

NIEZWYKŁE ANOMALIE TERMICZNE W STREFIE KLIMATU PODBIEGUNOWEGO OBSZARU ATLANTYCKO-EUROPEJSKIEGO

EXCEPTIONAL THERMAL ANOMALIES IN THE ATLANTIC-EUROPEAN AREA OF THE SUB-POLAR ZONE

Robert Twardosz¹, Urszula Kossowska-Cezak²

¹ – Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński,
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, email: r.twardosz@uj.edu.pl

² – Zakład Klimatologii, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski,
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

Zarys treści. Opracowanie oparto na wartościach średnich miesięcznych temperatury powietrza z 17 stacji meteorologicznych od Wybrzeży Grenlandii do Nowej Ziemi z 60-lecia 1951-2010. Do badań przyjęto stacje, w których temperatura średnia wieloletnia w najcieplejszym miesiącu, tj. w lipcu, nie przekracza 12°C. Za anomalne uznano te miesiące, w których temperatura różniła się od średniej wieloletniej przynajmniej o 2 odchylenia standardowe.

Zbadano przebieg roczny występowania miesięcy o anomalii ujemnej (niezwykle zimnych) i dodatniej (niezwykle ciepłych) oraz tendencji zmian ich częstości w 60-leciu, a także rozkład przestrzenny najbardziej rozległych anomalii. Stwierdzono, że w ciągu 60 lat były 132 miesiące niezwykle zimne i 127 miesięcy niezwykle ciepłych. Najwięcej miesięcy niezwykle zimnych (41) i najmniej niezwykle ciepłych (11) było w 10-leciu 1961-1970; najmniej miesięcy niezwykle zimnych (3) i najwięcej niezwykle ciepłych (57) było w 10-leciu 2001-2010. Wzrost częstości miesięcy ciepłych zaznaczył się głównie w zachodniej części badanego obszaru.

Słowa kluczowe: klimat podbiegunowy, anomalia termiczna, miesiąc niezwykle zimny, miesiąc niezwykle ciepły, Arktyka Atlantycka.

1. Wstęp

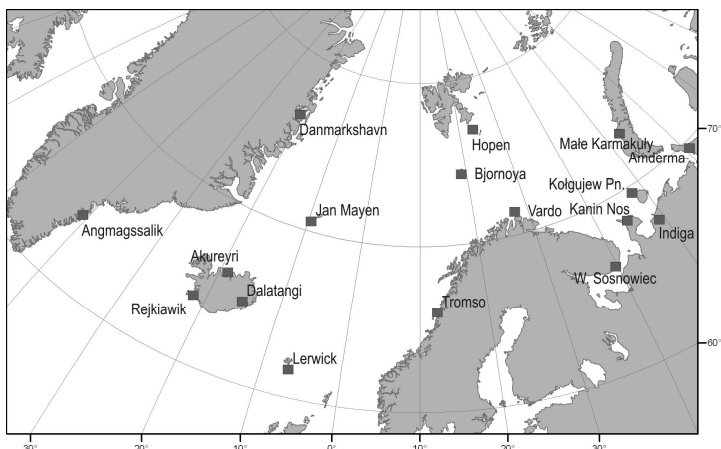
Ostatnie kilkadziesiąt lat stanowi okres postępującego ocieplenia (IPCC, 2007). Ocieplenie to przejawia się w Europie coraz częstszym występowaniem miesięcy anomalnie ciepłych (Kossowska-Cezak i Twardosz 2012a,b; Twardosz i Kossowska-Cezak, 2013a,b). Celem opracowania jest zatem poznanie częstości miesięcy anomalnych pod względem termicznym – zarówno niezwykle ciepłych, jak i zimnych w klimacie podbiegunowym, w strefie od wschodnich wybrzeży Grenlandii na zachodzie aż do Zatoki Bajdarackiej na wschodzie (długość geograficzna Uralu), poznanie zmian częstości takich miesięcy w 60-leciu 1951-2010 oraz określenie zasięgu przestrzennego stwierdzonych anomalii termicznych na wydzielonym obszarze.

2. Materiały i metody opracowania

Materiały do opracowania stanowią wartości średnie miesięczne temperatury powietrza z 17 stacji meteorologicznych z lat 1951-2010. Stacje te (tab. 1, ryc. 1) leżą na obszarze od 38°W (Angmagssalik

na Grenlandii) do 62°E (Zatoka Bajdaracka) i od 60°N (Szetlandy) do 77°N (Danmarkshavn na Grenlandii). Wszystkie stacje leżą na terenie nizinnym, na wybrzeżach lub wyspach (tab. 1).

Dane do opracowania uzyskano z publikacji WWR oraz baz danych dostępnych na stronach internetowych: amerykańskiej *National Climatic Data Center* (NCDC) www.ncdc.noaa.gov, holenderskiej *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D) eca.knmi.nl oraz hiszpańskiej www.ogimet.com.



Ryc. 1. Stacje meteorologiczne wykorzystane w opracowaniu

Fig. 2. Weather stations included in the study.

Tabela 1. Stacje w strefie podbiegunowej od wybrzeży Grenlandii do Nowej Ziemi (wg λ od W do E) oraz wartości średnie temperatury w skrajnych miesiącach i roku (1951-2010)

Table 1. Stations in the sub-polar zone between the Greenland coast and the Novaya Zemlya (according to λ from W to E) and average temperatures in extreme months and years (1951-2010).

Nr No	Stacja Station	φ N (°, ')	λ W-E (°, ')	Wysokość (m n.p.m.) H (m a.s.l.)	Państwo Country	Temperatura (°C) Temperature (°C)		
						I Jan	VII Jul	Rok Year
1	Angmagssalik	65 36	37 38 W	50	Grenlandia	-7,3	6,6	-1,1
2	Rejkiawik	64 08	21 54	61	Islandia	-0,2	11,1	4,7
3	Danmarkshavn	76 46	18 40	12	Grenlandia	-22,6	3,8	-11,9
4	Akureyri	65 41	18 05	27	Islandia	-1,8	10,7	3,5
5	Dalantagi	65 16	13 35	111	Islandia	0,7	8,3	3,9
6	Jan Mayen	70 56	08 40	9	Norwegia	-4,8	4,7	-0,7
7	Lerwick (Szetlandy)	60 08	01 11 W	84	Wielka Brytania	3,4	11,7	7,2
8	Tromsø	69 41	18 55 E	10	Norwegia	-3,3	11,9	3,1
9	Bjornoya (W. Niedźwiedzia)	74 31	19 01	16	Norwegia	-6,9	4,7	-1,7
10	Hopen (Svalbard)	76 30	25 04	6	Norwegia	-12,5	2,3	-5,5
11	Vardø	70 22	31 06	15	Norwegia	-4,5	9,3	1,6
12	Wyspa Sosnowiec	66 28	40 40	15	Rosja	-9,4	8,7	-0,6
13	Kanin Nos	68 39	43 18	47	Rosja	-8,5	9,1	-0,8
14	Indiga	67 42	48 46	4	Rosja	-14,7	10,8	-2,6
15	Kołgujew Północny	69 31	49 04	23	Rosja	-11,5	7,8	-2,8
16	Male Karmakuly (N. Ziemia)	72 22	52 42	15	Rosja	-14,4	7,3	-4,9
17	Amderma	69 45	61 42 E	53	Rosja	-18,6	7,2	-6,6

Opracowaniem objęto stacje leżące w klimacie podbiegunowym (subpolarnym). Za granicę tego klimatu zwykle przyjmuje się temperaturę średnią wieloletnią w najcieplejszym miesiącu roku, tj. na półkuli północnej w lipcu, nieprzekraczającą +10°C; izoterma +10°C w lipcu odpowiada w przybliżeniu granicy między lasem a tundrą. Izoterma +10°C w lipcu jest przyjmowana w niektórych podziałach klimatu za granicę między klimatem umiarkowanym i podbiegunowym, jak np. w powszechnie stosowanej klasyfikacji klimatów W. Köppena (Köppen 1900, 1918, 1923, 1931, za Strässer 1998; Kottek 2006).

Ponieważ na wartości średnie 60-letnie silnie wpłynęło bardzo ciepłe pierwsze 10-lecie XXI wieku, do opracowania włączono również stacje, w których średnia temperatura w lipcu przekracza 10°C, ale nie więcej niż o 2°C. Na rozpatrywanym obszarze europejsko-atlantyckim stwierdzono 17 stacji, na których średnia temperatura w lipcu spełnia wymieniony warunek ($t_{VII} \leq 12^\circ\text{C}$) i dla których dysponowano pełną 60-letnią serią pomiarową z lat 1951-2010 (tab. 1).

Za miesiące anomalne pod względem termicznym przyjęto te, w których temperatura średnia (t) różni się od odpowiedniej średniej wieloletniej przynajmniej o 2 odchylenia standardowe. Są to miesiące niezwykle zimne: $t \leq t_{sr.} - 2\sigma$ (NZM) i niezwykle ciepłe: $t \geq t_{sr.} + 2\sigma$ (NCM). Taką metodę wyróżniania anomalii stosowano we wcześniejszych opracowaniach dotyczących niezwykle gorących miesięcy i sezonów letnich w Europie Środkowej i Wschodniej (Filipiuk i Kaszewski 2000, Kossowska-Cezak i Twardosz 2012a,b; Twardosz i Kossowska-Cezak 2013a,b).

3. Ogólna charakterystyka występowania miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM)

W ciągu 60 lat na 17 stacjach stwierdzono łącznie 296 przypadków NZM, tzn. 2,4% rozpatrywanych miesięcy. Oznacza to, że na każdej stacji było średnio 17,4 NZM. W rzeczywistości NZM na zachodzie obszaru badań było mniej (9-18 na stacji) niż na wschodzie (16-23), a skrajna liczba NZM wystąpiła w Danmarkshavn (9) i Kanin Nos (23). Na zachodzie liczba NZM była zbliżona w półroczu chłodnym i ciepłym (Danmarkshavn – 5 i 4), podczas gdy na wschodzie zdecydowanie częściej NZM występowały w półroczu chłodnym niż ciepłym (Kanin Nos – 15 i 8).

Spośród ogólnej liczby 296 przypadków NZM (tab. 2) najwięcej ich było w lutym i marcu (razem 66, tj. 22%) oraz w październiku i listopadzie (razem 65, tj. 22%). Ogólnie w półroczu chłodnym (od października do marca) wystąpiły 174 przypadki, tj. 59% NZM, a w półroczu ciepłym 122 przypadki, tj. 41%.

Tabela 2. Przebieg roczny ogólnej liczby przypadków miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM) na 17 stacjach meteorologicznych strefy podbiegunowej w latach 1951-2010

Table 2. Annual pattern of overall exceptionally warm months (EWM) and exceptionally cold months (ECM) at 17 sub-polar weather stations in 1951-2010.

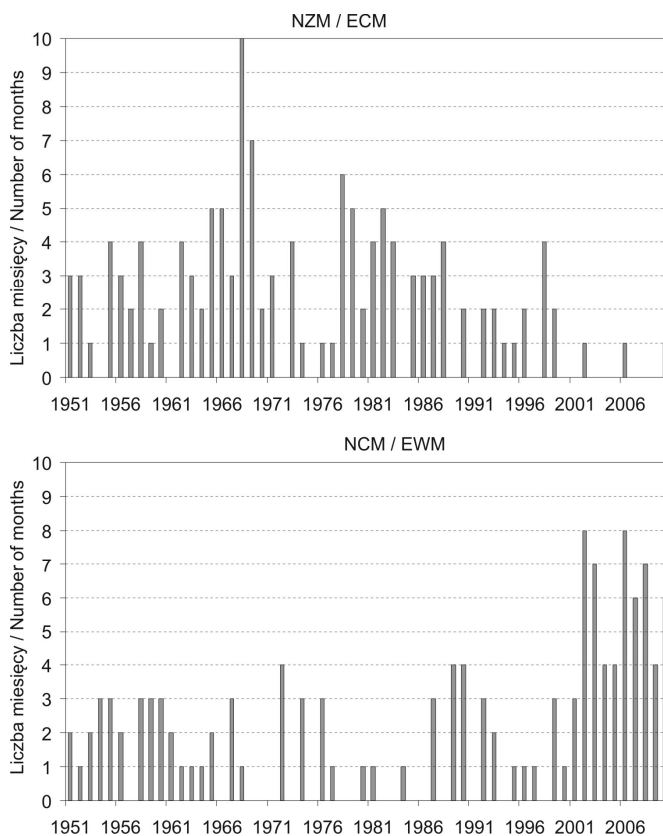
Miesiące Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
NZM – ECM	17	31	35	21	25	18	15	22	21	35	30	26	296
NCM – EWM	10	11	10	22	19	34	34	27	16	22	13	14	232

Przypadków NCM stwierdzono nieco mniej – łącznie 232 (tab. 2), tzn. 1,9% wszystkich rozpatrywanych miesięcy. Na jednej stacji było przeciętnie 13,6 NCM; w rzeczywistości ich liczba była bardzo zróżnicowana, bardziej niż NZM, i wyniosła od 4 w Indidze do 24 w Danmarkshavn i Reykiawiku. NCM

było więcej na zachodzie rozpatrywanego obszaru (12-24 na stacji) niż na wschodzie (poza Indigą – 9-16)). Na wszystkich stacjach NCM występowały częściej w półroczu ciepłym niż chłodnym – spośród ogólnej liczby 232 przypadków na miesiące od czerwca do sierpnia przypadło 95, tj. 41%, a na całe półrocze ciepłe 152, tj. 65,5%, na półrocze chłodne zaś 80, tj. 34,5%. Przewaga częstości NCM w półroczu ciepłym zaznaczyła się szczególnie na małych wyspach: Jan Mayen – w półroczu ciepłym 10, w chłodnym 2, Lerwick (Szetlandy) – odpowiednio 12 i 3, Wyspa Niedźwiedzia – 8 i 2, Hopen – 11 i 1.

4. Zmiany wieloletnie częstości miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM)

Stwierdzone 296 przypadków NZM wystąpiło w 132 miesiącach 60-lecia 1951-2010 (18,3% miesięcy), co oznacza, że w niektórych latach dany NZM występował jednocześnie na kilku stacjach. Liczba NZM w poszczególnych latach była bardzo zróżnicowana – od zupełnego braku do 10 w roku (ryc. 2). NZM w ogóle nie było w 16 latach (z których połowa przypadła na lata 1999-2010), po 1-2 NZM było w 20 latach, po 3-4 w 17 latach, a 5 lub więcej tylko w 7 latach 60-lecia: po 5 w latach 1965, 1966, 1979 i 1992 oraz 6 NZM w roku 1978, 7 NZM w 1969 i 10 NZM w roku 1968 (ryc. 2).



Ryc. 2. Przebieg wieloletni liczby miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM) w latach 1951-2010

Fig. 2. Multiannual variation of overall EWM and ECM in 1951-2010.

Najwięcej NZM było w latach 1962-1971 – razem 44, tzn. trzecia część wszystkich NZM; w tym czasie były 4 lata z przynajmniej 5 NZM, w tym z rekordową liczbą 10 (1968) i 7 (1969). Wyraźne zmniejszenie częstości NZM nastąpiło pod koniec XX wieku – w latach 2000-2010 wystąpiły tylko 3 lata z jednym NZM. Ten spadek częstości NZM bardzo silnie zaznaczył się na zachodzie (Grenlandia, Islandia), słabo natomiast na krańcach wschodnich. Uogólniony obraz przebiegu wieloletniego częstości NZM ukazują zmiany ich sum w kolejnych 10-letniach (tab. 3).

Tabela 3. Liczba miesięcy niezwykle zimnych (NZM) i ciepłych (NCM) oraz pozostałych w kolejnych 10-letniach lat 1951-2010

Table 3. Number of ECM and EWM and non-anomalous months in decades of the period 1951-2010.

Miesiące – Months	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90	1991-00	2001-10	1951-2010
NZM – ECM	23	41	23	28	14	3	132
NCM – EWM	22	11	12	13	12	57	127
Pozostałe – Non-anomalous	75	68	85	79	94	60	461

Stwierdzone 232 przypadki NCM wystąpiły podczas 127 miesięcy 60-lecia (17,6% miesięcy), to znaczy mimo znaczenie mniejszej liczby przypadków, liczba NCM była niewiele mniejsza niż NZM. Oznacza to, że zasięg przestrzenny poszczególnych NCM był mniejszy niż NZM.

Liczba NCM w roku była również bardzo zróżnicowana (ryc. 2), chociaż w żadnym roku nie osiągnęła „rekordowej” częstości 10 NCM. NCM nie pojawiły się w 17 latach (głównie od roku 1969 do 1986 – 12 lat bez NCM), po 1-2 NCM wystąpiły w 19 latach, po 3-4 w 18 latach, a 5 lub więcej tylko w 6 latach: po 6 – w 2007 i 2010, po 7 – 2003 i 2008 roku 8 w 2002 i 2006 roku. Wszystkie te lata o dużej liczbie NCM przypadły już na wiek XXI, a od 1999 roku NCM wystąpiły we wszystkich latach. Było ich w tym czasie 61, tzn. prawie połowa (48%) wszystkich NCM. To nasilenie częstości NCM w ostatnich latach zaznaczyło się szczególnie w zachodniej części badanego obszaru, znacznie słabiej zaś w jego części wschodniej.

Sumy NCM z kolejnych 10-leci podano w tab. 3. Najmniej ich było w latach 1961-1970 i niewiele więcej do końca XX wieku, po czym nastąpił gwałtowny wzrost ich częstości. Lata 1961-1970 okazały się zatem najchłodniejsze (najwięcej NZM, najmniej NCM), a 2001-2010 najcieplejsze (niemal brak NZM, bardzo dużo NCM). Najbardziej „normalne” były lata 1991-2000 – o małej częstości zarówno NZM, jak i NCM (tab. 3), a najbardziej „anomalne” lata 2001-2010, kiedy to NZM i NCM łącznie stanowiły połowę miesięcy 10-lecia.

5. Wielkość i długotrwałość miesięcznych anomalii termicznych

Za kryterium wyróżniania miesiąca o anomalnej średniej temperaturze powietrza przyjęto odchylenie jej wartości od średniej wieloletniej przynajmniej o 2 odchylenia standardowe. Wartości bezwzględne odchylen (anomalii) w NZM wynosiły w lecie przeważnie nie więcej niż -3 – -4°C , w październiku na wschodzie do -8°C , a w zimie na zachodzie -4 – -7°C , na wschodzie zaś do -12°C . Największa anomalia ujemna w ciągu 60-lecia wyniosła $-12,3^{\circ}\text{C}$ i wystąpiła w lutym 1966 w Amdermie (tab. 4, 5). Średnia temperatura wyniosła tam wówczas $-31,8^{\circ}\text{C}$ i była to najniższa wartość temperatury w całym rozpatrywanym materiale. Na krańcach zachodnich omawianego obszaru najniższa temperatura średnia miesięczna $-29,9^{\circ}\text{C}$ wystąpiła w Danmarkshavn w styczniu 1978 i oznaczała ona anomalię $-7,3^{\circ}\text{C}$.

Tabela 4. Kalendarz niezwykle zimnych miesięcy (NZM) występujących na przynajmniej 3 stacjach (1951-2010); LS – liczba stacji

Table 4. Calendar of ECM recorded at at least three weather stations (1951-2010); NS – number of station.

Rok Year	NZM ECM	LS NS	Stacje (nr wg tab. 1) Stations (no as in tab. 1)	Rok Year	NZM ECM	LS NS	Stacje (nr wg tab. 1) Stations (no as in tab. 1)
1951	IV	4	2, 4, 5, 7	1971	XI	5	3, 6, 9, 10, 11
1955	XII	5	8, 11, 12, 13, 14	1973	XI	4	1, 4, 5, 6
1958	III	6	7, 13, 14, 15, 16, 17		XII	3	2, 4, 5
	IX ¹	3	14, 16, 17	1978	XII	5	13, 14, 15, 16, 17
	XII	4	12, 13, 14, 15	1979	III	3	2, 4, 5
1962	IV	4	7, 8, 9, 11		IV	3	12, 13, 15
1963	II	3	6, 9, 10		V	7	1, 2, 4, 5, 6, 7, 10
	III	7	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1980	X	3	2, 4, 5
1965	VII	3	5, 7, 9	1981	X	4	2, 4, 5, 7
1966	II	7	8, 12, 13, 14, 15, 16, 17	1982	IX	3	1, 9, 10
	III	7	3, 11, 12, 13, 14, 15, 16	1983	VIII	3	1, 2, 8
	IX	3	8, 9, 11	1985	I	3	12, 13, 14
	X	3	3, 10, 17	1988	IV	3	1, 6, 8
1968	V	4	5, 6, 7, 11	1992	X	8	8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
	VII	3	6, 16, 17	1996	XI	3	2, 4, 5
	IX	3	9, 10, 11	1988	II	6	12, 13, 14, 15, 16, 17
	X	8	3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11		XI	4	12, 13, 14, 15
	XI	4	10, 13, 15, 16	1999	I	3	13, 15, 17
1969	II	4	5, 6, 7, 11		V ²	4	12, 13, 14, 15
	V	5	12, 13, 14, 15, 17	1 – NCM/EWM – 2, 4; 2 – NCM/EWM – 6			
	VI	5	12, 13, 14, 15, 17				
	VIII	5	12, 13, 14, 15, 16				

W NCM wielkość anomalii zwykle była mniejsza – w cieplejszej części roku osiągała zwykle 2-4°C, w zimie do 8-10°C. Największe anomalie dodatnie zwykle też były większe na wschodzie niż na zachodzie, chociaż skrajne wartości różniły się niewiele: w Danmarksø największa anomalia wyniosła +9,7°C (grudzień 1956, temperatura -11,7°C), a w Małych Karmakulach +10,4°C (luty 1984, temperatura -4,7°C i styczeń 2008, temperatura -4,0°C); w Amdernie największa anomalia dodatnia była taka sama jak w Danmarksø, tzn. +9,7°C (grudzień 1953, temperatura -5,1°C oraz styczeń 2008, temperatura -8,9°C; tab. 6 i 7).

Miesiące anomalne pod względem termicznym zwykle na danej stacji występowały pojedynczo, ale zdarzały się też ciągi kolejnych miesięcy. NZM utworzyły na różnych stacjach 20 ciągów 2-miesięcznych i 2 ciągi 3-miesięczne. Niektóre ciągi 2 kolejnych NZM objęły znaczne obszary i wszystkie te ciągi o dużym zasięgu wystąpiły w latach 1960. (luty-marzec 1966, wrzesień i październik 1968, maj i czerwiec 1969; tab. 4).

NCM częściej niż NZM występowały pojedynczo, a tworzone przez nie ciągi 2-miesięczne najczęściej obejmowały tylko pojedyncze stacje. Zdarzały się jednak przypadki ciągów NCM dłuższych niż te tworzone przez NZM – nawet do 6 miesięcy; wszystkie one występowały w XXI wieku (w XX wieku tylko 3 ciągi 2-miesięczne). Były to:

- 3-miesięczne – od czerwca do sierpnia 2003 w Lerwick i od kwietnia do czerwca 2006 w Bjornøya,
- 4-miesięczne – od lipca do października 2003 w Angmagssalik i od maja do sierpnia 2008 w Rejkiawiku,

- 5-miesięczny – od kwietnia do sierpnia 2006 w Hopen i
- 6-miesięczny – od maja do października 2010 w Rejkiawiku. Należy tu zwrócić uwagę, że prawie wszystkie ciągi NCM występowały w zachodniej części badanego obszaru.

6. Zasięg i lokalizacja miesięcy anomalnych pod względem termicznym

Spośród 132 NZM prawie połowa (63, tzn. 48%) wystąpiła tylko na pojedynczej stacji. Najbardziej pod tym względem wyróżniły się stacje na małych wyspach: Jan Mayen (7 NZM), Szetlandy (7) oraz Wyspa Niedźwiedzia (9), które ogólnie odznaczają się dużą częstością NZM (odpowiednio 21, 21 i 22). Nie dotyczy to jednak wyspy Hopen, gdzie NZM często występują jednocześnie z tymi na Wyspie Niedźwiedziej. Najrzadziej niezwykle zimne miesiące pojawiają się na pojedynczej stacji na krańcu wschodnim wybrzeży Europy, z wyjątkiem skrajnej wschodniej stacji – Amdermy, gdzie te „pojedyncze” NZM mogą nawiązywać do obszaru położonego dalej na wschodzie.

Tabela 5. Charakterystyka termiczna wybranych NZM

Table 5. Thermal profiles of selected ECMs

Stacja /Station	$T_{\text{sr.}}/t_{\text{av.}}$ (°C)	Δt (°C)	Stacja /Station	$T_{\text{sr.}}/t_{\text{av.}}$ (°C)	Δt (°C)
Marzec 1963 – March 1963			Luty 1969 – February 1969		
Vardö	-7,3	-4,1	Dalatangi	-2,9	-3,6
W. Sosnowiec	-14,4	-7,0	Jan Mayen	-12,4	-7,1
Kanin Nos	-15,1	-7,3	Lerwick	-0,1	-3,2
Indiga	-21,0	-10,0	Vardö	-9,7	-4,7
Kołgijew Pn.	-20,1	-9,3	Maj 1979 – May 1979		
Małe Karmakuly	-24,4	-10,9	Angmagssalik	-2,0	-3,0
Amderma	-26,2	-10,1	Rejkiawik	2,3	-4,4
Luty 1966 – February 1966			Akureyri	0,3	-6,1
Tromsö	-8,4	-4,9	Dalatangi	-0,7	-4,4
W. Sosnowiec	-20,6	-10,3	Jan Mayen	-2,7	-2,3
Kanin Nos	-20,5	-10,6	Lerwick	5,9	-1,8
Indiga	-27,0	-12,0	Hopen	-8,1	-3,9
Kołgijew Pn.	-24,4	-11,3	Październik 1992 – October 1992		
Małe Karmakuly	-26,4	-11,3	Tromsö	-1,3	-4,5
Amderma	-31,8	-12,3	Vardö	-0,7	-3,3
Październik 1968 – October 1968			W. Sosnowiec	-2,7	-4,8
Danmarkshavn	-17,0	-3,9	Kanin Nos	-1,7	-3,5
Akureyri	-0,2	-3,3	Indiga	-6,4	-6,7
Dalatangi	2,0	-2,8	Kołgijew Pn.	-4,3	-4,4
Jan Mayen	-3,5	-4,0	Małe Karmakuly	-7,1	-4,8
Tromsö	-0,9	-4,1	Amderma	-9,5	-6,4
Bjornoya	-8,2	-8,1			
Hopen	-14,3	-11,6			
Vardö	-1,1	-3,7			

Na 2 stacjach jednocześnie wystąpiło 28 (21%) NZM; z reguły były to stacje sąsiednie. Na 3 lub więcej stacjach jednocześnie wystąpiło 41 (31%) NZM (tab. 4); najbardziej rozległe obszary jednoczesnego występowania NZM obejmowały po 6-8 stacji. W okresie badanych 60 lat było 8 takich sytuacji. Jednocześnie na 6 stacjach NZM wystąpił w marcu 1958 i lutym 1998 roku; na 7 stacjach –

w marcu 1963, lutym 1966, marcu 1966 oraz maju 1979 roku, i na 8 stacjach – w październiku 1968 i 1992 roku. Spośród 8 wymienionych przypadków jednoczesnego występowania NZM prawie wszystkie (z wyjątkiem jednego) wystąpiły w półroczu chłodnym, a połowa z nich w najchłodniejszych latach 1960.

Tabela 6. Kalendarz niezwykle ciepłych miesięcy NCM występujących na przynajmniej 3 stacjach (1951-2010); LS – liczba stacji

Table 6. Calendar of ECM recorded at least three weather stations (1951-2010); NS – Number of station.

Rok Year	NCM EWM	LS NS	Stacje (nr wg tab. 1) Stations (no as in tab. 1)	Rok Year	NCM EWM	LS NS	Stacje (nr wg tab. 1) Stations (no as in tab. 1)
1953	VI	4	4, 6, 8, 10	2002	VI	4	1, 3, 6, 7
	XII	6	4, 5, 8, 15, 16, 17		XII	3	1, 2, 5
1959	X	4	1, 2, 4, 5	2003	VII	3	1, 3, 7
1960	VII	3	11, 12, 13		VIII	7	1, 2, 3, 4, 7, 14, 15
1961	X	3	6, 11, 12	2004	IV	5	3, 7, 8, 9, 10
1964	III	3	2, 4, 5		VII	6	9, 10, 11, 13, 15, 16
1967	VIII	3	12, 13, 15	2005	XI	4	11, 12, 13, 14
	XI	3	8, 11, 12	2006	IV	4	3, 9, 10, 11
1974	IV	3	2, 4, 5		VI ¹	4	5, 9, 10, 15
1989	V	5	12, 13, 14, 15, 16	2007	X	4	13, 15, 16, 17
	VI	6	11, 12, 13, 14, 15, 17	2008	I	3	15, 16, 17
1993	VI	3	15, 16, 17	2010	V	3	2, 9, 10
1995	IV	3	3, 16, 17				¹ NZM/ECM – 3

Tabela 7. Charakterystyka termiczna wybranych NCM

Table 7. Thermal profiles of selected EWMs.

Stacja /Station	T_{sr}/t_{av} (°C)	Δt (°C)	Stacja /Station	T_{sr}/t_{av} (°C)	Δt (°C)
Grudzień 1953 – December 1953			Sierpień 2003 – August 2003		
Akureyri	2,1	+3,5	Angmagssalik	8,8	+2,4
Dalatangi	4,6	+3,5	Rejkiawik	12,8	+2,1
Tromsø	2,6	+4,9	Danmarkshavn	5,3	+2,8
Kołgijew Pn.	-0,9	+6,8	Akureyri	12,6	+2,4
Małe Karmakuly	-2,7	+8,4	Lerwick	13,9	+1,9
Amderma	-5,1	+9,7	Indiga	14,4	+4,5
Czerwiec 1989 – June 1989			Kołgijew Pn.	11,0	+4,2
Vardö	9,3	+3,0	Lipiec 2004 – July 2004		
W. Sosnowiec	9,1	+3,9	Bjornoya	8,4	+3,7
Kanin Nos	9,4	+4,8	Hopen	4,6	+2,3
Indiga	11,7	+5,7	Vardö	13,2	+3,9
Kołgijew Pn.	7,5	+4,6	Kanin Nos	13,4	+4,3
Amderma	5,2	+3,3	Kołgijew Pn.	11,8	+4,0
			Małe Karmakuly	12,4	+5,1

Analiza lokalizacji wszystkich 41 NZM obejmujących 3 i więcej stacji pozwoliła wyróżnić następujące obszary ich występowania:

– wschodnia część badanego obszaru, na wschód od północnej Skandynawii albo Morza Białego; wystąpiło tu 19 NZM (tab. 4), w tym o dużym zasięgu: w marcu 1958, marcu 1963, lutym i marcu 1966

oraz października 1992 roku. Spośród tych NZM szczególnie godny uwagi jest luty 1966, najzimniejszy miesiąc w całym okresie, z anomalią termiczną na wschodzie przekraczającą -12°C , po którym wystąpił kolejny NZM – marzec, stwierdzony również na 7 stacjach, w tym na 5 tych samych co niezwykle zimny luty. Najbardziej rozległy obszar występowania anomalnie ujemnej temperatury powietrza we wschodniej części rozpatrywanego obszaru wystąpił w październiku 1992 roku (tab. 4);

- pas północny – od wyspy Jan Mayen, niekiedy od wybrzeży Grenlandii, czasem aż do Nowej Ziemi; wystąpiło tu 13 NZM obejmujących co najmniej 3 stacje (tab. 4). Najbardziej rozległym obszarem występowania anomalnie niskiej temperatury powietrza charakteryzował się październik 1968 roku, w którym NZM wystąpił na 8 stacjach. Obszar ten obejmował cały basen Morza Norweskiego, Grenlandzkiego i zachodnią część Morza Barentsa (tab. 4);

- Islandia, ewentualnie mniejsze wyspy w zachodniej części badanego obszaru; było tu 9 NZM (tab. 4), zwykle występujących na 3-4 stacjach (np. luty 1969, tab. 4). Wyjątek stanowi niezwykle zimny maj 1979 (tab. 4), który wystąpił na 7 stacjach i był to jedyny tak rozległy obszar występowania anomalnie ujemnej temperatury powietrza w okresie półrocza letniego.

Niezwykle ciepłe miesiące (NCM) najczęściej występowały tylko na pojedynczych stacjach – było ich 71 spośród 127 (56%). Najwięcej ich było na wybrzeżach Grenlandii (Danmarkshavn – 14, Angmagssalik -12, spośród odpowiednio 24 i 19) i w Rejkiawiku (9 z 24), poza tym na Wyspie Niedźwiedziej i na Nowej Ziemi (po 6). Takich „pojedynczych” NCM w ogóle nie było lub tylko pojedyncze przypadki na wybrzeżu kontynentu na krańcu wschodnim.

Jednocześnie na 2 stacjach wystąpiło 31 NCM (24%). Z reguły były to stacje sąsiednie, w tym szczególnie stacje na Islandii, na północnych krańcach Półwyspu Skandynawskiego oraz Wyspa Niedźwiedzia i Hopen. Na 3 stacjach lub więcej jednocześnie wystąpiło 25 NCM (20%; tab. 6), a najbardziej rozległy obszar na którym pojawił się jednocześnie NCM objął 7 stacji. Tylko 4 NCM wystąpiły jednocześnie na 6-7 stacjach; były to: grudzień 1953 (6), czerwiec 1989 (6), sierpień 2003 (7) i lipiec 2004 (6). Większość z nich, zgodnie z oczekiwaniem, stanowiły miesiące letnie i połowa z nich wystąpiła już w XXI wieku.

Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę NCM stwierdzonych jednocześnie na 3 lub więcej stacjach, wyróżnienie obszarów ich występowania jest znacznie trudniejsze niż w przypadku NZM; w kilku przypadkach zresztą lokalizacja ta jest tylko jednorazowa. Ogólnie można wyróżnić:

- pas północny – od Grenlandii, czasem przez Islandię i do Nowej Ziemi; na części stacji w obrębie tego pasa NCM pojawił się 11 razy, w tym kilkakrotnie wyłącznie na Islandii. Taką lokalizację – od wybrzeży Grenlandii aż do wyspy Kołgufew – miał najbardziej rozległy obszar występowania niezwykle ciepłego miesiąca – sierpień 2003;

- obszar wschodni – od Półwyspu Skandynawskiego na wschód; wystąpiło tu 8 NCM, w tym o znacznym zasięgu NCM – czerwiec 1989;

- pozostałe 6 NCM występujących przynajmniej na 3 stacjach miało zupełnie różną lokalizację, np. grudzień 1953 był NCM zarówno na zachodzie, jak i na wschodzie rozpatrywanego obszaru, a lipiec 2004 od Wyspy Niedźwiedziej i Hopen po wybrzeża południowo-wschodnie Morza Barentsa i Nową Ziemię.

Przegląd pełnego kalendarza NZM i NCM w 60-leciu ujawnia, że w 8 miesiącach na poszczególnych stacjach wystąpiły obie te kategorie jednocześnie. Lokalizacja stacji o określonych anomaliach była różna: w 3 przypadkach NZM występował na 1-4 stacjach w części wschodniej, a NCM na krańcach

zachodnich (wrzesień 1958 – na Islandii, sierpień 1980 – NCM w Danmarkshavn, maj 1999 – NCM na Jan Mayen); w 2 przypadkach NZM był tylko w Danmarkshavn, a NCM w północnej i wschodniej Islandii (lipiec 1955) albo jeszcze dalej na wschodzie (czerwiec 2006, tab. 5). Pozostałe przypadki wystąpiły na pojedynczych stacjach: NZM na Wyspie Niedźwiedziej i Hopen, a NCM w Małych Karmakulach na Nowej Ziemi (maj 1962), NZM w Dalatangi na Islandii a NCM w Danmarkshavn na Grenlandii (czerwiec 1968) oraz NZM na Jan Mayen i Wyspie Niedźwiedziej, a NCM w Reykiawiku w zachodniej Islandii (grudzień 1987).

Wielkie zróżnicowanie lokalizacji i zasięgu poszczególnych NZM i NCM, a także jednoczesne występowanie przeciwnych anomalii mogłoby znaleźć wyjaśnienie w charakterze cyrkulacji atmosferycznej nad tym obszarem w poszczególnych miesiącach.

7. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie NZM i NCM na przykładzie rejonu Spitsbergenu

Badaniem roli cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu warunków termicznych na Spitsbergenie zajmowano się już wielokrotnie (np. Niedźwiedź 1987 i 2007, Przybylak 1992, Marsz, 2007, Niedźwiedź i in. 2012). W tej pracy wpływ cyrkulacji na występowanie anomalii termicznych rozpatrzono na podstawie kalendarza typów cyrkulacji opracowanego dla tego rejonu przez T. Niedźwiedzia (2013). Rozpatrzono tylko te miesiące niezwykle mroźne (NZM) i niezwykle ciepłe (NCM), które wystąpiły jednocześnie na dwóch stacjach: Hopen i Bjornoya. Stacja Hopen leży w Archipelagu Svalbard, na południo-wschód od głównych wysp, Bjornoya zaś na południe od nich. Do niezwykle mroźnych miesięcy na obu stacjach należały: czerwiec 1962, luty 1963 i listopad 1998. Do miesięcy niezwykle ciepłych zaś należały: wrzesień 1990, czerwiec 1999 i kwiecień 2006. W tabeli 8 zestawiono częstość typów cyrkulacji w tych anomalnych miesiącach.

Podane w tabeli wyniki świadczą, że o występowaniu miesięcy niezwykle ciepłych i niezwykle zimnych decyduje bardziej kierunek adwekcji mas powietrznych niż rodzaj układu barycznego. Zgodnie z oczekiwaniem w miesiącach niezwykle zimnych występuje wzmożona adwekcja mroźnych mas powietrznych z sektora północnego związana głównie z typami NEa i NEc. W miesiącach niezwykle ciepłych zwiększana jest częstość adwekcji mas powietrznych z sektora południowego, związaną przeważnie z typami SEc, Sc, Sa, a także sytuacją centralną cyklonalną (Cc).

8. Podsumowanie i wnioski

W ciągu 60 lat (1951-2010) niezwykle zimne miesiące (NZM) wystąpiły w 44 latach (132 miesiące), a niezwykle ciepłe (NCM) w 43 latach (127 miesięcy). W większości miesięcy jednak zarówno NZM, jak i – w jeszcze większym stopniu – NCM pojawiały się tylko na pojedynczej stacji lub dwóch sąsiednich (spośród rozpatrywanych 17), co wydaje się wskazywać, że na niezwykle spadek lub wzrost temperatury powietrza wpływają czynniki ograniczone w przestrzeni lub tylko lokalne.

Stwierdzone NZM i NCM na 3-8 spośród 17 stacji wystąpiły w ciągu 60 lat odpowiednio 41 i 25 razy. NZM zatem:

- były liczniejsze niż NCM,
- miały większy zasięg – występowały jednocześnie na 5 lub więcej stacjach: NZM – 14, NCM – 6,
- odznaczały się większą anomalią – NZM do -12°C , NCM do $+10^{\circ}\text{C}$,

Tabela 8. Częstość (%) typów cyrkulacji na Spitsbergenie według T. Niedźwiedzia (2013) w czasie NZM i NCM

Table 8. Frequency of circulation types according to T. Niedźwiedź (2013) recorded in Spitsbergen during ECM and EWM

Typ cyrkulacji Circulation type	NZM/ECM			NCM/EWM		
	VI 1962	II 1963	XI 1988	IX 1990	VI 1999	IV 2006
1 Na	6,7	14,3	6,7	3,3	-	-
2 NEa	20,0	32,1	3,3	-	-	-
3 Ea	10,0	-	6,7	-	13,3	6,7
4 SEa	10,0	-	3,3	-	3,3	3,3
5 Sa	-	-	-	-	16,7	6,7
6 SWa	-	-	-	3,3	3,3	-
7 Wa	-	-	-	10,0	-	-
8 NWa	3,3	-	-	3,3	-	-
9 Ca	-	7,1	-	-	-	-
10 Ka	6,7	7,1	3,3	-	6,7	-
11 Nc	3,3	7,1	16,7	6,7	-	-
12 NEc	10,0	7,1	26,7	-	-	-
13 Ec	3,3	7,1	3,3	-	-	6,7
14 SEc	10,0	-	3,3	-	13,3	46,7
15 Sc	-	-	10,0	6,7	20,0	16,7
16 SWc	-	7,1	3,3	16,7	13,3	6,7
17 Wc	-	-	-	13,3	-	-
18 NWc	-	-	-	6,7	-	-
19 Cc	6,7	3,6	3,3	20,0	3,3	-
20 Bc	10,0	7,1	6,7	6,7	-	6,7
21 X	-	-	3,3	3,3	6,7	-
01-10 a	56,7	60,7	23,3	20,0	43,3	16,7
11-20 c	43,3	39,3	76,7	80,0	56,7	83,3

– częściej tworzyły ciągi 2-miesięczne i dłuższe: 31 przypadków; najdłuższe ciągi 3-miesięczne, a NCM – 18 przypadków, ale w tym ciągi 4-6 miesięczne,

– cechowały się bardziej powtarzalną lokalizacją (wschód rozpatrywanego obszaru, jego pas północny oraz Islandia), w odróżnieniu od bardziej przypadkowego wystąpienia NCM, najczęściej pojawiających się tylko na pojedynczych stacjach.

Spośród 132 niezwykle zimnych miesięcy jakie wystąpiły w ciągu 60 lat na poszczególne miesiące roku przypało po 8 do 15 NZM (przeważnie 10-11), nie wykazując przy tym regularnego przebiegu rocznego. Przebieg taki wykazała natomiast liczba przypadków: maksimum ich częstości przypało na luty i marzec oraz październik i listopad (łącznie 44% przypadków). Te maksima częstości przypadków NZM są skutkiem tego, że w tych miesiącach najczęściej występują NZM na kilku stacjach jednocześnie.

Częstość NCM wykazała natomiast wyraźny przebieg roczny – od czerwca do sierpnia było ich po 15-17 (spośród 127), a od listopada do marca po 7-8. Jeszcze wyraźniej zaznaczył się przebieg roczny liczby przypadków – na 3 miesiące letnie przypało 66% ich liczby. NCM są zatem w lecie częstsze niż w innych porach roku, ale też częściej w lecie mają większy zasięg.

Przebieg roczny liczby miesięcy anomalnych pod względem termicznym, a tym bardziej liczby ich przypadków, jest znacznie wyraźniejszy na wschodzie rozpatrywanego obszaru, na wybrzeżu rozległego kontynentu, niż na zachodzie, w sąsiedztwie mórz. Wynika to zarówno z większej częstości

NZM na wschodzie niż na zachodzie, jak i z tego, że na wschodzie występują częściej jednocześnie na kilku stacjach. Na zachodzie, gdzie jest więcej NCM, rozkład liczby NCM, jak i NZM w ciągu roku jest dość wyrównany, choć w ostatnich latach letnie maksimum częstości NCM zaznacza się szczególnie na Islandii.

W rozpatrywanym 60-leciu jako zdecydowanie najchłodniejsze wyróżniło się 10-lecie 1961-1970, z największą częstością NZM (41, w tym 10 w roku 1968 i 7 w 1969) i najmniejszą NCM (11), oraz 10-lecie 2001-2010 jako zdecydowanie najcieplejsze, z największą częstością NCM (57, w każdym roku po 4-8 NCM) i najmniejszą NZM (3). Na szczególną uwagę zasługuje tu 6-miesięczny ciąg NCM, od maja do października 2010 roku, w Rejkiawiku oraz na tej samej stacji 4 kolejne niezwykle ciepłe lipce od 2007 do 2010 roku (a także w roku 2011). Tylko niektóre z tych miesięcy występowały jednocześnie także na innych stacjach (Angmagssalik, Danmarkshavn, Jan Mayen, Bjornoya, Hopen), co skłania nie tylko do dokonania w dalszych badaniach analizy cyrkulacji atmosferycznej nad północno-zachodnią częścią Atlantyku w wymienionych miesiącach, jak i do prześledzenia ewentualnych zmian w otoczeniu stacji meteorologicznej w Rejkiawiku.

Występowaniu NZM sprzyja adwekcja mroźnych mas powietrznych z północy i północno-wschodu, a NCM adwekcja ciepłych mas z sektora południowego.

Literatura

- Filipiuk E., Kaszewski B.M., 2000. Hot and cold summer in Central Europe (1871-1990). *Prace Geograficzne*, 108: 149-154.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012a. 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.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012b. Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010), Cz. II Niezwykłe gorące sezony letnie. *Przegląd Geofizyczny*, 3-4: 325-342.
- Kottek M., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 3: 259-263.
- Marsz A.A., 2007. Temperatura powietrza. [w:] *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny*. Marsz A. A., Styszyńska A. (red.), Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 131-174.
- Niedźwiedz T., 1987. Wpływ cyrkulacji atmosfery na temperaturę powietrza w Hornsundzie, Spitsbergen. XIV Sympozjum Polarne, Lublin: 174-180.
- Niedźwiedz T., 2007. Cyrkulacja atmosferyczna. [w:] *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny*. Marsz A. A., Styszyńska A. (red.), Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 45-63.
- Niedźwiedz T., 2012. Katalog typów cyrkulacji nad Spitsbergenem (1951-2012). Zbiór komputerowy (Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec (<http://klimat.wnoz.us.edu.pl>)).
- Niedźwiedz T., Łupikasza E., Malarzewski Ł., 2012. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 22: 17 – 26.
- Przybylak R., 1992. Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978–1983, *Dokumentacja Geograficzna*, 2: 105 s.

- Strässer M., 1998. Klimadiagramme zur Köppenschen Klimaklassifikation. Klett-Pertnes, Gotha-Stuttgart, 95.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2012. Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951-2010). Global Conference on Global Warming 2012, Book of Abstract, July 8-12, 2012, Istanbul Technical University (ITU), Istanbul, Turkey.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013a. Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951-2010). Theoretical and Applied Climatology, 112 (3-4): 617-628.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013b, Exceptionally hot summers months in Central and Eastern Europe during the years 1951-2010. Springer (w druku).

Wpłynęło: 11 lipca 2013 r., poprawiono: 20 października 2013 r., zaakceptowano: 21 października 2013 r.

Summary

The study is based on average monthly temperature data from 17 weather stations located along a belt between the Greenland coast and the island of Novaya Zemlya and recorded during the period 1951-2010. The stations were selected to meet the criterion of a maximum long-term average temperature of 12°C for the warmest month, i.e. July. The anomalous month was defined as having an average temperature different from the long-term average by at least 2 standard deviations.

Both positive (exceptionally warm) and negative (exceptionally cold) anomalies were analysed, as well as their trends of frequency change during the study period and the spatial distribution of the cases with the largest geographical spread.

However, a majority of the anomalous months of each type were only recorded at single stations or at two neighbouring stations (of those included in the study), which would suggest spatially limited or even strictly local factors effecting such an exceptional temperature increase or drop.

Exceptionally cold months (ECM) were more frequent than their warm counterparts (EWM), had a greater spatial extent and the scale of their anomaly tended to be larger (i.e. down to -12°C compared to maximum +10°C for EWMs). ECMs were more often linked in two-month or three-month series (31 such series), while multiple EWM series were fewer (18), but longer, lasting up to 6 months.

The highest numbers of anomalous months were recorded during the decade 1961-1970 (41 ECM and 11 EWM) and the lowest numbers in the decade 2001-2010 (3 ECM and 57 EWM).

The increase in the warm month activity was largely limited to the western end of the study area.

The annual pattern of anomalous months was far more defined in the eastern section of the area, along the coast of a vast continent, than in the maritime west. This clear definition of the eastern pattern was mainly down to the frequency of ECMs and their large spatial extent. In the western section of the area the distribution of ECMs and EWMs is more balanced with a recent maximum of EWM frequency located in Iceland.

ECMs coincide with the advection of cold air masses from the north and northeast, while EWMs tend to occur in association with southern warm advectons.

Key words: sub-polar climate, thermal anomaly, exceptionally cold month, exceptionally warm month.