

Poland the negative role of the advection from South-West and West increases and so does the positive role of the advection from North-East. The mean and maximum values of the concentration of SO<sub>2</sub> connected with the advection from directions mentioned above as harmful may be even a few times as big as these values connected with the advection from directions good for low concentration of SO<sub>2</sub>. The dependence the mean daily concentration of SO<sub>2</sub> from the direction of advection is the strongest in Upper Silesia and at the sea-shore.

There has been calculated how far the mean daily concentration of SO<sub>2</sub> can exceed the given values (including the values in accordance with standards), by different directions of the air masses advection. All the stations, where the concentrations of SO<sub>2</sub> have been found to exceed these norms, have been included in this calculations. The results may be used in forecasting of the concentration of SO<sub>2</sub> in these towns by different synoptic situations.

Taking into account the data from many stations and describing the dependence of the concentration of SO<sub>2</sub> from the direction of the air masses advection in different regions in Poland allow to widen the results onto the areas where there have been no observations.

## WPLYW WARUNKÓW AEROSANITARNYCH I BIOMETEOROLOGICZNYCH NA ZGONY MIESZKAŃCÓW WARSZAWY

### Autoreferat

*Magdalena Kuchcik*

#### **Cel pracy**

Celem pracy jest określenie wpływu pogody na zdrowie i zgony mieszkańców Warszawy. Jest nim wyodrębnienie warunków biometeorologicznych i aerosanitarnych o dużym zagrożeniu dla życia ludności miejskiej, prowadzących do wzrostu liczby zgonów, spowodowanych głównie chorobami układu krążenia i dróg oddechowych.

Zdrowie człowieka zależy od wielu czynników: epidemiologicznych, genetycznych, socjologicznych, psychologicznych oraz środowiskowych. Procesy zachodzące w atmosferze nieprzerwanie oddziałują na człowieka, a wszelkie warunki skrajne, np. szczególnie wysoka lub niska temperatura powietrza, duże zanieczyszczenie powietrza, bardzo silne wiatry i in., wytrącają organizm z równowagi. Jednak same warunki środowiskowe rzadko stają się bezpośrednią przyczyną zachorowania lub zgonu, modyfikują jednak inne czynniki ryzyka.

#### **Materiały źródłowe i metody ich opracowania**

W rozwiązaniu problemu wykorzystano codzienne dane dotyczące warunków pogodowych i stanu zanieczyszczenia powietrza w Warszawie z okresu 1994-1995.

W pracy uwzględniono codzienne wyniki pomiarów stężenia dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>), tlenków azotu (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), tlenku węgla (CO), ozonu (O<sub>3</sub>) oraz koncentracji pyłu w atmosferze. Dane pomiarowe pochodzą z Instytutu Ochrony Środowiska i reprezentują śródmieście Warszawy.

Warunki pogodowe (układy baryczne, fronty atmosferyczne i masy powietrza) opisano na podstawie własnej analizy codziennych map synoptycznych (z czterech terminów), opracowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Uwzględniono także dane meteorologiczne ze Śródmiejskiej Stacji Uniwersytetu Warszawskiego, ze stacji IMGW na Bielanach i Okęciu oraz sondáže aerologiczne ze stacji IMGW w Legionowie (warstwy inwersyjne).

Ponadto wykorzystano informacje o codziennych liczbach zgonów (określonych wg

klasyfikacji chorób, urazów i przyczyn zgonów) osób zameldowanych w Warszawie, udostępnione przez Główny Urząd Statystyczny.

W rozwiązaniu problemów zastosowano metody statystyczne: analizę regresji liniowej (współczynnik korelacji Pearsona, współczynnik korelacji cząstkowej i wielokrotnej) oraz regresji nieliniowej (wielomiany 6. stopnia). Istotność statystyczną współczynników regresji i korelacji oceniono stosując testy: Fishera-Snedecora i t-Studenta. Weryfikując empiryczne rozkłady prawdopodobieństwa zastosowano test zgodności  $\chi^2$ . Posłużono się wartościami: średnią miesięczną, sezonową, roczną i konsekwentną, odchyleniem standardowym, zmienną standaryzowaną, wskaźnikiem meteorotropizmu de Rudderera.

### Zmiany roczne umieralności

Przed przystąpieniem do rozwiązania zasadniczego problemu oceniono zmiany umieralności w Polsce w XX wieku, ze szczególnym uwzględnieniem Warszawy. W polskich miastach notowana jest niższa umieralność w porównaniu ze wsią, z kolei mieszkańcom miast znacznie częściej zagrażają zawały i nowotwory (Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, 1995).

Tabela 1. Struktura umieralności w Polsce  
Structure to mortality in Poland

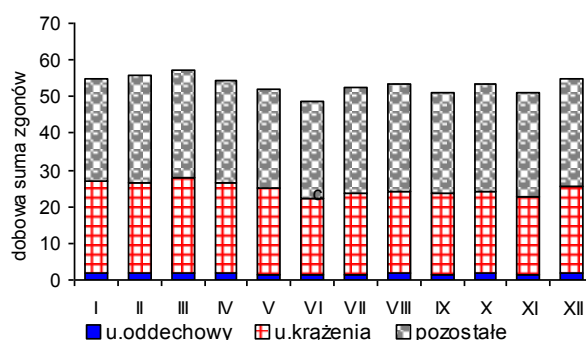
Przyczyny zgonów	[%]					1995 [%]			
	1960	1970	1980	1990	1995	miasto	wieś	M	K
Choroby układu krążenia	23	34	48	52	50	48	53	46	56
Nowotwory	12	17	17	19	20,5	22	18	22	19
Urazy i zatrucia	6	7	8	8	7,5	7	8	10	4
Choroby układu oddechowego	8	8	6	4	3	3	4	4	3
Choroby zakaźne i pasożytnicze	7	4	2	0,8	0,6	1	1	1	0,4

Raport 1996, Sytuacja demograficzna Polski, Komisja Rządowa w zakresie polityki ludnościowej

W Warszawie w latach 1994-1995 stwierdzono ogółem 37 633 zgonów, w tym 16 890 z powodu chorób układu krążenia i 1247 w wyniku chorób układu oddechowego. Średnie dobowe liczby zgonów wyniosły odpowiednio: 52, 23, 2.

Zmiany roczne umieralności nie są zbyt duże. Najwięcej zgonów występuje wiosną, najmniej latem. Okresem najmniejszej wydolności organizmu, wynikającym z przestrojenia funkcji biologicznych jest koniec zimy, dlatego też największą średnią umieralnością w Polsce cechuje się luty. Jednak w Warszawie, i w innych dużych miastach Polski, najwięcej zgonów występuje w marcu (średnia dobowa 55), a najmniej w czerwcu (47) (rys. 1).

Najliczniejszą grupę umieralności stanowią zgony z powodu chorób układu krążenia. Liczba zgonów z powodu chorób układu oddechowego jest niewielka, jednak cechują ją największe różnice w ciągu roku, z dużą przewagą w okresie zimy.



Rys. 1. Średnia dobowa suma zgonów w Warszawie, 1994-1995  
Mean daily number of deaths in Warsaw, 1994-1995

### Warunki aerosanitarne i ich wpływ na zgony mieszkańców Warszawy

Zanieczyszczenie powietrza w mieście wykazuje okresową zmienność: dobową i roczną. Jest to efekt zależności stężenia zanieczyszczeń powietrza nie tylko od wydajności źródeł emisji, ale także od warunków meteorologicznych (prędkość wiatru, termiczne warstwy hamujące).

Warszawę, w porównaniu z innymi miastami Polski, cechuje mniejsze zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki, większe zaś substancjami związanymi z rozwojem motoryzacji: tlenkiem węgla i tlenkami azotu oraz zanieczyszczeniem wtórnym - ozonem. Mierzone w centrum Warszawy stężenia ozonu, tlenku węgla i pyłu zawieszonego przekraczają często dopuszczalne normy dobowe (tab. 2).

Tabela 2. Normy dopuszczalnego stężenia zanieczyszczeń powietrza na obszarach nie objętych ochroną (Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, 1997)

Daily norms of acceptable concentration of air pollution on the non-protected areas

Stężenie dopuszczalne	No <sub>2</sub>	Co	So <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Pył zawieszony
	µg·m <sup>-3</sup>	mg·m <sup>-3</sup>	µg·m <sup>-3</sup>	µg·m <sup>-3</sup>	µg·m <sup>-3</sup>
Średnie roczne - Da	50	0,120	32	-	50
Średnie dobowe - D <sub>24</sub>	150	1	200	30	120
Stężenie 30-minutowe - D <sub>30</sub>	500	5	600	100	-

Największe stężenie dwutlenku siarki, tlenku węgla, tlenków azotu i pyłu zawieszonego (o średnicy < 10 µm) występuje w miesiącach półrocza chłodnego, najmniejsze – w miesiącach półrocza ciepłego, wzrasta z kolei wówczas koncentracja ozonu (tab.3).

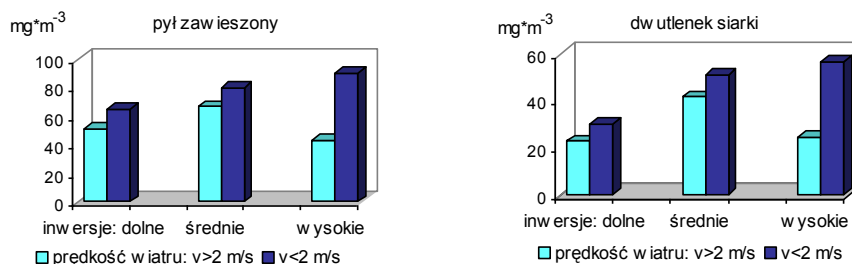
Tabela 3 Średnie miesięczne stężenie zanieczyszczeń powietrza w Warszawie, 1994-1995  
Mean monthly concentration of air pollution in Warsaw 1994-1995

subst.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	min	max
CO	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,5	1,0	1,3	0,9	0,1	3,8
SO <sub>2</sub>	39,6	42,9	35,2	22,4	14,0	11,9	10,7	15,8	16,4	30,5	43,3	49,4	27,8	1,8	144,1
O <sub>3</sub>	19,2	21,8	33,6	47,0	51,8	48,0	60,4	50,1	27,3	15,6	17,8	17,6	33,8	3,3	108,5
NO	15,7	15,0	10,4	6,0	7,3	3,3	3,3	9,1	16,6	33,3	24,8	24,8	13,8	0,2	173,8
NO <sub>2</sub>	32,2	39,3	35,7	36,3	39,1	32,0	31,9	37,5	38,5	42,6	35,1	38,6	36,5	12,2	90,5
NO <sub>x</sub>	56,2	60,5	50,9	45,2	50,4	37,1	34,7	51,9	61,6	92,5	72,0	75,9	57,0	12,9	354,0
pył zaw.	46,9	62,9	51,9	47,8	47,6	45,0	40,4	44,8	44,5	77,2	70,3	68,2	54,0	9,8	246,5

stężenie CO - mg·m<sup>-3</sup>, pozostałych substancji - µg·m<sup>-3</sup>

Wzrost stężenia zanieczyszczeń powietrza wywołany jest najczęściej przez warstwy inwersyjne, zarówno przygruntowe, jak i w swobodnej atmosferze. W latach 1994-1995 w Warszawie największe z zanotowanych stężeń prawie wszystkich domieszek w powietrzu wystąpiły w dniach z inwersją, podczas ciszy atmosferycznych.

Z analizy inwersji górnych warstw atmosfery nad Kotliną Warszawską wynika, że niekorzystne warunki aerosanitarne w Warszawie zależą najbardziej od inwersji z podstawą na wysokości 1-500 m n.p.g. (tzw. inwersje średnie, powstające najczęściej w półroczu chłodnym). Niezależnie od warunków wiatrowych, prowadziły one do wzrostu stężenia zanieczyszczeń w mieście, m.in. tlenku węgla o 50% w stosunku do średniego rocznego, dwutlenku węgla o 39%, pyłu zawieszonoego o 13% (rys. 2).



Rys. 2. Rodzaj nocnej inwersji termicznej, warunki przewietrzania a stężenie zanieczyszczeń powietrza w Warszawie, 1994-1995

Night thermal inversion layers, ventilation conditions and the concentration of air pollution in Warsaw 1994-1995

Wymienione substancje gazowe i pył miały łącznie duży wpływ na umieralność mieszkańców Warszawy. Wskazują na to istotne statystycznie wartości współczynnika korelacji wielokrotnej i współczynnika determinacji (tab.4), jak i średnia liczba zgonów w odpowiednich warunkach. Średnio w roku 22% wariacji liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia wyjaśniona była zmianami zanieczyszczenia powietrza: 28% – w półroczu chłodnym, 21% – w półroczu ciepłym. Zanieczyszczenie powietrza odpowiadało za 23% wariacji ogólnej liczby zgonów w półroczu ciepłym.

Tabela 4. Wartości współczynnika korelacji wielokrotnej ( $R$ ) i determinacji ( $R^2$ -%) między dobową sumą zgonów i zanieczyszczeniem powietrza, Warszawa 1994-1995

The multiple regression coefficient ( $R$ ) and coefficient of determination ( $R^2$ -%) between daily number of deaths and of air pollution in Warsaw 1994-1995

Zgony	Dzień	Rok		Półrocze chłodne		Półrocze ciepłe	
		$R$	$R^2$ %	$R$	$R^2$ %	$R$	$R^2$ %
Ogółem	0	0,31	9,5	0,22	4,7	0,41	16,9
	+1	0,41	16,5	0,39	15,4	0,48	22,7
Układ krążenia	0	0,35	12,4	0,42	17,2	0,41	16,6
	+1	0,47	22,0	0,53	28,5	0,46	21,3
Układ oddechowy	0	0,15	2,2	0,15	2,2	0,26	6,6
	+1	0,20	4,1	0,23	5,1	0,14	2,1

O zależności liczby zgonów (średnich 5-dniowych) od zanieczyszczenia powietrza świadczą także istotne statystycznie współczynniki korelacji cząstkowej:

Wsp. korelacji cząstkowej	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	pył
Zgony ogółem	-0,103	-0,028	0,043	0,353	0,164	0,249	0,126
Zgony – układ krążenia	-0,232	-0,076	0,136	0,384	0,170	0,178	0,093

Odpowiadają im największe z obliczonych współczynniki determinacji: wszystkich zgonów  $R^2 = 30\%$  ( $R = 0,55$ ), w przypadku zgonów z powodu chorób układu krążenia  $R^2 = 36\%$  ( $R = 0,60$ ).

Liczba zgonów w dniach o stężeniu zanieczyszczeń powietrza przekraczającym o 50% średnie stężenie ( $\bar{x}$ ) np. w porze letniej była znacznie większa niż w dniach cechujących się stężeniem  $<^{1/2} \bar{x}$  średniej:

miesiące VI-VIII	Zgony ogółem		Zgony z powodu chorób układu krążenia	
	$>^{3/2} \bar{x}$	$<^{1/2} \bar{x}$	$>^{3/2} \bar{x}$	$<^{1/2} \bar{x}$
tlenek węgla	59,5	43,0	26,4	15,0
dwutlenek siarki	55,6	46,9	25,2	18,7
tlenek azotu	52,8	47,5	23,5	20,5
dwutlenek azotu	51,4	51,6	22,9	22,8
ozon	66,6	48,9	29,7	19,9
pył zawieszony	60,9	48,4	27,5	20,8
średnia liczba zgonów	50,0		21,8	

Na ogół w dniach o dużym stężeniu dwutlenku siarki, tlenku węgla, ozonu i pyłu w atmosferze występowała znacznie większa liczba zgonów.

W latach 1994-1995 największy wzrost umieralności wystąpił w okresie największego stężenia ozonu. Jego wzrostowi o 74%, w odniesieniu do średniego stężenia w sierpniu odpowiadał wzrost liczby wszystkich zgonów o 40%, a zgonów z powodu chorób krążenia o 49%. Wzrostowi zawartości pyłu w atmosferze o 140% odpowiadał przyrost liczby zgonów spowodowanych chorobami układu krążenia o 30%:

Subst.	Okres	Stężenie	Odchylenie od średniej miesięcznej [%]	Zgony ogółem		Zgony – układ krążenia	
				liczba	%	liczba	%
SO <sub>2</sub>	16-20.12.1995	94,95	+92	60,8	+15	26,0	+10
O <sub>3</sub>	30.07-07.08.1995	86,95	+74	72,0	+40	33,3	+49
pył	11-12.08.1994	109,20	+144	59,0	+14	29,0	+30

Ogólnie, największy wpływ na liczbę zgonów w ciągu całego roku mają tlenek węgla i ozon, zwłaszcza w przypadku chorób układu krążenia.

#### Warunki pogodowe i ich wpływ na zgony mieszkańców Warszawy

W poszukiwaniu przyczyn zgonów istotne znaczenie ma analiza zarówno skrajnych wartości pojedynczych elementów meteorologicznych, jak i sytuacji meteorotropowych, głównie typów układów barycznych, frontów atmosferycznych nad Warszawą oraz rodzajów mas powietrza, cechujących się charakterystycznym zespołem elementów meteorologicznych. W tym celu posłużono się biometeorologiczną klasyfikacją sytuacji synoptycznej wg M. Baranowskiej (1985).

W latach 1994-1995 najczęstszym układem barycznym był wyż (W), który kształtował pogodę przez 26% dni, następnie zatoka niżowa (Z) – 16%. Ogólnie układy niżowe

panowały przez 47% dni, wyżowe – 43%, przejściowe – 10%. W badanym okresie nad Warszawą przeszło łącznie 328 frontów (275 dni z frontem), z czego 60% frontów słabych, 40% silnych. Fronty zimne (Fz) stanowiły 49%, ciepłe (Fc) – 32%, zokludowane (Fo) i zafalowane (Fzaf) – 19%.

Najczęściej występującą nad Polską masą powietrza było powietrze polarne morskie świeże (PPmśw.) – 33% dni i morskie stare (PPms) – 26% dni, a najrzadziej – powietrze zwrotnikowe – 7% dni.

Pogodę niżową (zatoka niżowa, słabogradentowy obszar obniżonego ciśnienia) cechowała większa liczba zgonów ogółem i z powodu chorób układu krążenia, pogodę wyżową – mniejsza. Sezonowe zmiany umieralności w zależności od pogody, z wyodrębnieniem chorób układu krążenia charakteryzuje zestawienie:

Rodzaj pogody	Wiosna		Lato		Jesień		Zima	
	Ogółem	Układ Krążenia	Ogółem	Układ Krążenia	Ogółem	Układ Krążenia	Ogółem	Układ Krążenia
Pogoda niżowa (Z)	74	36	84	41	65	29	71	33
Pogoda wyżowa (W)	77	43	66	35	70	36	68	32
Pogoda słabogradentowa niżowa – (ON)	69	36	87	40	62	32	79	42
Pogoda słabogradentowa wyżowa – (OW)	63	34	77	38	66	28	68	45

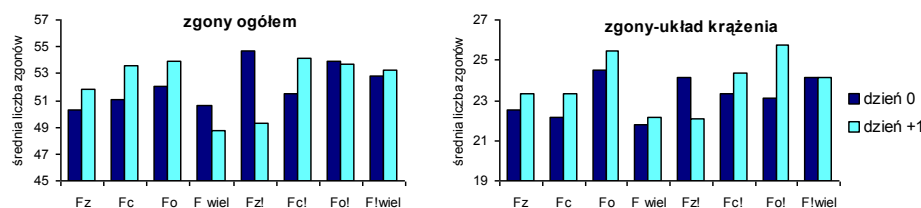
Najwięcej zgonów wystąpiło wiosną przy pogodzie wyżowej (77), a latem i zimą przy pogodzie niżowej (84 i 71). Szczególnie niekorzystna w latach 1994-1995 była niżowa pogoda słabogradentowa, podczas której wystąpiło najwięcej zgonów – 87 w ciągu doby. Średni wzrost umieralności ogólnej (z jednodniowym opóźnieniem) wynosił w tym układzie barycznym 7%, a umieralności na choroby układu krążenia – 13%. Do wzrostu liczby zgonów prowadziły także pogoda z zatoką w wyżu, oraz z zatoką niżową, a do jej spadku – z niżem z centrum nad Polską i klinem za frontem.

Zależność liczby zgonów od poszczególnych typów pogody charakteryzują współczynniki korelacji (w przypadku 10-dniowych sum konsekwentnych):

Zgony	Dzień	Układy cyklonalne: N, z, np., On, zw	Układy antycyklonalne: W, ow, kf
Ogółem	0	0,104	-0,067
	+1	0,076	-0,033
Układ krążenia	0	0,148	-0,120
	+1	0,125	-0,092

Liczba zgonów jest dodatnio skorelowana z częstością występowania pogody niżowej, a ujemnie z częstością pogody wyżowej. Współczynniki korelacji (przy liczebności  $n = 719$ ) są istotne statystycznie, na poziomach istotności od 0,001 (w dniu 0) do 0,1.

Duże, nagłe, równoczesne zmiany wartości wielu elementów meteorologicznych, jakie pojawiają się podczas frontów silnych (!), prowadzą między innymi do obciążenia układu termoregulacyjnego człowieka oraz zmian ciśnienia tętniczego krwi, powodując niewielki wzrost liczby zgonów ogółem i spowodowanych chorobami układu krążenia (rys.3). Pogodom z frontem słabym, o małej aktywności towarzyszyła zazwyczaj mniejsza umieralność.



Rys.3. Średnia dobowa liczba zgonów w dniu z poszczególnymi frontami atmosferycznymi oraz w dniu następnym, Warszawa 1994-1995

Mean daily number of death on days with selected types of atmospheric front and on the following days, Warsaw 1994-1995

W przypadku frontów silnych największa liczba zgonów w dniach po przejściu frontu w poszczególnych porach roku wyniosła:

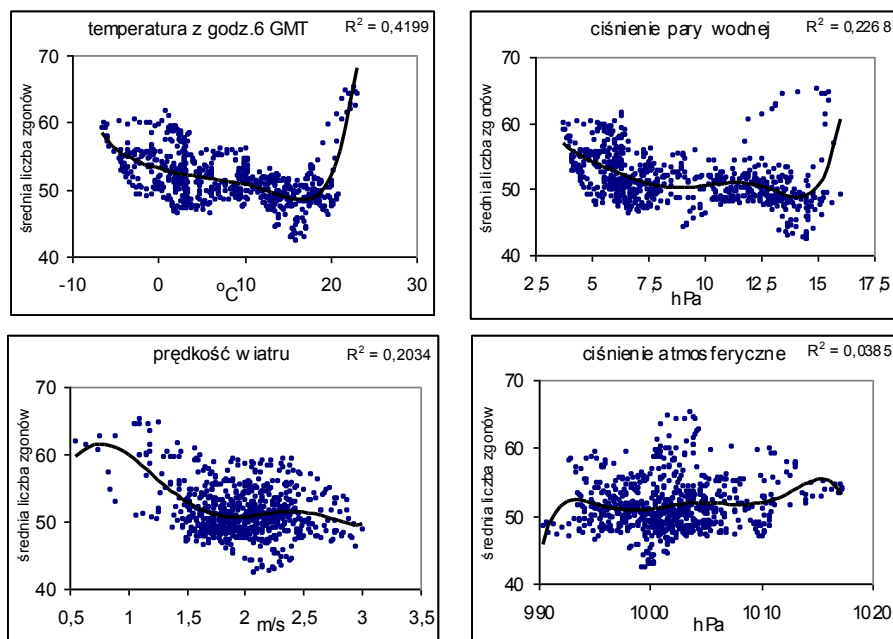
Dzień	Rodzaj frontu	Wiosna		Lato		Jesień		Zima	
		Ogółem	Układ krążenia	Ogółem	Układ krążenia	Ogółem	Układ krążenia	Ogółem	Układ krążenia
0	Front zimny (Fz)	71	34	60	29	58	32	79	32
+1		56	33	57	25	63	28	59	33
0	Front ciepły (Fc)	69	36	48	24	67	29	59	29
+1		61	30	57	24	59	27	79	37

Największa różnica między maksymalnymi liczbami zgonów w dniach z frontami zimnymi i ciepłymi wystąpiły w lecie: zgony ogółem Fz – 60, Fc – 48. Wiosną i latem wyższą liczbę zgonów notowano w dniach z frontem zimnym, a jesienią i zimą – w dniu z frontem ciepłym oraz w dniach następnym, czyli w warunkach kontrastowych w danej porze roku.

Zależność 5-dniowych średnich konsekwentnych liczb zgonów od rodzajów frontów: zimnych i ciepłych charakteryzują współczynniki korelacji, istotne na poziomie istotności <0,05.:

Zgony	Dzień	Fronty zimne	Fronty ciepłe
Ogółem	-1	-0,102	0,104
	0	-0,120	0,098
	+1	-0,144	0,093
Układ krążenia	-1	-0,148	0,077
	0	-0,149	0,078
	+1	-0,154	0,093

Ogólnie biorąc, zgony były ujemnie skorelowane z częstością występowania frontów zimnych, a dodatnio – z częstością frontów ciepłych. Za frontem ciepłym, w wycinku ciepłego powietrza rośnie zanieczyszczenie powietrza oraz ciśnienie pary wodnej, zmniejsza się prędkość wiatru. Dodatkowo maleje zawartość tlenu w powietrzu, wzrasta więc liczba oddechów i wentylacja płuc człowieka oraz obciążenie serca, tętno ulega przyspieszeniu, spada ciśnienie tętnicze. Warunki te prowadzą do większej częstości wszystkich rodzajów zgonów ogółem oraz z powodu chorób układu krążenia i układu oddechowego. Znalazło to potwierdzenie na rysunku 4, na którym wykres wielomianu 6-tego stopnia wyraźnie wznosi się wraz ze wzrostem temperatury i ciśnienia pary wodnej oraz wraz ze spadkiem prędkości wiatru.

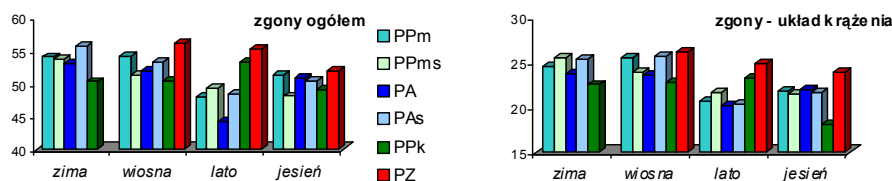


Rys. 4 Elementy meteorologiczne a 15-dniowe średnie konsekwentne liczby zgonów ogółem  
Distribution of 15-days means for deaths against meteorological parameters

Największy wpływ na liczbę zgonów w okresie 1994-1995 miały masy powietrza napływającego nad Warszawę. Zależność korelacyjną 10-dniowych liczb zgonów od rodzaju mas powietrza charakteryzują wartości współczynników korelacji ( $n = 72$ ):

Dzień	Powietrze polarne morskie stare			Powietrze arktyczne stare			Powietrze zwrotnikowe		
	Ogółem	Układ krążenia	Układ Oddechowy	Ogółem	Układ krążenia	Układ Oddechowy	Ogółem	Układ krążenia	Układ Oddechowy
0	-0,284	-0,154	-0,285	0,141	0,098	0,049	0,190	0,128	0,107
+1	-0,271	-0,109	-0,289	0,146	0,101	0,051	0,169	0,130	0,136
+2	-0,254	-0,118	-0,280	0,110	0,107	0,071	0,114	0,082	0,193

Liczba zgonów z powodu chorób układu krążenia i układu oddechowego maleje ze wzrostem ( $r < 0$ ) częstości dni z masami powietrza polarnego morskogo starego (PPms), a rośnie ( $r > 0$ ) w dniach z adwekcją mas powietrza zwrotnikowego (PZ) oraz arktycznego starego (PAs).



Rys. 5. Średnia dobowa liczba zgonów w zależności od mas powietrza w kolejnych porach roku, Warszawa 1994-1995  
Mean daily number of death in particular air masses in the following seasons, Warsaw 1994-1995



Powietrze zwrotnikowe, napływające nad Polskę od wiosny do jesieni (rys. 5), kształtowało także „fale upałów” i prowadziło zawsze do wzrostu umieralności: ogólnej o 6%, z powodu chorób układu krążenia o 7%, a z powodu chorób układu oddechowego nawet o 29%.

Z analizy zależności liczby zgonów od warunków pogodowych opisanych wartościami elementów meteorologicznych wynika, że największy wpływ na umieralność miała temperatura powietrza (tab. 5). Liczba zgonów jest bardzo duża zarówno skrajnie wysokich, jak i w skrajnie niskich wartościach temperatury powietrza (rys. 4). W dniach upalnych, z temperaturą maksymalną powietrza  $>30^{\circ}\text{C}$ , umieralność ogólna i z powodu chorób układu krążenia wzrasta o 6-13% w stosunku do średniej. Gdy warunki takie utrzymują się przez trzy-cztery kolejne dni, tzn. gdy pojawiała się „fala upałów”, wzrost ten sięgał 26-31%. W dniach o temperaturze powietrza w godzinach rannych  $<-5^{\circ}\text{C}$ , oprócz 40-procentowego wzrostu liczby zgonów z powodu chorób układu oddechowego, wzrasta także o 3-8% umieralność ogólna i związana z układem krążenia. Liczba zgonów również wzrastała o 2-22% wraz z wydłużonym okresem mrozów, do czterech kolejnych dni.

Tabela 5. Ekstremalne wartości temperatury powietrza ( $t$ ) i ciśnienia atmosferycznego ( $p$ ), ich zmienność z dnia na dzień a liczba zgonów w Warszawie, 1994-1995 (% – odchylenie od średniej miesięcznej)

Extreme air temperature and air pressure, their day-to-day changes and number of deaths in Warsaw, 1994-1995

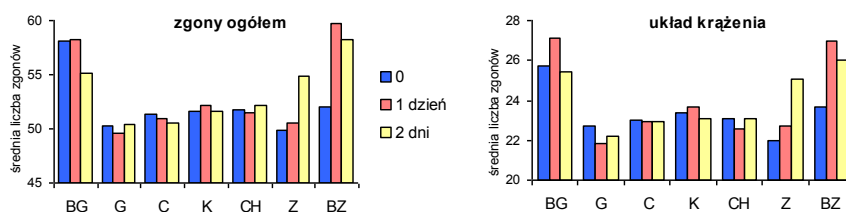
		Temperatura powietrza				Zmiany $t$ z dnia na dzień				Ciśnienie atmosferyczne				Zmiany $p$ z dnia na dzień			
Wartości elementów		$t_{\max} = 34,8$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]		$t_{\min} = -17,3$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]		Spadek = 10,1 [ $^{\circ}\text{C}$ ]		Wzrost = 14,2 [ $^{\circ}\text{C}$ ]		$p_{\max} =$ 1030,4 [hPa]		$p_{\min} =$ 972,1 [hPa]		Spadek = 24,1 [hPa]		Wzrost = 26,2 [hPa]	
Data		30.07.94		13.02.94		03.06.95		23.12.95		14.02.94		27.01.95		10.01.95		13.01.95	
Zgony	dzień	L.	%	L.	%	L.	%	L.	%	L.	%	L.	%	L.	%	L.	%
Ogółem	0	77	+41	51	-12	43	-5	56	+2	67	+16	58	+11	51	-3	55	+5
	+1	77	+41	67	+16	49	+8	65	+19	57	-1	58	+11	53	+1	56	+7
Układ Krążenia	0	38	+55	21	-24	19	-3	29	+15	30	+9	30	+27	25	+6	22	-7
	+1	33	+35	30	+9	20	+2	32	+27	29	+6	33	+40	25	+6	22	-7

Liczba zgonów w Warszawie w latach 1994-1995 była znacznie większa w dniach o skrajnych wartościach temperatury powietrza, czy też ciśnienia atmosferycznego (maksymalnych i minimalnych), w porównaniu z dniami o dużej zmienności temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego z dnia na dzień (tab. 5).

#### Warunki odczucia ciepła i ich wpływ na zgony mieszkańców Warszawy

Warunki biometeorologiczne scharakteryzowano według skali odczucia termicznego M. Baranowskiej, określonej na podstawie temperatury efektywnej, która wyraża łączne oddziaływanie na organizm temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru. Warunki środowiska, w których zachowana jest równowaga cieplna organizmu, nazywane są stanem komfortu termicznego. Sytuacje, w których zakłócona jest praca układu termoregulacji, tzw. stany dyskomfortu z powodu wychładzania bądź kumulacji ciepła w organizmie, prowadzą na ogół do wzrostu umieralności.

Następstwem dużej zależności umieralności od warunków termicznych jest jej wzrost w dniach ze skrajnym odczuciem termicznym: bardzo gorąco (BG) i bardzo zimno (BZ), zwłaszcza z jednodniowym opóźnieniem (rys. 6).



Rys.6. Średnia dobowa liczba zgonów a rodzaje odczucia ciepła (wg temperatury efektywnej z godz.13), Warszawa 1994-1995

Mean daily numbers of deaths in different thermal sense types, Warsaw 1994-1995

Umieralność w zależności od warunków odczucia ciepła (wg temperatury efektywnej) określa najprościej odchylenie liczby zgonów od średniej rocznej (%):

Zgony	Dzień	BG	G	C	K	CH	Z+BZ
Ogółem	0	+13	-2	0	0	0	-3
	+1	+13	-4	-1	+1	0	-1
	+2	+7	-2	-2	0	+1	+7
Układ krążenia	0	+11	-2	-1	+1	0	-5
	+1	+17	-6	-1	+2	-2	0
	+2	+10	-4	-1	0	0	+9

Szczególnym zagrożeniem dla życia mieszkańców Warszawy są dni z dyskomfortem „bardzo gorąco” (BG). Korelacja między liczbami zgonów i odczuciem ciepła, określonym jako „bardzo gorąco” jest największa. Współczynniki korelacji są istotne statystycznie na poziomie  $<0,001$  (0,1%) wg testu t-Studenta. Najbardziej skorelowane są 10-dniowe sumy konsekwentne liczby zgonów z liczbą dni o określonych warunkach odczucia ciepła:

Zgony	Dzień	BG	G	C	K	CH	Z	BZ
Ogółem	0	0,29*	-0,22*	-0,21*	-0,01	0,14*	0,13*	0,19*
	+1	0,30*	-0,26*	-0,23*	0,00	0,16*	0,14*	0,20*
	+2	0,30*	-0,28*	-0,25*	0,03	0,18*	0,15*	0,21*
Układ krążenia	0	0,20*	-0,19*	-0,10	0,07	0,02	0,05	0,14*
	+1	0,21*	-0,22*	-0,12	0,08	0,04	0,07	0,17*
	+2	0,21*	-0,25*	-0,13*	0,09	0,00	0,10	0,19*

Świadczy to o dużej zależności liczby zgonów mieszkańców Warszawy od warunków odczucia ciepła (0 – w danym dniu, +1 – przez dwa dni, +2 – przez trzy dni). Dziesięciodniowe sumy konsekwentne są dodatnio skorelowane z odczuciem ciepła BG – „bardzo gorąco” oraz z odczuciami od CH – „chłodno” do BZ – „bardzo zimno”. Przeciwne znaki współczynników korelacji w dniach z odczuciem „bardzo gorąco” –  $r > 0$  i „gorąco” –  $r < 0$  świadczą o nieliniowej wielomianowej zależności liczby zgonów od dużych wartości temperatury efektywnej.

#### Wnioski

- ◆ W pracy wykazano zależność liczby zgonów mieszkańców Warszawy od pogody, tj. układów barycznych, frontów atmosferycznych i mas powietrza napływającego nad obszar Polski.
- ◆ Największy wpływ na liczbę zgonów ma adwekcja powietrza zwrotnikowego i arktycznego.

- ◆ Zagroženiem dla życia są kilkudniowe „fale upałów”, zwiększające umieralność spowodowaną chorobami układu krążenia nawet o 31%.
- ◆ Liczba zgonów wzrasta również (do 22%) wraz z wydłużonym okresem silnych mrozów.
- ◆ Duże, nagłe zmiany stanu atmosfery podczas przejścia frontów ciepłych i zimnych są niekorzystne dla zdrowia i prowadzą do większej liczby zgonów. Wiosną i latem częściej zgony występują w dniach z frontem zimnym, a jesienią i zimą – w dniach z frontem ciepłym.
- ◆ Na liczbę zgonów mieszkańców miasta istotny wpływ ma zanieczyszczenie atmosfery, głównie tlenkiem węgla, pyłem i ozonem. Ponad 20% wariacji liczby zgonów z powodu chorób układu krążenia wyjaśniona jest zmiennością stężenia zanieczyszczeń powietrza (28% – w półroczu chłodnym i 21% w półroczu ciepłym).

#### **Praktyczny aspekt wyników**

Określenie wpływu warunków pogodowych na umieralność ma istotne znaczenie praktyczne, mogą być wykorzystywane w prognozach ostrzegających chorych i służbę zdrowia przed nadejściem sytuacji pogodowych stanowiących zagrożenie zdrowia i życia mieszkańców Warszawy.

Stworzenie jednolitego, europejskiego systemu ostrzegania przed pogodą silnie obciążającą organizm człowieka jest jednym z przedmiotów zainteresowania międzynarodowych programów Unii Europejskiej, obejmujących także wpływ skrajnych warunków pogodowych na człowieka. Dlatego też przedstawione wyniki badań mają nie tylko znaczenie poznawcze, ale stwierdzona zależność liczby zgonów od warunków pogodowych może być wykorzystana praktycznie.

*Magdalena Kuchcik*

#### **THE INFLUENCE OF THE AEROSANITARY AND BIO-METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE MORTALITY OF THE INHABITANTS OF WARSAW**

##### *SUMMARY*

The issue considered in the paper was approached on the basis of the daily synoptic maps from the years 1994 and 1995, provided by the Institute of Meteorology and Water Economy, the concentrations of air pollutants in Warsaw (sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide, ozone, and dusts in the air), supplied by the Institute of Environmental Protection, as well as the fundamental meteorological elements in Warsaw. Side by side with these data the detailed information on the deaths registered in Warsaw were made use of, as provided by the Central Statistical Office (GUS).

In the search for the causes of deaths it is essential to distinguish the meteorotropic situations, mainly the pressure settings – high and low pressure situations, as well as the passages of atmospheric fronts over Warsaw, and the advection of the air masses.

A cognitive significance should also be attributed to the identification of the extreme weather and aerosanitary conditions, and other variables (daily trends) in the particular seasons of the year, bringing particularly high hazard levels for the life of the inhabitants of Warsaw.

Likewise, it is not without significance for the inhabitants of the capital what are the bioclimatic conditions defined through the scale of thermal sensations. Thus, for instance, the discomfort, resulting from the overheating (during the long-lasting hot weather) or the overcooling (during strong frosts), usually leads to the increase of the number of deaths.



**Promocja doktorska Magdaleny Kucheik (2000)**



**Z obrony pracy doktorskiej Nguyen Van Thana (1990)**



**Egzamin magisterski Joanny Beres (czerwiec 2001)**



**Z promocji dr Magdaleny Kuchcik i dr Bożeny Kicińskiej  
(grudzień 2000)**