

SILNE FALE TERMICZNE W LUBLINIE

Strong thermal waves in Lublin

AGNIESZKA KRZYŻEWSKA*, MAREK NOWOSAD*, MATEUSZ DOBEK*

Zarys treści. W niniejszej pracy wprowadzono definicje silnych i bardzo silnych fal termicznych. Jako kryteria przyjęto odchylenia średniej dobowej temperatury powietrza od średniej wieloletniej odpowiednio o 2 i 3 odchylenia standardowe przez trzy kolejne dni. Badania przeprowadzono dla Lublina (1952–2010). W analizowanym okresie wystąpiły 54 silne fale chłodu i 24 silne fale ciepła. Silne fale chłodu częściej pojawiały się w pierwszej połowie analizowanego wielolecia. Zauważono zwiększoną częstość silnych fal ciepła w XXI wieku. Kryteria bardzo silnej fali termicznej spełniły 4 fale chłodu i 1 fala ciepła. Silne fale chłodu występowały od 16 września do 7 czerwca, zaś silne fale ciepła – od 17 marca do 17 listopada. Dodatkowo analizowano przebieg temperatury powietrza w czasie szczególnie upalnego lata 2015, kiedy to wystąpiły 4 silne fale ciepła. Nie zanotowano natomiast w czasie tego lata bardzo silnej fali termicznej.

Słowa kluczowe: silna fala chłodu, silna fala ciepła, temperatura powietrza, Lublin

Abstract. In this paper, the definitions of strong and very strong thermal waves have been introduced. The deviations of mean daily temperature from the long-term average of the air temperature by 2 and 3 standard deviations for three consecutive days were applied as criteria for thermal waves. The study was conducted for Lublin (1952–2010). In the analyzed period there were 54 strong cold waves and 24 strong warm waves. Strong cold waves often appeared in the first half of the analyzed period. An increase in the incidence of strong warm waves was noted in the XXI century. The criteria for a very strong warm wave were met by 4 cold waves and 1 warm wave. Strong cold waves occurred from 16 September to 7 June, and the strong warm waves – from 17 March to 17 November. Additionally, we analyzed the course of air temperature during a particularly hot summer in 2015 when 4 severe warm waves occurred. A very strong warm wave did not occur during that summer.

Key words: strong cold wave, strong warm wave, air temperature, Lublin

Wstęp

Wpływ warunków pogodowych na funkcjonowanie człowieka jest ściśle uzależniony od temperatury powietrza. Zarówno zbyt wysoka jak i zbyt niska temperatura mogą niekorzystnie oddziaływać na organizm ludzki.

Do przedstawienia warunków termicznych wybranych miejsc najczęściej stosowane są klasyczne charakterystyki temperatury powietrza, tj. średnie, maksymalne i minimalne wartości, liczba dni charakterystycznych oraz częstości ich występowania. Uzupełnieniem tych charakterystyk są wyniki badań fal termicznych (fale ciepła i chłodu, fale upałów, fale mrozów).

Celem pracy jest wyznaczenie i charakterystyka występowania silnych i bardzo silnych fal ciepła i chłodu w Lublinie w latach 1952–2010.

Zwrócono też uwagę na pojawienie się silnych fal ciepła w czasie wyjątkowo gorącego lata 2015.

Przegląd literatury

Podjęcia metodyczne do wydzielenia fal termicznych różnią się między sobą. Przez fale termiczne rozumiane są okresy ciepła i chłodu, które mogą pojawić się w każdej porze roku jako okres pogody cieplejszej lub chłodniejszej (Mager, Kuźnicka-Błaszczyńska 1993; Degirmendźić 2004). Degirmendźić (2004) wydzielił fale silne, umiarkowane i słabe. Jako kryterium przyjął przekroczenie przez średnią temperaturę dobową odpowiednio wartości 90., 80. i 70. percentyla (bądź nieosiągnięcie odpowiednio 10., 20. i 30. percentyla). Zazwyczaj fale termiczne wydziela się na podstawie przekroczenia średniej wieloletniej temperatury ekstremalnej (wy-

* Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Al. Kraśnicka 2cd, 20-718 Lublin; e-mail: agnieszka.krzyzewska@umcs.pl

znaczonej dla danego okresu referencyjnego) przez dobową temperaturę ekstremalną o odchylenie standardowe (lub jego część) przez ustaloną minimalną liczbę kolejnych dni. W badaniach prowadzonych dla Poznania w latach 1911–1990 za falę ciepła lub chłodu przyjęto okres co najmniej 2 dni z temperaturą średnią dobową różniącą się o pół odchylenia standardowego od średniej wieloletniej temperatury danego dnia roku (Mager, Kuźnicka-Błaszczyńska 1993). Fale ciepła i chłodu (w Krakowie) w latach 1881–1980 wyznaczano na podstawie jednego odchylenia standardowego (Morawska-Horawska 1991), podobnie jak na Pomorzu (Miętus, Filipiak 2001). Badania za pomocą tej metody przeprowadzone zostały dla Rozewia, Helu, Gdyni i Świbna (lata 1951–1998). Tę metodę wykorzystywała także Owczarek (2008) dla 9 miast Pomorza (lata 1951–2005). Autorka w kolejnej pracy (Owczarek 2012) zastosowała ww. metodę także w odniesieniu do obszaru Polski (dane z 23 stacji z okresu 1966–2008). Wibig (2007) wyznaczyła fale ciepła w Łodzi jako ciągi dni, w których temperatura była wyższa od średniej o 1,28 odchylenia standardowego lub więcej (1931–2006). Natomiast te, w których temperatura była niższa od średniej o 1,28 odchylenia standardowego lub więcej uznano za dni bardzo chłodne, zaś ich ciągi jako fale chłodu. Metoda ta została wykorzystana przez Krzyżewską (2014) do scharakteryzowania fal ciepła i chłodu w Lublinie-Radawcu, Tomaszowie Lubelskim i Zamościu (1981–2010). W niektórych pracach do wyznaczania fal ciepła i chłodu wykorzystano temperaturę średnią dobową (Morawska-Horawska 1991; Mager, Kuźnicka-Błaszczyńska 1993; Degirmendzić 1999; Balafoutis, Arseni-Papadimitriou 2002; Degirmendzić 2004; Krzyżewska 2015). W klimatycznym ujęciu tego zagadnienia zdefiniowano fale termiczne jako okresy z obniżoną bądź podwyższoną średnią wieloletnią dobową temperaturę powietrza w stosunku do sinusoidy uśrednionego przebiegu rocznego (Stopa-Boryczka i in. 2011).

Wspomnieć można terminologię zaproponowaną przez Warakomskiego (1994). Jeżeli wartość (co prawda dotyczy to średniej rocznej temperatury powietrza) różni się od średniej wieloletniej o $\pm 1,5$ odchylenia standardowego, to kryterium nazywane jest łagodnym. Gdy różnica osiąga 2,0 odchylenia standardowego – wówczas mamy do czynienia z kryterium umiarkowanym. Natomiast kryterium surowe wykorzystuje różnice $\pm 2,5$ odchylenia standardowego.

W literaturze stosowano różne podejścia do wyznaczenia okresu referencyjnego. Niektórzy autorzy traktowali analizowane wielolecie jako okres referencyjny (Mager, Kuźnicka-Błaszczyńska 1993; Balafoutis, Arseni-Papadimitriou 2002). Były też prace, w których za okres referencyjny uznawano 30-letnie, będące podokresem analizowanego wielolecia (Miętus, Filipiak 2001; Wibig 2007; Owczarek 2008).

Material i metoda

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów temperatury powietrza przeprowadzonych w latach 1952–2010 oraz w okresie od czerwca do września 2015 roku w Obserwatorium Meteorologicznym UMCS zlokalizowanym w centrum Lublina na Placu Litewskim. Przy tworzeniu wieloletniej serii średniej dobowej temperatury powietrza wykorzystano dane z tych samych terminów obserwacyjnych (7, 13 i 21 średniego czasu słonecznego) oraz zastosowano tę samą metodę obliczania średniej dobowej temperatury powietrza $[(t_6 + t_{12} + 2 * t_{20}) / 4]$ w odniesieniu do całego badanego okresu.

W niniejszej pracy za silną falę ciepła przyjęto okres co najmniej trzech kolejnych dni, w których średnia temperatura dobowa przekraczała średnią wieloletnią temperaturę dobową (liczoną dla każdego dnia roku kalendarzowego z lat 1952–2010) o co najmniej 2 odchylenia standardowe, natomiast za silną falę chłodu – trzy kolejne dni, w których średnia dobowa temperatura była mniejsza od średniej wieloletniej temperatury dobowej (temperatura danego dnia roku) o co najmniej 2 odchylenia standardowe. Definicje bardzo silnej fali ciepła i bardzo silnej fali chłodu dotyczą sytuacji, gdy brane były pod uwagę różnice równe lub większe od 3 odchyleń standardowych. Przy określaniu średniej wieloletniej temperatury powietrza w odniesieniu do poszczególnych dni cyklu rocznego, a także przy wykorzystaniu odchylenia standardowego, zastosowano filtr dolnoprzepustowy zaproponowany dla danych dobowych przez von Storcha i Zwiersa (2003). Jako okres referencyjny przyjęto badane 59-letnie (1952–2010).

Przy określaniu poszczególnych fal skorzystano z następujących wzorów:

a) dla silnych fal chłodu:

$$t_i < t_{sr} - 2\sigma, \quad (1)$$

b) dla silnych fal ciepła:

$$t_i > t_{sr} + 2\sigma, \quad (2)$$

c) dla bardzo silnych fal chłodu:

$$t_i < t_{sr} - 3\sigma, \quad (3)$$

d) dla bardzo silnych fal ciepła:

$$t_i > t_{sr} + 2\sigma, \quad (4)$$

gdzie:

t_{sr} – średnia wieloletnia temperatura powietrza danego dnia w roku,

σ – odchylenie standardowe średniej dobowej temperatury powietrza obliczone dla tego samego dnia roku.

Do obliczeń współczynnika asymetrii, prezentowanego w rozdziale „Dyskusja”, wykorzystano wzór:

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_j - \bar{x}}{s} \right)^3, \quad (5)$$

gdzie:

n – liczba elementów w zbiorze,

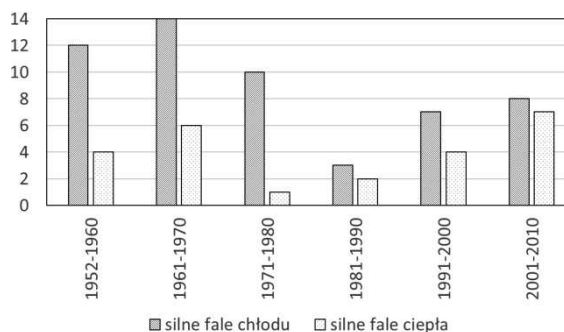
\bar{x} – średnia arytmetyczna,

s – odchylenie standardowe.

Wyniki

Silne fale termiczne

W analizowanym okresie w Lublinie wystąpiły 54 przypadki silnych fal chłodu oraz 24 silnych fal ciepła. Silne fale termiczne nie pojawiały się w każdym roku, jednak zdarzało się kilka takich fal w niektórych latach. Szczególnie wyróżnił się rok 1963, kiedy to wystąpiły 4 silne fale chłodu i 2 silne fale ciepła. Silne fale chłodu notowano w 33 spośród 59 analizowanych lat. Najwięcej tych fal (po 4) notowano w latach 1954 i 1963 oraz (po 3) w 1956, 1962, 1971, 1978 i 2002 roku. Spośród 24 silnych fal ciepła tylko dwie wystąpiły w jednym roku (1963), zaś pozostałe pojawiały się po jednej w roku. Fale te najrzadziej występowały w latach 70. i 80., zaś w XXI wieku wyraźnie widać wzrost ich liczby (rys. 1)¹.

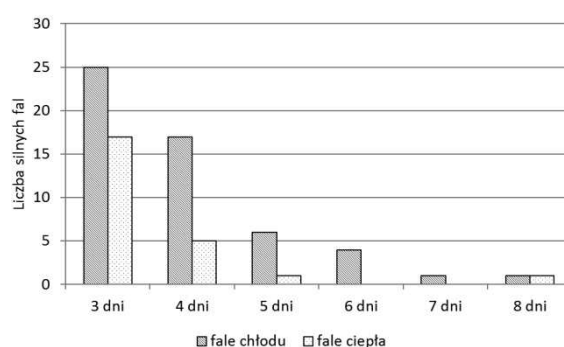


Rys. 1. Liczba silnych fal chłodu i silnych fal ciepła w Lublinie w wybranych podokresach

The number of strong cold waves and strong warm waves in selected sub-periods

Silne fale chłodu częściej występowały głównie w pierwszej połowie analizowanego wielolecia (1952–2010), kiedy to odnotowano 36 fal z 54. Z kolei liczba silnych fal ciepła w latach 1952–1980 oraz 1981–2010 była zbliżona (odpowiednio 11 i 13). Zwraca uwagę sytuacja, że jedna trzecia wszystkich zaobserwowanych silnych fal ciepła wystąpiła w XXI wieku. Na przełomie lat 50. i 60. oraz w pierwszej dekadzie XXI wieku obserwowano większą liczbę silnych fal termicznych (przede wszystkim fal chłodu) niż w pozostałych latach.

Z 54 silnych fal chłodu w analizowanym okresie najwięcej (25) wystąpiło fal 3-dniowych. Fale 4-dniowe notowano 17 razy, fale 5-dniowe 6 razy, zaś fale 6-dniowe – 4 razy (rys. 2). Fale dłuższe pojawiały się sporadycznie – raz wystąpiła fala 7-dniowa (26 grudnia 1996 roku do 1 stycznia 1997 roku.) oraz jeden raz fala 8-dniowa (7–14 lutego 1966 roku). Sumaryczna liczba dni w silnych falach chłodu wyniosła 212.



Rys. 2. Liczba silnych fal chłodu i fal ciepła o różnej długości trwania w Lublinie w latach 1952–2010

The number of strong cold waves and strong warm waves of different length in Lublin in years 1952–2010

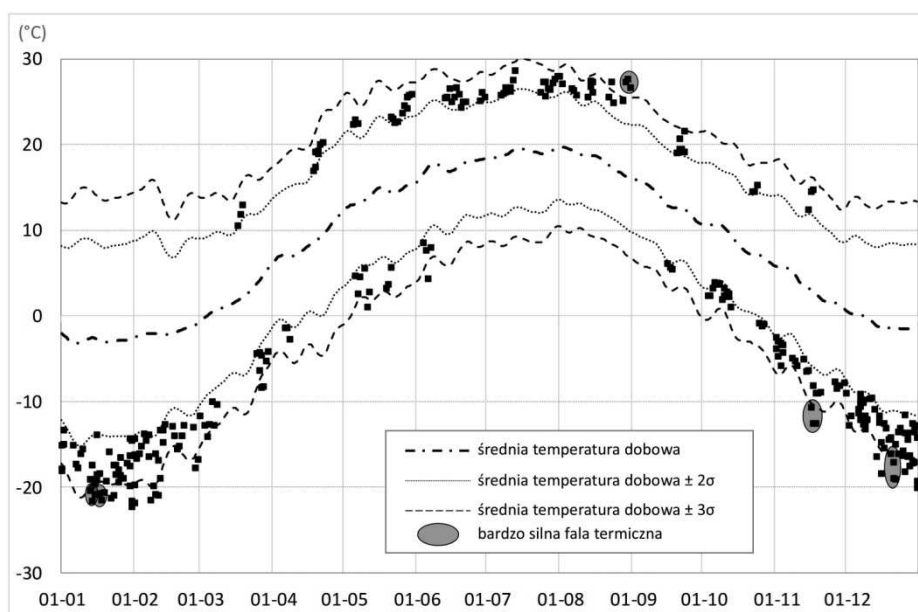
¹ Pierwszy z okresów prezentowanych na rys. 1 jest krótszy o rok od pozostałych. Teoretyczna liczba silnych fal chłodu przypadająca na okres 10-letni, obliczana na podstawie lat 1952–1960, wyniosłaby 13,3, zaś silnych fal ciepła: 4,4. Jednak ze względu na to, że w czasie wielu lat nie notowano silnych fal termicznych, takie obliczenia wydają się dyskusyjne.

W przypadku silnych fal ciepła dominowały fale 3-dniowe (17). Dłuższe fale, 4-dniowe, wystąpiły 5 razy. Oprócz tego odnotowano jeden przypadek fali 5-dniowej i jeden przypadek fali 8-dniowej. Nie zanotowano fal 6- oraz 7-dniowych (rys. 2). Łączny czas trwania silnych fal ciepła wyniósł 84 dni (średnio ok. 1,4 dni/rok).

Ponad 90% silnych fal chłodu wystąpiło pomiędzy 3 października a 8 kwietnia, a prawie 78% wszystkich silnych fal chłodu notowano między 25 października a 8 marca. Natomiast 87,5% silnych fal ciepła miało miejsce pomiędzy

18 kwietnia a 23 września. Około 2/3 wszystkich silnych fal ciepła zanotowano między 21 maja a 31 sierpnia (rys. 3).

W dniach od 17 marca do 7 czerwca oraz od 16 września do 17 listopada pojawiały się zarówno silne fale chłodu, jak i silne fale ciepła. Podokres półrocza chłodnego (od 18 listopada do 16 marca) to czas, kiedy nie zanotowano silnych fal ciepła, zaś w podokresie półrocza letniego (od 8 czerwca do 15 września) nie wystąpiły silne fale chłodu (rys. 3).



Rys. 3. Roczny przebieg wartości progowych przyjętych do klasyfikacji termicznej oraz występowanie dni stanowiących silne fale chłodu i dni stanowiących silne fale ciepła w Lublinie w latach 1952–2010

The annual course of threshold values applied to the thermal classification and the occurrence of days which constituted strong cold waves and strong warm waves in Lublin (1952–2010)

Bardzo silne fale termiczne i warunki synoptyczne w czasie ich występowania

Obok silnych fal termicznych wydzielono bardzo silne fale termiczne. Pozostawiono bez zmian jeden z warunków mówiący, że falą jest okres trzech następujących po sobie dni spełniających ustalone kryterium. Rozważano różne kryteria. Brano pod uwagę kilka możliwości odbiegania wartości krytycznej od średniej wieloletniej: o przynajmniej $2,5\sigma$, $3,0\sigma$ oraz $3,5\sigma$ (tab. 1). Uznano, że kryterium ± 3 odchylenia standardowe pozwala uwzględnić kilka najbardziej intensywnych fal i to kryterium przyjęto przy definiowaniu bardzo silnych fal termicznych.

Tabela 1

Liczba silnych fal termicznych w Lublinie przy różnym kryterium odchylenia średniej dobowej od średniej wieloletniej temperatury powietrza (1952–2010)

The number of strong thermal waves in Lublin after applying a different criterion of mean daily air temperature deviations from the average air temperature (1952–2010)

Kryterium	Fale chłodu	Fale ciepła
$2,0\sigma$	54	24
$2,5\sigma$	20	3
$3,0\sigma$	4	1
$3,5\sigma$	0	0

W analizowanym okresie w Lublinie wystąpiły 4 bardzo silne fale chłodu (od 17 do 19 stycznia 1963 roku, od 16 do 18 listopada 1965 roku, od 20 do 23 grudnia 1969 roku oraz od 13 do 15 stycznia 1987 roku) oraz jedna bardzo silna fala ciepła (od 28 do 31 sierpnia 1992 roku). Bardzo silna fala chłodu występująca w grudniu 1969 roku oraz bardzo silna fala ciepła trwały po 4 dni. Pozostałe trzy bardzo silne fale chłodu trwały po 3 dni. Spośród czterech przypadków bardzo silnych fal chłódów, trzy z nich były jednocześnie falami mrozów², natomiast bardzo silna fala ciepła była również falą upałów³.

W czasie analizowanych przypadków fal chłodu, na północy Europy lub nad Bałtykiem, wykształcił się ośrodek wysokiego ciśnienia, zaś nad Europą Środkowo-Wschodnią bądź Południową ukształtował się niż. Spowodowało to napływ powietrza z kierunku północno-wschodniego (masa PPK, a w początku fali z listopada 1965 roku także PA). Wszystkie sytuacje synoptyczne sprzyjające analizowanym bardzo silnym falom chłodu są określone przez typ E (północno-wschodnia i wschodnia cyrkulacja cyklonalna) wg typologii Osuchowskiej-Klein (1978).

Jedyny przypadek bardzo silnej fali ciepła zanotowano, gdy rozbudował się bardzo rozległy ośrodek wysokiego ciśnienia z centrum nad Bukaresztem, obejmujący całą Europę Południowo-Wschodnią, zaś nad Europą Północno-Zachodnią wystąpił rozbudowany niż z centrum nad Wyspami Brytyjskimi. W analizowanych dniach wyż przesunął się na wschód, powodując napływ powietrza PZ z południa. Bardzo podobna sytuacja miała miejsce w czasie upałów, które wystąpiły w sierpniu 2015 roku. Zanotowano typ D2C (południowa i południowo-zachodnia cyrkulacja antycyklonalna), przechodzący w BE według klasyfikacji B. Osuchowskiej-Klein (1978).

Silne fale ciepła latem 2015 roku

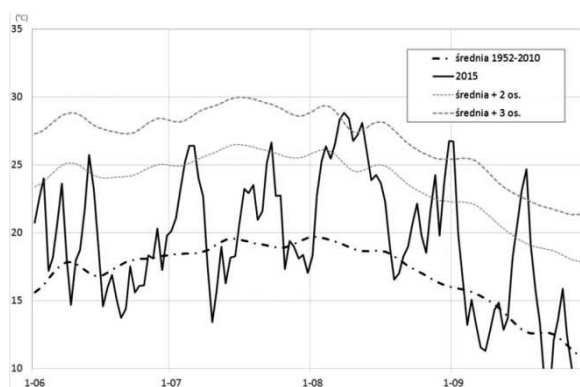
Lato w 2015 roku określone zostało jako ekstremalnie ciepłe w odniesieniu do prawie całego obszaru Polski (Biuletyn ... 2015). W opracowaniu uwzględniono też wrzesień 2015 roku ze względu na przekroczenie przez temperaturę maksymalną wartości 29°C w drugiej dekadzie tego miesiąca.

² Za falę mrozów przyjęto 3 kolejne dni z temperaturą maksymalną powietrza mniejszą niż -10°C (Krzyżewska, Wereski 2011).

³ Za fale upałów przyjęto 3 kolejne dni z temperaturą maksymalną powietrza większą niż 30°C (Niedźwiedz 2003).

W 2015 roku zanotowano cztery silne fale ciepła: 4–6 lipca, 6–13 sierpnia, 30 sierpnia – 1 września i 15–18 września (rys. 4). Zwraca uwagę okres od 4 do 13 sierpnia, kiedy średnia dobowa temperatura powietrza przekroczyła średnią wieloletnią o przynajmniej 2 odchylenia standardowe w 9 z 10 wymienionych dni, zaś w czasie wszystkich 10 dni przekroczyła średnią wieloletnią o przynajmniej 1,83 odchylenia standardowego.

W 2015 roku nie zanotowano bardzo silnej fali ciepła. Wystąpiło 7 dni, w których średnia dobowa temperatura powietrza przekroczyła o przynajmniej 3 odchylenia standardowe średnią temperaturę wieloletnią (8, 9, 12 i 31 sierpnia oraz 1, 16 i 17 września), lecz nie został spełniony warunek 3 kolejnych dni. Za wyjątkowy pod względem termicznym można uważać okres 8–12 sierpnia, kiedy średnia dobowa temperatura w każdym dniu przekraczała średnią wieloletnią o przynajmniej 2,76 odchylenia standardowego (a jak zaznaczono wcześniej, 8, 9 i 12 sierpnia o przynajmniej 3 odchylenia standardowe). Brak choćby jednej bardzo silnej fali ciepła w czasie ekstremalnie ciepłego lata 2015 można tłumaczyć wartościami temperatury minimalnej. Przykładowo, w odniesieniu do sierpnia 2015 roku, średnia temperatura minimalna wyniosła 16,7°C, zaś średnia temperatura w czasie porannego terminu obserwacyjnego 18,3°C.



Rys. 4. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w Lublinie latem 2015 roku na tle dobowych statystyk klimatologicznych

The course of mean daily air temperature in Lublin in the summer of 2015 against daily climatological statistics

Dyskusja

W celu poszukiwania przyczyn sytuacji, gdy silne fale ciepła pojawiały się w cieplej porze roku, zaś silne fale chłodu – w zimnej, obliczono roczny przebieg odchylenia standardowego oraz współczynnika asymetrii (tab. 2). Obliczeń do-

konano dla trzech zbiorowości. W kolumnach oznaczonych A obliczono odchylenia standardowe i współczynniki asymetrii na podstawie średniej miesięcznej temperatury powietrza. Wyniki te są porównywalne z wynikami zaprezentowanymi przez Filipiuka (2007) dla tej samej stacji, lecz nieco innego wielolecia (1947–2006). W kolumnach B występują średnie arytmetyczne obliczone na podstawie odchyleń standardowych i współczynników asymetrii dotyczących poszczególnych dni w miesiącu⁴. W kolumnach C znajdują się odchylenia standardowe i współczynniki asymetrii obliczone dla zbiorów, których liczba równa jest iloczynowi liczb dni w miesiącu przez liczbę lat (np. w odniesieniu do stycznia $31 * 59 = 1829$). Współczynniki asymetrii mniejsze od $-0,5$ (obliczane każdą z wymienionych metod) są charakterystyczne dla miesięcy zimowych. Natomiast w odniesieniu do lipca, sierpnia i września osiągają wartości dodatnie (także dla czerwca przy obliczeniach metodami A i B). Wydaje się, że za pomocą tego zróżnicowania asymetrii rozkładów temperatury powietrza można tłumaczyć sytuacje, gdy silne fale chłodu występują przeważnie zimą, a silne fale ciepła – zazwyczaj latem. Lewostronna asymetria rozkładów charakterystyczna dla zimy jest „silniejsza” niż prawostronna notowana latem i być może to wyjaśnia większą liczbę silnych fal chłodu w porównaniu do liczby fal silnych fal ciepła.

Jak pokazują rezultaty obliczeń zaprezentowanych w tab. 2, odchylenie standardowe w zimie (przede wszystkim w styczniu i w lutym) jest większe niż w lecie. Wynika z tego, że trzydniowa anomalia średniej dobowej temperatury różniącej się od średniej wieloletniej np. o 7°C , będzie silną falą w lipcu czy też w sierpniu, ale nie będzie nią zimą. Aby mówić o silnej fali w styczniu bądź w lutym potrzebne są anomalie wynoszące kilkanaście stopni Celsjusza. Duża zmienność temperatury powietrza w okresie zimowym powoduje jednak, że występują wtedy silne fale chłodu, a nawet pojawiają się bardzo silne fale chłodu.

Wyniki z niniejszej pracy są zgodne z tymi uzyskanymi w innych ośrodkach – fale chłodu przeważają nad falami ciepła, jednak ta tendencja (rys. 1) ulega zmianie na korzyść fal ciepła (Morawska-Horawska 1991; Mager, Kuźnicka-

-Błaszczyńska 1993; Wibig 2007). Najdłuższa zanotowana silna fala ciepła, trwająca 8 dni (26.07.1994–03.08.1994), zaznaczyła się także w innych miastach Polski (Wibig i in. 2009; Kossowska-Cezak, Skrzypczuk 2011; Koźmiński, Michalska 2011; Tomczyk 2012).

Tabela 2

Odchylenie standardowe i współczynnik asymetrii rozkładów temperatury powietrza w Lublinie w poszczególnych miesiącach obliczone za pomocą różnych metod

The standard deviation and index of asymmetry of air temperature distributions in Lublin in particular months calculated with the application of different methods

Miesiąc	Odchylenie standardowe			Współczynnik asymetrii		
	A	B	C	A	B	C
I	3,4	5,6	5,6	-0,70	-0,77	-0,78
II	3,6	5,2	5,2	-0,67	-0,54	-0,60
III	2,7	4,3	4,7	-0,53	-0,10	-0,14
IV	1,7	4,1	4,5	-0,13	0,08	0,22
V	1,7	4,0	4,1	-0,11	-0,05	-0,08
VI	1,3	3,5	3,6	0,20	0,03	-0,07
VII	1,7	3,4	3,4	0,26	0,17	0,16
VIII	1,3	3,1	3,3	0,33	0,20	0,17
IX	1,5	3,2	3,6	0,26	0,21	0,11
X	1,5	3,6	3,9	0,32	-0,05	-0,08
XI	2,2	4,0	4,4	-0,64	-0,31	-0,23
XII	2,5	4,7	4,8	-0,67	-0,74	-0,79

W sytuacji, gdy około 30% silnych fal ciepła zanotowano w XXI wieku, obliczono liniowy trend temperatury powietrza w odniesieniu do analizowanego 59-letniego okresu. Uwzględniono tą część cyklu rocznego, kiedy notowano silne fale ciepła, czyli okres od 17 marca do 17 listopada. Otrzymano równanie regresji $y = 0,023 * x + 12,201$ przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,25$. Istotność statystyczna, obliczona za pomocą testu Manna-Kendalla (Salmi i in. 2002), okazała się bardzo wysoka. Trend jest istotny na poziomie 0,001. Następnie stworzono nowy zbiór średniej dobowej temperatury powietrza (w odniesieniu do części roku od 17 marca do 17 listopada), będący różnicą dotychczasowych wartości i trendu. Na podstawie tak otrzymanego zbioru, stosując wcześniej wykorzystywaną metodę, określono silne fale ciepła. Fal tych było o 2 więcej niż obliczonych bez odejmowania trendu, czyli 26. Aż 19 fal dotyczyło tych samych dni przy

⁴ Przykładowo: obliczono współczynnik asymetrii na podstawie 59 liczb dla 1 stycznia, następnie kolejny dla 2 stycznia itd. W tabeli 2 liczba $-0,77$ jest średnią arytmetyczną z 31 współczynników asymetrii reprezentujących poszczególne dni stycznia.

wydzielaniach bez odejmowania i z odejmowaniem trendu. Bardzo silna fala ciepła (28–31 sierpnia 1992 roku) okazała się jedyną bardzo silną falą zbadaną za pomocą analizy prowadzonej po odjęciu trendu. Objęła ona 3 dni – od 29 do 31 sierpnia 1992 roku.

Odejmując trend zanotowano więcej silnych fal w okresie 1952–1970 (15 w porównaniu z wcześniej wydzielonymi 10). Okres 1971–1990 charakteryzował się niewielką liczbą silnych fal ciepła. Bez odejmowania trendu było ich 5 (rys. 1), zaś po jego odjęciu tylko 3. Liczba silnych fal ciepła w wieloleciu 1991–2010 okazała się mniejsza po odjęciu trendu (6) w porównaniu do wydzielenia bez odejmowania trendu (11). W XXI wieku, gdy wydzielono silne fale ciepła po odjęciu trendu, ich liczba wyniosła 4. Wydaje się, że systematyczny wzrost temperatury w Lublinie na przestrzeni wielolecia przyczynił się do zwiększenia liczby silnych fal ciepła na przełomie XX i XXI wieku. Jednak liczba tych fal w pierwszej dekadzie XXI wieku, po odjęciu trendu, była większa niż poprzednich trzech dekadach.

Rok 2015 wyróżnił się jako niezwykle ciepły – w Obserwatorium Meteorologicznym UMCS w Lublinie odnotowano wówczas aż 23 dni upalne⁵, podczas gdy średnia roczna liczba takich dni była określana na 4,6. Największa roczna liczba dni upalnych w Lublinie w wieloleciu 1951–2004 wyniosła 16 (Kaszewski i in. 2007).

Wnioski

W Lublinie, w latach 1952–2010, silnych fal chłodu (54 przypadki) było ponad dwukrotnie więcej niż silnych fal ciepła (24 przypadki). Silne fale termiczne pojawiały się szczególnie często w niektórych latach analizowanego wielolecia. Zwraca uwagę rok 1963, kiedy zanotowano 6 silnych fal termicznych (4 silne fale chłodu i 2 silne fale ciepła).

Silne fale termiczne w Lublinie trwały najczęściej 3 dni (46% silnych fal chłodu i 71% silnych fal ciepła). Fale trwające dłużej niż 4 dni pojawiały się sporadycznie (12 silnych fal chłodu i 2 silne fale ciepła w czasie 59 lat). Średnio na 1 rok przypadało 1,3 fali termicznej.

Silne fale chłodu częściej występowały w pierwszej niż w drugiej połowie analizowanego wielolecia (odpowiednio 36 i 18). W przypadku

silnych fal ciepła prawie jedna trzecia tych fal miała miejsce w XXI wieku. Silne fale chłodu najczęściej notowano od końca listopada do początku marca, natomiast silne fale ciepła od połowy czerwca do końca sierpnia.

W badanym okresie wystąpiły 4 bardzo silne fale chłodu oraz jedna bardzo silna fala ciepła. Bardzo silne fale chłodu notowano od połowy listopada do końca drugiej dekady stycznia, zaś bardzo silna fala ciepła wystąpiła w końcu sierpnia. W czasie występowania bardzo silnych fal chłodu nad obszar Polski sphywało powietrze z północy i północnego wschodu (typ E wg typologii Osuchowskiej-Klein), natomiast w czasie bardzo silnej fali ciepła – z południa (typ D2C).

Po odjęciu liniowego trendu temperatury powietrza liczba silnych fal ciepła wyniosła o 2 więcej niż bez odejmowania trendu. Wzrosła liczba tych fal w wieloleciu 1952–1970, zmniejszyła się w pozostałej części badanego okresu. W okresie 1971–1990 zanotowano 3 silne fale ciepła, zaś w okresie 1991–2010 – 6.

W czasie wyjątkowo upalnego lata 2015 roku wystąpiły w Lublinie 4 silne fale ciepła, nie zanotowano natomiast bardzo silnej fali ciepła.

Literatura

- Balafoutis Christos, Angeliki Arseni-Papadimitriou. 2002. Lengths of very warm and very cold spells at southern Balkans. W: Gabriel Wójcik, Kazimierz Marciniak (red.) *Działalność naukowa Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja. Sympozjum Klimatologiczne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, Toruń, 16-17 IX 1993*, 155-162. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski lato 2015. 2015. IMiGW PIB, Warszawa, http://www.imgw.pl/images/stories/biuletyn_monitoringu/2015/lato2015.pdf
- Degirmendzić Jan. 1999. Fale termiczne w Europie związane z wpływem klinów Wyżu Azjatyckiego. W: *Nauki geograficzne a edukacja społeczeństwa. Tom 2 – Region łódzki. Materiały XLVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Łódź 9–11 września 1999 r.*, 146-148. Łódź: Wyd. GROTESK.
- Degirmendzić Jan. 2004. „Fale termiczne nad Polską w zimie w zależności od pola wiatru w Europie”. *Przegląd Geofizyczny* XLIX (1-2): 11-23.
- Filipiuk Eugeniusz. 2007. Właściwości empiryczne rozkładów średniej miesięcznej, sezonowej i rocznej temperatury powietrza w śródmieściu Lublina w latach 1947–2006. W: Mirosław Miętus, Janusz Filipiak, Andrzej Wyszowski

⁵ Dzień upalny to taki, w czasie którego temperatura maksymalna powietrza jest większa niż 30°C (Niedźwiedz 2003).

- (red.) *200 lat regularnych pomiarów i obserwacji w Gdańsku*, 111-115. Seria: Monografie IMGW. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- Kaszewski Bogusław M., Krzysztof W. Siwek, Marcin Siłuch, Andrzej F. Gluza. 2007. Ekstremalne wartości wybranych charakterystyk termicznych w Lublinie (1951–2004). W: Jerzy Szkutnicki, Urszula Kossowska-Cezak, Ewa Bogdanowicz, Michał Ceran (red.) *Cywilizacja i żywność*, 118-126. Seria: Monografie IMGW. Warszawa: Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- Kossowska-Cezak Urszula, Jan Skrzypczuk. 2011. „Pogoda upalna w Warszawie (1947–2010)”. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 139-146.
- Koźmiński Czesław, Bożena Michalska. 2011. „Zmienność liczby zimnych, chłodnych, ciepłych, gorących i upalnych w Polsce w okresie kwiecień-wrzesień”. *Przegląd Geograficzny* 83 (1): 91-107.
- Krzyżewska Agnieszka. 2014. „Fale ciepła i chłodu w południowo-wschodnim (V) regionie bioklimatycznym w latach 1981–2010”. *Annales Universitatis Mariae Curie Skłodowska, Sectio B – Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* LXIX (2): 143-154.
- Krzyżewska Agnieszka. 2015. „Comparison of two methods of warm and cold wave identification based on the example of selected cities of the moderate and cold zone”. *Geographia Polonica* 88 (3): 483-492.
- Krzyżewska Agnieszka, Sylwester Wereski. 2011. „Fale upałów i mrozów w wybranych stacjach polskich na tle regionów bioklimatycznych (2000–2010)”. *Przegląd Geofizyczny* LVI (1-2): 99-109.
- Mager Przemysław, Maria Kuźnicka-Błaszczyńska. 1993. Wybrane parametry fal chłodu i ciepła w Poznaniu w latach 1911–1990. W: Krzysztof Kozuchowski (red.) *Globalne ocieplenie a współczesne zmiany klimatyczne w Polsce. Materiały z Międzynarodowej Konferencji, Szczecin, 31 maja – 1 czerwca 1993*, 277-288. Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Miętus Mirosław, Janusz Filipiak. 2001. „Struktura czasowo-przestrzennej zmienności warunków termicznych w rejonie Zatoki Gdańskiej”. *Materiały badawcze IMGW*, seria Meteorologia 32: 1-53
- Morawska-Horawska Maria. 1991. „Fale ciepła i chłodu w Krakowie w stuleciu 1881–1980”. *Wiadomości IMGW* XIV/XXXV (1-4): 127-136.
- Niedźwiedz Tadeusz (red.). 2003. Słownik meteorologiczny. Warszawa: Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- Osuchowska-Klein Blanka. 1978. Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- Owczarek Małgorzata. 2008. Zmienność warunków termicznych na Pomorzu na przykładzie fal ciepła i chłodu, 1951–2005. W: Kazimierz Kłysik, Joanna Wibig, Krzysztof Fortuniak (red.) *Klimat i bioklimat miast*, 199-208. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Owczarek Małgorzata. 2012. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie termicznych fal ciepła i fal chłodu w Polsce, 1966–2008 (rezultaty projektu Klimat). W: Zuzanna Bielec-Bąkowska, Ewa Łupikasza, Artur Widawski (red.) *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, 219-234. Sosnowiec: Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego.
- Salmi Timo, Anu Määttä, Pia Anttila, Tuija Ruoho-Airola, Toni Amnell. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKESENS. Publications on Air Quality No. 31. Helsinki: Finnish Meteorological Institute.
- Stopa-Boryczka Maria, Jerzy Boryczka, Urszula Kossowska-Cezak, Jolanta Wawer. 2011. „Fale chłodu i ciepła w przebiegu rocznym temperatury powietrza (1951–2010). *Przegląd Geofizyczny* LVI (3-4): 181-200.
- Tomczyk Arkadiusz M. 2012. „Pogoda upalna w Poznaniu w latach 1980–2011”. *Słupskie Prace Geograficzne* 9: 155-162.
- von Storch Hans, Francis W. Zwiers. 2003. Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge: Cambridge University Press.
- Warakomski Wojciech. 1994. „Zmienność i anomalie średniej rocznej temperatury powietrza w Puławach w latach 1871–1990”. *Przegląd Geofizyczny* XXXIX (1): 29-39.
- Wibig Joanna. 2007. „Fale ciepła i chłodu w środkowej Polsce na przykładzie Łodzi”. *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica* 8: 27-61.
- Wibig Joanna, Agnieszka Podstawczyńska, Marcin Rzepa, Piotr Piotrowski. 2009. „Heatwaves in Poland – frequency, trends and relationships with atmospheric circulation”. *Geographia Polonica* 82 (1): 33-46.

Summary

In Lublin, in the years 1952–2010, the strong cold waves (54 cases) occurred twice as often as strong warm waves (24 cases). Strong warm waves appeared to be particularly common in some years of the analyzed period. The year that draws particular attention is 1963 when 6 strong thermal waves (4 strong cold waves and 2 strong warm waves) were recorded.

Strong thermal waves in Lublin usually lasted 3 days (46% of strong cold waves and 71% of strong warm waves). Waves that lasted longer than 4 days appeared rarely (12 strong cold waves and 2 strong warm waves during the 59 years). On average, one year accounted for 1.3 thermal waves.

Strong cold waves occurred more frequently in the first rather than in the second half of the analyzed period (36 and 18). In the case of strong warm waves nearly one-third of the waves took place in the twenty-first century. Strong cold waves usually were recorded from late November to early March, while strong warm waves from mid-June to late August.

In the analyzed period, there were 4 very strong cold waves and 1 very strong warm wave. Very strong cold waves were recorded from mid-November to the end of the second decade

of January, and the very strong warm wave occurred in late August. At the time of the occurrence of a very strong cold wave in Poland, the cold air flowed from the north and north-east (type E by B. Osuchowska-Klein typology), and a very strong warm wave – from the south (type D2C).

After subtraction of the linear air temperature trend, the number of strong warm waves was 2 waves higher than without subtracting the trend. The number of these waves increased in a period 1952–1970 and decreased in the remaining analyzed years. In the period 1971–1990 3 strong warm waves were recorded, while in the period from 1991 to 2010 – 6.

During the exceptionally hot summer in 2015 in Lublin, 4 strong warm waves occurred but no very strong warm waves.