

ANOMALIE TERMICZNE NA ISLANDII (1951-2010)

THE THERMAL ANOMALIES IN ICELAND (1951-2010)

Krzysztof Mitka

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
krzy.mi25@gmail.com

Zarys treści. Opracowanie wykonano na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza z 10 stacji meteorologicznych na Islandii z okresu 1951-2010. Za miesiące anomalnie zimne (AZM) lub ciepłe (ACM) przyjęto takie, w których temperatura powietrza różniła się od średniej wieloletniej przynajmniej o 2 odchylenia standardowe. Przeanalizowano przebieg roczny, częstość, rozkład przestrzenny i wielkość anomalii.

W analizowanym wieloleciu stwierdzono wystąpienie 143 anomalnie zimnych i 133 anomalnie ciepłych miesięcy. Najczęściej występowały one na pojedynczych stacjach, ale były też takie anomalie, które pojawiły się na 8-9 stacjach jednocześnie. Wielkość anomalii obu kategorii mieściła się w zakresie 1,1-8,0°C. Najwięcej AZM wystąpiło w dekadzie 1971-1980, a ACM w latach 2001-2010.

Słowa kluczowe: anomalia termiczna, miesiąc anomalnie ciepły, miesiąc anomalnie zimny, odchylenie standardowe, Islandia.

1. Wstęp

Wiele współczesnych badań wskazuje na postępujące ocieplenie klimatu Europy (IPCC 2013), które przejawia się coraz częstszym występowaniem skrajnie wysokiej temperatury powietrza. Zmiany te są jeszcze lepiej widoczne we wrażliwym środowisku naturalnym Arktyki, gdzie od połowy lat 1990. zmniejsza się powierzchnia lodowców, lodów morskich, wieloletniej zmarzliny i pokrywy śnieżnej (Przybylak 2006). Mimo dodatnich trendów temperatury powietrza, zdarzają się też miesiące niezwykle zimne (Hansen i Lebedeff 1987, Marsz 2010, IPCC 2013, Twardosz i Kossowska-Cezak 2013). Dotyczy to również podbiegunowego obszaru atlantycko-europejskiego, w tym Islandii, gdzie występuje duże zróżnicowanie przestrzenne i czasowe anomalnych warunków termicznych (Twardosz i Kossowska-Cezak 2013). W przebiegu wieloletnim anomalie te różnią się częstością, wielkością i zasięgiem przestrzennym. W przebiegu temperatury powietrza w XX wieku są widoczne trzy okresy: ocieplenie Arktyki w latach 1930., ochłodzenie Arktyki Atlantyckiej z minimum przypadającym na lata 1970. oraz współczesne ocieplenie tego obszaru z początkiem określonym na lata 1980., które trwa nadal (Marsz i Styszyńska 2011).

Celem tego opracowania jest określenie częstości, czasu trwania i zasięgu przestrzennego anomalii termicznych: miesięcy anomalnie ciepłych (ACM) i zimnych (AZM) na Islandii w latach 1951-2010.

Pogodę i klimat Islandii wyspy charakteryzują silne wiatry, częste opady atmosferyczne, łagodne i chłodne okresy letnie (Ólafsson i in. 2007, Haraldur i in. 2007). Z klimatologicznego punktu widzenia Islandia znajduje się w ważnym dla Europy obszarze powstawania niżów. Ich rozwojowi sprzyja silny

kontrast termiczny między pokrytą lodem Grenlandią i Morzem Arktycznym a cieplejszym Oceanem Atlantyckim. Kontrast termiczny jest szczególnie widoczny w okresie zimowym. Utrzymuje się w tym rejonie stały Niż Islandzki, który stanowi ważne centrum aktywności cyklonalnej północnej hemisfery. Pogodę i klimat wyspy cechuje także duża zmienność pogody, uwarunkowana napływającymi różnymi masami powietrza. Położenie w obszarze, gdzie graniczą ze sobą zimne masy powietrza arktycznego oraz cieplejsze masy powietrza polarnego, pochodzące z Atlantyku powoduje występowanie dużych różnic gradientu ciśnienia atmosferycznego. Ponadto nie bez znaczenia dla pogody jest górzysty charakter wyspy oraz występowanie ciepłych i chłodnych prądów morskich. Rozpoznanie problemu występowania anomalii termicznych może przyczynić się do lepszego zrozumienia współczesnych zmian temperatury powietrza w Europie i na Islandii (Einarsson 1976, Martyn 2000, O'Dell 1961, Ogilvie 1984).

Na obszarze Arktyki Atlantyckiej zmienność temperatury powietrza z roku na rok jest bardzo duża. Bezpośrednią przyczyną tych często bardzo dużych i krótkookresowych wahań temperatury jest cyrkulacja atmosferyczna. Inne znane mechanizmy kształtujące przebieg temperatury powietrza nie dają podobnych skutków (Rigor i in. 1999, Marsz 2010). Jednocześnie temperatura powietrza wykazuje słabe i niestabilne w czasie związki z wskaźnikami wielkoskalowej cyrkulacji atmosferycznej, takimi jak Oscylacja Arktyczna (AO – *Arctic Oscillation*) i Oscylacja Północnoatlantycka (NAO – *North Atlantic Oscillation*). W zależności od przyjmowanego okresu badań znak korelacji oraz jej wielkość może być bardzo różna (Hanna i in. 2006, Marsz 2010).

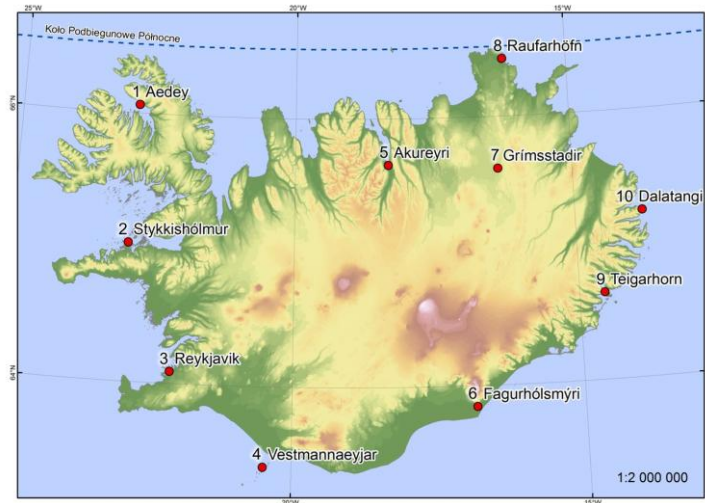
2. Materiały i metody opracowania

Podstawę opracowania stanowią średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z 10 stacji meteorologicznych na Islandii z 60-lecia 1951-2010. Większość z nich znajduje się na wybrzeżu, poniżej 100 m n.p.m. Stacje wykorzystane w opracowaniu zostały na ryc. 1 ponumerowane z zachodu na wschód, a ich charakterystyki położenia i termiczne podano w tabeli 1.

Tab. 1. Charakterystyki położenia stacji i średnia temperatura powietrza (t) w styczniu (I), lipcu (VII) i roku (1951-2010)

Table 1. Stations location characteristics and average temperature (t) in January (I), July (VII) and annual (1951-2010).

Nr No	Stacja Station	φ N	λ W	Wysokość (m n.p.m.) Elevation (m a.s.l.)	t (°C)		
					I	VII	Rok -Year
1	Aedey	66°06'	22°39'	21	-1,5	9,7	3,3
2	Stykkishólmur	65°04'	22°43'	15	-0,9	10,2	3,9
3	Reykjavik	64°08'	21°54'	52	-0,2	11,0	4,7
4	Vestmannaeyjar	63°24'	20°17'	118	1,5	10,0	5,1
5	Akureyri	65°40'	18°04'	27	-1,7	10,9	3,7
6	Fagurhólsmýri	63°52'	16°38'	16	0,5	10,6	4,9
7	Grímsstadir	65°38'	16°07'	384	-4,2	6,5	0,8
8	Raufarhöfn	66°27'	15°57'	8	-1,6	8,5	2,6
9	Teigarhorn	64°41'	15°13'	23	1,3	6,9	4,1
10	Dalatangi	65°16'	13°35'	9	0,7	8,2	3,8



Ryc. 1. Stacje meteorologiczne na Islandii uwzględnione w opracowaniu

Fig. 1. Meteorological stations in Iceland included in the study.

Dane wykorzystane w opracowaniu pozyskano ze źródeł internetowych. Serie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza z 6 stacji (Aedey, Stykkishólmur, Reykjavík, Akureyri, Fagurhólsmyri, Grímsstaðir) pobrano ze strony islandzkiego biura meteorologicznego (*Icelandic Met Office*), a z pozostałych 4 stacji (Vestmannaeyjar, Raufarhófn, Teigarhorn, Dalatangi) uzyskano z holenderskiej bazy danych *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D, www.eca.knmi.nl). Serie temperatury z czterech stacji (Aedey, Fagurhólsmyri, Raufarhófn i Teigarhorn) nie były kompletne. Brakujące wartości temperatury uzupełniono na podstawie stacji sąsiednich metodą stałości różnic (Kossowska-Cezak i in. 2000). W obu uwzględnionych bazach internetowych serie temperatury powietrza były zweryfikowane pod względem jednorodności. Są to zatem dane wiarygodne. Stanowiły one podstawę wielu opracowań naukowych.

Wykorzystane w opracowaniu miesięczne wartości wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), uzyskano ze strony internetowej amerykańskiego biura meteorologicznego NOAA – *National Weather Service, Climate Prediction Center* (www.cpc.ncep.noaa.gov).

Za miesiące anomalne pod względem termicznym przyjęto te, w których średnia temperatura powietrza (t) różniła się od średniej wieloletniej (t_{sr}) z 60-lecia 1951-2010 na danej stacji przynajmniej o 2 odchylenia standardowe (2σ). Wyłoniono zatem dwie kategorie miesięcy: anomalnie zimne AZM ($t \leq t_{sr} - 2\sigma$) i anomalnie ciepłe ACM ($t \geq t_{sr} + 2\sigma$). Metoda ta jest często stosowana w badaniach klimatologicznych do wyłaniania anomalii termicznych (np. Filipiuk, Kaszewski, 2000; Twardosz, Kossowska-Cezak, 2013).

3. Częstość miesięcy anomalnie zimnych (AZM) i anomalnie ciepłych (ACM)

W latach 1951-2010 na 10 stacjach w Islandii stwierdzono łącznie 143 przypadki AZM. Jest to niecałe 2% wszystkich miesięcy w 60-leciu. Przeciętnie na jednej stacji wystąpiło 14,3 niezwykle zimnych miesięcy. Stwierdzono jednak znaczne zróżnicowanie ich występowania w zależności od

stacji. Najwięcej AZM wystąpiło w Dalatangi (19) i Akureyri (18), a najmniej w Teigarhorn (7), czyli stacji położonej zaledwie około 100 km na południe od Dalatangi. W badanym 60-leciu zdecydowanie najwięcej AZM wystąpiło w listopadzie (22) – tab. 2. Dużą liczbą przypadków AZM wyróżnił się też kwiecień (18), lipiec (17) i październik (15). Najmniej AZM było w styczniu oraz we wrześniu – po 5 przypadków. Ogólnie najmniej AZM było zimą – 25 (18%), a najwięcej jesienią – 42 (30%). Na stacjach położonych w północno-wschodniej Islandii (Raufarhöfn i Dalatangi) liczba przypadków AZM była szczególnie duża (odpowiednio 16 i 18).

Tab. 2. Ogólna liczba (wiersz pierwszy) i udział procentowy (drugi wiersz) przypadków miesięcy anomalnie zimnych (AZM) i anomalnie ciepłych (ACM) na Islandii (1951-2010)

Table 2. Total number (first row) and percentage (second row) of anomalously cold (ACM) and warm (AWM) month in Iceland (1951-2010).

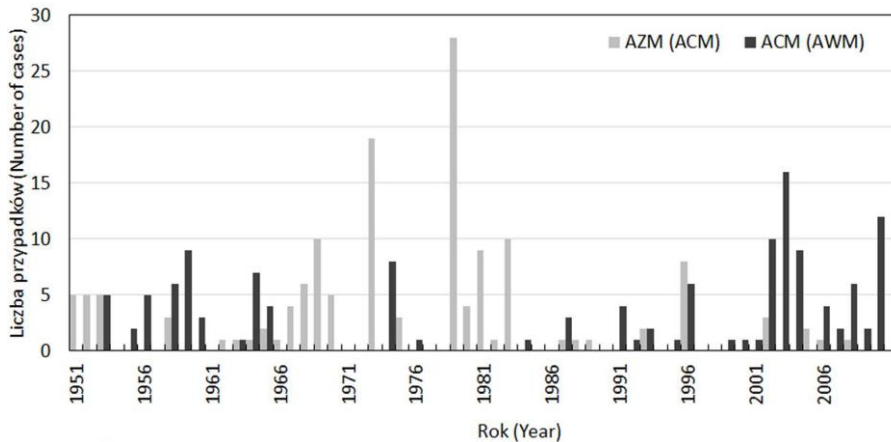
Miesiące Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
AZM	5	10	11	18	12	10	17	8	5	15	22	10	143
(ACM)	3,5	7,0	7,7	12,6	8,4	7,0	11,9	5,6	3,5	10,5	15,4	7,0	100
ACM	2	8	10	14	5	14	13	19	15	11	7	15	133
(AWM)	1,5	6,0	7,5	10,5	3,8	10,5	9,8	14,3	11,3	8,3	5,3	11,3	100

W ciągu 60 lat na 10 uwzględnionych stacjach stwierdzono łącznie 133 przypadki ACM, to jest 1,9% wszystkich rozpatrywanych miesięcy. Przeciętnie na każdej stacji wystąpiło 13,3 miesięcy anomalnie ciepłych. Na poszczególnych stacjach liczba ta była zróżnicowana. Najwięcej przypadków ACM wystąpiło w Raufarhöfn (19), a najmniej w Teigarhorn (7). Obie te stacje znajdują się w północno-wschodniej części Islandii. Więcej miesięcy anomalnie ciepłych wystąpiło we wschodniej (65) niż zachodniej (56) części kraju. W badanym okresie najwięcej ACM było w sierpniu (19). W trzech miesiącach letnich było ich łącznie 46, czyli prawie 35% wszystkich ACM. Najmniej przypadków ACM stwierdzono w styczniu, tylko 2. Zimą było ich 24 (19%), czyli najmniej spośród wszystkich pór roku.

143 przypadki AZM stwierdzono tylko w 47 miesiącach w okresie 1951-2010 (6,5% wszystkich miesięcy). Częstość ich pojawiania się w poszczególnych latach była także zróżnicowana. Wahala się od zupełnego ich braku do 19 przypadków AZM w 1973 i 28 przypadków w 1979 roku (ryc. 2). Niezwykle zimnych miesięcy nie stwierdzono w 30 latach badanego 60-lecia. Od roku 1983 AZM pojawiały się sporadycznie.

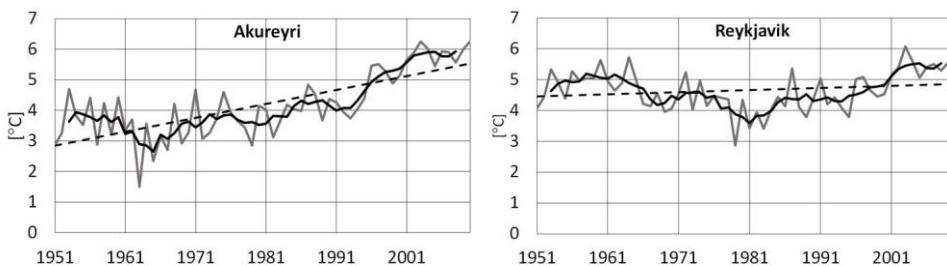
133 przypadki ACM stwierdzono w 58 miesiącach 60-lecia 1951-2010 (8,1% wszystkich miesięcy). Oznacza to, że występowały równocześnie na wielu stacjach, podobnie jak w przypadku AZM. W poszczególnych latach ich liczba zmieniała jednak się znacznie. Od zupełnego braku do 16 przypadków w roku 2003 (ryc. 2). Miesiące niezwykle ciepłe nie wystąpiły w 31 latach, z których połowa przypadła na 1966-1973 i 1977-1983, czyli na okres charakteryzujący się spadkiem temperatury powietrza w Arktyce, między tak zwanym ociepleniem lat 1930. oraz współczesnym wzrostem temperatury w tej części Arktyki Atlantyckiej. Według Marsza i Styszyńskiej (2011) obecne ocieplenie na tym obszarze rozpoczęło się około roku 1980. i było opóźnione w stosunku do globalnego wzrostu temperatury powietrza. Na wszystkich uwzględnionych w opracowaniu stacjach trendy średniej rocznej temperatury powietrza były dodatnie. Nie wszędzie jednak były istotne statystycznie na poziomie 0,05. Trendy

istotne wystąpiły na 4 stacjach (Aedey, Stykkishólmur, Fagurhólsmyri – 0,1°C/10 lat, Raufarhöfn, Grímsstaðir – 0,2°C/10 lat). Największy trend dodatni 0,5°C/10 lat stwierdzono w Akureyri, ale nie był on istotny statystycznie (ryc. 3). Najwięcej (16) ACM wystąpiło w roku 2003.



Ryc. 2. Przebieg wieloletni liczby przypadków anomalnie zimnych (AZM) i anomalnie ciepłych (ACM) miesięcy na Islandii w latach 1951-2010

Fig. 2. Multi-annual variation of the number of anomalously cold (AZM) and anomalously warm (AWM) months in Iceland in the period 1951-2010.



Ryc. 3. Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza w Akureyri i Reykjaviku (1951-2010).

Objaśnienia: linia szara – wartości coroczne, linia czarna – średnie konsekwentne 5-letnie

Fig. 3. Mean annual air temperature in Akureyri and Reykjavik (1951-2010).

Explanation: gray line – the annual values, black line – five years average.

Zmiany wieloletnie temperatury powietrza na Islandii pozostają w słabym związku z Oscylacją Północnoatlantycką (NAO). Potwierdziła to przeprowadzona analiza korelacji między średnią miesięczną temperaturą powietrza na każdej z 10 stacji z miesięcznymi wartościami wskaźnika NAO w badanym 60-leciu. Otrzymane wartości współczynników korelacji były niskie (najczęściej poniżej 0,2), zróżnicowane pod względem kierunku zależności i w większości nieistotne statystycznie (78% otrzymanych wyników). Na przykład podczas AZM o największych zasięgach w listopadzie i grudniu 1973 roku (po 9 stacji) oraz w marcu i maju 1979 roku (8 i 9 stacji) miesięczne wartości wskaźnika

NAO wyniosły odpowiednio -0,93 i 0,32 (najpierw faza ujemna, a w następnym miesiącu dodatnia) oraz 0,78 i -1,03 (początkowo faza dodatnia, a następnie ujemna). Wskazywałoby to na różne warunki cyrkulacji atmosferycznej w czasie wystąpienia anomalii ujemnych w następujących po sobie miesiącach omawianych dwóch lat. Jednak w marcu wartości przeprowadzonej korelacji na żadnej stacji nie były istotne statystycznie, w maju i listopadzie tylko na jednej (Dalatangi), a w grudniu na 3 (Stykkishólmur, Reykjavik, Vestmannaeyjar). Najwyższa istotna statystycznie wartość korelacji wyniosła 0,55 w październiku na stacji Grímsstaðir.

Zmiany wieloletnie miesięcy anomalnych pod względem termicznym dobrze ilustruje liczba takich miesięcy w kolejnych 10-letniach rozpatrywanego 60-letnia (tab. 3). Najwięcej AZM wystąpiło w 10-letniu 1971-1980 (tab. 3). Stwierdzono ich wtedy 54, czyli więcej niż jedną trzecią (38%) wszystkich przypadków w omawianym 60-letniu, przy czym więcej niż połowa z tych 54 przypadków wystąpiła tylko w jednym roku 1979 (na analizowanych 10 stacjach). Najmniej AZM było w ostatnim 10-letniu 2001-2010 – 7 przypadków, a niewiele więcej w 10-letniu poprzedzającym. Widać zatem, że ich częstość znacznie zmniejszyła się w analizowanym okresie. Natomiast ACM zdecydowanie najczęściej pojawiały się w ostatnim 10-letniu 2001-2010. Wystąpiły wtedy 62 przypadki anomalii dodatnich, co stanowi prawie połowę (47%) wszystkich ACM (tab. 3). W ostatnim badanym dziesięcioleciu miesięczne wartości wskaźnika NAO przyjmowały częściej wartości ujemne (na 27 ACM spośród 38). Dużo ACM było także w 10-letniu 1951-1960 (30 przypadków). Najmniej przypadków anomalnie ciepłych miesięcy wystąpiło w dekadzie 1981-1990 (tylko 4).

Tab. 3. Liczba miesięcy anomalnie zimnych (AZM) i anomalnie ciepłych (ACM) na Islandii w kolejnych 10-letniach (1951-2010)

Table 3. Number of anomalously cold (ACM) and anomalously warm (AWM) months in decades in Iceland (1951-2010)

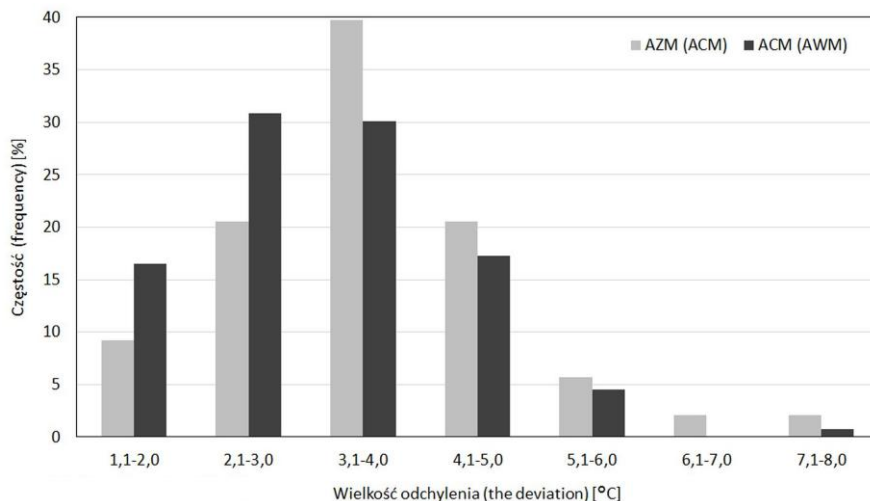
Okres - Period	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	1951-2010
AZM (ACM)	18	31	54	23	10	7	143
ACM (AWM)	30	12	9	4	16	62	133

4. Wielkość i długotrwałość anomalii

W badanym wieloleciu wielkość ujemnej anomalii temperatury powietrza (Δt) podczas AZM najczęściej osiągała od -3,1 do -4,0°C (prawie 40% wszystkich anomalii). Zakres tej anomalii wynosił od -1 do -7,3°C (ryc. 3). Największa wartość tej kategorii anomalii temperatury ($\Delta t = -7,3^\circ\text{C}$) wystąpiła w lipcu 1982 ($t_{\text{sr}} = -0,5^\circ\text{C}$) i listopadzie 1973 ($t_{\text{sr}} = -2,7^\circ\text{C}$) w Teigarhorn. Podobną wielkość anomalii ($\Delta t = -7,2^\circ\text{C}$) stwierdzono w lipcu 1987 ($t_{\text{sr}} = -0,4^\circ\text{C}$) na tej samej stacji. Duże wartości odchylenia ujemnego temperatury od średniej wieloletniej, większe od 5°C, występowały najczęściej na stacjach położonych w północno-wschodniej części Islandii (Akureyri, Grímsstaðir i Raufarhófn). Najmniejsze odchylenia temperatury były najczęściej na stacjach zlokalizowanych w południowo-zachodniej (Fagurhólsmýri, wyspa Vestmannaeyjar) części kraju. Warto zaznaczyć, że jest to obszar w zasięgu oddziaływania ciepłego Prądu Irmingera.

Anomalie temperatury wyrażone w wartościach względnych (wielkości odchylenia standardowego, σ) podczas AZM, w większości przypadków, nie były duże – do $-2,5\sigma$ (77% wszystkich AZM), co można uznać za cechę charakterystyczną klimatów morskich. Ujemne odchylenia temperatury

powietrza większe od -3σ wystąpiły w maju 1979 r., kiedy AZM wystąpił na 9 stacjach (bez Teigarhorn). W Vestmannaeyjar Δt osiągnęło największą wartość $-4,3\sigma$.



Ryc. 4. Częstość (%) anomalii temperatury powietrza podczas miesięcy anomalnie zimnych (AZM) i anomalnie ciepłych (ACM) na Islandii w całym roku (1951–2010)

Fig. 4. Frequency (%) of anomalies of a given value during anomalously cold (ACM) and warm (AWM) months in Iceland in a year (1951-2010).

Zakres wartości dodatnich odchyień temperatury powietrza od średniej wieloletniej (Δt) był podobny do zakresu odchyień ujemnych (1-8°C; ryc. 3). Częściej jednak osiągały one mniejsze wartości (2,1-3,0°C, ponad 30% ACM). Największe odchylenie dodatnie temperatury wyniosło 7,5°C (2,3 σ) w grudniu 1995 roku na stacji Teigarhorn. Średnia miesięczna temperatura wyniosła wtedy 10,1°C ($t_{sr.} = 2,6^\circ\text{C}$). Pozostałe wielkości Δt podczas ACM rzadko przekraczały 5°C. Podczas ACM wielkości odchylenia temperatury od średniej 60-letniej, podobnie jak w przypadku AZM, osiągały wartości do 2,5 σ (84,2% wszystkich ACM). Największe odchylenie względne średniej temperatury powietrza osiągnęło 3,3 σ na stacji Fagurhólmýri (sierpień 2003).

Zarówno AZM jak i ACM występowały na ogół na danej stacji pojedynczo, ale niekiedy układały się w ciągi 2-miesięczne. Łącznie stwierdzono w całym analizowanym okresie 13 takich ciągów AZM oraz 8 ACM. Ciągi AZM wystąpiły w 4 latach: 1968, 1973, 1983 i 2005, pojawiały się prawie na wszystkich stacjach (bez Teigarhorn) i najczęściej w miesiącach zimowych. Szczególnie jest to widoczne w listopadzie i grudniu 1973 roku, które były anomalnie zimnymi na 8 stacjach (bez wspomnianego już Teigarhorn i Reykjaviku). Ponadto anomalnie zimne były maj i czerwiec 1968 w Fagurhólmýri i Dalatangi, lipiec i sierpień 1983 w Reykjaviku i Vestmannaeyjar oraz sierpień i wrzesień 2005 w Raufarhöfn. Dwumiesięczne ciągi ACM pojawiły się w 5 latach, głównie na początku XXI wieku. Były to anomalnie ciepły listopad i grudzień 2002 w Vestmannaeyjar i Fagurhólmýri, luty i marzec w 2003 w Raufarhöfn, marzec i kwiecień 2008 w Teigarhorn, czerwiec i lipiec 2010 w Reykjaviku i Raufarhöfn. Ponadto anomalnie ciepły były też lipiec i sierpień 1955 w Raufarhöfn i Dalatangi.

5. Zasięg przestrzenny anomalnie zimnych (AZM) i ciepłych (ACM) miesięcy

Spośród 47 AZM 20 (43%) wystąpiło tylko na jednej stacji. Najwięcej w Raufarhöfn (5), Teigarhorn i Grímsstadir (po 3). AZM obejmujących przynajmniej 2 stacje było 8 (17%). Najczęściej występowały w Akureyri (4) i Dalatangi (3). Tylko w dwóch przypadkach anomalnie zimne miesiące o zasięgu 2 stacji wystąpiły w Reykjavíku i Vestmannaeyjar (VII i VIII 1983), czyli stacjach sąsiadujących ze sobą. Ogólnie liczba AZM o zasięgu obejmującym do 5 stacji wyniosła 40 (85%), a o zasięgu przynajmniej 6 stacji (ponad 50% uwzględnionych stacji) tylko 7 (15%). AZM, które wystąpiły na przynajmniej 2 stacjach zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Kalendarz anomalnie zimnych miesięcy (AZM) występujących na przynajmniej 2 stacjach na Islandii (1951-2010); LS – liczba stacji

Table 4. Calendar of anomalously cold months (ACM) at least on 2 stations in Iceland (1951-2010); NS – number of stations.

Rok Year	Miesiąc Month	LS NS	Stacje (wg tab. 1) Stations (as in tab. 1)	Rok Year	Miesiąc Month	LS NS	Stacje (wg tab. 1) Stations (as in tab. 1)
1951	IV	5	2, 3, 4, 6, 10	1979	I	5	4, 6, 8, 9, 10
1952	VI	5	1, 2, 5, 7, 8		III	8	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10
1953	IV	5	1, 2, 3, 4, 5		V	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
1958	VIII	2	2, 5		VII	3	6, 8, 10
1967	III	2	1, 5		IX	3	1, 5, 10
1968	V	2	6, 10	1980	X	4	2, 3, 5, 10
	VI	2	6, 10	1981	X	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10
	X	2	5, 10	1983	IV	6	2, 3, 4, 5, 6, 7
1969	XI	5	4, 6, 7, 8, 10		VII	2	3, 4
1970	II	4	6, 8, 9, 10		VIII	2	3, 4
	VII	5	1, 2, 5, 8, 10	1993	VII	2	5, 7
1973	XI	9	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1996	XI	8	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10
	XII	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10	2002	II	3	1, 2, 3
1975	VI	3	2, 4, 6				

W latach 1951-2010 wystąpiło 6 AZM, które objęły swoim zasięgiem niemal całą Islandię (przynajmniej 8 stacji jednocześnie). Były to miesiące głównie w chłodnej połowie roku, przy czym 4 z nich wystąpiły w latach 1971-1980, a 2 w latach 1981-1990. Na 9 stacjach jednocześnie AZM wystąpiły w listopadzie (bez Reykjavíku) i grudniu (bez Teigarhorn) 1973 roku oraz w maju 1979 roku (bez Teigarhorn). Wielkości anomalii wyniosły wtedy odpowiednio od -3,0 (Vestmannaeyjar) do -7,3°C (Teigarhorn) oraz od -3,4 (Vestmannaeyjar i Dalatangi) do -4,7°C (Akureyri i Grímsstadir). Wyjątkowy był także maj roku 1979, kiedy anomalią ujemną temperatury objętych było też 9 stacji (Δt od -3,6 w Vestmannaeyjar do -7,0°C w Grímsstadir).

Anomalnie ciepłe miesiące również występowały najczęściej pojedynczo (33 ACM z 58 – 57%). Najwięcej takich miesięcy było w Raufarhöfn (11) i Teigarhorn (5). Obie stacje są położone we wschodniej części wyspy. Raufarhöfn jest zlokalizowane powyżej 66° szerokości geograficznej północnej i wyróżnia się największą liczbą ACM (19), ale o małym zasięgu. Tylko w Stykkishólmur nie było przypadku pojedynczego anomalnie ciepłego miesiąca. ACM, które wystąpiły jednocześnie na 2 stacjach było 9 (ok. 15%) i dotyczyły najczęściej stacji sąsiadujących. W kalendarzu ACM uwzględniono przypadki o zasięgu co najmniej 2 stacji (tab. 5). Ogólnie ACM o małym zasięgu (1-5 stacji) było

najwięcej (51 – 88%), a takich charakteryzujących się dużym zasięgiem (6-9 stacji) zdecydowanie mniej (7-12%). Największym zasięgiem dodatniej anomalii temperatury powietrza charakteryzował się październik w 1959 roku. Objął on 9 stacji, na których wielkość bezwzględna tej anomalii była zróżnicowana (od 2,1 w Vestmannaeyjar do 5,9°C w Grímsstadir). Wyjątkiem była stacja Teigarhorn, na której temperatura powietrza wyniosła 0,4°C, przy średniej wieloletniej 6,6°C, ale warunek 2 odchyłeń standardowych nie został spełniony. Brak ACM w tym miejscu i większa stabilność temperatury, mogą być spowodowane bardziej morską cechą klimatu tego obszaru, który jest kształtowany m.in. pod wpływem ciepłego Prądu Irmingera. Świadczyć o tym mogą wyższe średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w porównaniu do stacji sąsiednich (ponad 2°C więcej w październiku i listopadzie niż w Dalatangi). W kwietniu 1974 (bez Aedey i Raufarhöfn) i sierpniu 2003 (bez Raufarhöfn i Teigarhorn) roku wystąpiły dwa przypadki ACM na 8 stacjach jednocześnie. Bezwzględne wielkości anomalii wyniosły odpowiednio od 2,3 (Vestmannaeyjar) do 5,1°C (Grímsstadir) oraz od 1,9 (Dalatangi) do 3,5°C (Grímsstadir).

Tab. 5. Kalendarz anomalnie ciepłych miesięcy (ACM) występujących na przynajmniej 2 stacjach na Islandii (1951-2010); LB – liczba stacji

Table. 5. Calendar of anomalously hot months (AWM) at least on 2 stations in Iceland (1951-2010); NS – number of stations.

Rok Year	Miesiąc Month	LB NS	Stacje (wg tab. 1) Stations (as in tab. 1)	Rok Year	Miesiąc Month	LB NS	Stacje (wg tab. 1) Stations (as in tab. 1)
1953	VI	2	5, 7	2002	XI	2	4, 6
	XII	3	5, 8, 10		XII	7	2, 3, 4, 5, 6, 7, 10
1955	VII	2	8, 10	2003	IV	2	2, 3
	VIII	2	8, 10		VI	3	1, 2, 3
1956	XI	3	2, 3, 5	VIII	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10	
1958	IX	6	2, 3, 4, 5, 6, 7	2004	VIII	5	1, 2, 3, 4, 6
1959	X	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10	2007	VI	2	1, 2
1964	III	7	2, 3, 4, 5, 6, 7, 10	2008	IV	2	8, 9
1965	III	3	2, 3, 4		VII	2	2, 6
1974	IV	8	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10	2010	VI	4	1, 2, 3, 8
1987	XII	3	2, 3, 4		VII	3	3, 4, 6
1996	IX	6	1, 2, 5, 6, 8, 10		VIII	2	2, 8
1991	VII	4	1, 3, 6, 7				

6. Podsumowanie i wnioski

W 60-leciu 1951-2010 na Islandii w 29 latach wystąpiło 143 anomalnie zimnych i 133 anomalnie ciepłych miesięcy. AZM pojawiły się w 47, a ACM w 58 miesiącach badanego 60-lecia. AZM i ACM występowały najczęściej na pojedynczych stacjach (20 AZM i 33 ACM) lub na dwóch stacjach równocześnie (8 AZM i 9 ACM). Anomalne wartości temperatury powietrza nie zawsze występowały na stacjach sąsiednich. Wskazuje to na duże znaczenie czynników lokalnych lub innych ograniczonych w przestrzeni, wpływających na duże spadki lub wzrosty temperatury powietrza na poszczególnych stacjach. Na Islandii, której ukształtowanie terenu ma wyżynno-górski charakter, są to zimne wiatry katabatyczne, zachmurzenie, a nawet cienie opadowe. Liczne pasma górskie na wyspie mogą skutecznie zatrzymywać adwekcję mas powietrza, a lokalnie od ukształtowania terenu zależy prędkość

i kierunek wiatru. Niektóre stacje uwzględnione w opracowaniu (np. Akureyri, Teigarhorn) znajdują się na wybrzeżu w głębokich fiordach lub zatokach osłoniętych górami. Takie ukształtowanie terenu może wpływać na częstsze zaleganie mgieł i kształtowanie się inwersji termicznych (Einarsson 1976).

AZM występowały nieco częściej niż ACM i miały większy zasięg przestrzenny. Charakteryzowały się także większymi różnicami temperatury powietrza względem średniej wieloletniej. Uzyskane wyniki nawiązują zatem do rezultatów wcześniejszych badań, np. Rigora i in. (1999) oraz Twardosza i Kossowskiej-Cezak (2012, 2013), którzy zajmowali się występowaniem niezwykle zimnych i ciepłych miesięcy w strefie klimatów podbiegunowych obszaru atlantycko-europejskiego w latach 1951-2010. Autorzy wyróżnili w badanym okresie 132 AZM i 127 ACM, które występowały najczęściej pojedynczo lub na dwóch stacjach sąsiednich. Analizowane przez autorów AZM cechowały się większym zasięgiem przestrzennym i wielkością bezwzględnej anomalii. AZM na Islandii o dużym zasięgu anomalii temperatury powietrza (8-9 stacji) było 2-krotnie więcej niż ACM (odpowiednio 6 i 3).

Skrajne wielkości odchylenia temperatury podczas obu kategorii anomalnych miesięcy nieznacznie przekraczały 7°C. Średnia liczba AZM i ACM przypadających na poszczególne miesiące w roku była zróżnicowana i wyniosła odpowiednio 14 (od 5 w styczniu i wrześniu do 22 w październiku) i 13 (od 2 w styczniu i 19 w sierpniu) przypadków. Najwięcej AZM przypadło na październik i listopad (łącznie 25,9%). W przypadku niezwykle ciepłych miesięcy, wyróżnił się okres letni od czerwca do września, kiedy wystąpiło 61 ACM (45,9% wszystkich).

Zdecydowanie najcieplejsze było ostatnie 10-lecie badanego okresu (1951-2010) z największą częstością ACM (62 przypadki – 46,6% wszystkich miesięcy) i najmniejszą częstością AZM (7 przypadków 4,9% wszystkich miesięcy). Wzrost liczby niezwykle ciepłych miesięcy na Islandii na początku XXI wieku może być uznany za przejaw współczesnego ocieplenia klimatu, które jest obecnie obserwowane w Europie (Rigor i in. 1999, IPCC 2013). Jako najchłodniejsze wyróżniło się 10-lecie 1971-80. Wystąpiły wtedy aż 54 AZM (w tym samym 10-leciu 9 ACM), co stanowi prawie 40% wszystkich AZM w 60-leciu.

Na podstawie uzyskanych wyników zwrócono uwagę na dwuzielność Islandii, tj. obszary: północno-wschodni o ostrzejszych i południowo-zachodni o łagodniejszych cechach klimatu. Rozróżnienie to może być związane z występowaniem na wschodzie zimnej odnogi Prądu Wschodniogrenlandzkiego ochładzającego klimat wyspy, a na południowo-zachodzie łagodzącego ten wpływ ciepłego Prądu Irmingera. Zagadnienie to wymaga weryfikacji i dalszych badań. Występowaniu AZM sprzyja adwekcja mroźnych (arktycznych) mas powietrza z północy i północno-zachodu (Einarsson 1976, Twardosz 2013). Brak przypadków równoczesnego wystąpienia anomalii ujemnej i dodatniej w różnych częściach wyspy wskazuje, że wiodącą rolę w pojawianiu się anomalii termicznych na Islandii ma cyrkulacja makroskalowa. Cyrkulacja atmosferyczna odpowiada za występowanie, nierzadko bardzo silnych, ale zwykle krótkookresowych wahań temperatury powietrza. Współczesne badania nie wskazują innych mechanizmów kształtujących rozkład temperatury powietrza, które miałyby podobne skutki (Marsz 2010).

Literatura

Einarsson, M.Á, 1976, *Climate of Iceland*. Reykjavik, Íðunn.

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

- Hanna E., Jónsson T., Ólafsson J., Valdimarsson H., 2004, *An analysis of Icelandic climate since the 19th*. *International Journal of Climatology*, 24: 1193-1210.
- Hanna E., 2006, *Icelandic Coastal Sea Surface Temperature Records Constructed: Putting the Pulse on Air-Sea-Climate Interactions in the Northern North Atlantic. Part I: Comparison with HadISST1 Open-Ocean Surface Temperatures and Preliminary Analysis of Long-Term Patterns and Anomalies of SSTs around Iceland*. *Journal of Climate*, 19, American Meteorological Society: 5652-5666.
- Hansen J., Lebedeff S., 1987, *Global trends of measured surface air temperature*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 92 (D11): 13345-13372.
- Haraldur O., Furger M., Brummer B., 2007, *The weather and climate of Iceland*. *Meteorologische Zeitschrift*, 16 (1): 5-8.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (red.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lemkiewicz M., 2000, *Meteorologia i klimatologia. Pomiar, obserwacje, opracowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Łódź.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012, *Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010)*, Cz. I. *Niezwykłe gorące miesiące letnie*. *Przegląd Geofizyczny*, 3-4: 299-324.
- Marsz A. A., 2010, *Rola międzystrefowej cyrkulacji południkowej nad wschodnią częścią Atlantyku Północnego w kształtowaniu niektórych cech klimatu Arktyki Atlantycznej*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20: 7-29.
- Marsz A., Styszyńska A., 2011, *Rozkład przestrzenny i skala ocieplenia Arktyki Atlantycznej w 30-leciu 1980-2009 i jej porównanie z "wielkim ociepleniem Arktyki" lat 30. XX wieku*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 21: 91-114.
- Martyn D., 2000, *Klimaty Kuli Ziemskiej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- O'Dell A., 1961, *Islandia*. [w:] A. O'Dell, *Kraje Skandynawskie*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 348-379.
- Ogilvie A., 1984, *The past climate and sea-ice record from Iceland*, Part 1: Data to AD 1780. *Climatic Change*: 131-152.
- Ólafsson H., Furger M., Brummer B., 2007, *The weather and climate of Iceland*. *Meteorologische Zeitschrift*, 16 (1): 5-8.
- Przybylak R., 2006, *Współczesne zmiany klimatu w Arktyce*. [w:] A. Styszyńska, A. Marsz (red.), *Zmiany klimatyczne w Arktyce i Antarktyce w ostatnim pięćdziesięcioleciu XX wieku i ich implikacje środowiskowe*. Akademia Morska, Gdynia: 93-110.
- Rigor I., Colony R., Martin S., 2000, *Variations in Surface Air Temperature Observations in the Arctic, 1979-97*. *Journal of Climate*, 13 (5): 896-914.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013, *Niezwykłe anomalie termiczne w strefie klimatu podbiegunowego obszaru Atlantyczko-Europejskiego*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 23: 93-105.

Wpłynęło: 19 listopada 2016 r., poprawiono: 17 grudnia 2016 r., zaakceptowano: 31 grudnia 2016 r.

Summary

The aim of this paper is to present anomalously cold (ACM) and warm (AWM) months in Iceland during the period of 1951-2010. The study was based on average monthly temperature data from 10

meteorological stations located in Iceland recorded during the period 1951-2010. The anomalously cold or warm months was defined as having an average temperature different from long-term average by at least 2 standard deviations.

There were found 143 ACM and 133 AWM in Iceland. Exceptionally cold months appeared in 47 and exceptionally warm months in 58 from 720 examined months. Both positive and negative anomalies mostly occur at single stations (20 ACM and AWM 33), but there were examples of anomalies of range 8 and 9 stations. ACM were a bit more frequent than AWM. Moreover, ACM had a greater range - were more frequent at the same time on several stations (3 times at 8 and also 9 of them). In case of AWM there were 2 anomalies at 8 and 1 anomaly on 9 the same stations. Extremely cold months appeared most often in north-eastern part of Iceland (Raufarhöfn, Dalatangi) and also stood out in the amount of deviation from the mean monthly air temperature (6 ACM within the range $-7,1$ to $-7,3^{\circ}\text{C}$). Long-lasting thermal anomaly was not varied. Exceptionally warm months occurred more often during the summer and then have a longer range at that time. ACM and AWM formed only a 2-month sequences. The number of ACM and AWM per month (respectively average 14 and 13 per month) were diverse. Anomalously cold months ranged from 5 (January and September) to 22 (October), and anomalously warm months from 2 (January) to 19 (August). Neither ACM and AWM showed no regular pattern of annual process.

Large-scale atmospheric circulation does not fully explain the occurrence of thermal anomalies in Iceland. The values of the correlation coefficient between the average monthly air temperature, and the values of the North Atlantic Oscillation index were low and very varied. Advection of cold air masses from north and north-west (Arctic) favors to the incidence of ACM (Einarsson 1976, Twardosz 2013).

Key words: thermal anomaly, anomalously warm month, anomalously cold month, Iceland, standard deviation.