

Daniel Rabczenko¹, Bogdan Wojtyniak¹, Magdalena Kuchcik²,
Wojciech Szymalski³, Wojciech Seroka², Elwira Żmudzka⁴

ZWIĄZEK UMIERALNOŚCI MIESZKAŃCÓW WARSZAWY Z WYSOKĄ TEMPERATURĄ POWIETRZA, W LATACH 2008-2013

ASSOCIATION BETWEEN HIGH TEMPERATURE AND MORTALITY OF WARSAW INHABITANTS, 2008-2013

¹National Institute of Public Health - National Institute of Hygiene
Department-Centre of Population Health Monitoring and Analysis,

²Institute of Geography and Spatial Organization
Department of Geoecology and Climatology,

³Institute for Sustainable Development

⁴University of Warsaw Department of Climatology, Faculty of Geography and Regional Studies,

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

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

³Instytut na Rzecz Ekorozwoju

⁴Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Klimatologii

ABSTRACT

Different aspects of association between daily maximum temperature and daily number of deaths from all causes (excluding external) in Warsaw in periods of warm months (May - September) in years 2008-2013 were analysed. Analysis of dependence between temperature and mortality for whole population as well as for subpopulations with respect to sex and age demonstrated its similar U-shape. For each subpopulation a value of temperature at which dependence of mortality from temperature is changing its character from decreasing to increasing, interpreted as comfort conditions, was computed. Its value varied between 20 and 24°C with slight tendency to be higher for woman. Heat waves defined as at least three consecutive days with maximal temperature higher than 30°C have additional (to temperature effect itself) effect on male mortality however, only in males aged 70 years and more the effect was statistically significant.

Key words: *mortality, temperature, heat waves, Warsaw*

STRESZCZENIE

CELEM pracy było określenie związku dziennej liczby zgonów z powodu ogółu przyczyn (z wyłączeniem przyczyn zewnętrznych) z maksymalną dobową temperaturą powietrza w Warszawie w cieplej części roku (maj-wrzesień), w latach 2008-2013.

WYNIKI. Analiza kształtu krzywych opisujących ten związek wykazała, że mają one podobny, paraboliczny kształt w całej populacji oraz w podpopulacjach wyznaczonych przez płeć i wiek. Dla każdej z analizowanych podpopulacji wyznaczono wartość temperatury powietrza, dla której zależność umieralności od temperatury zmienia charakter z ujemnego na dodatni. Wartość ta może być interpretowana jako warunki komfortowe. Oscylowała ona pomiędzy 20 a 24°C, przy czym dla kobiet wartości były wyższe niż dla mężczyzn. Fale gorąca definiowane jako przynajmniej trzy dni z maksymalną temperaturą powietrza powyżej 30°C powodowały wzrost umieralności mężczyzn niezależny od wartości temperatury maksymalnej, ale tylko w populacji mężczyzn w wieku 70 lat i więcej i był on istotny statystycznie.

Słowa kluczowe: *umieralność, temperatura, fale gorąca, Warszawa*

INTRODUCTION

Hot weather in summer causes the rise of mortality all over the world, in all climatic zones. Existing papers report increasing number of deaths associated with high temperature in Europe (1,2), USA (3), Asia (4,5) and South America (5). However, some heterogeneity of results with respect to geographic location and exposed population characteristics was observed.

Since 1970 several American papers have been describing relation between mortality and high temperature using the term “heat wave” (6–8). Later on the issue of heat-related mortality became a concern of investigators in Europe, in countries of colder climate e.g. in the Netherlands (9), Belgium (10), United Kingdom (11), Germany (12) Czech Republic (13), Poland (14,15) as well as in warmer climate countries e.g. Italy (16), Greece (17) or Spain (18,19).

In recent decades in Poland, alike in Europe as a whole, the number of heat waves has been increasing (20–22). It may be assumed that as global climate changes, the number and intensity of heat waves and the death tolls they give rise to may also increase considerably. An example of such a situation was provided by summer 2003, during which both western and southern Europe was plagued by a record heat wave. According to different sources from 35,000 up to 70,000 people died as a result of this heat wave, and 24% of the excess deaths recorded among people over 74 years of age were directly heat-related (16,23).

The analyses carried out till now showed that the most vulnerable for high air temperatures is the elderly population (1–3).

The comparative analysis of heat waves effects is difficult, because the term ‘heat wave’ has not gained any strict definition from the World Meteorological Organization, although reports about particularly high and sustained temperature come from many parts of the world and many definitions are in use. Some are based on the thresholds of both air temperature and time e.g. The Netherlands Royal Meteorological Institute defined a heat wave as a period of at least 5 days, each having a minimum temperature of at least 25°C, including at least 3 days with a maximum temperature equal to or higher than 30°C (9), Polish meteorological dictionary gives an imprecise definition of it as a period of several days or weeks with maximum air temperature above 30°C, separated by a few cooler periods (Niedźwiedz 2003). Some papers use the term “hot spells” defined as periods of few consecutive days above 90% or 95% centile of mean daily temperature (13). Some of the definitions use the multivariate indexes based on human heat balance e.g. Humidex in Canada (24) or Apparent Temperature in the USA (25), Italy (16) or Poland (26).

WSTĘP

Letnie upały powodują wzrost umieralności we wszystkich krajach świata, we wszystkich strefach klimatycznych. Istniejące doniesienia opisują wzrost liczby zgonów związany z występowaniem wysokiej temperatury w Europie (1,2), USA (3), Azji (4,5) oraz Afryce Południowej (5). Zaobserwowano jednak pewną niejednorodność wyników, które zależały od położenia geograficznego i charakterystyk narażonej populacji.

Od lat siedemdziesiątych w pracach amerykańskich opisujących związek pomiędzy temperaturą a umieralnością zaczęto stosować termin „fala upałów” („*heat wave*”) (6-8). Nieco później zagadnienie związku umieralności z wysoką temperaturą stało się przedmiotem zainteresowania badaczy europejskich zarówno w krajach charakteryzujących się chłodniejszym klimatem, na przykład w Holandii (9), Belgii (10), Wielkiej Brytanii (11), Niemczech (12), Republice Czeskiej (13), Polsce (14,15), jak i z klimatem cieplejszym jak Włochy (16), Grecja (17) i Hiszpania (18,19).

W ostatnich dekadach w Polsce, jak i w całej Europie, częstość występowania fal upałów wzrasta (20-22). Można założyć, że w związku z globalnymi zmianami klimatu, liczba i intensywność fal upałów, a także liczba zgonów przez nie powodowanych może również znacząco wzrosnąć. Przykładem może być sytuacja z roku 2003, kiedy zarówno zachodnia jak i południowa Europa dotknięte były rekordową falą upałów. Według różnych szacunków w jej wyniku zmarło wtedy od 35 do 70 tysięcy ludzi, zaobserwowano też 24% wzrost umieralności osób w wieku 74 lat i więcej (16,23).

Przeprowadzone analizy wskazują, że najbardziej podatną na wysoką temperaturę powietrza jest podpopulacja osób starszych (1-3).

Porównawcza analiza istniejących wyników jest trudna, ponieważ termin „fala upałów” nie został ściśle zdefiniowany przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) i w doniesieniach pochodzących z wielu części świata używane są różne definicje. Niektóre definicje oparte są o progową wartość temperatury oraz czas jej trwania. Na przykład Holenderski Królewski Instytut Meteorologiczny zdefiniował falę upałów jako okres conajmniej 5 dni, w którym temperatura minimalna jest równa co najmniej 25°C, a w 3 dniach maksymalna temperatura jest równa co najmniej 30°C (9). Polski słownik meteorologiczny podaje nieprecyzyjną definicję fali upału jako okresu kilku dni lub tygodni z maksymalną temperaturą 30°C lub więcej, rozdzieloną okresami chłodniejszymi (Niedźwiedz 2003). W niektórych pracach stosowany jest termin „komórki gorąca”, które określane są jako okresy kilku kolejnych dni ze średnią dzienną temperaturą po-

Sometimes, usually in the typical climatological studies, besides the frequency of heat waves also hot periods, being longer but less oppressive, with little lower air temperatures than during heat waves, are studied (21,27).

The main aim of our paper is to analyse the short-term impact of maximal daily air temperature on population mortality of Warsaw inhabitants and to check the hypothesis that heat waves and hot periods cause additional number of deaths, influence the mortality apart from the average level of air temperature. It would indicate that persisting of very oppressive weather is the additional risk factor of death. The secondary aim was to compare two ways of defining periods of high temperature that may additionally contribute to negative effect of daily high temperature.

MATERIAL AND METHODS

Analysis was done using daily mortality and meteorological data from Warsaw from warm (May-September) periods during 2008-2013. Mortality indicators were constructed on the basis of individual death records obtained from Central Statistical Office. Temperature data were obtained from Faculty of Geography and Regional Studies, University of Warsaw. Data on other meteorological parameters were extracted from global database of National Climatic Data Centre.

Two definitions of extremely unfavourable heat conditions were used. Heat wave was defined as at least three consecutive days with maximal temperature higher than 30°C. Hot periods were defined as at least three consecutive days with average maximum air temperature equal or higher than 30°C, among them hot days ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$) constitute at least half of the days and possible series of warm days ($25^\circ\text{C} \leq T_{\max} < 30^\circ\text{C}$) among hot days cannot exceed three days.

Statistical methods. Generalized additive models (GAM) were used to investigate the relationship between daily maximal temperature, heat waves and mortality. Multivariate model included following possible confounding factors: general mortality trends, day of week, calendar year, atmospheric pressure and humidity. Continuous factors were modelled by cubic regression splines (28). Relation between maximal daily temperature and mortality was initially analysed and presented graphically as a plot of smooth functions from gam models. Based on literature (1) it could be assumed, that analysed relations would be non-linear, U-shaped and hockey stick regression method (29) should be used to describe them parametrically. In this method curvilinear dependence is modelled by two linear functions – for temperatures below and above some value O , which is a point of change at which dependence of mortality from temperature changes its direction from decreasing

wyżej 90 lub 95 centyla (13). Niektóre definicje oparte są na wieloczynnikowych indeksach z bilansu cieplnego człowieka, na przykład Humindex w Kanadzie (24) lub temperaturze odczuwalnej w USA (25), Włoszech (16) lub w Polsce (26).

Głównym celem naszej pracy jest analiza krótkookresowego wpływu maksymalnej temperatury otoczenia na umieralność mieszkańców Warszawy i weryfikacja hipotezy, że fale upałów oraz okresy ciepła mają wpływ na umieralność, niezależny od bezpośredniego wpływu dziennej temperatury. Taki fakt wskazywałby na to, że przedłużające się okresy niekorzystnej pogody są dodatkowym czynnikiem ryzyka zgonu. Ponadto celem pracy jest wybór definicji okresu podwyższonej temperatury, która najlepiej określa dni zwiększonego ryzyka zgonu.

MATERIAŁ I METODY

Analizowano dane meteorologiczne oraz dane dotyczące dobowej umieralności mieszkańców Warszawy z ciepłych okresów (maj – wrzesień) lat 2008-2013. Dienne liczby zgonów obliczano na podstawie danych ze zbioru z indywidualnymi rekordami osób zmarłych, udostępnionym przez Główny Urząd Statystyczny. Dane o dziennej temperaturze uzyskano z Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Dane dotyczące innych charakterystyk meteorologicznych y pozyskano z globalnej bazy danych National Climatic Data Centre.

Zastosowano dwie definicje ekstremalnie niekorzystnych warunków temperaturowych. Fala upałów została zdefiniowana jako co najmniej trzy kolejne dni z maksymalną temperaturą powyżej 30°C. Okresy gorące zdefiniowano jako co najmniej trzy dni ze średnią maksymalnych temperatur powietrza równą lub wyższą niż 30°C, podczas których dni gorące ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$) stanowią co najmniej połowę całego okresu i możliwe jest rozdzielenie ich dniami ciepłymi ($25^\circ\text{C} \leq T_{\max} < 30^\circ\text{C}$), których liczba nie przekracza jednak trzech dni.

Metody statystyczne. Zależność pomiędzy maksymalną temperaturą powietrza, występowaniem fal upałów a umieralnością analizowano za pomocą uogólnionych modeli addytywnych (GAM). Model wieloczynnikowy uwzględniał również możliwe czynniki zakłócające: ogólny trend umieralności, dzień tygodnia, rok kalendarzowy, ciśnienie atmosferyczne oraz wilgotność powietrza. Czynniki o charakterze ciągłym modelowano za pomocą regresyjnych splajnów? kubicznych (28). Zależność pomiędzy maksymalną dzienną temperaturą i umieralnością przedstawiono na rycinach jako wykres funkcji oszacowanej z modelu GAM. W oparciu o dane z piśmiennictwa (1) można się było spodziewać, że analizowane zależności będą miały charakter paraboliczny i do parametrycznego opisu zależności będzie można zastosować metodę regresji typu *hockey-stick* (29). Jej

to increasing. The O value can be interpreted as optimal temperature minimizing risk of death. Model has the form described by formula [1].

$$\log(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p S(X_i) + \sum_{i=p+1}^k \beta_i X_i + B_1 \cdot T_{max} + B_2 \cdot (T_{max} - O)^+ \quad [1]$$

Where:

O – temperature threshold value, as explained above

T_{max} – maximal temperature

$S(\cdot)$ – spline function

β_i – regression coefficient for a factor that is modelled using linear function

k – total number of factors in the model

p – number of factors modelled using non-parametric functions

$$(T_{max} - O)^+ = \begin{cases} 0 & \text{dla } T_{max} \leq O \\ T_{max} - O & \text{dla } T_{max} > O \end{cases}$$

Value of O was chosen from several values ranging from 20° to 32°C so as to maximize explained deviance.

Results from hockey stick regression are reported as two relative risks describing dependence between temperature and mortality below and above value of optimal temperature O. In the analysis of mortality changes during periods of potentially hazardous temperature associated with heat waves possibility of lagged effect over 7 days was taken into account by using polynomial distributed lag model method (30,31). Final model for each of two considered heat indicators has the form:

$$\log(Y) = \text{base model [1]} + b_0 H_0 + b_{-1} H_{-1} + \dots + b_{-7} H_{-7} \quad [2]$$

where H_i is a heat (heat wave or hot period) indicator at day i ($i=0, -1, \dots, -6, -7$),

$$H_i = \begin{cases} 1 & \text{if heat occurred on day } i \\ 0 & \text{in opposite situation} \end{cases}$$

Third degree polynomial was used to describe lag structure of heat impact on mortality. Results obtained from the model [2] are presented in table IV as cumulative mortality increase over 0-7 days after a day with heat wave or hot period occurrence. In addition plots of change of effect over a time are presented. Plots were used to investigate, whether so called “harvesting effect” of heat exists. The conceptual framework for this phenomenon is that unfavourable condition affect people in poor health, who would die anyway within few days, therefore mortality after short time of increase will show some decrease and cumulative effect would not be significant. However, if such a condition affects whole population harvesting effect would not appear and cumulative mortality estimate will be higher than the short-term effect. In both the cases estimated distributed lag model better describes the situation.

The separate problem is transformation of relative risk to count of deaths. The standard approach is calculation of attributable risk, which is the difference between

zasadą jest modelowanie krzywoliniowej zależności za pomocą dwóch funkcji liniowych – dla zakresów temperatur poniżej i powyżej pewnego punktu O, w którym zależność pomiędzy temperaturą a umieralnością zmienia kierunek z malejącej na rosnącą. Wartość O może być interpretowana jako temperatura optymalna minimalizująca ryzyko zgonu. Równanie modelu jest następujące:

$$\log(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p S(X_i) + \sum_{i=p+1}^k \beta_i X_i + B_1 \cdot T_{max} + B_2 \cdot (T_{max} - O)^+ \quad [1]$$

Gdzie:

O – wartość temperatury optymalnej, opisana powyżej,

T_{max} – temperatura maksymalna

$S(\cdot)$ – splajn

β_i – współczynnik regresji dla czynnika wprowadzonego do równania w sposób parametryczny

k – liczba czynników w uwzględnionych w modelu

p – liczba czynników modelowanych przy użyciu funkcji nieparametrycznych

$$(T_{max} - O)^+ = \begin{cases} 0 & \text{dla } T_{max} \leq O \\ T_{max} - O & \text{dla } T_{max} > O \end{cases}$$

Wartość O była wybierana spośród zakresu od 20° do 32°C tak, by maksymalizowała dopasowanie modelu wyrażone wyjaśnioną dewiancją.

Rezultaty z metody *hockey-stick* są przedstawione jako dwie wartości ryzyka względnego opisującego zależność pomiędzy temperaturą i umieralnością poniżej i powyżej temperatury optymalnej O.

W analizach zmian umieralności w okresach występowania potencjalnie niebezpiecznej temperatury dopuszczono możliwość, że jej efekt pozostaje widoczny przez tydzień poprzez użycia modelu z rozkładem opóźnień (*distributed lag model*, 30,31). Jego równanie ma postać:

$$\log(Y) = \text{model bazowy [1]} + b_0 H_0 + b_{-1} H_{-1} + \dots + b_{-7} H_{-7} \quad (2)$$

gdzie H_i jest wskaźnikiem występowania fali upału lub okresu ciepłego w dniu i ($i=0, -1, \dots, -6, -7$),

$$H_i = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli fala gorąca lub ciepła wystąpiła w dniu } i \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Opóźniony efekt fali upałów lub okresu gorącego na umieralność opisano za pomocą wielomianu trzeciego stopnia. Wyniki uzyskane z modelu (2) prezentowane są w tabeli IV jako skumulowany wzrost umieralności na przestrzeni 0-7 dni od dnia, w którym wystąpiła fala upałów lub okres gorący. Prezentowane są również wykresy zmian efektu w czasie. Wykresy te wykorzystywane są do oceny, czy istnieje tak zwany „*harvesting effect*” związany z okresami niebezpiecznymi. Koncepcja tego zjawiska opiera się na założeniu, że niekorzystny wpływ temperatury dotyka szczególnie ludzi w złym stanie zdrowia, którzy zmarliby i tak w krótkim okresie czasu. Gdyby tak było, po wzroście spowodowanym upałą pogodą obserwowalibyśmy

incidence under certain (investigated) conditions and incidence under some reference conditions. Choice of those reference conditions in our case is not easy – some way to do this (and this approach was used in this paper) is to choose comfort temperature and average mortality under those conditions. However, we have to note, that comfort temperature is not the same in all subpopulations under analysis. Calculation of mortality excess associated with heat wave was as follows:

- mean number of deaths in each subpopulation was calculated for interval of comfort temperature $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- daily excess of deaths associated with temperature itself and heat wave presence was calculated according to formula

excess of mortality

$$= (RR_{Temp} - 1)(30^\circ\text{C} - C) \cdot \bar{X} + (RR_{Heat\ wave} - 1) \cdot \bar{X}$$

Where \bar{X} is mean number of deaths in reference period and RR_{Temp} and $RR_{Heat\ wave}$ are relative risks associated with temperature increase by 1°C and heat wave presence calculated from the model.

RESULTS

Tables I and II present descriptive characteristics for mortality and temperature. During the study period overall 8 heat waves and 8 hot periods were identified.

The relation between maximal air temperature and mortality from all analysed causes and among all subpopulations is of U-shape as expected (Fig 1). Therefore, hockey-stick regression models were applied to parametrically describe it. The results are presented in table III. The value of optimal temperature O varies from 20 to 25°C depending on sub-population. Slight tendency for higher optimal temperature for women than men can be observed. In Warsaw total population the increase in temperature of 1°C above optimal value is associated with increase in all-cause (excluding external causes) mortality by 1.6% . Similar association was observed in other analysed sub-populations and in almost all of them those associations were statistically significant (Table III). Opposite association is observed for temperature below optimal point - decrease of 1°C in maximal temperature was associated with increase in mortality from all causes by 1.1% .

The effect of heat waves was not observed in female population, while in males mortality increased during heat waves, but only in older population it reached statistical significance (Table IV). No effect of hot period was statistically significant (Table IV).

Being aware of indispensable simplifications we calculated, that in observed period heat waves caused additional 9.6 deaths per heat wave day, which gives overall 230 , about 45 per warm period. Computations were done for each subpopulation denoted by sex and age, relative risk below 1 were not taken into account.

spadek umieralności i jej niewielką zmianę skumulowaną w czasie. Natomiast, jeżeli wzrost umieralności w czasie występowania upalnych warunków pogodowych dotyczyłby całej populacji, opisane zjawisko przesunięcia zgonów w czasie nie powinno występować, a skumulowany na przestrzeni kilku dni wzrost umieralności powinien być wyższy niż krótkookresowy. Model z rozkładem opóźnień dobrze nadaje się do opisu obu powyżej opisanych sytuacji.

Osobnym problemem jest przeliczenie uzyskanego z modelu ryzyka względnego zgonu na rzeczywistą liczbę zgonów. Standardowym podejściem jest obliczanie ryzyka przypisanego, które oblicza się jako różnicę pomiędzy częstością zdarzeń w okresie występowania pewnych (badanych) warunków i w okresie referencyjnym, kiedy te warunki nie występują. Wybór warunków referencyjnych w analizowanym w tej pracy zagadnieniu nie jest prosty – jedną z możliwości (zastosowaną w tej pracy) jest wybór warunków komfortowych pod względem temperatury i obliczenie średniej umieralności w okresach ich występowania. Należy jednak zauważyć, że warunki komfortowe nie są takie same dla każdej z analizowanych podpopulacji. Obliczenie nadwyżki umieralności związanej z występowaniem fal gorąca i okresów upalnych zostało przeprowadzone w następujący sposób:

- W każdej z rozważanych podpopulacji obliczono średnią liczbę zgonów z dni, w których temperatura maksymalna powietrza nie różniła się od komfortowej o więcej niż $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Dzienna nadwyżka zgonów związana z wpływem temperatury i wystąpieniem fali upałów została obliczona według wzoru:

$$\text{nadwyżka umieralności} = (RR_{Temp} - 1)(30^\circ\text{C} - C) \cdot \bar{X} + (RR_{Heat\ wave} - 1) \cdot \bar{X}$$

Gdzie \bar{X} jest średnią liczbą zgonów w okresie referencyjnym, a RR_{Temp} i $RR_{Heat\ wave}$ są wartościami ryzyka względnego związanego ze wzrostem temperatury o 1°C i wystąpieniem fali upałów, obliczonymi z modelu.

WYNIKI

Podstawowe charakterystyki poziomu umieralności i wartości temperatury prezentowane są w tabelach I i II. W okresie objętym badaniem zidentyfikowano ogółem 8 fal upałów i 8 okresów gorących.

Tak jak oczekiwano, zależność pomiędzy temperaturą maksymalną powietrza a umieralnością z powodu wszystkich rozważanych przyczyn, we wszystkich rozważanych podpopulacjach miała charakter paraboliczny (Ryc. 1). W związku z tym, do opisu tych zależności w sposób parametryczny, zastosowano metodę *hockey-stick*. Wyniki zaprezentowane są tabeli III. Wartość optymalnej temperatury O waha się pomiędzy 20 a 25°C w zależności od rozważanej podpopulacji. Można zauważyć nieznaczna tendencję polegającą na tym,

Table I. Daily number of deaths from all causes excluding external causes during warm months seasons (May-September) by sex and age, Warsaw, 2008-2013 (N=918 days)

Tabela I. Dzienna liczba zgonów w Warszawie z powodu ogółu przyczyn (z wyłączeniem przyczyn zewnętrznych) w ciepłych okresach roku (maj – wrzesień), w zależności od płci, w okresie 2008-2013 (N=918 dni)

	Mean	SD	Min	Max	Median	1st quartile	3rd quartile
All	44.3	7.4	23	73	44	39	49
Males	21.2	4.8	8	39	21	18	24
Females	23.0	5.1	9	43	23	19	26
Aged 0-69	13.7	3.7	4	27	13	11	16
Males aged 0-69	8.5	3.0	0	22	8	6	10
Females aged 0-69	5.1	2.3	0	14	5	4	7
Aged 70+	30.6	6.0	13	53	30	26	34
Males aged 70+	12.7	3.6	4	25	13	10	15
Females aged 70+	17.9	4.5	7	34	18	15	21

Table II. Minimum and maximum daily air temperature in warm months seasons (May-September), Warsaw, 2008-2013 (N=918 days)

Tabela II. Minimalna i maksymalna dobowa temperatura w ciepłych okresach roku (maj – wrzesień), Warszawa, 2008-2013 (N=918 dni)

Temperature	Mean	SD	Min	Max	Median	1st quartile	3rd quartile
T_{\min}	13.1	3.8	-0.2	22.9	13.3	10.5	15.8
T_{\max}	22.2	5.2	5.6	37.1	22.5	18.6	25.8

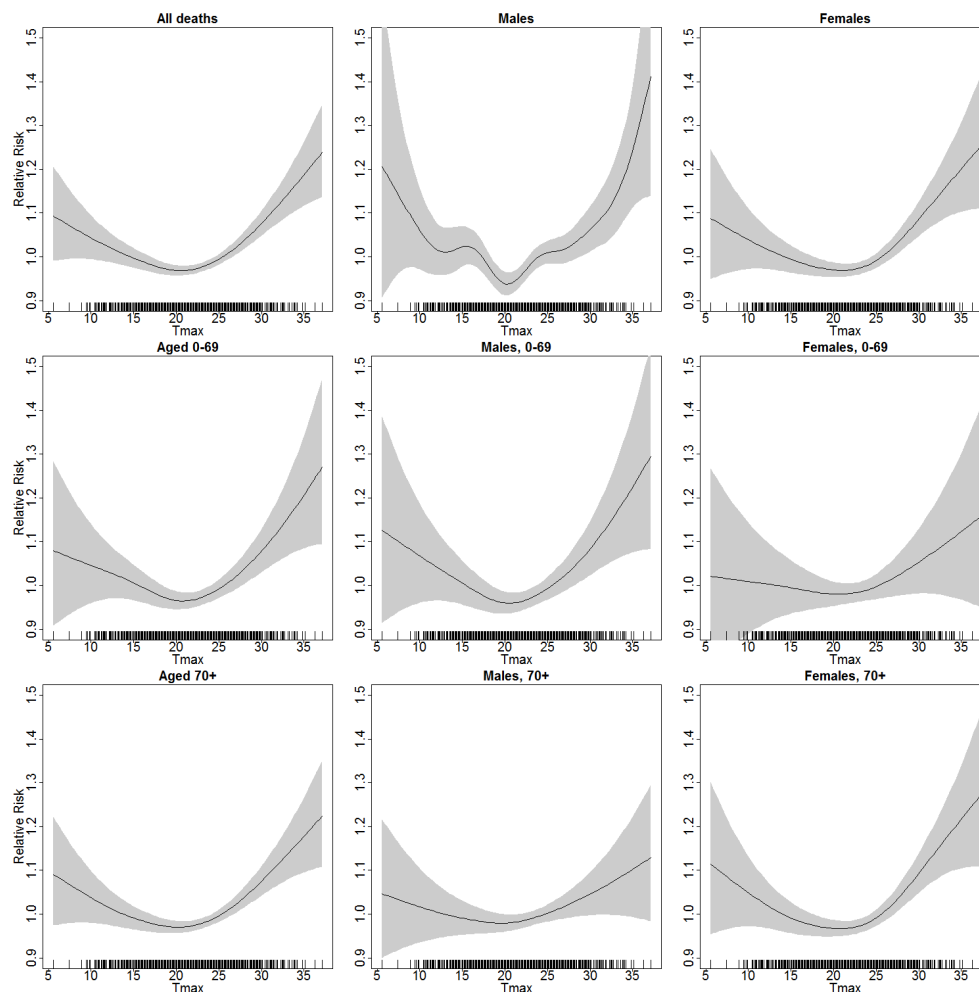


Fig. 1. Temperature-related risk of death, adjusted for long term trend, calendar year, day of week, humidity, atmospheric pressure by sex and age, Warsaw, 2008-2013

Ryc. 1. Ryzyko zgonu w zależności od dobowej temperatury maksymalnej. W analizie uwzględniono trend długookresowy, rok kalendarzowy, dzień tygodnia, wilgotność i ciśnienie atmosferyczne. Warszawa, 2008-2013.

Table III. Relative risk of death associated with 1°C increase in maximal temperature in range below (RR1) and above (RR2) change point temperature (O). Results from hockey stick regression

Tabela III. Ryzyko względne zgonu związane ze wzrostem dobowej temperatury maksymalnej o 1°C w zakresach poniżej (RR1) i powyżej (RR2) punktu zmiany. Wyniki obliczone metodą hockey stick regression.

Subpopulation	RR1	95% C.I.	RR2	95% CI	Change-point (O)
All	0.989	(0.984 ; 0.993)	1.016	(1.008 ; 1.024)	20
Males	0.990	(0.983 ; 0.996)	1.015	(1.004 ; 1.027)	20
Females	0.995	(0.991 ; 0.999)	1.027	(1.017 ; 1.038)	24
All aged 0-69	0.988	(0.980 ; 0.996)	1.014	(1.000 ; 1.029)	20
Males aged 0-69	0.987	(0.976 ; 0.997)	1.018	(1.000 ; 1.037)	20
Females aged 0-69	0.993	(0.983 ; 1.002)	1.015	(0.993 ; 1.038)	23
All aged 70+	0.989	(0.984 ; 0.994)	1.016	(1.006 ; 1.026)	20
Males aged 70+	0.992	(0.984 ; 1.001)	1.014	(0.998 ; 1.029)	20
Females aged 70+	0.993	(0.988 ; 0.998)	1.027	(1.015 ; 1.039)	23

Table IV. Cumulative 7-day impact of hot periods and heat waves on mortality. Results from polynomial distributed lag model.

Tabela IV. Skumulowany w ciągu 7 dni wpływ okresów ciepłych i fal upałów na umieralność. Wyniki uzyskane metodą polynomial distributed lag model.

Subpopulation	RR (95% CI)	
	Hot periods	Heat waves
All	1.027 (0.954-1.107)	1.093 (0.984-1.214)
Males	1.079 (0.969-1.201)	1.154 (0.993-1.341)
Females	0.929 (0.834-1.036)	0.976 (0.840-1.134)
All aged 0-69	1.003 (0.876-1.149)	1.035 (0.853-1.256)
Males aged 0-69	1.029 (0.868-1.219)	1.065 (0.836-1.356)
Females aged 0-69	0.920 (0.729-1.161)	0.940 (0.675-1.308)
All aged 70+	1.038 (0.949-1.134)	1.117 (0.986-1.265)
Males aged 70+	1.114 (0.970-1.279)	1.217 (1.005-1.475)
Females aged 70+	0.947 (0.840-1.069)	1.004 (0.850-1.186)

DISCUSSION

Results obtained in this study are similar to results in studies conducted in different cities all over the Europe. The relation between maximal temperature and mortality – with increase below and under specific change point – observed in Warsaw is similar to observed in the cities lying at the same latitude. Temperature effect change point between 20 and 24°C is also similar to those reported in other papers (1).

Relative risk associated with increase of temperature above the calculated optimum in Warsaw population is equal to 1.6%, being higher in females (2.7%) than in males (1.5%). Results obtained in the research project on the “Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe” (PHEWE), in which heat related mortality in 15 European cities over the years 1993-2003 was analysed, were similar.

że optymalna temperatura jest nieco wyższa dla kobiet. Wzrost temperatury o 1°C powyżej wartości optymalnej wiąże się ze wzrostem dziennej liczby zgonów z powodu wszystkich przyczyn (z wyłączeniem przyczyn zewnętrznych) w całej populacji Warszawy o 1,6%. Podobne związki zaobserwowano w innych rozważanych podpopulacjach i niemal we wszystkich przypadkach były one statystycznie istotne (Tab. III). Dla zakresu temperatur poniżej wartości optymalnej – spadek temperatury o 1°C jest związany ze wzrostem umieralności z powodu wszystkich przyczyn (z wyłączeniem przyczyn zewnętrznych) o 1,1%.

W populacji kobiet nie zaobserwowano istotnych zmian umieralności związanych z występowaniem fal upałów. W populacji mężczyzn umieralność wzrastała w czasie fal upałów, ale tylko w starszej podpopulacji efekt był statystycznie istotny (Tab. IV). Nie zaobserwowano statystycznie istotnych zmian umieralności w okresach gorących.

For every 1°C increase in apparent temperature above thresholds mortality increased by 1.8% in northern cities (e.g. Stockholm, Helsinki or Budapest) and 3.1% in southern cities (e.g. Athens, Rome, Paris) (1).

Another issue is the rise of mortality during the heat waves. In Warsaw during consecutive 7 days from the first day of heat wave the rise reaches 9.3% overall mortality, 11.7% among people aged 70. The EuroHEAT project (2) which analysed mortality rates during summer heat waves in 9 European cities (Athens, Barcelona, Budapest, London, Milan, Munich, Paris, Rome, Valencia) from 1990 to 2004 showed a large rise corresponding to an increase in the intensity and length of heat waves. In the cities in the Mediterranean Basin, heat waves led to a growth of 21.8% in the noted number of all deaths, and in the cities located in Central Europe of 12.4%. Mortality rates grew with the age of the patients, and were higher among women than men, especially in the 75-84 age group. It should be noted though, that both of the cities representing Central Europe were situated c. 600 km to the south of Warsaw. In Germany over the period 2001-2010, depending on the heat wave intensity and duration, the rise of mortality from ischemic heart diseases varied from 10% to 19.6% during the most oppressive heat (33). Slightly lower values obtained in our study may be a result of controlling in the model for daily temperature itself, thus observed effects of heat waves are "additional" to the effect of temperature.

Some differences between males and females in temperature- and heat-related mortality were found. While increase in maximal temperature (in range above the optimal temperature) has smaller effect in males than in females (1.5 vs 2.7%), though value of optimal temperature was higher for females. On the other hand men (especially aged 70+) were more vulnerable to heat-wave than women. The problem was also investigated in German study (33) in which it was concluded, that females seem to be considerably more vulnerable to heat than males. While the daily mortality increase during heat wave for males were not exceeding 12%, the corresponding rates for females reaches 21% on the third day of a heat. On average, during heat wave days the mortality rate was increased by 11.4% for German males and by 18.7% for German females.

It must be noted that in many studies apparent temperature is used as a measure of heat-stress rather than temperature itself. In our study maximal temperature was used, because two definitions of extremely unfavourable conditions associated with heat were constructed using maximal temperature. The apparent temperature is the index that combines the air temperature and humidity. During cold season and under low relative humidity the apparent temperature

Pamiętając o niezbędnych, wspomnianych powyżej ograniczeniach, obliczono, że w obserwowanym okresie w czasie fal upałów nadwyżka umieralności wynosi średnio 9,6 zgonów dziennie, ogółem w obserwowanym okresie 230, około 45 w jednym okresie ciepłym. Obliczenia zostały wykonane w każdej z podpopulacji wyznaczonej przez płeć i wiek. Wyniki, w których ryzyko względne było poniżej 1, nie były brane pod uwagę.

DYSKUSJA

Wyniki uzyskane w tej pracy są zgodne z wynikami prac z różnych miast w całej Europie. Wzrost umieralności poniżej i powyżej pewnego wybranego punktu optymalnego jest charakterystyczny dla miast leżących na podobnej szerokości geograficznej jak Warszawa. Wartość punktu optymalnego pomiędzy 20 a 24°C jest również podobna do uzyskiwanej w innych publikacjach (1).

Ryzyko względne związane ze wzrostem temperatury w zakresie powyżej punktu optymalnego w Warszawie, które w populacji ogólnej równie jest 1,6%, w populacji kobiet jest wyższe (2,7%) niż mężczyzn (1,5%). Wyniki uzyskane w ramach projektu „*Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe*” (PHEWE), w którym analizowano dane z lat 1993-2003 z 15 europejskich miast, były podobne. Wraz ze wzrostem temperatury odczuwalnej o 1°C powyżej wartości progowej umieralność wzrastała o 1,8% w miastach północnych (takich jak Sztokholm, Helsinki lub Budapeszt) i o 3,1% w miastach południowych (np. Ateny, Rzym, Paryż) (1).

Kolejnym analizowanym zagadnieniem był wzrost umieralności w czasie występowania fal upałów. W Warszawie, w ciągu 7 dni od pierwszego dnia fali upałów wzrost umieralności osiąga 9,3% w całej populacji i 11,7% osób w wieku 70 lat i więcej. Wyniki projektu *EuroHEAT* (2), w ramach którego analizowano dane dotyczące zmian umieralności w czasie fal upałów w 9 miastach europejskich (Atenach, Barcelonie, Budapeszcie, Londynie, Mediolanie, Monachium, Paryżu, Rzymie i Walencji) w latach 1990 – 2004 wskazują na znaczny wzrost umieralności, zależny od intensywności i czasu trwania fal upałów. W krajach basenu Morza Śródziemnego fale upałów spowodowały wzrost umieralności o 21,4%, w krajach Europy Centralnej o 12,4%. Efekt fali upałów wzrastał wraz z wiekiem narażonej populacji i był wyższy wśród kobiet niż wśród mężczyzn, a szczególnie dotyczy to grupy wiekowej 75-84 lata. Warto jednak zauważyć, że w tym projekcie miasta reprezentujące Europę Centralną leżały około 600 kilometrów na południe od Warszawy. W Niemczech w okresie 2001-2010, zależnie od intensywności i czasu trwania wzrost umieralności w czasie fali upałów wynosił od 10 do 19,6% (33). Nieznacznie niższe wartości uzyskane w naszej pracy mogą być wynikiem uwzględnienia w modelu dziennej temperatury jako niezależnego czynnika, zatem wyniki dla fal upałów oddają ich „dodatkowy” efekt.

is lower than air temperature but during summer, under high humidity – usually is higher. However, the correlation coefficient between air temperature and apparent temperature reaches 0.99, what enables the comparison of results.

Among two definitions of extremely unfavourable conditions hot temperature – hot periods and heat wave the second one seems to better identify hazardous periods understood as an additional negative condition to presence of high temperature. It should be noted, however, that this definition selects only 24 days during five year study period.

Results of our analysis show that mortality of Warsaw inhabitants is significantly associated with increase of maximal temperature in almost all analysed subpopulations. Significant increase of mortality associated with heat wave was found only in males aged 70+, but it should be stressed, that in all analysed subpopulations relative risks are above 1 with shifted confidence intervals, suggesting also vulnerability of those subpopulations.

Transformation of obtained results expressed as relative risk to attributable number of death was quite a complex problem. In ecological analyses, such as presented in this paper, basic characteristics of diseased people are unknown, thus it is hard to assess if heat stress affects already ill people and speeds up event of death by only few days or affects people that would live several years more. In this second case the issue of heat-related mortality would be more important from a public health perspective. Our analysis suggests lack of harvesting effect which indicates, that high temperature is probably not only accelerating deaths of people in poor health, who would die within short period of time, but affects whole population.

Taking into account, that average daily number of deaths in observed period is about 44, heat waves related mortality, that we estimate to be about 28 per a 3-day heat wave, may be seen as quite a serious problem. However, we should note, that this is deaths excess in relation to comfort conditions. If we would compare mortality during heat wave to warmer days it would result in much smaller mortality excess estimate. For example if reference conditions would be days with temperature 25°C, mortality estimate would be of about 7.6 more deaths per heat wave day (182 per whole study period).

Having in mind that heat wave effect estimates in different localizations substantially differ, we do not attempt to transform results from Warsaw to the rest of the country. This problem would require larger number of analyses in different cities laying in different climatic zones in Poland and estimation of the heat wave impact in rural population.

Przeprowadzona analiza ujawniła pewne różnice pomiędzy mężczyznami a kobietami w zmianach umieralności związane z temperaturą i falami upałów. Wzrost umieralności związanej ze wzrostem maksymalnej temperatury jest mniejszy wśród mężczyzn niż wśród kobiet (1,5 vs 2,7%), jednakże wartość optymalnej temperatury była wyższa dla kobiet. Natomiast mężczyźni (w szczególności w wieku 70 lat i więcej) byli bardziej podatni na działanie fal upałów niż kobiety. Problem ten również badano w pracy niemieckiej (33), w której stwierdzono, że kobiety są znacząco bardziej narażone na wpływ upalnej pogody niż mężczyźni. Podczas gdy wzrost umieralności mężczyzn w czasie fal upałów nie przekraczał 12%, to wartość wzrostu umieralności kobiet wyniosła 21% w trzecim dniu trwania fali upałów. Uśredniony wzrost umieralności mężczyzn w czasie fali upałów wyniósł 11,4%, wśród niemieckich mężczyzn i 18,7% kobiet.

Należy zauważyć, że w wielu badaniach zamiast temperatury powietrza jako miary narażenia na upalną pogodę stosuje się temperaturę odczuwalną. W naszej analizie wykorzystano temperaturę maksymalną, ponieważ oparte o nią są obie wykorzystywane definicje ekstremalnie niekorzystnych warunków temperaturowych. Temperatura odczuwalna jest indeksem uwzględniającym temperaturę oraz wilgotność powietrza. W okresach chłodnych i w czasie, gdy wilgotność powietrza jest niska, temperatura odczuwalna jest niższa niż temperatura bezwzględna, w czasie lata lub w okresach charakteryzujących się wysoką wilgotnością – wyższa. Współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą powietrza i temperaturą odczuwalną osiąga 0,99, co pozwala na porównywanie wyników.

Z dwóch zastosowanych w pracy definicji ekstremalnie niekorzystnych warunków pogodowych – okresów gorąca i fal upałów druga wydaje się lepiej identyfikować okresy niebezpieczne – w rozumieniu dodatkowego, oprócz samej temperatury, czynnika wpływającego na umieralność. Należy jednak zauważyć, że definicja ta identyfikuje tylko 24 dni w ciągu pięcioletniego okresu objętego badaniem.

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na to, że w Warszawie umieralność prawie wszystkich rozważanych podpopulacji wzrasta wraz ze wzrostem temperatury maksymalnej. Istotny statystycznie wzrost umieralności związany z falą upałów zaobserwowano jedynie wśród mężczyzn w wieku 70 lat i więcej. Należy jednak zauważyć, że we wszystkich analizowanych podpopulacjach wartości ryzyka względnego są powyżej 1, a przedziały ufności przesunięte są w górę, co sugeruje również podatność tych grup ludności na efekt fal upałów.

Przełożenie uzyskanych wyników, wyrażonych w postaci ryzyka względnego, na przypisaną liczbę zgonów było dość złożonym problemem. W analizach ekologicznych, takich jak prezentowana w niniejszej

CONCLUSIONS

Significant association between mortality and maximal temperature was observed in Warsaw during summer months in years 2008-2013. Dependence was U-shaped with optimal temperature of the lowest mortality between 20 and 24°C for different sub-populations with respect to sex and age. Heat waves defined as at least three consecutive days with maximal temperature higher than 30°C had additional effect to daily temperature itself on the risk of death.

Acknowledgement

This work was a part of the project LIFE_ADAPTCITY_PL lead by Foundation Institute for Sustainable Development and co-financed by LIFE+ financial instrument of European Commission and National Fund for Environmental Protection and Water Management of Poland

REFERENCES

1. Baccini M, Biggeri A, Accetta G, Kosatsky T, Katsouyanni K, Analitis A, et al. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*. 2008;19:711–9.
2. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de' Donato F, Menne B, Katsouyanni K, et al. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health [Internet]*. 2010;9(1):37. Available from: <http://www.ehjournal.net/content/9/1/37>
3. Curriero FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Strug L, Patz J a. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *Am J Epidemiol*. 2002;155(1):80–7.
4. Ma W, Wang L, Lin H, Liu T, Zhang Y, Rutherford S, et al. The temperature-mortality relationship in China: An analysis from 66 Chinese communities. *Environ Res [Internet]*. 2015 Mar [cited 2016 Mar 30];137:72–7. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114004319>
5. Son J-Y, Gouveia N, Bravo MA, de Freitas CU, Bell ML. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. *Int J Biometeorol [Internet]*. 2016 Jan [cited 2016 Mar 30];60(1):113–21. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25972308>
6. Ellis FP, Nelson F. Mortality in the elderly in a heat wave in New York City, August 1975. *Environ Res [Internet]*. 1978 Jun [cited 2016 Mar 20];15(3):504–12. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013935178901299>

pracy, podstawowe charakterystyki osób zmarłych są nieznanne, zatem trudno ocenić, czy wpływ upalnej pogody dotyczy ludzi już chorych i jedynie przyspiesza zgon o kilka dni, czy też może dotyka ludzi, którzy żyliby jeszcze kilka lat. W tej drugiej grupie zagadnienie umieralności związanej z występowaniem upalnej pogody miałyby dużo większe znaczenie z punktu widzenia zdrowia publicznego. Nasze analizy wykazały brak efektu „harvestingu”, co wskazuje, że wysoka temperatura nie tylko przyspiesza zgon ludzi w złym stanie zdrowia, którzy zmarliby w krótkim czasie, ale wpływa na umieralność całej populacji.

Biorąc pod uwagę, że średnia dzienna liczba zgonów w obserwowanym okresie wyniosła 44, wartość liczby zgonów, którą wiążemy z wystąpieniem fali upałów oszacowana przez nas na około 28 w czasie trzydniowej fali upałów wydaje się dość znaczącym problemem. Należy jednakże podkreślić, że jest to oszacowanie nadwyżki w stosunku do warunków komfortowych. Jeżeli porównalibyśmy umieralność w czasie występowania fal upałów do dni cieplejszych, nadwyżka ta miałaby mniejszą wartość. Na przykład, jeżeli za referencyjne warunki przyjąć temperaturę 25°C, to nadwyżka dziennej liczby zgonów wyniosłaby około 7,6 zgonów w przeliczeniu na jeden dzień, w którym obserwuje się falę upałów (182 w całym okresie objętym badaniem).

Wartość wpływu fali upałów na umieralność może znacznie różnić się w zależności od lokalizacji, zatem w pracy tej nie podjęto próby przeniesienia wyników uzyskanych w Warszawie na resztę kraju. Problem ten wymagałby wykonania wielu analiz w różnych miastach leżących w różnych strefach klimatycznych w Polsce oraz oceny wpływu fal upałów na umieralność populacji wiejskiej.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ciepłych miesiącach latach 2008-2013 w Warszawie zaobserwowano istotny wpływ dziennej maksymalnej temperatury na umieralność. Zależność miała charakter paraboliczny, wartość temperatury optymalnej, w czasie występowania której umieralność była najniższa wahała się od 20 do 24°C w różnych podpopulacjach wyznaczonych przez wiek i płeć. Występowanie fal upałów definiowanych jako przynajmniej trzy kolejne dni z temperaturą maksymalną powyżej 30°C stanowił dodatkowy czynnik zwiększający umieralność oprócz samej temperatury maksymalnej powietrza.

Podziękowania

Praca jest częścią projektu LIFE_ADAPTCITY_PL prowadzonego przez Instytut na Rzecz Ekorozwoju i współfinansowana przez instrument finansowy LIFE+ Komisji Europejskiej i Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

7. Basu R, Samet JM. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev* [Internet]. 2002 Jan [cited 2016 Mar 23];24(2):190–202. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12762092>
8. Brooke Anderson G, Bell ML. Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities. *Environ Health Perspect*. 2011;119(2):210–8.
9. Huynen MM, Martens P, Schram D, Weijenberg MP, Kunst AE. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2001 May [cited 2016 Mar 23];109(5):463–70. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1240305&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
10. Sartor F, Snacken R, Demuth C, Walckiers D. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium. *Environ Res* [Internet]. 1995 Aug [cited 2016 Mar 23];70(2):105–13. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8674478>
11. Hajat S, Kovats RS, Atkinson RW, Haines A. Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health* [Internet]. 2002 May [cited 2016 Mar 23];56(5):367–72. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1732136&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
12. Zacharias S, Koppe C, Mücke H-G. Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany. *Climate* [Internet]. 2014 Dec 26 [cited 2016 Mar 10];3(1):100–17. Available from: <http://www.mdpi.com/2225-1154/3/1/100/htm>
13. Kysely J. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* [Internet]. 2004 Nov [cited 2016 Mar 23];49(2):91–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15549422>
14. Kuchcik M. Mortality in Warsaw: is there any connection with weather and air pollution? - *Geographia Polonica*. *Geogr Pol* [Internet]. 2001 [cited 2016 Mar 23];74(1):29–45. Available from: <https://www.geographiapolonica.pl/article/item/3001.html>
15. Rabczenko D, Wojtyniak B, Kuchcik M, Seroka W. [Risk of deaths from cardiovascular diseases in Polish urban population associated with changes in maximal daily temperature]. *Przegląd Epidemiol* [Internet]. 2009 Jan [cited 2014 Jul 15];63(4):565–70. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20120957>
16. Michelozzi P, de’Donato F, Accetta G. Impact of heat waves on mortality--Rome, Italy, June–August 2003. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* [Internet]. 2004 May 7 [cited 2016 Mar 23];53(17):369–71. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15129195>
17. Matzarakis A, Mayer H. The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmos Environ Part B Urban Atmos* [Internet]. 1991 Jan [cited 2016 Mar 23];25(2):203–11. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095712729190055J>
18. Díaz J, García R, Velázquez de Castro F, Hernández E, López C, Otero A. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int J Biometeorol* [Internet]. 2002 Aug [cited 2016 Mar 23];46(3):145–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12194008>
19. Miron IJ, Linares C, Montero JC, Criado-Alvarez JJ, Díaz J. Changes in cause-specific mortality during heat waves in central Spain, 1975–2008. *Int J Biometeorol* [Internet]. 2015 Sep [cited 2016 Mar 23];59(9):1213–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25399358>
20. Kossowska-Cezak U, Skrzypczuk J. Pogoda upalna w Warszawie (1947–2010). *Pr i Stud Geogr*. 2011;47:139–46.
21. Wibig J. Has the frequency or intensity of hot weather events changed in Poland since 1950? *Adv Sci Res* [Internet]. 2012 Apr 26 [cited 2016 Mar 23];8:87–91. Available from: https://www.researchgate.net/publication/258606247_Has_the_frequency_or_intensity_of_hot_weather_events_changed_in_Poland_since_1950
22. Kuchcik M. Fale upałów w Polsce w latach 1993–2002. *Przegląd Geogr*. 2006;78(3):397–412.
23. Robine J, Cheung S, Le Roy S, Van Oyen H, Herrmann FR. Report on excess mortality in Europe during summer 2003. 2007.
24. Smoyer KE. A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri--1980 and 1995. *Int J Biometeorol* [Internet]. 1998 Aug [cited 2016 Mar 23];42(1):44–50. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9780845>
25. Kalkstein LS. A new approach to evaluate the impact of climate on human mortality. *Environ Health Perspect* [Internet]. 1991 Dec [cited 2016 Feb 23];96:145–50. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1568248&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
26. Kozłowska-Szczęśna U, Krawczyk B, Kuchcik M. Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka. *IGiPZ PAN*; 2004. 138–159 p.

27. Kossowska-Cezak U. Fale upałów i okresy upalne - metody ich wyróżniania i wynii zastosowania. *Pr Geogr.* 2010;123:143–9.
28. Wood S. *Generalized Additive Models: An Introduction with R.* CRC Press; 2006.
29. Schwartz C. Regression - hockey sticks, broken sticks, piecewise, changepoints [Internet]. In *Course Notes for Beginning and Intermediate Statistics.* 2015 [cited 2015 Aug 20]. Available from: <http://www.stat.sfu.ca/~cschwarz/CourseNotes>
30. Quiao Z, Guo Y, Yu W, Tong S. Assessment of Short- and Long-Term Mortality Displacement in Heat - Related. *Environ Health Perspect.* 2015;766(8):766–73.
31. Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. *Am J Epidemiol.* 2000;151(5):440–8.
32. Michelozzi P, Kirchmayer U, Katsouyanni K, Biggeri A, Bertollini R, Anderson RH, et al. The PHEWE Project - Assessment And Prevention Of Acute Health Effects Of Weather Conditions In Europe. *Epidemiology.* 2004;15(4):S102–3.
33. Zacharias S, Koppe C, Mücke H-G. Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany. *Climate* [Internet]. 2014;2(3):133–52. Available from: <http://www.mdpi.com/2225-1154/2/3/133/htm>
34. Sheridan SC, Kalkstein LS. Progress in heat watch-warning system technology. *Bull Am Meteorol Soc.* 2004;85(12):1931–41.

Received: 1.09.2016

Accepted for publication: 15.11.2015

Otrzymano: 1.09.2016 r.

Zakceptowano do druku: 15.11.2015 r.

Address for correspondence:

Adres do korespondencji:

Daniel Rabczenko, MD
National Institute of Public Health
-National Institute of Hygiene
Department-Centre of Population
Health Monitoring and Analysis
24 Chocimska Street, 00-791 Warsaw, Poland
e-mail: drabczenko@pzh.gov.pl