

Zmiany częstości anomalii termicznych w Polsce w latach 1951–2015

Robert Twardosz

Uniwersytet Jagielloński
Zakład Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7, 31-387 Kraków, Polska

Abstrakt. W pracy ukazano zmiany częstości anomalnie zimnych i anomalnie ciepłych miesięcy w Polsce i jej bezpośrednim sąsiedztwie od 1951 do 2015 roku. Podstawę badań stanowią średnie miesięczne wartości temperatury powietrza (t_{sr}) z 19 stacji meteorologicznych. Jako kryterium wyłonienia anomalii termicznych przyjęto wielkość odchylenia standardowego ($t_{sr} \pm 2\sigma$). Wykazano, że w Polsce, podobnie jak w całej Europie, ocieplenie klimatu dokonuje się w większym stopniu przez wzrost częstości anomalnie ciepłych miesięcy niż spadek częstości miesięcy anomalnie zimnych oraz że ocieplenie to wyraża się także powiększeniem zasięgu występowania anomalnie ciepłych miesięcy na początku XXI wieku.

słowa kluczowe: miesiąc anomalnie zimny, miesiąc anomalnie ciepły, zmiany klimatu, Polska

WSTĘP

Występowanie niekorzystnych zjawisk pogodowych, do których należy długotrwałe utrzymywanie się skrajnie niskiej lub skrajnie wysokiej temperatury powietrza, budzi duże zainteresowanie, ponieważ stanowią one zagrożenie dla życia i działalności człowieka. Doniesienia o takich wyjątkowych zjawiskach i o ich groźnych skutkach były zapisywane w kronikach historycznych. Cennej wiedzy dotyczącej tego zagadnienia od X do XVI wieku, zwłaszcza na ziemiach polskich, dostarcza unikatowe opracowanie R. Girgusia i W. Strupczewskiego (*Wyjtki...*, 1965). Znajdują się w nim wzmianki o wyjątkowo mroźnych zimach i nadzwyczajnych upałach, czyli zjawiskach występujących w skrajnych pod względem termicznym porach roku (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2016).

Z dotychczasowych badań wynika, że anomalnie ciepłe i zimne miesiące, a nawet całe pory roku, chociaż są naturalną cechą klimatu, zwłaszcza w środkowej Europie, to jednak rzadko pojawiają się na dużym obszarze (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a). Bardzo duży zasięg przestrzenny miały dwie wyjątkowo mroźne zimy, które objęły środkową Europę, w tym Polskę – zima 1829/30 (Boryczka i in., 2003) i 1928/29 (Gumiński, 1931). W lutym 1929 roku w wielu obszarach Polski anomalia temperatury powietrza przekroczyła -12°C . Na początku XXI wieku w Europie zdarzyły się też niezwykle gorące lata – 2003 i 2010, które objęły bardzo duże połacie kontynentu. Pierwsze z nich objęło swoim zasięgiem zachodnią, a drugie wschodnią Europę, w tym część obszaru Polski (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a).

Celem artykułu jest przedstawienie zmian częstości anomalnie zimnych i anomalnie ciepłych miesięcy w Polsce i jej bezpośrednim sąsiedztwie w okresie 65-lecia 1951–2015. Opracowanie to jest uszczegółowieniem w skali regionalnej wyników wcześniejszych badań dotyczących anomalii termicznych w Europie, opartych na rzadszej sieci stacji meteorologicznej i nieco krótszym okresie badań 1951–2010 (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a). W tej pracy uwzględniono także ostatnie upalne lato 2015 roku, które objęło znaczny obszar Polski (Hoy i in., 2016; Krzyżewska i in., 2016). Punktem wyjścia do badań jest przyjęcie założenia, że ocieplenie klimatu, obserwowane także w Polsce, zachodzi przez wzrost częstości dodatnich anomalii temperatury powietrza.

MATERIAŁ I METODA

Materiałem wyjściowym do badań są średnie miesięczne wartości temperatury powietrza (t_{sr}) z 11 stacji meteorologicznych z Polski i 8 stacji z jej bezpośredniego sąsiedztwa; łącznie uwzględniono 19 stacji (rys. 1). Obszar badań sięga zatem do Arkony i Kowna – na północy i do Pragi, Koszyc i Lwowa – na południu.

Autor do kontaktu:
Robert Twardosz
e-mail: rtwardosz@uj.edu.pl
tel. +48 12 664 53 28



Rys. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych wykorzystanych w opracowaniu
Fig. 1. Map of weather stations included in the study.

Podstawowym źródłem danych meteorologicznych, z którego korzystano, była internetowa baza *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D, <http://eca.knmi.nl/>). Dane z tej bazy stanowiły również podstawę wcześniejszych badań autorów (np. Twardosz, Kossowska-Cezak, 2016; Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a). Ponadto korzystano z bazy amerykańskiej *National Climatic Data Center* (NCDC, <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod/>) oraz bazy hiszpańskiej *Ogimet* (www.ogimet.com). Jakość danych została szczegółowo omówiona i zweryfikowana pod kątem jednorodności (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a).

Jako kryterium wyłonięcia anomalnych pod względem termicznym miesięcy przyjęto wielkość odchylenia standardowego (σ). Na tej podstawie wyróżniono miesiące anomalnie zimne ($t \leq t_{sr} - 2\sigma$) i anomalnie ciepłe ($t \geq t_{sr} + 2\sigma$). Aby nawiązać do wyników wcześniejszych badań (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a), jako okres referencyjny, w odniesieniu do którego obliczono wielkość anomalii i wielkość odchylenia standardowego, przyjęto 60-lecie 1951–2010. Takie ostre kryterium statystyczne wyłaniania anomalii termicznych stosowano wielokrotnie we wcześniejszych opracowaniach tak autorów (np. Twardosz, Kossowska, 2016; Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a), jak i innych badaczy (np. Filipiuk, Kaszewski, 2000; Hansen i in., 2012; Kamae i in., 2014). Wykorzystana metoda wyróżniania miesięcy anomalnych pod względem termicznym nawiązuje do przyjętego w klimatologii pojęcia anomalii termicznej (Niedźwiedź, 2003), ale również daje

możliwość określenia nie tylko wielkości anomalii, ale, co najważniejsze, częstości ich występowania.

W analizie pominięto te anomalne miesiące, które wystąpiły wyłącznie poza Polską lub pojawiły się w Polsce tylko na jednej stacji albo dwóch stacjach oddalonych od siebie. Zmiany częstości anomalii termicznych zbadano w kolejnych 5-leciach 65-lecia 1951–2015. Ponadto rozpatrzono zmiany zasięgu przestrzennego anomalnych miesięcy, który wyrażono liczbą stacji, na których jednocześnie wystąpił taki miesiąc.

Wartość trendu zmian średniej temperatury powietrza w 65-leciu oraz jego istotność statystyczną zbadano przy wykorzystaniu programu Statistica (STATISTICA, 2017).

WYNIKI BADAŃ

W ciągu 65 lat (1951–2015) stwierdzono 143 miesiące (spośród 780), w których temperatura różniła się od odpowiedniej średniej 60-letniej (1951–2010) przynajmniej o 2 odchylenia standardowe i anomalia taka wystąpiła na przynajmniej jednej stacji na obszarze badań. W 76 miesiącach jednak anomalia taka wystąpiła wyłącznie poza Polską lub pojawiła się w Polsce tylko na jednej stacji albo na dwóch stacjach oddalonych od siebie. Miesiące te zostały pominięte w dalszej analizie. Łącznie zatem wzięto pod uwagę 67 miesięcy, z czego 35 miesięcy anomalnie zimnych (MAZ) i 32 anomalnie ciepłe (MAC) (tab. 1). Na obszarze Polski i w jej bezpośrednim sąsiedztwie liczba MAZ była nieznacznie większa (o 3 miesiące) niż MAC. Anomalny

Tabela 1. Liczba anomalnie zimnych miesięcy (MAZ) i anomalnie ciepłych miesięcy (MAC) w Polsce (1951–2015)
 Table 2. Number of anomalously cold months (ACM) and anomalously warm months (AWM) in Poland (1951–2015).

Miesiąc Month	XII DEC	I JAN	II FEB	III MAR	IV APR	V MAY	VI JUN	VII JUL	VIII AUG	IX SEP	X NOV	XI DEC	Σ
MAZ; ACM	3	2	5	4	5	3	1	1	1	2	4	4	35
MAC; AWM	2	-	1	1	3	2	5	4	5	5	4	-	32

pod względem termicznym miesiąc występował średnio na 8 stacjach (MAZ – 8,2, MAC – 7,9 stacji).

Chociaż całkowita liczba miesięcy AZ i AC była podobna w 65-leciu, to jednak – jak wynika z tabeli 1 – różni je wyraźnie odmienny przebieg roczny. Miesiące anomalnie zimnych najwięcej jest wiosną – 12 (34%), nieco mniej zimą i jesienią – po 10 (po 29%), a najmniej w lecie – tylko 3 (9%). Miesiące anomalnie ciepłych zdecydowanie najwięcej jest w lecie – 14 (44%), a najmniej w zimie – tylko 3 (9%). Należy tu podkreślić, że MAZ wiosenne obejmują znaczny obszar środkowej części Europy – w pasie od Niemiec po Białoruś i środkową Ukrainę, a na południu do Adriatyku (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a). Przyczyną takiego rocznego zróżnicowania anomalii jest – jak powszechnie wiadomo – silnie zmienna cyrkulacja atmosferyczna w tej części Europy.

Charakterystyczny jest – zgodnie z oczekiwaniem – rozkład częstości anomalnych miesięcy w czasie ostatniego 65-lecia. Cechuje się on spadkiem częstości MAZ i wzrostem częstości MAC (tab. 2). Jest to oczywistą konsekwencją wzrostu temperatury powietrza. Na przykładzie Warszawy widać, że wzrost ten występuje we wszystkich porach roku i jest on istotny statystycznie na poziomie

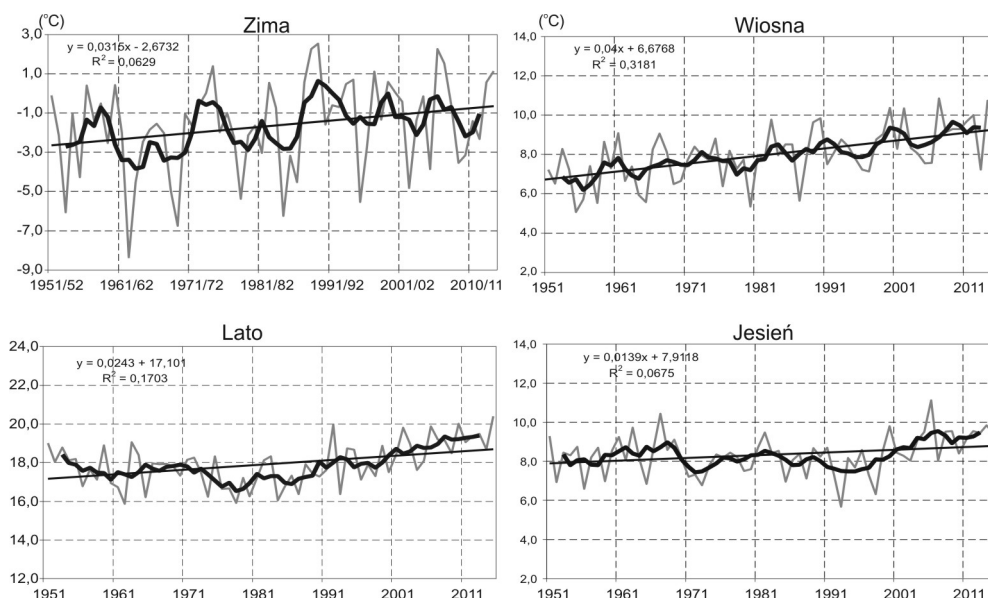
$\alpha=0,05$ (rys. 2). Najsilniejszy trend utrzymuje się wiosną ($0,40^{\circ}\text{C}/10$ lat), tylko nieco słabszy jest w zimie, najslabszy jest zaś jesienią ($0,14^{\circ}\text{C}/10$ lat).

Miesiące AZ największą częstość osiągnęły w pierwszym 15-leciu – było ich 16 spośród 35. W tym okresie aż połowa MAZ (8) wystąpiła wiosną. W kolejnych 5-leciach cechowały się już mniejszą częstością: od całkowitego ich braku w dwóch 5-leciach – 1971–1975 i 2011–2015 do 4 w 1986–1990. MAZ letnie występowały wyłącznie w pierwszej połowie rozpatrywanego okresu, czyli do 1985 roku. Od początku XXI wieku nie stwierdzono MAZ wiosną, a od 2006 roku także jesienią. Ostatnim MAZ był grudzień 2010 (tab. 3).

Zadnego miesiąca AC nie stwierdzono w pierwszym 10-leciu 1951–1960. W latach 1961–1990 występował na ogół jeden MAC w 5-leciu: jesienią – 4, latem – 2, zimą – 1, a wiosną nie było ani jednego MAC. Wyraźna zmiana częstości MAC nastąpiła po 1991 roku, kiedy nastąpił jej skokowy wzrost – do 4 w 5-leciu, z rekordową ich liczbą 9 w 5-leciu 2006–2010. Z punktu widzenia statystycznego ta rekordowa liczba 9 (SD równe 3) MAC w ostatnim 5-leciu XXI wieku istotnie się różni od liczby MAC w poprzedzających okresach 5-letnich, o co najmniej jedno odchylenie.

Tabela 2. Liczba miesięcy anomalnie zimnych (MAZ) i anomalnie ciepłych (MAC) w kolejnych 5-leciach (1951–2015)
 Table 2. Number of anomalously cold months (ACM) and anomalously warm months (AWM) in successive 5-year periods (1951–2015).

5-lecia 5-years	MAZ; ACM					MAC; AWM				
	zima winter	wiosna spring	lato summer	jesień autumn	Σ	zima winter	wiosna spring	lato summer	jesień autumn	Σ
1951–1955	1	3	–	1	5	–	–	–	–	–
1956–1960	1	3	1	1	6	–	–	–	–	–
1961–1965	2	2	–	1	5	–	–	1	–	1
1966–1970	1	–	–	–	1	–	–	–	2	2
1971–1975	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1
1976–1980	–	1	1	1	3	–	–	1	–	1
1981–1985	1	–	1	–	2	–	–	–	1	1
1986–1990	2	1	–	1	4	1	–	–	–	1
1991–1995	–	1	–	2	3	–	1	3	–	4
1996–2000	–	1	–	2	3	–	1	1	2	4
2001–2005	1	–	–	1	2	–	1	2	1	4
2006–2010	1	–	–	–	1	1	2	4	2	9
2011–2015	–	–	–	–	–	1	1	2	–	4
1951–2015	10	12	3	10	35	3	6	14	9	32



Rysunek 2. Przebieg średniej temperatury powietrza w porach roku w Warszawie (1951–2015)

Figure 2. Average seasonal air temperature in Warsaw (1951–2015).

Ogólnie można powiedzieć, że łączna liczba MAC w latach 1991–2015 wyniosła 25, a z lat poprzednich jedynie 7 MAC, co wskazuje na istotny statystycznie ponad 3-krotny wzrost częstości (współczynnik ufności 0,95). Ostatnim MAC był grudzień 2015 roku. Widać zatem, że tendencja

do ocieplenia się klimatu utrzymuje się nadal. Jest to cecha współczesnego klimatu, nie tylko środkowej Europy, ale całego kontynentu (Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a).

Większość anomalnych miesięcy, zwłaszcza AC, wystąpiła na części obszaru Polski (tab. 3 i 4), tylko 7 anomal-

Tabela 3. Miesiące anomalnie zimne (MAZ) w Polsce i jej bezpośrednim sąsiedztwie (1951–2015)

Table 3. Anomalously cold months (ACM) in Poland and its immediately adjoining areas (1951–2015).

Rok Year	Miesiąc Month	N	Rok Year	Miesiąc Month	N
1951	październik; OCT	3	1979	lipiec; JUL	6
1952	marzec; MAR	8	1980	maj; MAY	11
1954	luty; FEB	11	1985	luty; FEB	8
	kwiecień; APR	5		czerwiec; JUN	4
1955	kwiecień; APR	7	1986	luty; FEB	12
	luty; FEB	18		wrzesień; SEP	4
1956	kwiecień; APR	5	1987	styczeń; JAN	19
	sierpień; AUG	6		marzec; MAR	6
	listopad; NOV	5	1991	maj; MAY	8
1958	marzec; MAR	4	1992	październik; OCT	8
	kwiecień; APR	7	1993	listopad; NOV	17
1963	styczeń; JAN	17	1996	wrzesień; SEP	9
	luty; FEB	4	1997	kwiecień; APR	3
1964	marzec; MAR	2	1998	listopad; NOV	10
1965	maj; MAY	4	2002	grudzień; DEC	4
1965	listopad; OCT	13	2003	październik; OCT	5
1969	grudzień; DEC	18	2010	grudzień; DEC	12
1976	październik; OCT	4			

N – liczba stacji; number of stations

Podkreślona nazwa miesiąca oznacza anomalnie ciepłą całą porę roku; underlined months denote entire anomalously warm seasons

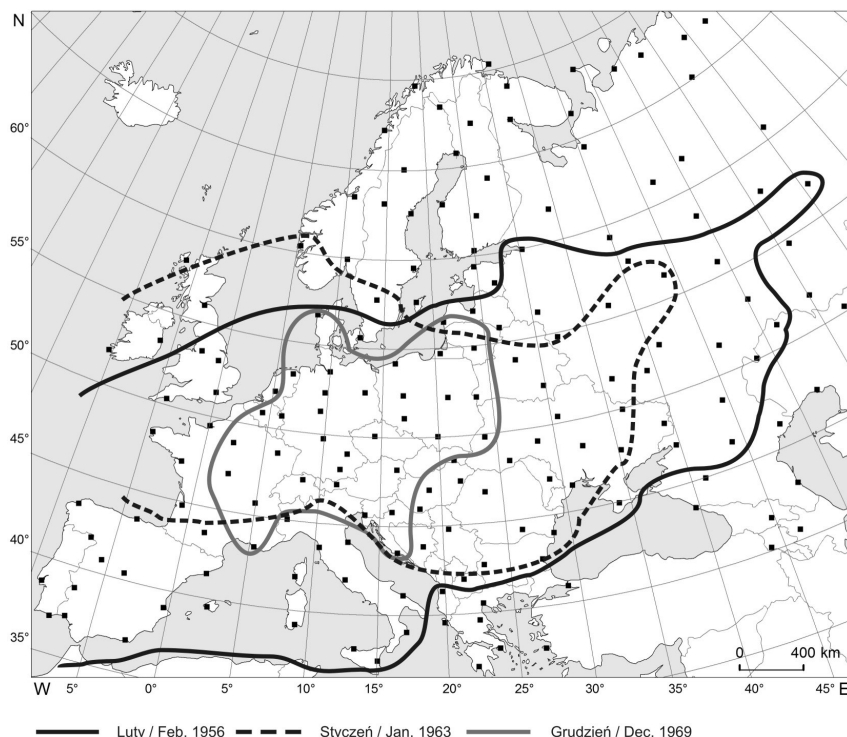
Tabela 4. Miesiące anomalnie ciepłe (MAC) w Polsce i jej bezpośrednim sąsiedztwie (1951–2015)

Table 4. Anomalously warm months (AWM) in Poland and its immediately adjoining areas (1951–2015).

Rok Year	Miesiąc Month	N	Rok Year	Miesiąc Month	N
1964	czerwiec; JUN	8	2002	maj; MAY	11
1967	wrzesień; SEP	4		sierpień; AUG	12
	październik; OCT	3	2003	czerwiec; JUN	6
1975	wrzesień; SEP	7		lipiec; JUL	16
1979	czerwiec; JUN	4	2006	wrzesień; SEP	11
1982	wrzesień; SEP	4		październik; OCT	6
1990	luty; FEB	6		grudzień; DEC	7
1992	czerwiec; JUN	4	2007	marzec; MAR	6
	sierpień; AUG	10		czerwiec; JUN	4
1993	maj; MAY	6	2009	kwiecień; APR	11
1994	lipiec; JUL	8	2010	lipiec; JUL	10
1997	sierpień; AUG	6		sierpień; AUG	4
1999	wrzesień; SEP	10	2011	kwiecień; APR	7
2000	kwiecień; APR	13	2014	lipiec; JUL	5
	październik; OCT	8	2015	sierpień; AUG	16
2001	październik; OCT	8	2015	grudzień; DEC	12

N – liczba stacji; number of stations

Podkreślona nazwa miesiąca oznacza anomalnie ciepłą całą porę roku; underlined months denote entire anomalously warm seasons



Rysunek 3. Zasięg anomalnie zimnych miesięcy (MAZ) w Europie (zasięgi wyznaczono na podstawie publikacji Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a)

Figure 3. Extent of ACMs in Europe (extent identified based on Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a).

nych miesięcy wystąpiło na całym obszarze. Wśród nich było 5 MAZ – luty 1956, styczeń 1963, grudzień 1969 (tab. 2, rys. 3), styczeń 1987 i listopad 1993 (tab. 2, rys. 4) oraz 2 MAC – lipiec 2006 i sierpień 2015 (tab. 3, rys. 5). Wynika to z prawidłowości, że MAZ obejmują zwykle rozległą część środkowej Europy, a MAC albo zachodnią, albo wschodnią Europę (Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a). Znamienny jest zatem ich rozkład w czasie. Rozległe MAZ zimowe wystąpiły do połowy rozpatrywanego okresu, a letnie na początku XXI wieku.

AZ luty 1956 wyróżnił się największym zasięgiem przestrzennym spośród wszystkich anomalnych miesięcy; objął ponad połowę obszaru Europy – od Wysp Brytyjskich do Uralu (rys. 3). W Polsce wielkość anomalii temperatury zmieniała się od $-6,0$ – $-7,0^{\circ}\text{C}$ na wybrzeżu Bałtyku do $-11,0^{\circ}\text{C}$ w środkowej i południowej Polsce (Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a). Była to bardzo duża ujemna anomalia termiczna. Na większości stacji objętych anomalią był to najmroźniejszy miesiąc od 1951 roku (Kossowska-Cezak i in., 2016). Temperatura średnia wyniosła wtedy od $-6,0^{\circ}\text{C}$ na Helu do $-13,2^{\circ}\text{C}$ w Lublinie.

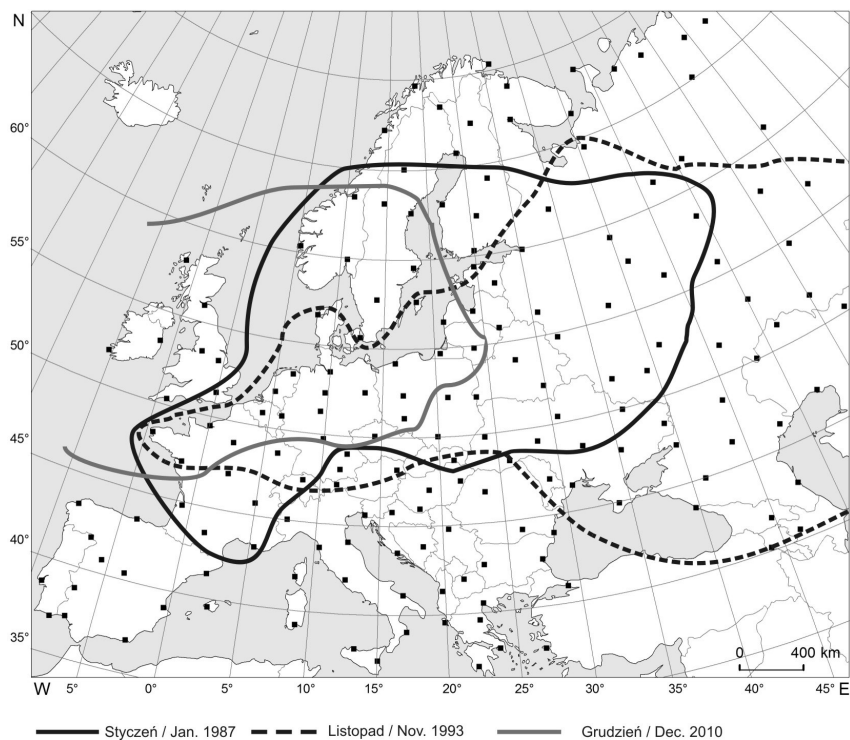
AZ styczeń 1963 objął, podobnie jak luty 1956, równoleżnikowy środkowy pas Europy, tj. od zachodniego krańca kontynentu do zachodniej Rosji Europejskiej i Ukrainy (rys. 3). Na większości stacji był to najzimniejszy styczeń

w 60-leciu (Kossowska-Cezak i in., 2016). Największa bezwzględna anomalia temperatury była w Warszawie $-9,8^{\circ}\text{C}$ ($t_{\text{sr}} = -12,4^{\circ}\text{C}$), anomalia względna zaś w części zachodniej zasięgu tego anomalnego miesiąca przekroczyła 4 odchylenia standardowe. W południowej Polsce ujemna anomalia temperatury utrzymywała się także w lutym.

AZ grudzień 1969 objął obszar od środkowej Francji do Łotwy i zachodniej Ukrainy (rys. 3). W Polsce wielkość anomalii bezwzględnej nie była tak duża jak w lutym 1956 (do $-8,0^{\circ}\text{C}$), jednak na niektórych stacjach w Polsce anomalia względna przekroczyła 3 odchylenia standardowe (Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a).

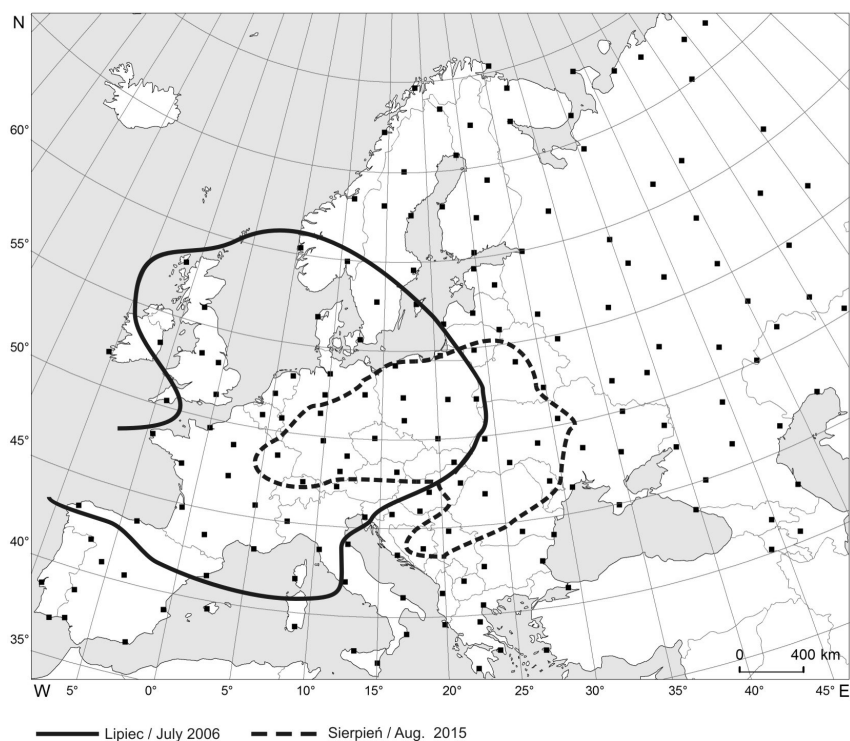
Kolejny AZ miesiąc, który objął zasięgiem całą Polskę, to styczeń 1987. Był jednym z najbardziej rozległych anomalnie zimnych miesięcy zimowych w Europie (rys. 4). Wystąpił on w środkowym obszarze Europy, od Francji do środkowej części Rosji Europejskiej. W Polsce wielkość anomalii temperatury dochodziła do $-8,0^{\circ}\text{C}$.

W drugiej połowie rozpatrywanego 65-lecia pojawił się jeden anomalnie zimny miesiąc w całej Polsce. Był to listopad 1993. Anomalia termiczna objęła wtedy środkowy pas Europy od Atlantyku do Uralu oraz wschodnich wybrzeży Morza Czarnego i krajów kaukaskich (rys. 4). W Polsce miesiąc ten należał do mroźnych, z wyjątkiem stacji nadmorskich. Najniższa średnia miesięczna tempe-



Rysunek 4. Zasięg anomalnie zimnych miesięcy (MAZ) w Europie (zasięgi wyznaczono na podstawie publikacji Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a)

Figure 4. Extent of ACMs in Europe (extent identified based on Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a).



Rysunek 5. Zasięg anomalnie ciepłych miesięcy (MAC) w Europie (zasięgi wyznaczono na podstawie publikacji Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a)

Figure 5. Extent of AWMs in Europe (extent identified based on Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a).

ratura była w Lublinie ($-3,3^{\circ}\text{C}$). Podczas tego AZ miesiąca w Machaczkałe wystąpiła największa względna ujemna anomalia temperatury powietrza w Europie w 60-leciu 1951–2010 (4,7 odchylenia standardowego) (Kossowska-Cezak, Twardosz 2017a).

W tym miejscu warto wspomnieć o ostatnim anomalnie zimnym miesiącu, który wystąpił w okresie nasilającego się ocieplenia, a mianowicie o grudniu 2010 roku. Ta ujemna anomalia pojawiła się na znacznym obszarze północno-zachodniej Europy, w tym na części obszaru Polski (rys. 4). Na większości obszaru był to najzimniejszy grudzień w 60-leciu 1951–2010 (Kossowska-Cezak i in., 2016; Cattiaux i in., 2011). Widać zatem, że w okresie silnego ocieplenia klimatu możliwe są głębokie anomalie ujemne, co świadczy o wzroście zakresu wahań temperatury powietrza.

Miesiące AC w drugiej połowie XX wieku nie obejmowały całości obszaru Polski, jak miesiące anomalnie zimne. Rozległe anomalie zdarzały się sporadycznie na różnych obszarach Europy. Najbardziej rozległy był AC sierpień 1972 w europejskiej części Rosji (Kossowska-Cezak, Twardosz, 2017a). Dodatkowo anomalie termiczne na dużych obszarach zaczęły się pojawiać na początku XXI wieku. Te największe i o największym nasileniu, zwane katastrofalnymi z lata 2003 i 2010 roku, wystąpiły odpowiednio w zachodniej i wschodniej części kontynentu.

Cały obszar Polski był objęty anomalią dodatnią w lipcu 2006 i sierpniu 2015. Pierwsza z tych anomalii objęła zachodnią i środkową Europę (rys. 5). Na wielu stacjach w Polsce lipiec 2006 był najgorętszy w 60-leciu; w Warszawie anomalia osiągnęła $4,5^{\circ}\text{C}$. W sierpniu 2015 środkowa Europa była objęta silnymi upałami. Centrum gorąca wystąpiło na Śląsku. Największa anomalia temperatury wystąpiła we Wrocławiu ($5,9^{\circ}\text{C}$, 4,4 odchylenia standardowego).

WNIOSKI

1. Jednym z przejawów współczesnego ocieplenia klimatu są duże zmiany częstości anomalii termicznych. W Polsce, podobnie jak w całej Europie, mamy do czynienia z ociepleniem asymetrycznym. Dokonuje się ono w większym stopniu przez wzrost częstości anomalnie ciepłych miesięcy niż spadek anomalnie zimnych. Ocieplenie wyraża się także powiększeniem zasięgu anomalnie ciepłych miesięcy na początku XXI wieku.

2. Duża zmienność temperatury powietrza jest zjawiskiem typowym w przejściowym klimacie Polski. Anomalie termiczne obejmujące cały obszar Polski zdarzały się w przybliżeniu raz na 10 lat, ich rozkład w czasie był jednak bardzo nierównomierny. Szczególnie wyróżniło się 5-lecie 2006–2010 z największą liczbą MAC (9) w 65-leciu.

LITERATURA

Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Baranowski D., Kirchenstein M., Błażek E., Skrzypczuk J., 2003. Mroźne zimy i upalne lata w Polsce. Atlas współzależności parametrów meteoro-

logicznych i geograficznych w Polsce. M. Stopa-Boryczka i J. Boryczka (red.), Wydawnictwo UW, t. 17, 15-25.

Cattiaux J., Vautard R., Cassou C., Yiou P., Masson-Delmotte V., Codron F., 2011. Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 37:L20704, doi:10.1029/2010GL044613.

Filipiuk E., Kaszewski B.M., 2000. Hot and cold summer in Central Europe (1871-1990). *Prace Geograficzne*, 108: 149-154.

Gumiński R., 1931. Zima 1928/29 w Polsce. *Przegląd Geograficzny*, 11: 119-127.

Hansen J., Sato M., Ruedy R., 2012. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 109, E2415-E2423, doi:10.1073/pnas.1205276109.

Hoy A., Hänsel S., Skalak P., Ustrnul Z., Bochniçek O., 2016. The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.4751.

Kamae Y., Shioyama H., Watanabe M., Kimoto M., 2014. Attributing the increase in Northern Hemisphere hot summers since the late 20th century. *Geophysical Research Letters*, 41: 5192-5199.

Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2016. Zależność liczby niezwykle zimnych i niezwykle ciepłych miesięcy w Europie (1951-2010) od liczby uwzględnionych stacji meteorologicznych. *Przegląd Geofizyczny*, 3-4: 225-237.

Kossowska-Cezak U., Pelech S., Twardosz R., 2016. Niezwykle zimne miesiące zimowe w Europie (1951-2010), *Przegląd Geofizyczny*, 1-2: 45-72.

Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2017a. Anomalie termiczne w Europie (1951-2010). IGI GP UJ, Kraków.

Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2017b. Współczesne anomalie termiczne na historycznych ziemiach polskich. *Przegląd Geofizyczny*, 1-2: 29-43.

Krzyżewska A., Bartoszek K., Wereski S., 2016. Warunki meteorologiczne w Lublinie podczas wyjątkowo uciążliwej fali upałów z sierpnia 2015 r. *Przegląd Geofizyczny*, 3-4: 239-249.

Niedźwiedz T. (red.), 2003. Słownik meteorologiczny. PTGeof./IMGW, Warszawa.

STATISTICA (data analysis software system), 2017, version 13.1. StatSoft, Inc. www.statsoft.com

Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2016. Exceptionally cold and mild winters in Europe (1951-2010). *Theoretical and Applied Climatology*, 125: 399-411.

Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI, 1965. Girguś R., Strupczewski W., PIHM, WKiŁ, Warszawa.

R. Twardosz

CHANGE IN THE FREQUENCY OF TEMPERATURE ANOMALIES IN POLAND, 1951–2015

Summary

The paper discusses changes in the frequency of anomalously cold (ACM) and anomalously warm (AWM) months in Poland and its immediately adjoining areas over the 65-year period spanning 1951–2015. The author based his research on monthly average air temperatures from 19 weather stations and employed

the criterion of two standard deviations ($2\sigma \pm t_{av.}$) to identify an anomaly.

ACMs were most frequent in the first 15 years of the period, which accounted for 16 out of the total of 35 ACMs. In subsequent five-year periods, the frequency was much lower and varied from nought in 1970–1975 and 2011–2015 to four in 1986–1990. December 2010 was the last recorded AC month of the period. Conversely, no AWMs were identified during the first 10 years of the period, after which AWMs occurred at a steady rate of one in each five-year period, until 1990. The subsequent five-year period marked a leap in their frequency to four, while a record number of nine occurred in 2006–2010. December 2015 was the last recorded AWM. Anomalous months, especially AC, typically covered areas smaller than the whole territory of Poland, and only seven covered all the country. All the nationwide wintertime

ACMs were recorded by the middle of the period while all such months in summer occurred in the early 21st century.

Research shows that both in Poland and elsewhere in Europe the climate has been warming more through an increase in the frequency of anomalously warm months than by a decline in anomalously cold months and that the warming was also manifested by an expansion in the geographical extent of anomalously warm months in the early 21st century.

The transient climate of Poland is typified by high temperature variability. During the study period, temperature anomalies covering the whole territory of the country occurred on average once every ten years, but were distributed very unequally in time.

keywords: month anomaly cold, month anomaly warm, climate change, Poland