

Daniel Rabczenko¹, Bogdan Wojtyniak¹, Magdalena Kuchcik², Wojciech Seroka¹

RYZYKO ZGONU Z POWODU CHOROÓB UKŁADU KRĄŻENIA MIESZKAŃCÓW POLSKICH MIAST ZWIĄZANE Z DOBOWYMI ZMIANAMI TEMPERATURY MAKSYMALNEJ

RISK OF DEATHS FROM CARDIOVASCULAR DISEASES IN POLISH URBAN POPULATION ASSOCIATED WITH CHANGES IN MAXIMAL DAILY TEMPERATURE

¹Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, Zakład-Centrum
Monitorowania i Analiz Stanu Zdrowia Ludności

²Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Zakład Geoekologii i Klimatologii

STRESZCZENIE

Celem prezentowanej pracy była ocena krótkookresowego wpływu zmian dobowej temperatury maksymalnej powietrza atmosferycznego na dzienną liczbę zgonów z powodu chorób układu krążenia w ciepłych okresach w latach 1999-2006. Analiza dotyczyła populacji sześciu dużych polskich miast Katowic, Krakowa, Łodzi, Poznania, Warszawy i Wrocławia. W analizie wykorzystano uogólnione modele addytywne. W procesie budowy modeli wzięto pod uwagę potencjalne czynniki zakłócające: zmiany długoterminowe umieralności, dzień tygodnia i inne czynniki meteorologiczne (ciśnienie atmosferyczne, wilgotność, średnia prędkość wiatru). Analiza wykonana została dla dwóch grup wieku: 0-69 i 70 lat i więcej. Istotną, dodatnią zależność pomiędzy temperaturą maksymalną a ryzykiem zgonu z powodu chorób układu krążenia zaobserwowano jedynie w starszej grupie wieku.

Słowa kluczowe: *Umieralność, szeregi czasowe, choroby układu krążenia, temperatura, uogólnione modele addytywne*

ABSTRACT

The paper presents results of analysis of short-term effect of changes in maximal daily temperature on daily mortality from cardiovascular diseases in warm season in years 1999-2006. Analysis was carried out in six large Polish cities - Katowice, Kraków, Łódź, Poznań, Warszawa and Wrocław. Generalized additive models were used in the analysis. Potential confounding factors – long term changes of mortality, day of week and other meteorological factors (atmospheric pressure, humidity, mean wind speed) were taken into account during model building process. Analysis was done for two age groups – 0-69 and 70 years and older. Significant, positive association between daily maximal temperature and risk of death from cardiovascular diseases was found only in older age group.

Key words: *mortality, time-series, cardiovascular diseases, temperature, generalized additive models*

WSTĘP

Informacje o globalnym ociepleniu oraz coraz częstsze i dłuższe okresy utrzymującej się bardzo wysokiej temperatury powietrza atmosferycznego w ostatnich latach w Polsce rodzą potrzebę ilościowego opisu zależności pomiędzy temperaturą a umieralnością. Badania takie prowadzone są od szeregu lat w Europie i Ameryce Północnej i dotyczą różnych aspektów wpływu temperatury powietrza na umieralność. Analizowano sezonowe zmiany umieralności (1,2), wyznaczano wartości progów temperatury powietrza, powyżej których umieralność wyraźnie wzrastała (3,4,5) czy tzw. optima termiczne, w których umieralność była

najmniejsza (6,7). Analizowano również kształt zależności pomiędzy umieralnością a temperaturą (7,9). Rozważano czynniki mogące wpływać na modyfikacje efektu temperatury przez wiek, płeć i rasę (10,11). Wpływ temperatury na umieralność badany był również w ramach dużego projektu europejskiego PHEWE (12,13). W projekcie tym skupiano się nad wpływem fal upałów na umieralność. W Polsce nieliczne analizy sezonowej i dobowej zmienności umieralności w pewnym powiązaniu z temperaturą powietrza prowadzone były w latach 60. i 70. (14,15,16). W ostatnich latach podejmowano badania zależności wpływu warunków pogodowych na dobową sumę zgonów w Warszawie w okresie 1994-1995 (17,18) oraz w 17 największych

miastach Polski za okres 1993-2002 (19). Ich rezultaty były niejednoznaczne i pokazały konieczność dalszego rozwoju metodyki analizy i nowych badań.

MATERIAŁ I METODY

Badana populacja

Przeprowadzona analiza dotyczy dobowej umieralności mieszkańców sześciu dużych miast polskich: Katowic, Krakowa, Łodzi, Poznania, Warszawy i Wrocławia w latach 1999-2006. Populacja objęta badaniem liczyła zatem ok. 4 760 000 stałych mieszkańców tych miast (wg stanu na rok 2003). Badaniem objęto okres od 15 maja do 15 września każdego z lat badania. Tak uzyskany szereg czasowy dla każdego z miast liczył 994 punkty. Analizowano dobową liczbę zgonów z powodu chorób układu krążenia ogółem (ICD-10: I00-I99) w dwóch podgrupach: osób 0-69 lat oraz 70 lat i więcej. Dane o dziennej liczbie zgonów przygotowano na podstawie bazy danych o umieralności ludności Polski prowadzonej w Zakładzie na podstawie danych z GUS. Szeregi czasowe danych meteorologicznych utworzono na podstawie danych NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Tabela 1 prezentuje statystyki opisowe dziennej liczby zgonów. W tabeli 2 przedstawiono statystyki opisowe maksymalnej temperatury powietrza.

Metody statystyczne

Analiza prowadzona była przy użyciu uogólnionych modeli addytywnych (20). Zbudowany model, oprócz dobowej temperatury maksymalnej powietrza, uwzględniał długookresowe zmiany umieralności, dni tygodnia oraz inne czynniki meteorologiczne – ciśnienie,

Tabela I. Dzienna liczba zgonów z powodu chorób układu krążenia w badanych miastach w latach 1999-2006

Table I. Daily deaths from cardiovascular diseases in the study cities in 1999-2006

Miasto (ludność w 2003 r.)	Grupa wieku	Średnia	SD	Min	Max
Katowice (322 000)	0-69	1,4	1,2	0	7
	70+	2,7	1,7	0	9
Kraków (757 000)	0-69	1,8	1,4	0	7
	70+	6,3	2,5	0	15
Łódź (779 000)	0-69	3,2	2,0	0	12
	70+	8,1	2,9	1	17
Poznań (574 000)	0-69	1,8	1,3	0	8
	70+	4,9	2,3	0	12
Warszawa (1 690 000)	0-69	4,4	2,3	0	15
	70+	13,7	3,8	4	25
Wrocław (638 000)	0-69	2,0	1,4	0	8
	70+	5,4	2,4	0	14

Tabela II. Dobowa temperatura maksymalna powietrza w miastach objętych badaniem w latach 1999-2006

Table II. Daily maximum temperature in the study cities in 1999-2006

	Średnia	SD	Min.	Max.	5 centyl	95 centyl
Katowice	23,0	4,4	10,1	34,6	15,4	30,0
Kraków	23,3	4,5	10,4	35,1	15,6	30,4
Łódź	23,0	4,7	10,2	36,3	15,2	30,7
Poznań	23,7	4,7	12,0	36,5	16,0	31,2
Warszawa	23,2	4,6	9,7	35,3	15,1	30,6
Wrocław	23,6	4,5	10,2	36,3	16,0	31,0

wilgotność i średnią prędkość wiatru. Długookresowe zmiany umieralności modelowane były łącznie za pomocą splajnow oraz zmiennych ślepych po jednej na każdy rok badania. Podejście takie było konieczne ze względu na „nieciągły” charakter danych – analizowano jedynie ciepłe okresy każdego roku. Liczba stopni swobody określana była na podstawie analizy funkcji autokorelacji. Dni tygodnia modelowano za pomocą zmiennych ślepych, warunki meteorologiczne – splajnow. Bardziej szczegółowy opis metod budowy modelu przedstawiono w pracy (21). W wyniku uzyskano zależność funkcyjną pomiędzy maksymalną temperaturą powietrza (najwyższą zanotowaną w ciągu doby) a umieralnością. W kolejnym kroku analizy zależność pomiędzy temperaturą a umieralnością modelowano parametrycznie, w zależności od kształtu uzyskanej w kroku pierwszym zależności. Jeżeli była ona liniowa, w modelu temperaturę uwzględniano za pomocą jednego składnika liniowego. W przypadku nieliniowości zależność modelowano poprzez uwzględnienie w modelu trzech składników: $T_{max} > I(T_{max} > T_0)$, $T_{max} \times I(T_{max} > T_0)$, gdzie $I(T_{max} > T_0)$ – funkcja przyjmująca wartość 0 dla $T_{max} \leq T_0$ i 1 dla $T_{max} > T_0$. Taki sposób modelowania pozwala na dobry opis zależności kształtu „V” lub „J”, gdzie T_0 jest punktem, w którym zależność zmienia znak lub obserwuje się znaczne zwiększenie efektu badanej zmiennej. Decyzje o modelowaniu zależności w sposób nieliniowy podejmowano w zależności od liczby tzw. efektywnych stopni swobody, które określają stopień nieliniowości zależności modelowanej przy pomocy modelu GAM. Wartość T_0 wybierana była z zakresu 19-31° C jako ta, dla której model wyjaśniał największą część zerowej dewiencji. Wyniki prezentowane są jako ryzyko względne (RR) związane ze wzrostem temperatury maksymalnej o jeden stopień Celsjusza. W przypadku modelu nieliniowego prezentowane są dwie wartości ryzyka względnego (RR1 i RR2) opisujące siłę i kierunek zależności poniżej i powyżej temperatury T_0 . W tabeli wynikowej prezentowana jest również istotność dla całkowitej zależności pomiędzy temperaturą

maksymalną powietrza a umieralnością z powodu chorób układu krążenia w wybranej podpopulacji, uzyskana z modelu nieparametrycznego. Analiza prowadzona była przy użyciu programu statystycznego R 2.9.0 (22). Użyto funkcji z pakietu *mgcv*.

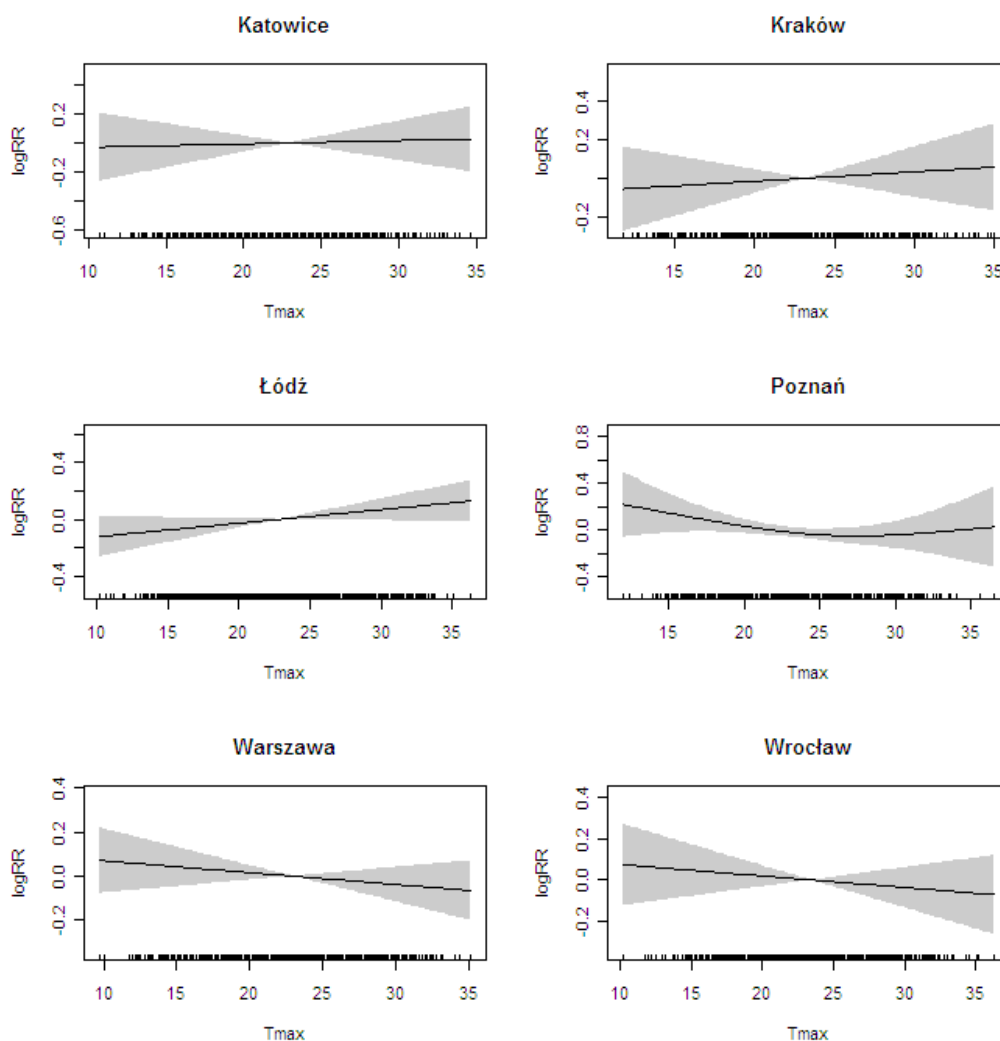
WYNIKI

Zależność pomiędzy dobową temperaturą maksymalną powietrza atmosferycznego a umieralnością z powodu chorób układu krążenia ogółem osób w wieku 0-69 oraz 70 lat i więcej przedstawiono odpowiednio na rycinach 1 i 2. Badany związek ma charakter silnie nieliniowy jedynie w Krakowie i we Wrocławiu dla osób w starszym wieku. W tabeli 3 przedstawiono wyniki uzyskane z modelu, w którym nieparametryczną funkcję temperatury zastąpiono zależnością liniową lub segmentami liniową, a także istotność nieliniowego związku temperatury i umieralności. We wszystkich

miastach objętych analizą zaznaczył się istotny wpływ zmian temperatury maksymalnej na dzienny poziom umieralności osób w wieku 70 lat i więcej. Parametryczny opis zależności wskazuje na związany ze wzrostem temperatury maksymalnej o 1°C wzrost ryzyka zgonu od 0,9 do 1,5% we wszystkich miastach oprócz Katowic. Nie zaobserwowano istotnego wpływu zmian temperatury maksymalnej na umieralność osób w wieku 0-69 lat. Jedynie w Łodzi była ona na granicy istotności, a wielkość zależności była zbliżona do starszej grupy wiekowej.

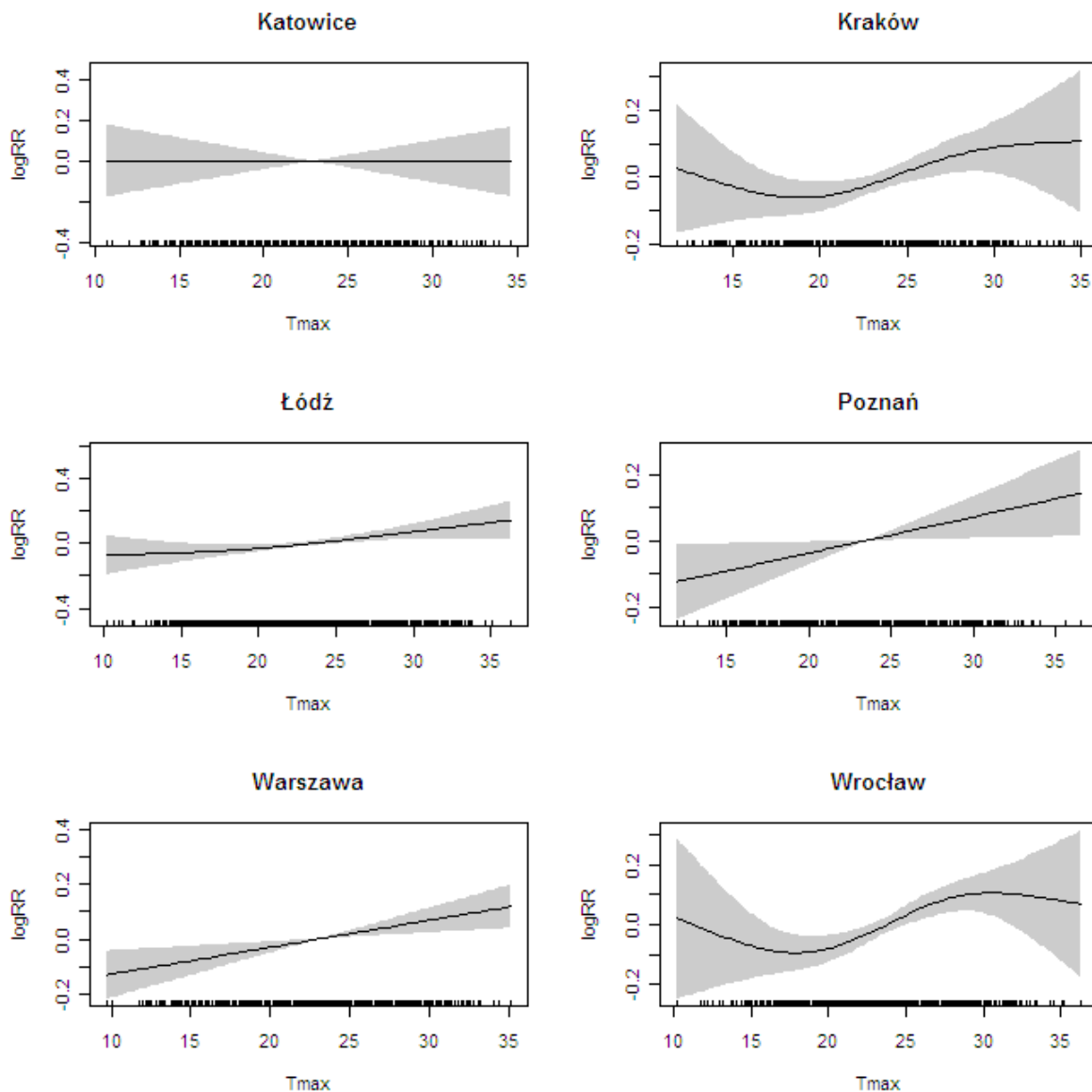
DYSKUSJA

Istotny wpływ zmian dobowej temperatury maksymalnej powietrza atmosferycznego na dzienną liczbę zgonów w analizowanych dużych polskich miastach zaobserwowano tylko dla osób w wieku 70 lat i więcej. Warty podkreślenia jest fakt, że w Krakowie i Wrocławiu



Ryc. 1. Zależność pomiędzy maksymalną dobową temperaturą powietrza a dzienną liczbą zgonów z powodu chorób krążenia osób w wieku 0-69 w analizowanych miastach

Fig. 1. City specific daily maximum temperature - CVD mortality log-risk functions in populations in population aged 0-69 years



Ryc. 2. Zależność pomiędzy maksymalną dobową temperaturą powietrza a dzienną liczbą zgonów z powodu chorób krążenia osób w wieku 70 lat i więcej w analizowanych miastach

Fig. 2. City specific daily maximum temperature - CVD mortality log-risk functions in populations in population aged 70 years and above

wiu - miastach, w których zależność miała charakter nieliniowy, wartość temperatury maksymalnej, w której następowała zmiana zależności, wynosiła odpowiednio 21°C i 19°C, była więc stosunkowo niska – w dużej części zakresu temperatury (nieco powyżej 70%) zależność była liniowa. W miastach tych pomimo istotności związku pomiędzy temperaturą powietrza a umieralnością z powodu chorób układu krążenia ocenianej na podstawie modelu nieparametrycznego, nachylenia prostych aproksymujących zależność w przedziałach poniżej i powyżej T_0 są nieistotne. Należy zwrócić uwagę na fakt, że współczynniki te obliczone zostały na podstawie mniejszej liczby punktów, a także na fakt, że kształt zależności w tych miastach jest bardziej złożony i zależność liniowa jest jej nieco gorszym przybliżeniem. Siła związku temperatury maksymal-

nej z dzienną liczbą zgonów z powodu chorób układu krążenia powyżej T_0 była w tych miastach podobna jak w pozostałych.

Liniowość zależności oznacza, że dla sezonu letniego nie potrafimy określić wartości progowej - „niebezpiecznej” temperatury maksymalnej, powyżej której jej wzrost powoduje znaczne zwiększenie umieralności. W Krakowie i Wrocławiu widać pewne zahamowanie narastania liczby zgonów powyżej 30°C, jednak umieralność w tych dniach pozostaje wciąż na wysokim poziomie. Uzyskany kształt zależności w większości miast przypominał wyniki uzyskiwane w pracach amerykańskich (7,8), różnił się natomiast od tych uzyskanych w pracy dotyczącej trzech miast europejskich (20), w której wyniki wskazywały na istnienie dobrze

Tabela III. Ryzyko względne (oraz 95% przedziały ufności PU) zgonu z powodu chorób układu krążenia związane ze wzrostem maksymalnej temperatury powietrza o 1° C

Table III. Relative risk (95% confidence interval PU) of cardiovascular death associated with increase in daily maximum temperature by 1° C

Miasto	Grupa wieku	RR1 (95% PU)	RR2 (95% PU)	T0	Istotność*
Łódź	0-69 lat	1,010 (0,999 - 1,021)			0,081
	70 lat i więcej	1,009 (1,003 - 1,016)			0,003
Katowice	0-69 lat	1,002 (0,984 - 1,021)			0,811
	70 lat i więcej	1,000 (0,986 - 1,014)			0,979
Kraków	0-69 lat	1,005 (0,986 - 1,024)			0,611
	70 lat i więcej	0,976 (0,950 - 1,002)	1,011 (0,972 - 1,052)	21	0,035
Warszawa	0-69 lat	0,995 (0,984 - 1,006)			0,337
	70 lat i więcej	1,009 (1,003 - 1,016)			0,003
Poznań	0-69 lat	0,989 (0,973 - 1,006)			0,337
	70 lat i więcej	1,011 (1,001 - 1,021)			0,027
Wrocław	0-69 lat	0,994 (0,98 - 1,009)			0,455
	70 lat i więcej	0,955 (0,913 - 0,999)	1,015 (0,952 - 1,082)	19	0,002

*istotność temperatury maksymalnej z modelu nieparametrycznego

określonego punktu zmiany siły wpływu temperatury na umieralność.

Pomimo braku wartości progowych temperatury maksymalnej nadal otwartym zagadnieniem jest zbadanie wpływu fal upałów na umieralność. Prace takie były już w Polsce prowadzone (19), wyniki wskazywały na istotny wpływ fal upałów na umieralność osób starszych (70 lat i więcej), jednakże wciąż istotną kwestią jest znalezienie odpowiedniej dla warunków polskich definicji fali upałów, gdyż zmienność uzyskanych wyników była duża.

Warto zaznaczyć, że wyniki uzyskane w naszej pracy nabierają znaczenia wobec zjawisk zmian klimatycznych i starzenia się populacji. Można przypuszczać, że ponieważ efekt temperatury zaznacza się w grupie osób starszych oraz ponieważ badana zależność była rosnąca monotonicznie, to wobec wzrostu liczby osób starszych w populacji oraz ocieplenie klimatu problem skutków zdrowotnych zmian temperatury będzie narastał.

WNIOSKI

Wyniki uzyskane w pracy pozwalają na stwierdzenie, że w okresie ciepłym istnieje istotny wpływ maksymalnej temperatury powietrza na umieralność z powodu chorób układu krążenia starszych mieszkańców polskich miast (w wieku 70 lat i więcej). W badanych miastach (oprócz Katowic) wpływ ten ma podobny charakter i siłę. W przypadku ogółu osób młodszych wzrost zagrożenia życia związany ze wzrostem temperatury powietrza jest nieznaczny. Problem, ze względu na niejednorodność wyników światowych i pewien niedostatek prac polskich, wymaga dalszych badań zwłaszcza w odniesieniu do występowania fal upałów.

PIŚMIENNICTWO

1. Goldsmith JR, Perkins NM. Seasonal variations in mortality. *Int J Biometeorol*, 1966, 2:56-62
2. Kalkstein L. Climate and human mortality: relationships and mitigating measures, w: Auliciems A, (red.), *Advances in Bioclimatology* 1998, 5:161-177.
3. Kunst A, Looman C, Mackenbach J. Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis; *Am J Epidemiol* 1993,137 (3), 331-341.
4. Saez M, Sunyer J, Castellsague J, Murillo C, Anto J. Relationship between weather, temperature and mortality: a time series analysis approach in Barcelona; *Int J Epidemiol* 1995, 24 (3), 576-582.
5. Chestnut L, Breffle W, Smith J, Kalkstein L. Analysis of differences in hot-weather-related mortality across 44 U.S. metropolitan areas; *Environ Sci Policy* 1998, 1:59-70.
6. Eurowinter Group (1997) Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe; *Lancet* 1997; 349: 1341-1346.
7. Curriero F, Heiner K, Samet J, Zeger S, Strug L, Patz J. Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States; *Am J Epidemiol* 2002; 155 (1): 80-87.
8. Zanobetti A, Schwartz J, Temperature and mortality in Nine U.S. Cities. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research. CEC-500-2007-094 2008.
9. Ishigami A, Hajat S, Kovats RS. An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities; *Environ Health* 2008; 7:5.
10. O'Neill MS, Zanobetti A, Schwartz J, Modifiers of the Temperature and Mortality Association in Seven US Cities; *Am J Epidemiol* 2003; 157: 1074-1082.
11. Hajat S, Kovats RS, Lachowycz K. Heat-related and cold related deaths in England and Wales: who is at risk?; *Occup. Environ Med* 2007; 64: 93-100.
12. Kassomenos P, Anderson HR, Baccini M, Accetta G, Analytis A, Kosatsky T. Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe,

- the PHEWE project: background, objectives, design; *Environmental Health* 2007; 6:12.
13. Baccini M, Biggeri A, Accetta G, Kosatsky T, Katsouyanni K, Analitis A, Anderson HR, Bisanti L, D'Ippoliti D, Danova J, Forsberg B, Medina S, Paldy A, Rabczenko D, Schindler C, Michelozzi P. Heat effects on mortality in 15 European cities; *Epidemiology* 2008;19(5):711-9.
 14. Wiecha D. Wpływ warunków meteorologicznych na śmiertelność na terenie miasta Krakowa w roku 1950; *Rozprawy Wydziału Lekarskiego PAU, 1952, S I, 13, 2, 23-58.*
 15. Bogucki J, Kiełczewski B, Tyczka S. Rytmika dobową umieralności dla Poznania w latach 1955-56; *Wiad Uzdraw* 1961, 1/2: 47-50.
 16. Leszczyński B. Występowanie zawałów serca w zależności od ekstremalnych wartości zespołu czynników meteorologicznych; *Probl Uzdraw* 1973, 5(71): 185-189.
 17. Kuchcik M. Wpływ warunków aerosanitarnych i biometeorologicznych na zgony mieszkańców Warszawy, maszypis rozprawy doktorskiej; WGiSR UW, Warszawa, 2000.
 18. Kuchcik M. Mortality in Warsaw: is there any connection with weather and air pollution? *Geographia Polonica*; 2001; 74 (1): 29-45
 19. Kozłowska-Szczęśna T, Krawczyk B, Kuchcik M. Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka; *Monografie IGiPZ PAN* 2004, 4, Warszawa.
 20. Wood S., *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, Chapman and Hall/CRC 2006
 21. Rabczenko D, Wojtyniak B; *Metody analizy szeregów czasowych w ocenie wpływu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na umieralność ludności*; *Przegl Epidemiol* 2005; 59: 961-968
 22. R Development Core Team (2009). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Otrzymano: 18.09.2009
Zaakceptowano do druku: 29.09.2009
- Adres do korespondencji:**
dr Daniel Rabczenko
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego
- Państwowy Zakład Higieny
Zakład - Centrum Monitorowania i Analiz Stanu
Zdrowia Ludności
ul. Chocimska 24, 00-0791 Warszawa
tel. 022 54 21 236
e-mail: daniel@pzh.gov.pl