pyłu zawieszonego PM10 w przyjętych klasach. Lata 1993-2002

Table 3. Ten-day period values of meteorological elements, statistically significantly determining concentrations of suspended particulates PM10 in accepted classes; 1993-2002

Pora roku Season of the year	Klasa Class	Średnie stężenie Mean concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Usłone- cznienie Sunshine duration (h)	Element meteorologiczny – Meteorological element								
				Temperatura Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			Wilgotność względna Relative air humidity (%)	Niedosyt wilgotności Deficiency in air humidity (hPa)	Opad atmosferyczny Precipitation (mm)		Prędkość wiatru Wind velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	
				Średnia Mean	Maksy- malna Maximum	Mini- malna Minimum			Suma Total	Liczba dni z opadem Number of days with precipitation		
										$\geq 0,5$		$\geq 1,0$
Zima Winter	<25	20,5		2,6	9,0	-6,6			19,1	7,1	5,1	3,4
	25-50	36,7		1,2	8,0	-9,6			12,6	5,2	3,7	2,6
	50-75	62,5		0,0	5,5	-10,9			12,3	4,5	2,8	2,2
	>75	91,2		-2,0	5,4	-16,1			8,0	2,8	1,8	2,0
Wiosna Spring	<25	21,2							19,3	5,7	4,1	
	25-50	36,5							15,6	4,4	3,1	
	50-75	59,9							11,8	3,9	2,9	
	>75	106,8							7,0	2,6	1,6	
Lato Summer	<25	22,7	63,1		25,6		66,5	3,3	20,9	5,7	4,3	
	25-50	33,8	76,8		28,1		60,6	3,6	33,7	4,2	3,2	
	>50	63,3	92,6		29,0		47,2	4,1	10,0	2,2	1,9	
Jesień Autumn	<25	19,4							26,1	6,4	5,0	
	25-50	36,3							15,2	4,3	3,3	
	>50	64,7							11,8	3,2	2,6	



Rys. 1. Współczynniki determinacji (%) dla zależności stężenia pyłu zawieszonego PM10 od głównych elementów meteorologicznych, wytypowanych procedurą krokową analizy regresji. Lata 1993-2002

Fig. 1. Coefficients of determination (%) for the dependence of suspended particulate matter PM10 concentration on the main meteorological elements selected by means of step-wise method of regression analysis. 1993-2002

Efektom zastosowanej procedury krokowej analizy regresji wielokrotnej była ocena kompleksowego wpływu głównych elementów meteorologicznych na zmienność stężenia pyłu PM10 w ciągu roku, pór kalendarzowych i miesięcy. Jak wskazuje analiza rysunku 1, wytypowane elementy meteorologiczne wraz z trendem liniowym, wyjaśniały w około 28% zmienność średniego dekadowego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w skali roku, najlepiej, w około 44%, w czasie kalendarzowej zimy (XII-II), natomiast najslabiej, jedynie w około 17%, w okresie wiosny (III-V). Współczynniki determinacji dla miesięcy wahały się od 7% w lipcu do 24% w styczniu. W latach 1993-2002 wpływ wytypowanych elementów meteorologicznych na stężenie pyłu zawieszonego PM10 okazał się wyraźnie większy w porównaniu do ditlenku siarki, a szczególnie ditlenku azotu (Czarnecka i Kalbarczyk 2005). Poza tym, w przeciwieństwie do zanieczyszczeń gazowych, najbardziej efektywnym czynnikiem w zmniejszaniu imisji pyłu, była częstość występowania opadów. Liczba dni z opadem dobowym $\geq 0,5$ mm była we wszystkich porach roku głównym elementem meteorologicznym kształtującym zmienność stężenia pyłu, a jej szczególnie duży wpływ zaznaczył się w okresie zimowym (tab. 4). Opady atmosferyczne były także czynnikiem najczęściej typowanym do zespołu głównych elementów meteorologicznych w poszczególnych miesiącach roku. (tab. 5). Zimą, wiosną i latem stężenia pyłu PM10 istotnie kształtowały także warunki termiczne powietrza, ale ich rola, wyrażona współczynnikami determinacji cząstkowej, była wyraźnie mniejsza niż częstości opadów. W zespołach wytypowanych elementów meteorologicznych wiatr wywierał zdecydowanie najmniejszy wpływ na dekadową zmienność stężenia pyłu. Znacznie

Tabela 4. Współczynniki determinacji cząstkowej (%) dla zależności stężenia pyłu zawieszzonego PM10 od głównych elementów meteorologicznych, wytypowanych metodą krokową analizy regresji, według miesięcy. Lata 1993-2002

Table 4. Coefficients of particle determination (%) for the dependence of suspended particulate matter PM10 concentration on the main meteorological elements selected by means of step-wise method of regression analysis according to months. 1993-2002

Miesiąc Month	Trend liniowy Linear trend	Element meteorologiczny – Meteorological element								
		Usłonecznienie Sunshine duration (h)	Temperatura – Temperature (°C)			Wilgotność względna Relative air humidity (%)	Niedosyt wilgotności deficiency in air humidity (hPa)	Liczba dni z opadem Number of days with precipitation		Prędkość wiatru wind velocity (m·s ⁻¹)
			Średnia mean	Maksymalna maximum	Minimalna minimum			≥0,5 mm	≥1,0 mm	
Styczeń January	.	.	9,8*	.	.	.	.	16,1**	.	.
Luty February	62,7**	.	.	.	.	.	.	.	.	21,0**
Marzec March	58,8**	.	.	.	.	.	.	.	17,0*	19,9*
Kwiecień April	.	.	31,1**	.	.	.	.	.	36,2**	7,6*
Maj May	.	.	.	.	.	38,7**	.	.	.	.
Czerwiec June	.	.	.	.	7,8*	.	9,2*	.	.	.
Lipiec July	.	.	.	.	.	14,0*	.	.	.	.
Sierpień August	.	.	10,2*	.	.	.	.	29,5**	.	.
Wrzesień September	.	.	.	9,1*	.	.	.	19,9**	.	.
Październik October	16,5*	9,1*	.	.	.	.	.	.	.	10,9*
Listopad November	16,3*	.	.	.	.	.	.	21,3**	.	8,3*
Grudzień December	24,7**	.	7,5*	.	.	.	.	23,5**	.	19,6**

. statystycznie nieistotny – non-significant, istotny: ** dla $\alpha = 0,05$, *** dla $\alpha = 0,01$ – significant: ** at $\alpha = 0.05$, *** at $\alpha = 0.01$.

Tabela 5. Współczynniki determinacji cząstkowej (%) dla zależności stężenia pyłu zawieszzonego PM10 od głównych elementów meteorologicznych, wytypowanych metodą krokową analizy regresji, według kalendarzowych pór roku. Lata 1993-2002

Table 5. Coefficients of particle determination (%) for the dependence of suspended particulate matter PM10 concentration on the main meteorological elements selected by means of step-wise method of regression analysis according to calendar seasons of the year. 1993-2002

Pora roku, rok Seasons of the year, year	Trend liniowy Linear trend	Element meteorologiczny – Meteorological element			
		Temperatura Temperature (°C)		Liczba dni z opadem ≥0,5 mm Number of days with precipitation ≥0,5 mm	Prędkość wiatru Wind velocity (m·s ⁻¹)
		Średnia Mean	Minimalna Minimum		
Zima Winter	10,8**	10,4**	.	15,8**	5,2**
Wiosna Spring	4,3*	.	2,8*	10,1**	.
Lato Summer	.	6,5**	.	12,3**	.
Jesień Autumn	5,6**	.	.	14,3**	2,3*
Rok Year	5,8**	11,8**	.	16,2**	4,9*

Istotny: ** dla $\alpha = 0,05$, *** dla $\alpha = 0,01$ – Significant: ** at $\alpha = 0.05$, *** at $\alpha = 0.01$.

większą rolę prędkości wiatru stwierdzono w miesiącach chłodnego półrocza (tab. 5). W lutym i w marcu współczynniki determinacji cząstkowej osiągały nawet po około 20%.

WNIOSKI

1. W latach 1993-2002 warunki meteorologiczne, łącznie ze statystycznie istotnym trendem imisji, wyjaśniały od 9 do 25% dekadowej zmienności stężenia pyłu w poszczególnych miesiącach i od 17 do 44% – w porach roku, Najsilniejszy wpływ warunków meteorologicznych zaznaczył się podczas kalendarzowej zimy, szczególnie w styczniu.

2. W kompleksie warunków meteorologicznych kształtujących stężenia pyłu zawieszonego PM10 największą rolę odgrywała częstość opadów, wyrażona liczbą dni z opadem dobowym co najmniej 0,5 mm, mniejszą natomiast temperatura powietrza oraz prędkość wiatru.

PIŚMIENNICTWO

- Badyda A., Majewski G., 2006. Analiza zmienności stężenia zanieczyszczeń komunikacyjnych w aglomeracji miejskiej na tle natężenia ruchu pojazdów i warunków meteorologicznych. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Ochrona Środowiska*, R. XV, z.1 (33), 146-157.
- Błażek Z., Ośródka K., Ośródka Z., 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*, z. 3, 37-48.
- 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., Kalbarczyk E., 2007. Variability in particulate matter concentrations versus precipitation in Pomerania region. *Pol. J. Natur. Sc.*, 22(4), 645-659.
- Drzeniecka A., Pereyma J., Pyka J.L., Szczurek A., 1999. Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza w Śródmieściu Wrocławia. *Chemia Inż. Ekolog.* T.7, z.8-9, 865-881.
- Godłowska J., 2004. The particulate matter PM10 air pollution in Cracow. *Wiad. IMGW*, T. XXVII (XLVIII), z.1, 79-90.
- Keary J., Jennings S.G., O' Connor T. C., Mcmanus B., Lee M., 1998. PM10 concentration measurements in Dublin City. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 52, issue 1-2, 3-18.
- Majewski G., Przewoźniczek 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. *Ann. Warsaw Agricult. Univ.-SGGW, Land Reclam.* z. 37, 55-67.
- Nowicka A., Rynkiewicz I., Dragańska E., 2004. Wpływ elementów meteorologicznych na stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Olsztynie. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Ochrona Środowiska* 13(28), 126-132.

- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 28.04.1998 r. w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających w powietrzu. Dz.U. Nr 55, poz. 355.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 05.12. 2002 w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. 2003 nr 1 poz.12.
- 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.
- Walczewski J., 1997. Wskaźnik meteorologiczny określający prawdopodobieństwo wzrostu zanieczyszczenia powietrza w okresie zimowym. *Wiad. IMGW, T. XX(XLI), z. 1, 129-135.*
- Walczewski J., 2005. Meteorologiczne i klimatyczne warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza. *Przeł. Geofiz. Rocznik L, z.3-4, 177-193, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.*
- Walczewski J., Feleksy-Bielak M., Dębicka K., Śliwińska U., 2000. Wskaźniki meteorologicznych warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza i ich zmienność w Krakowie w latach 1990-1999. *Wiad. IMGW, T.23 (44), z.1, 13-28.*
- Yang K. L., 2002. Spatial and seasonal variation of PM10 mass concentrations in Tajwan. *Atmospheric Environment* 36, 3403-3411.
- Yli-Tuomi T., Raunemaa T., 1997. PM10 concentrations in urban sites in Finland. *J. Aerosol Sci. Journal of Aerosol Science, Vol. 28., Suppl.1, 233-234.*
- Zanieczyszczenia powietrza w Polsce w latach 2003-2004., 2005. Praca zespołowa. IOŚ/IS, Bibl. Monit. Śr., Warszawa.

WEATHER CONDITIONS DETERMINING VARIABILITY OF SUSPENDED PARTICULATE MATTER CONCENTRATION IN POMERANIA

Małgorzata Czarnecka, Robert Kalbarczyk

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

Abstract. The study was aimed at the assessment of the effect of the main meteorological elements on suspended particulate matter concentration in Pomerania. The essential material was based on the average diurnal (24 hr period) concentration of suspended total particulate matter (TSP) and dust of isolated grain below 10 μm (PM10) gathered in 1993-2002 at eight municipal measurement stations of the Main Inspectorate for Environmental Protection and on average ten-day period values of nine meteorological elements from the stations of the Institute of Meteorology and Water Management. In the analysed multi-year period of 1993-2002, weather conditions, along with statistically significant trend of immission, accounted for from 9 to 25% of the value of ten-day period concentration of suspended particulate matter in individual months, and 17 to 44% of these values in the calendar seasons of the year. In the complex of meteorological conditions determining the concentration of suspended particulate matter PM10 the largest role was played by the frequency of precipitation expressed by the number of days with diurnal (24 hr period) rainfall of at least 0.5 mm, whereas the role of air temperature and speed of wind was smaller.

Keywords: concentration of particulate matter TSP and PM10, meteorological elements, regression analysis, North-Western Poland