

ZMIENNOŚĆ PRZESTRZENNA WYSTĘPOWANIA ZIM BEZJĄDROWYCH NA ANTARKTYDZIE W LATACH 1990–1999

Sabina Lipowska

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Łódzki
ul. Narutowicza 88, 90–139 Łódź

1. Wstęp

Położenie Antarktydy powyżej koła podbiegunowego, rozmiary kontynentu, jego kształt oraz wysokość nad poziomem morza, otoczenie trzech oceanów oraz brak w sąsiedztwie innych kontynentów powodują, że obszar ten pod względem klimatu wyróżnia się spośród innych.

Specyficzną cechą klimatu Antarktydy jest występowanie zim bezjądrowych, charakteryzujących się zahamowaniem spadku temperatury powietrza w środku zimy, a nawet jej wzrostem, po którym następuje ponowny spadek temperatury powietrza (Hann 1909, cyt. za Marszem 2000). Zjawisko zim bezjądrowych notowane jest w okresie wzrostu intensywności cyrkulacji cyklonalnej w miesiącach zimowych, prowadzącej do występowania gwałtownych adwekcji cieplejszych mas powietrza znad oceanu w głąb kontynentu (Schwerdtfeger 1970, Marsz 2000). Według innych badaczy wzrost temperatury w centrum kontynentu w okresie zimowym spowodowany jest istnieniem przyziemnych inwersji temperatury, obejmujących na tym obszarze warstwę powietrza sięgającą 2 km, a inwersja temperatury może sięgać 25°C (Connolley 1996). Przy bardzo znacznym wychłodzeniu podłoża promieniowanie długofalowe ziemi ulega ograniczeniu, co zahamowuje dalszy spadek temperatury powietrza w środku zimy. Nad warstwą inwersyjną zalegają masy dużo cieplejszego powietrza, dlatego dzięki wyższej temperaturze promieniowanie zwrotne atmosfery może być większe od wypromieniowania z podłoża i w efekcie następuje ogrzanie przypowierzchniowych mas powietrza (Wendler i Kodama 1993). Jeszcze inni za przyczynę zim bezjądrowych uznają wzrost prędkości wiatrów katabatycznych, powodujących zaburzenie inwersji w dolnej części troposfery, prowadzące do wzrostu temperatury w wyniku wymieszania się mas powietrza (Schwerdtfeger 1984, cyt. za Kejną 2002).

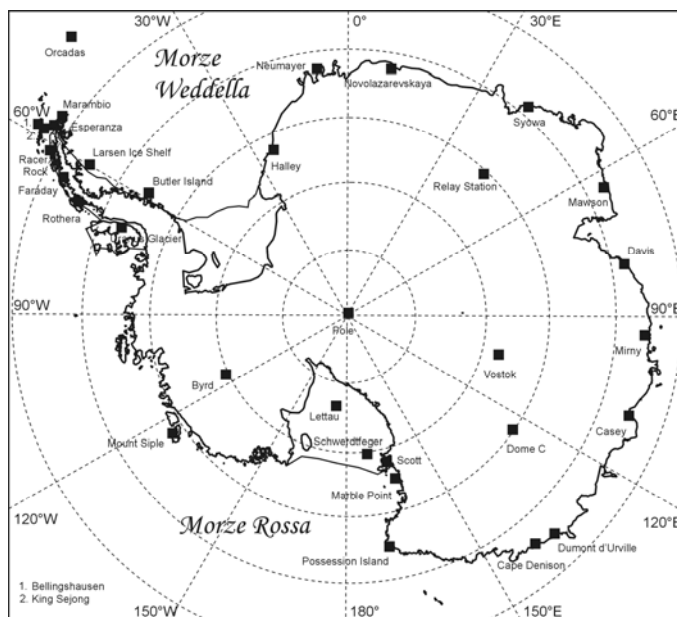
2. Obszar badań i metody opracowania

W opracowaniu podjęto próbę określenia przestrzennej i czasowej zmienności występowania zim bezjądrowych na Antarktydzie. Wykorzystano dane z 14 stacji automatycznych prowadzących pomiary w okresie 1990–1999, pochodzące z bazy danych SCAR (Scientific Committee of Antarctic Research) oraz z 18 stacji prowadzących pomiary metodą tradycyjną uzyskane z bazy danych UK (ryc. 1). Wykaz stacji wykorzystanych w opracowaniu zawiera tabela 1.

Tabela 1 – Table 1

Stacje automatyczne i manualne wykorzystane w opracowaniu
Automatic and manned stations used in this study

Stacja – Station	φ [°] S	λ [°]	m n.p.m.	Stacja – Station	φ [°] S	λ [°]	m n.p.m.
Bellingshausen	62.20	058.90 W	16	Mawson	67.60	062.90 E	16
Butler Island	72.21	060.17 W	91	Mirny	66.50	093.00 E	30
Byrd	80.01	119.40 W	1530	Mount Siple	73.20	127.05 W	230
Cape Denison	67.01	142.66 E	31	Neumayer	70.70	008.40 W	50
Casey	66.30	110.50 E	41	Novolazarevskaya	70.80	011.80 E	99
Davis	68.60	078.00 E	13	Orcadas	60.80	044.80 W	6
Dome C	75.12	123.37 E	3250	Pole	90.00		2853
Dumont d'Urville	66.70	140.00 E	43	Possession Island	71.89	171.21 E	30
Esperanza	63.40	057.00 W	13	Racer Rock	64.07	061.61 W	17
Faraday	65.40	064.40 W	11	Relay Station	74.02	043.06 E	3353
Halley	75.50	026.40 W	39	Rothera	67.50	068.10 W	16
King Sejong	62.22	058.78 W	10	Schwerdtfeger	79.90	169.97 E	60
Larsen Ice Shelf	66.95	060.91 W	17	Scott	77.90	166.70 E	14
Lettau	82.52	174.45 W	55	Syowa	69.00	039.60 E	21
Marambio	64.20	056.70 W	198	Uranus Glacier	71.43	068.93 W	780
Marble Point	77.44	163.75 E	108	Vostok	78.50	106.90 E	3488



Ryc. 1. Rozmieszczenie wybranych stacji pomiarowych

Fig. 1. Location of the selected stations

Podstawą opracowania były średnie miesięczne wartości temperatury powietrza. W celu zbadania rozkładu przestrzennego występowania zim bezjądrowych na Antarktydzie w dziesięciolecie 1990–1999 posłużono się metodą binarną, umożliwiającą klasyfikację sezonów zimowych (czerwiec-sierpień) ze względu na wystąpienie powyższego zjawiska. Stwierdzone ocieplenia w sezonie zimowym na poszcze-

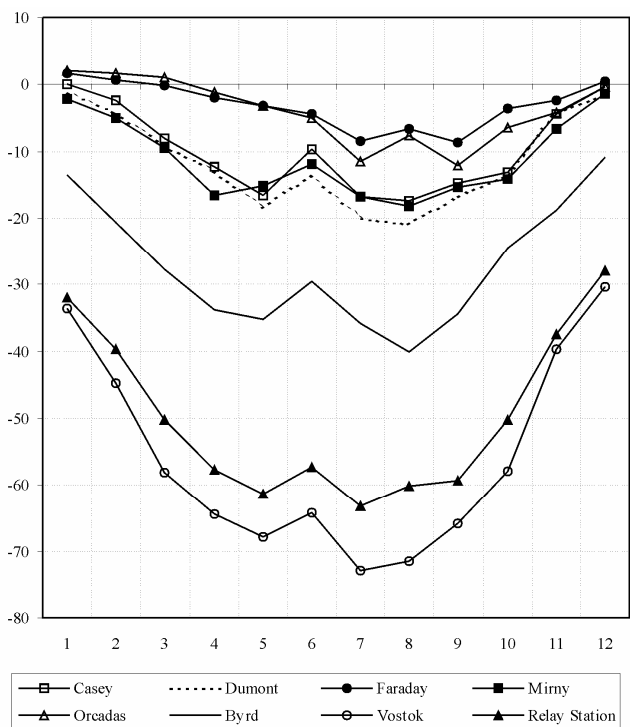
gólnych stacjach poddano następnie klasyfikacji według miesięcy, w których wystąpiło. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2. Przeprowadzono również analizę frekwencji występowania zim bezjądrowych według miesięcy dla całego kontynentu oraz poszczególnych regionów, zaś obliczone wartości przedstawiono na wykresie.

W celu zbadania zmienności czasowej występowania zim bezjądrowych na Antarktydzie w dziesięcioleciu 1990–1999 przeprowadzono szczegółową analizę częstości występowania zjawiska według lat dla wszystkich stacji, a następnie określono sumaryczną częstość występowania zim bez zimnego jądra na kontynencie w poszczególnych latach.

3. Zmienność występowania zim bezjądrowych na Antarktydzie

W okresie 1990–1999 zimy bezjądrowe wystąpiły na wszystkich badanych stacjach, jednakże nie co roku. Najrzadziej notowano je na Półwyspie Antarktycznym, gdzie w analizowanym 10-leciu pojawiły się łącznie dla wszystkich stacji tego regionu w 54% zim. Najczęściej zjawisko to obserwowane było na stacjach położonych na wybrzeżu Antarktydy w sektorze 120°E–120°W, gdzie notowane było aż w 85% zim.

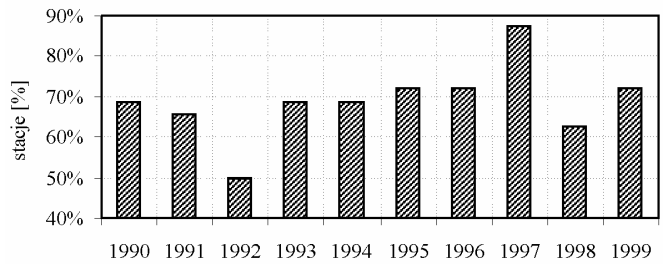
Zahamowanie spadku temperatury w środku zimy występowało w latach 1990–1999 w różnych miesiącach zimowych, w zależności od regionu i roku. Przykładowe przebiegi roczne temperatury powietrza w roku 1997 dla wybranych stacji antarktycznych, na których wystąpiła zima bezjądrowa ilustruje ryc. 2.



Ryc. 2. Przykładowe przebiegi roczne temperatury powietrza w roku 1997 dla wybranych stacji antarktycznych, na których wystąpiła zima bezjądrowa

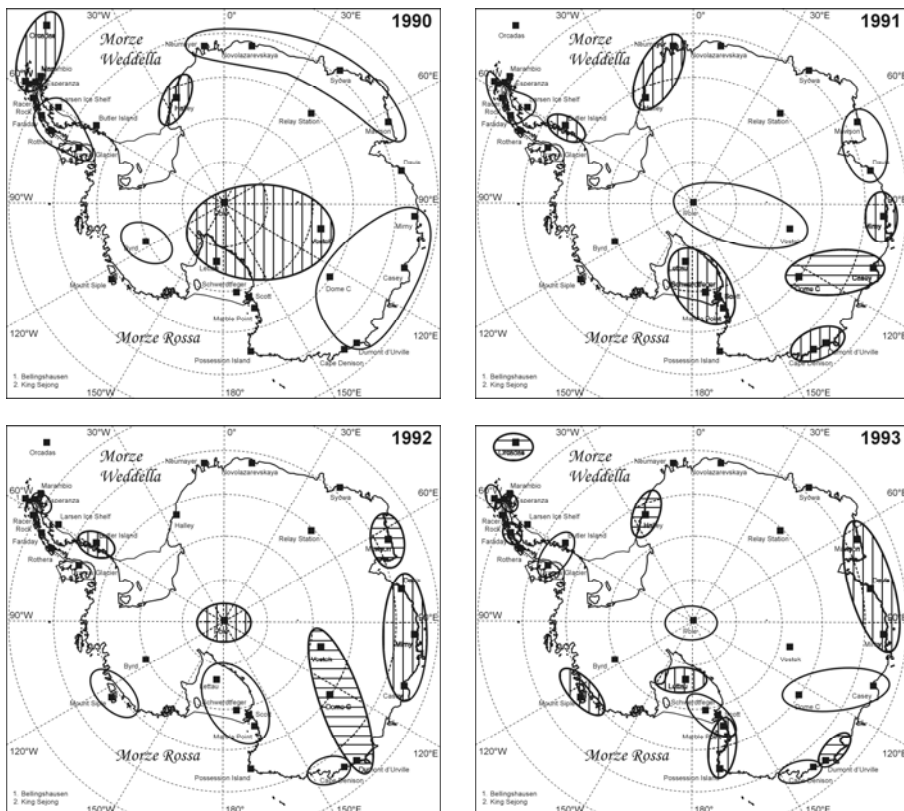
Fig. 2. Examples of annual courses of air temperature with the coreless effect in 1997 on selected Antarctic stations

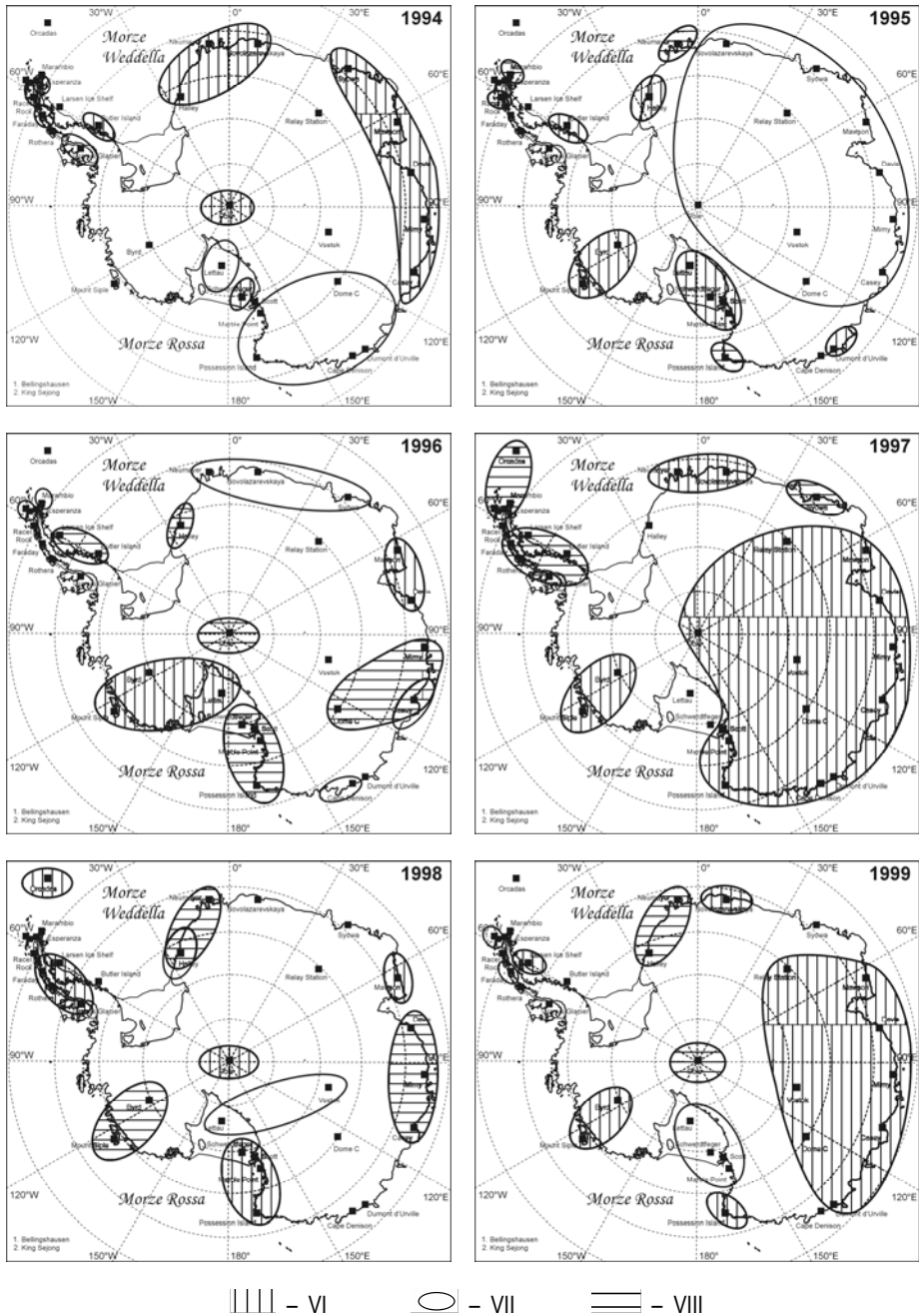
Pod względem zróżnicowania w czasie, najmniejszą liczbę stacji, na których wystąpiło zjawisko zim bezładrowych stwierdzono w roku 1992. Notowane było wówczas zaledwie na połowie badanych stacji. Największy zasięg zaobserwowano w roku 1997, w którym wzrost temperatury w sezonie zimowym wystąpił aż na 88% wszystkich stacji (ryc. 3). Zasięgi występowania zim bezładrowych na Antarktydzie w poszczególnych latach w dziesięcioleciu 1990–1999 przedstawia rycina 4.



Ryc. 3. Częstość względną [%] występowania ocieplenia w sezonie zimowym według badanych stacji pomiarowych w latach 1990–1999

Fig. 3. Relative frequency [%] of occurrence the winter warming according to selected researched stations in the period 1990–1999





Ryc. 4. Zasięgi występowania zim bezjadowych na Antarktydzie w poszczególnych latach w dziesięcioleciu 1990–1999

Fig. 4. Range of the occurrence of the coreless winters on the Antarctic for the particular years during the decade 1990–1999

Tabela 2 – Table 2

Występowanie ocieplenia w sezonie zimowym (w miesiącach)
Occurrence of warming in the winter season (in months)

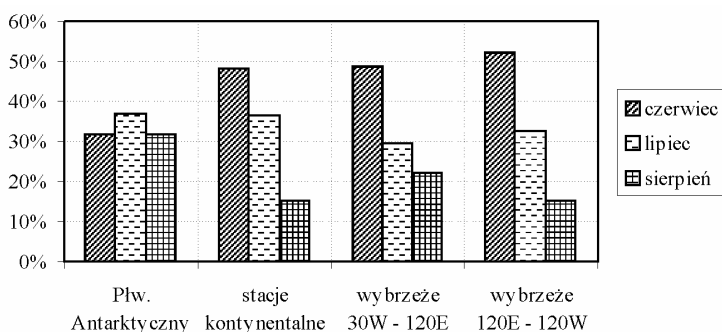
Stacje – Station	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Stacje na Półwyspie Antarktycznym – Stations on the Antarctic Peninsular										
Bellingshausen	6	7	0	7	0	0	7	8	0	7
Faraday	7	7	0	8	8	0	0	8	6	7
Esperanza	6	0	7	8	8	0	0	8	0	0
King Sejong	6	7	0	7	6	0	7	8	0	7
Marambio	6	0	-	-	-	8	7	8	0	0
Rothera	7	0	0	0	0	0	0	8	6	0
Racer Rock	0	7	0	0	6	6	0	0	0	0
Butler Island	0	6	6	7	6	6	8	8	0	0
Larsen Ice Shelf	7	7	0	0	0	0	8	8	6	6
Uranus Glacier	7	-	0	7	7	0	0	8	6	0
Orcadas	6	0	0	8	0	0	0	8	6	0
Stacje w głębi kontynentu – Stations in the interior of the continent										
Vostok	6	7	8	0	-	7	-	6	7	6
Dome C	7	8	8	7	7	7	8	6	0	6
Relay Station	-	-	-	-	-	7	0	6	0	6
Pole	6	7	6	7	6	7	8	6	6	8
Schwerdtfeger	0	6	7	7	6	6	8	0	6	7
Lettau	6	6	7	6	7	6	6	0	7	7
Byrd	7	0	0	0	0	6	6	6	8	6
Stacje na wybrzeżu w sektorze 030° – 120°E – Stations on the coast in zone 030°W – 120°E										
Casey	7	8	6	7	6	7	7/8	6	8	6
Davis	0	7	6	6	6	7	6	6	8	6
Halley	6	6	0	8	6	6	8	0	7/8	8
Mawson	7	7	8	6	6	7	6	6	6	6
Mirny	7	6	6	6	6	7	8	6	8	6
Neumayer	7	6	0	0	6	8	7	6	8	8
Novolazarevskaya	7	0	0	0	6	7	7	6	0	6
Syowa	7	0	0	0	6	7	7	8	0	0
Stacje na wybrzeżu w sektorze 120°E – 120°W – Stations on the coast in zone 120°E – 120°W										
Cape Denison	0	6	7	7	7	0	7	6	-	-
Possession Island	-	-	-	6	7	8	8	6	6	6
Marble Point	0	6	7	6/7	7	6	8	6	6	7
Mount Siple	-	-	7	6	0	6	6	6	8	6
Dumont d'Urville	7	6	8	8	7	6	0	6	0	6
Scott	0	6	7	7	0	6	8	6	6	7

0 – nie stwierdzono ocieplenia – not warming,
 6 – ocieplenie w czerwcu – warming in June,
 7 – ocieplenie w lipcu – warming in July,
 8 – ocieplenie w sierpniu – warming in August
 - - brak danych – lack of data

W 1990 roku zimy bezjądrowe wystąpiły na wszystkich stacjach za wyjątkiem wybrzeża w sektorze 120°E – 120°W i notowane było w czerwcu i lipcu. W roku 1991 zaobserwowano wystąpienie ocieplenia w sezonie zimowym na obszarze prawie całego kontynentu, jednakże nie na wszystkich stacjach, a wzrost temperatury przypadła na czerwiec lub lipiec w zależności od warunków lokalnych. Jedynie na

stacjach Casey oraz Dome C ocieplenie notowane było w sierpniu. W roku 1992 zasięg ten zmniejszył się o Półwysp Antarktyczny (za wyjątkiem stacji Butler Island i Esperanza), na którym nie stwierdzono wystąpienia zjawiska. Ocieplenie nie wystąpiło również na stacjach położonych na wybrzeżu kontynentu w strefie 030–120°E (Halley, Neumayer, Novolazarevskaya, Syowa). Na pozostałych stacjach ocieplenie notowane było we wszystkich miesiącach zimy w zależności od położenia stacji. W kolejnym roku (1993), zimowy wzrost temperatury notowano od czerwca do sierpnia na całym wybrzeżu poza stacjami: Neumayer, Novolazarevskaya i Syowa, w pozostałych regionach występował sporadycznie. W roku 1994 zimowe ocieplenie objęło swym zasięgiem całe wybrzeże Antarktydy, jednakże zaznaczyć należy, iż na stacjach położonych na wybrzeżu w sektorze 030°W – 120°E wzrost temperatury stwierdzono tylko w czerwcu, a na wybrzeżu w sektorze 120°E – 120°W wyłącznie w lipcu. W centrum kontynentu oraz na Półwyspie Antarktycznym ocieplenie występowało głównie w czerwcu lub lipcu, ale zdarzało się również w sierpniu (Faraday, Esperanza). Od roku 1995 obszar występowania zim bezjądrowych stopniowo wzrastał a zjawisko notowane było na wszystkich stacjach Antarktydy z wyjątkiem Półwyspu Antarktycznego, na obszarze którego wzrost temperatury stwierdzono jedynie na Marambio (sierpień), Racer Rock i Butler Island (czerwiec). Na stacjach położonych w głębi kontynentu poniżej 2000 m n.p.m. zimowe ocieplenie notowano w czerwcu, na większych wysokościach natomiast w lipcu. Na wybrzeżu w strefie 030°W – 120°E wzrost temperatury zaobserwowano na większości stacji w lipcu, na wybrzeżu 120°E – 120°W wystąpił z kolei w czerwcu. W 1996 roku zasięg zjawiska praktycznie nie zmienił się, zaś ocieplenie notowane było we wszystkich regionach głównie w sierpniu. W roku 1997 zaobserwowano gwałtowny wzrost zasięgu występowania zim bez zimnego jądra na kontynencie. Ocieplenie w tym roku notowane było na wszystkich stacjach na wybrzeżu oraz w głębi kontynentu w czerwcu, na Półwyspie Antarktycznym natomiast wyłącznie w sierpniu. W roku 1998 zasięg występowania zim bezjądrowych ponownie zmniejszył się, a ocieplenie w sezonie zimowym występowało na poszczególnych stacjach na całym kontynencie i uzależnione było od warunków lokalnych. Na stacjach Półwyspu Antarktycznego wzrost temperatury stwierdzono w czerwcu, na wybrzeżach w czerwcu lub sierpniu, w głębi kontynentu natomiast od czerwca do sierpnia w zależności od stacji. W roku 1999 wystąpienie zim bezjądrowych odnotowano na obszarze całego kontynentu z ociepleniem głównie w czerwcu, jedynie na Półwyspie Antarktycznym zimowy wzrost temperatury notowany był zaledwie na 4 stacjach: Bellingshausen, Faraday, King Sejong, Larsen Ice Shelf i przypadał na lipiec.

Największym zróżnicowaniem okresów występowania ociepleń w sezonie zimowym charakteryzują się stacje położone na Półwyspie Antarktycznym, gdzie wzrost temperatury występował w badanym 10-leciu najczęściej w lipcu (37% ociepleń), rzadziej w czerwcu i sierpniu – po 32% na każdy miesiąc. Na stacjach położonych w głębi kontynentu wzrost temperatury w środku zimy notowany był głównie w czerwcu (48%) i lipcu (37%), ale zdarzał się także w sierpniu (15%). Podobnie do stacji kontynentalnych przedstawiał się w badanym okresie rozkład częstości występowania wzrostu temperatury w okresie zimowym na wybrzeżu Antarktydy leżącym w sektorze 030°W – 120°E. W regionie tym obserwowane ocieplenia przypadły w większości na czerwiec (49%), w lipcu natomiast występowały już znacznie rzadziej (29%). Wzrost temperatury w sierpniu notowany był z kolei stosunkowo często w porównaniu z pozostałymi regionami stanowiąc 22 ociepleń. Najmniejszą zmienność występowania zimowego ocieplenia w 10-leciu 1990–1999 stwierdzono na stacjach położonych na wybrzeżu w strefie 120°E – 120°W, gdzie notowane było w większości w czerwcu (52%), ale pojawiało się również w lipcu (33%) lub sierpniu (15%). Rozkłady częstości występowania wzrostu temperatury w okresie zimowym według miesięcy w poszczególnych regionach Antarktydy przedstawia rysunek 5.



Ryc. 5. Częstość względna [%] występowania wzrostu temperatury w okresie zimowym według miesięcy w poszczególnych regionach Antarktydy w okresie 1990–1999

Fig. 5. Relative frequency [%] of occurrence the rises in temperature in the winter season according to month's intervals for the particular regions of the Antarctic in the period 1990-1999.

Przeprowadzona analiza okresów występowania ociepleń w sezonie zimowym według miesięcy na poszczególnych stacjach pomiarowych pozwoliła na dokonanie klasyfikacji wszystkich badanych stacji na 4 regiony:

- stacje położone na Półwyspie Antarktycznym (Bellingshausen, Butler Island, Esperanza, Faraday, King Sejong, Larsen Ice Shelf, Marambio, Racer Rock, Rothera, Uranus Glacier oraz położona na obszarze Morza Weddella stacja Orcadas),
- stacje położone w głębi kontynentu (Byrd, Dome C, Lettau, Pole, Relay Station, Schwerdtfeger oraz Vostok),
- stacje położone na wybrzeżu w sektorze 30W - 120E (Casey, Davis, Halley, Mawson, Mirny, Neumayer, Novolazarevskaya, Syowa),
- stacje położone na wybrzeżu w sektorze 120E - 120W (Cape Denison, Dumont d'Urville, Marble Point, Mount Siple, Possession Island oraz Scott).

Na Antarktydzie w badanym dziesięcioleciu 1990–1999 zaobserwowano ponadto sytuacje, kiedy po czerwcowym ociepleniu następował spadek temperatury w lipcu, a następnie kolejny wzrost w sierpniu i ponowny spadek we wrześniu. W takich przypadkach w analizie uwzględniano ten miesiąc, w którym średnia miesięczna temperatura powietrza osiągnęła najwyższą wartość.

4. Podsumowanie

Analiza przebiegów rocznych temperatury powietrza w poszczególnych latach w dziesięcioleciu 1990–1999 wykazała, że występowanie zim bezjądrowych na obszarze Antarktydy jest zjawiskiem częstym, charakteryzującym się zmiennością występowania zarówno w przestrzeni jak i w czasie.

Najmniejszą ilość stacji gdzie wystąpiło zjawisko zim bezjądrowych stwierdzono w roku 1992, w którym notowane było zaledwie na połowie badanych stacji, największy zasięg zaobserwowano z kolei w roku 1997, w którym wystąpiło aż na 88% wszystkich stacji.

Pod względem regionalnym stwierdzono zależności okresów występowania zim bez zimnego jądra w obrębie wydzielonych czterech charakterystycznych rejonów Antarktydy według badanych stacji pomiarowych:

- na Półwyspie Antarktycznym,
- w głębi kontynentu,
- na wybrzeżu w sektorze 030°W – 120°E,
- na wybrzeżu w sektorze 120°E – 120°W.

Wzrost temperatury w sezonie zimowym obserwowany był najczęściej na stacjach położonych na wybrzeżu Antarktydy w sektorze 120°E – 120°W, najrzadziej z kolei na Półwyspie Antarktycznym. Stwierdzono ponadto wyraźną zmienność przestrzenną występowania zim bezjądrowych z roku na rok, związaną z lokalnymi warunkami atmosferycznymi poszczególnych obszarów.

Pod względem okresów występowania ociepleń, wzrost temperatury w miesiącach zimowych notowany był na kontynencie głównie w czerwcu, co stanowi 45% wszystkich notowanych ociepleń w 10. leciu 1990–1999 na badanych stacjach antarktycznych, oraz w lipcu (33%). Sierpniowe ocieplenia obserwowane były najrzadziej i stanowiły zaledwie 22% wszystkich ociepleń.

Podsumowując można stwierdzić, iż duże zróżnicowanie zarówno przestrzenne jak i czasowe występowania zim bezjądrowych na obszarze Antarktydy może świadczyć o istnieniu sporej zmienności czynników cyrkulacyjnych decydujących o powstawaniu tego zjawiska.

Literatura

- Conolley W.M., 1996, The Antarctic temperature inversion. *International J. Climatology* 16.
- Hann J. von, 1909, Die meteorologischen Ergebnisse der englischen antarktischen Expedition, 1901-1904. *Meteorologische Zeitschrift*, 26.
- Kejna M., 1999, Air temperature in the Admiralty Bay region (King George Island, Antarctica), in the period 1977-1996 according to meteorological data from the Arctowski Station. *Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu*.
- Kejna M., 2002, Przebieg roczny temperatury powietrza na Antarktydzie. *Problemy Klimatologii Polarnej* 12, Gdynia.
- Marsz A.A., Styszyńska A. [red.], 2000, Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego. *Wyższa Szkoła Morska, Gdynia*.
- Schwerdtfeger W., 1970, The climate of the Antarctic. [w:] *Climate of the Polar Regions. World Survey of Climatology*, Vol.14. Elsevier, Amsterdam.
- Schwerdtfeger W., 1984, *Weather and Climate of the Antarctic*. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Styszyńska A., 2000, Zagadnienie genezy zim bezjądrowych w rejonie Szetlandów Południowych, [w:] *Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego*, *Wyższa Szkoła Morska, Gdynia*.
- Wendler G., Kodama Y., 1993, The kernlose winter in Adélie Coast. *Antarctic Research Series* 61, Washington.

SPATIAL VARIABILITY IN THE OCCURRENCE OF THE CORELESS WINTERS ON THE ANTARCTIC IN THE YEARS 1990–1999

Summary

Characteristic feature of the air temperature course over the year on the Antarctic is the winter warming known as a Coreless Winter effect (Hann 1909, Marsz 2000). This phenomenon is related to the

specific atmospheric circulation, frequent advection of warm air masses from the oceans into the interior of the continent and entering of cyclones onto the Antarctic.

The rise in temperature during the winter season occurred in the period 1990–1999 on all selected researched stations, however it didn't become visible every year (Table 2). Analysis of annual courses of air temperature in the particular years in the last decade of 20th century proved, that the occurrence of the Coreless Winters on the Antarctic is a repeated phenomenon, characterized by spatial and temporal variability. An example of annual courses of air temperature with the coreless effect in 1997 on selected stations is shown on Fig. 2.

The least number of Antarctic stations with the winter warming were observed in 1992, when the phenomenon was merely recorded on the half of all selected stations (Fig. 3), whereas the greatest extent was stated in 1997, when it occurred on the 88% of all the stations. Extents in the occurrence of the kernlose winters on the Antarctic for the particular years during the decade 1990–1999 are shown on Fig.4.

In respect of regional location there was stated the existence of interdependences in the periods in occurrence of the rises in temperature during the winter season within 4 typical regions of the Antarctic according to selected research stations:

- on the Antarctic Peninsular
- in the interior of the continent
- on the coast in zone 030°W – 120°E
- on the coast in zone 120°E – 120°W

The analysis of annual courses of air temperature in the years with coreless effect indicated, that the most often rise in air temperature in the winter season was observed on the stations on the coast in zone 120°E – 120°W of the Antarctic, whereas the most rarely it was noted on the Antarctic Peninsular.

The rises in temperature were mostly observed on the whole continent in June which equals 45% of all the warmings noted in years 1990–1999 on every stations, and in July – 33%. The rises in temperature were the most rarely observed in August and occurred merely in 22% of all the warmings. The relative frequency [in %] of occurrence the rises in temperature in the winter season according to month's intervals for the particular regions of the Antarctic in the period 1990–1999 is shown on Fig. 5.

The great spatial and temporal variability in occurrence of the Coreless Winters on the Antarctic observed during the last decade of 20th century may prove the existence of the considerable dynamics of the circulation factors, which determine the formation of this phenomenon.