

**WPŁYW CYRKULACJI ATMOSFERY
NA WYSTĘPOWANIE DNI Z PRZEJŚCIEM TEMPERATURY PRZEZ 0°C
W HORNSUNDZIE (SPITSBERGEN)**

THE INFLUENCE OF THE ATMOSPHERIC CIRCULATION ON THE OCCURRENCE
OF DAYS WITH FREEZE-THAW EVENTS IN HORNSUND (SPITSBERGEN)

Ewa Łupikasza, Łukasz Małarzewski, Tadeusz Niedźwiedz

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec

ewa.lupikasza@us.edu.pl, malarzewski@onet.eu, tadeusz.niedzwiedz@us.edu.pl

Zarys treści. Dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) są ważnym wskaźnikiem współczesnych zmian klimatu. W obszarach polarnych przekroczenie wspomnianego progu termicznego ma istotne znaczenie ze względu na uruchamiające się wówczas procesy zamarzania wody i tajania lodu. Celem niniejszego artykułu jest określenie wieloletnich zmian występowania dni z $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ oraz zbadanie relacji pomiędzy ich występowaniem a makroskalową cyrkulacją atmosfery w Hornsundzie, na podstawie dostępnych danych.

Dni z przejściem temperatury przez 0°C w Hornsundzie pojawiają się w ciągu całego roku. Ich występowanie podlega istotnym statystycznie różnokierunkowym zmianom w czerwcu (trend ujemny) i w grudniu (trend dodatni), a kierunek tych zmian wykazuje związek ze średnią miesięczną temperaturą powietrza oraz jej wzrostową tendencją. Relacje pomiędzy występowaniem dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C a cyrkulacją atmosfery zmieniają się w przebiegu rocznym. W miesiącach zimowych (grudzień, styczeń, luty, marzec) oraz w kwietniu, październiku i listopadzie występowaniu dni z przejściem temperatury przez 0°C najbardziej sprzyja adwekcja powietrza z południa (S, SW i W) bez względu na rodzaj układu barycznego. W sierpniu, kiedy zależności występowania dni z $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ od cyrkulacji atmosfery są bardzo wyraźne, oraz w lipcu, ich występowanie związane jest z napływem zimnego powietrza z NW i W, szczególnie podczas zalegania wyżu.

Słowa kluczowe: dni z przejściem temperatury przez 0°C, przymrozki, cyrkulacja atmosfery, Spitsbergen, Hornsund.

1. Wstęp

Dni charakterystyczne pod względem termicznym, czyli takie, podczas których temperatura powietrza przekracza określone wartości progowe, zaliczane są do wskaźników współczesnych zmian klimatu. Obserwowany również w Hornsundzie, wzrost temperatury powietrza (Wielbińska 1992, Marsz i Styszńska 2007) powinien prowadzić do istotnych zmian częstości występowania dni charakterystycznych. W obszarach polarnych szczególne znaczenie ma liczba dni z przejściem temperatury przez próg 0°C, kiedy to następują procesy zamarzania wody i tajania lodu. Na potrzebę wydzielenia takich dni

pierwszy zwrócił uwagę M. Hess (1965) przy badaniach klimatu Karpat, traktując takie dni, jako właściwe dni przymrozkowe. Stosowana nierzadko definicja dnia przymrozkowego (m. in. Glickman 2000), jako dnia z temperaturą ujemną ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) nie jest właściwa, gdyż w tej grupie dni znajdują się również dni mroźne ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$). Dlatego też M. Hess określili takie dni terminem dni z mrozem i przymrozkiem. W słowniku meteorologicznym Polskiego Towarzystwa Geofizycznego (Niedźwiedz 2003) dni z przejściem temperatury przez 0°C również traktowane są jako dni z przymrozkiem. Definicja dnia z przejściem temperatury przez 0°C dotyczy przedziałów dobowych, zdefiniowanych dla obszaru Europy, jako okres od godziny 18 UTC dnia poprzedniego do godziny 18 UTC dnia bieżącego. Zmiana temperatury może mieć klasyczny przebieg dobowy, a także, zwłaszcza w obszarach polarnych, temperatura może nierównomiernie spadać od wartości dodatnich do ujemnych, ewentualnie wzrastać od wartości ujemnych do dodatnich. Niekiedy w ciągu doby może dochodzić do kilkakrotnego przejścia temperatury przez 0°C .

Prowadzone dotychczas badania zmian temperatury powietrza w Hornsundzie jednoznacznie wskazują na jej tendencje rosnące we wszystkich miesiącach roku (Wielbińska 1992, Kierzkowski 1996, Marsz i Styszyńska 2007). Podobne tendencje obserwuje się w całym Regionie Atlantyckim (Przybylak 2007). Generalna tendencja do ocieplania się rejonu Spitsbergenu (1979-2006) jest najsilniejsza w grudniu i statystycznie istotna również w listopadzie, kwietniu, maju, czerwcu i sierpniu (Marsz i Styszyńska 2007). Badania wieloletniej zmienności oraz związków pomiędzy występowaniem dni charakterystycznych pod względem termicznym w Hornsundzie dotychczas nie były podejmowane. Jedynie Z. Ustrnul (1987) podaje, że w Hornsundzie w okresie 1978-1986 występowały średnio 73 dni, podczas których temperatura powietrza przechodzi przez 0°C ; najwięcej takich dni pojawiało się w maju, czerwcu i we wrześniu (średnio 11 dni), z kolei najmniej w lipcu i sierpniu. Niniejsze opracowanie, którego celem jest określenie związków pomiędzy występowaniem dni z przejściem temperatury przez 0°C a cyrkulacją atmosfery oraz zbadanie charakteru ich wieloletnich zmian jest ważnym uzupełnieniem badań nad termiką Hornsundu.

2. Dane i metody

Dni z przejściem temperatury przez próg 0°C , określane, jako dni z przymrozkiem (Niedźwiedz 2003), wyznaczono zgodnie z definicją, na podstawie dobowej minimalnej ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) oraz maksymalnej ($T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) temperatury powietrza.

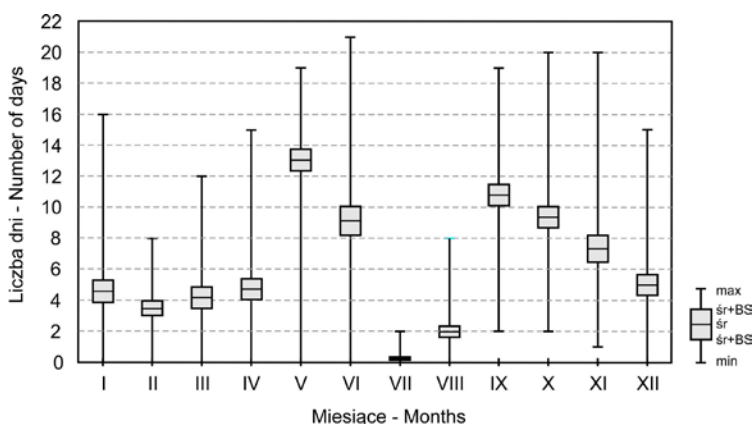
Materiał liczbowy stanowią wyniki pomiarów temperatury powietrza na Stacji Naukowej Instytutu Geofizyki PAN, zlokalizowanej na tundrze w południowo-zachodniej części Spitsbergenu na terasie morskiej fiordu Hornsund, położonej na wysokości 11 m n.p.m. Współrzędne stacji są następujące: $\varphi = 77^{\circ}00'N$, $\lambda = 15^{\circ}33'E$. Wykorzystano wszystkie dostępne dane opublikowane zarówno w Biuletynach IMGW (Miętus 2000-2001) jak też Instytutu Geofizyki PAN, w tym w biuletynach elektronicznych (Institute of Geophysics 2001, 2003, Instytut Geofizyki PAN, 2009-2012), łącznie z najstarszymi pomiarami w okresie Międzynarodowego Roku Geofizycznego (26.07.1957-16.08.1958 MRG; 4.07.1978-29.02.2012).

Obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C w poszczególnych miesiącach. Zbadano zmienność tych dni w okresie 1979-2011 oraz obliczono ich trendy liniowe dopasowane metodą najmniejszych kwadratów. Statystyczną istotność trendów oszacowano testem t. Szczególną uwagę zwrócono na charakterystykę synoptyczno-klima-

tyczną liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C poprzez obliczenie prawdopodobieństwa warunkowego ich występowania w typach cyrkulacji wykorzystując katalog T. Niedźwiedzia (2012). Te ostatnie obliczenia wykonano dla pełnego zbioru danych z uwzględnieniem MRG.

3. Przebieg roczny występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C w Hornsundzie

Dni z przejściem temperatury przez 0°C w Hornsundzie zdarzają się przeciętnie przez 74 dni w roku, z wahaniami od 48 dni w roku 2002 do 93 dni w latach 1996 i 2009. Do skrajnych pod względem ich występowania zalicza się również rok 2006, kiedy zanotowano 92 takie dni. Przebieg roczny liczby dni z $T_{min}<0^{\circ}C$ i $T_{max}>0^{\circ}C$, które w Hornsundzie pojawiają się w ciągu całego roku, ma charakter bimodalny z pierwszorzędym maksimum w maju (średnio 13 dni) i drugorzędym we wrześniu (średnio 11 dni). Dni, podczas których temperatura przekracza próg 0°C pojawiają się również w miesiącach letnich (lipiec i sierpień), przy czym w sierpniu (2 dni) zdarzają się one częściej niż w lipcu (0,3 dni). W pierwszej połowie roku, liczba dni z przejściem temperatury przez 0°C wzrasta skokowo pomiędzy kwietniem (ok. 5 dni) i majem (ok. 13 dni), z kolei w okresie od września do grudnia stopniowo maleje od około 11 do 5 dni (ryc. 1).



Ryc. 1. Przebieg roczny liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min}<0^{\circ}C$ i $T_{max}>0^{\circ}C$) w Hornsundzie w okresie 1979-2011 (śr – średnia; śr+BS – średnia + błąd standardowy; min – minimum; max – maksimum)

Fig. 1. Annual course of the number of days with freeze-thaw events ($T_{min}<0^{\circ}C$ and $T_{max}>0^{\circ}C$) in Hornsund in the period 1979-2011 (śr – average; śr+BS – average + standard error; min – minimum; max – maximum).

4. Wieloletni przebieg występowania dni z przejściem T przez próg 0°C

Istotne zmiany ($p<0,05$) występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C odnotowano tylko w czerwcu i w grudniu. W czerwcu ich liczba spadała o 2,3 dnia na 10 lat, z kolei w grudniu wzrastała o 1,6 dnia na 10 lat. Te przeciwstawne, co do kierunku tendencje są wyrazem wzrostu temperatury powietrza we wspomnianych miesiącach. Średnia temperatura minimalna powietrza w czerwcu jest w Hornsundzie bliska zera (tabela 1), a jej trend wzrostowy powoduje, że w poszczególnych dniach temperatura powietrza w ciągu doby termicznej coraz rzadziej spada poniżej progu 0°C, co skutkuje tendencją spadkową częstości dni z $T_{min}<0^{\circ}C$ i $T_{max}>0^{\circ}C$. Z kolei stwierdzona, wzrostowa tendencja

średniej temperatury w grudniu (średnia temperatura dobowa $-9,4^{\circ}\text{C}$; tabela 1) powoduje, że jej wartości maksymalne w ciągu doby coraz częściej wzrastają powyżej 0°C , co w efekcie przyczynia się do wzrostu częstości badanych dni.

Tabela 1. Tendencje liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ i $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$), mroźnych ($T_{\max}<0^{\circ}\text{C}$) i temperatury powietrza (T) w Hornsundzie w okresie 1979-2011

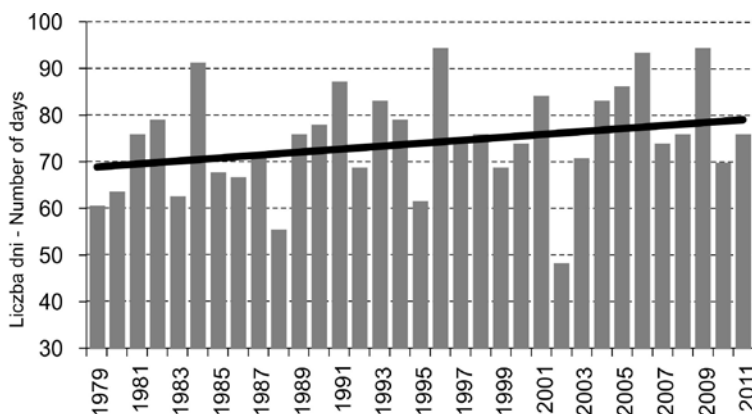
Table 1. Trends in the number of days with freeze-thaw events ($T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$), frosty days ($T_{\max}<0^{\circ}\text{C}$) and monthly air temperatures in Hornsund in the period 1979-2011.

Miesiąc Month	Trendy liczby dni z $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ i $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$ Trends in the number of days with $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$		Trend liczby dni mroźnych ($T_{\max}<0^{\circ}\text{C}$) Trends in number of ice days ($T_{\max}<0^{\circ}\text{C}$)		Trend temperatury [$^{\circ}\text{C}$]/10 lat Trends in air temperature [$^{\circ}\text{C}$]/10 years			Temperatura średnia miesięczna [$^{\circ}\text{C}$] Mean monthly air temperature [$^{\circ}\text{C}$]		
	Ld/10 lat Ld/10 years	p	Ld/10 lat Ld/10 years	p	Tśr Tavg	Tmax Tmax	Tmin Tmin	Tśr Tavg	Tmax Tmax	Tmin Tmin
	I	+1,2	0,126	-1,5	0,094	+1,8*	+1,4*	+2,2*	-10,8	-7,8
II	-0,4	0,481	+0,2	0,687	+1,3*	+0,9	+1,7*	-10,7	-7,7	-13,9
III	-0,4	0,533	+0,5	0,492	+0,2	0,0	+0,4	-10,7	-7,7	-13,8
IV	+1,4	0,055	-1,7	0,073	+1,2*	+1,0*	+1,5*	-8,4	-5,5	-11,3
V	+1,3	0,078	-2,2	0,007	+0,8*	+0,6*	+1,1*	-2,8	-0,5	-4,9
VI	-2,3	0,014	-0,7	0,009	+0,5*	+0,4*	+0,6*	+1,9	+3,8	+0,3
VII	-	-	-	-	+0,1	+0,1	+0,1	+4,4	+6,5	+2,6
VIII	-0,4	0,291	-	-	+0,2	+0,2	+0,3*	+0,4	+6,0	+2,3
IX	-0,9	0,219	-	-	+0,5	+0,5	+0,6*	+1,4	+3,3	-0,2
X	+0,8	0,242	-1,0	0,304	+0,7	+0,6	+0,8*	-3,2	-1,2	-5,4
XI	+1,3	0,160	-2,0	0,092	+1,6*	+1,5*	+1,8*	-6,3	-3,9	-8,9
XII	+1,6	0,018	-1,9	0,027	+2,4*	+2,1*	+2,7*	-9,4	-6,6	-12,3

Pogrubione wartości oznaczają tendencje statystycznie istotne, T (śr, max, min) – temperatura powietrza (średnia, maksymalna, minimalna, Ld – liczba dni, p – poziom istotności statystycznej, * statystycznie istotne trendy temperatury powietrza na poziomie 0,05

Bolded values mean that trends are statistically significant, T (avg, max, min) – air temperature (average, maximum, minimum), Ld – number of days, p – level of statistical significance, * statistically significant trends at 0.05 level.

W pozostałych miesiącach tendencje dni z przejściem T przez próg 0°C są statystycznie nieistotne i różnokierunkowe. Zauważa się, że trendy wzrostowe częstości dni z $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$ i $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ (kwiecień, maj, listopad) są silniejsze (zazwyczaj ponad 1 dzień na 10 lat) aniżeli trendy spadkowe (luty, marzec) – tabela 1. Wyjątkami są: wrzesień, ze spadkową tendencją dni z przejściem T przez próg 0°C rzędu $-0,9$ dnia na 10 lat i październik, z tendencją wzrostową wielkości $+0,8$ dnia na 10 lat. Nieistotny trend wzrostowy rocznej liczby dni z przejściem T przez próg 0°C wynosi 3,2 dnia na 10 lat (ryc. 2). W tabeli 1, dla porównania, przedstawiono również wyniki analizy trendów średnich miesięcznych charakterystyk termicznych oraz występowania dni mroźnych ($T_{\max}<0^{\circ}\text{C}$), które są opublikowane w osobnym artykule w niniejszym tomie (Niedźwiedz i in. 2012). Częstość dni mroźnych, podobnie jak dni z $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ i $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$, istotnie zmienia się w czerwcu i grudniu jak również w maju, przy czym tendencje te we wszystkich wspomnianych miesiącach są ujemne.



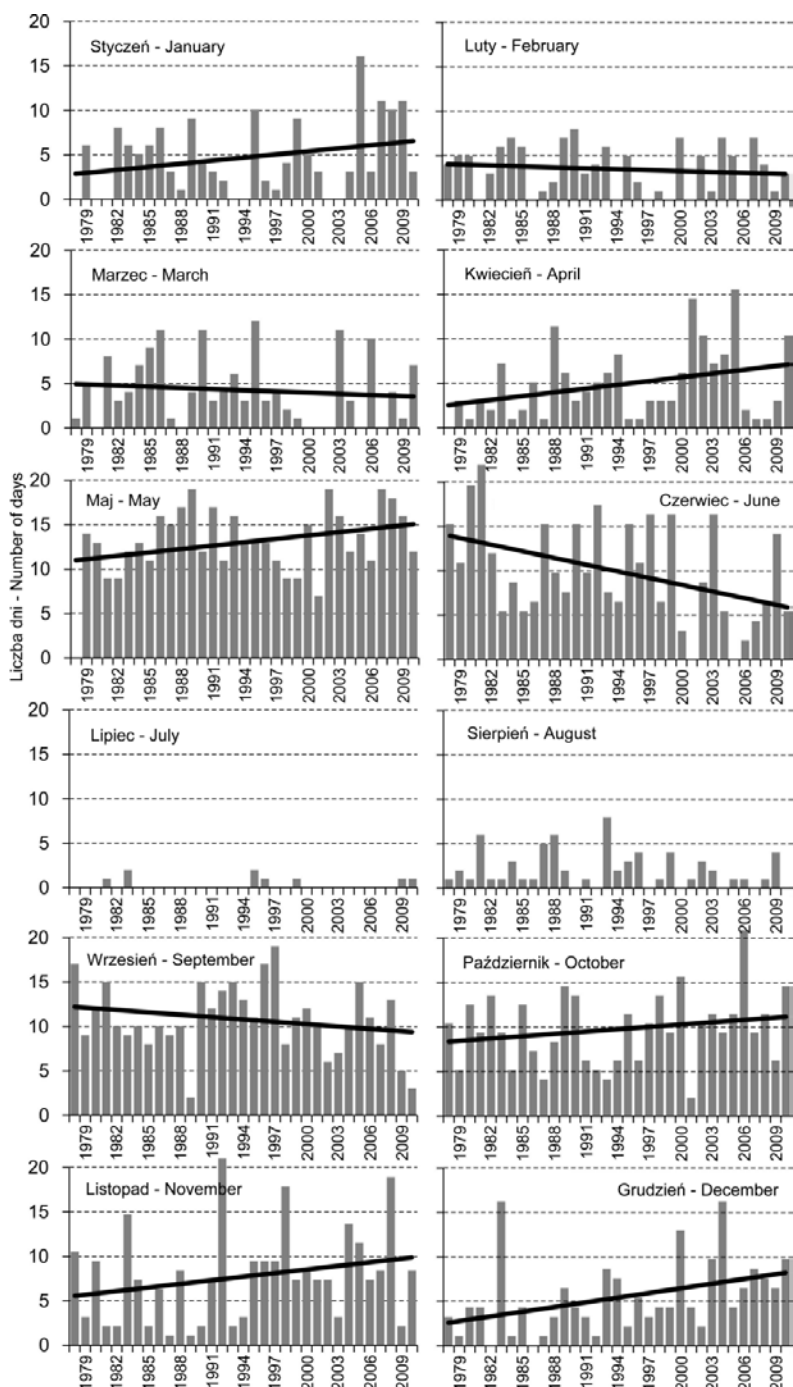
Ryc. 2. Wieloletni przebieg rocznej liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$) w Hornsundzie w okresie 1979-2011

Fig. 2. Long-term course of the number of days with freeze-thaw events ($T_{min} < 0^{\circ}C$ and $T_{max} > 0^{\circ}C$) in Hornsund in the period 1979-2011.

Mimo tego, że tylko niektóre trendy liniowe są statystycznie istotne, w przebiegu wieloletnim liczby dni z przejściem T przez próg $0^{\circ}C$, zauważa się wyraźne krótkookresowe tendencje lub godne uwagi cechy charakterystyczne (ryc. 3). W styczniu, pod koniec badanego wielolecia wystąpiła sekwencja lat, w których liczba dni z przejściem T przez $0^{\circ}C$ była większa niż w latach wcześniejszych (2006: 16 dni, 2008 i 2010: 11 dni, 2009: 10 dni). W marcu, po roku 2000, aż pięciokrotnie (2001, 2002, 2003, 2006 i 2007) rozpatrywane dni w ogóle nie wystąpiły. W kwietniu zauważalna jest tendencja wzrostowa dni z przejściem T przez $0^{\circ}C$, przy czym jej niska istotność statystyczna związana jest ze stosunkowo małą ich liczbą w okresach 1996-2000 (średnio 2,2 dni) i 2007-2010 (1,8 dni). W maju, w latach 80. notowano regularny wzrost (z 9 dni w roku 1982 do 19 dni w roku 1990), z kolei w latach 90. równie regularny i takiej samej wielkości spadek omawianych dni. Podobną tendencję spadkową stwierdzono również we wrześniu w okresie od początku lat 90. (15 dni w roku 1991) do końca badanego wielolecia (3 dni w roku 2011), przy czym w latach 1997 i 1998 liczba dni z przejściem T przez $0^{\circ}C$ była duża (odpowiednio 17 dni i 19 dni). Wspomniane lata (1997 i 1998) odbiegały więc od charakteru zmian badanego wskaźnika obserwowanych w tym okresie. W listopadzie, do połowy lat 90. liczba dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$ aż sześciokrotnie nie przekroczyła 2 dni (1982, 1983, 1986, 1988, 1990 i 1991), z kolei w roku 1993 osiągnęła 20 dni. Po roku 1995 wartość wskaźnika tylko raz obniżyła się do 2 dni (2010) i raz do 3 dni (2004), zaś w pozostałych latach nie była niższa niż 7 dni.

5. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni z przejściem temperatury przez $0^{\circ}C$

Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$ zmienia się w cyklu rocznym. W okresie półroczia zimowego (od listopada do kwietnia), kiedy dominują dni mroźne, omawiane dni pojawiają się w okresie ociepleń generowanych głównie przez sytuacje cyklonalne z adwekcją powietrza z kierunków S, SW i W. W większości wymienionych miesięcy zimowych, z wyjątkiem kwietnia, największym prawdopodobieństwem wystąpienia dni z przejściem temperatury przez $0^{\circ}C$, przekraczającym 60%, charakteryzuje się sytuacja SWc (od 61% w grudniu do 74% w listopadzie).



Ryc. 3. Wieloletni przebieg miesięcznej liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$) w Hornsundzie w okresie 1979-2011. Wartości trendów i ich istotność statystyczna podane są w tabeli 1

Fig. 3. Long-term course of the monthly number of days with freeze-thaw events ($T_{min} < 0^{\circ}C$. and $T_{max} > 0^{\circ}C$) in Hornsund in the period 1979-2011. The trends' magnitude and statistical significance are given in the table 1.

W listopadzie, grudniu, styczniu i maju dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C stanowią ponad 50% dni z sytuacjami Sc, a w listopadzie, grudniu, marcu i maju także z typem cyrkulacji Wc (tabela 2). We wspomnianej porze roku występowaniu dni z Tmin<0°C i Tmax>0°C sprzyjają również sytuacje antycyklonalne. Prawdopodobieństwo ich wystąpienia podczas napływu powietrza z kierunku S, SW i W przy sytuacjach wyżowych w przypadku niektórych miesięcy, bywa wyższe niż podczas układów niskiego ciśnienia (kwiecień i luty przy sytuacji Wa; listopad przy typie cyrkulacji Sa). Charakter relacji pomiędzy występowaniem dni z Tmin<0°C i Tmax>0°C i typem cyrkulacji atmosfery jest podobny w styczniu, lutym, marcu i grudniu co dobrze ilustruje rycina 4. W niektórych sytuacjach antycyklonalnych (Na, NEa, NWa) omawiane dni z w sezonie zimowym w ogóle nie występują (tabela 2).

Tabela 2. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dni z przejściem temperatury przez 0°C (Tmin<0°C i Tmax>0°C) w typach cyrkulacji

Table 2. Conditional probability [%] of the days with freeze-thaw events (Tmin<0°C i Tmax>0°C) in circulation types.

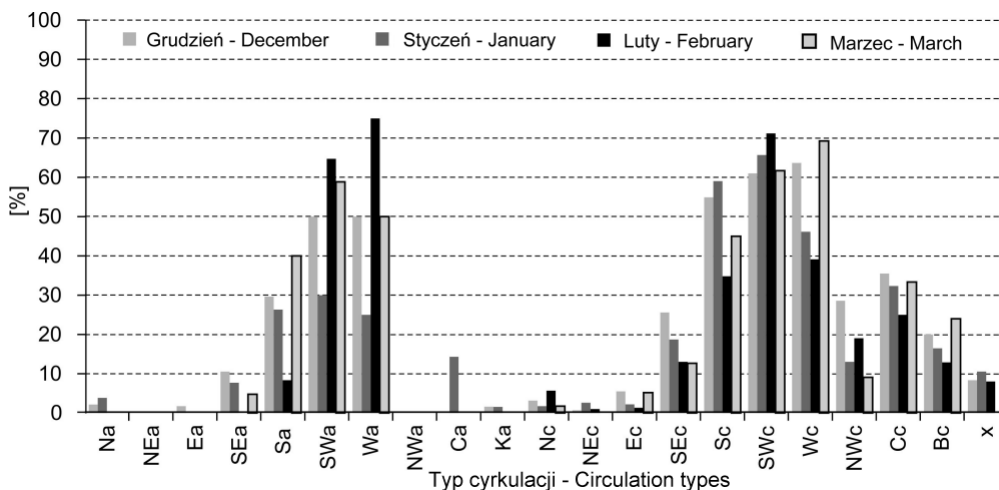
Typ Type	Miesiące – Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Na	3,8	0	0	1,4	33,7	50,0	0	19,5	67,7	4,4	0	2,2
NEa	0	0	0	0	18,8	34,7	0	6,3	60,0	11,3	0	0
Ea	0	0	0	1,2	15,9	27,1	0	1,5	18,4	20,0	1,7	1,8
SEa	7,7	0	4,8	13,7	38,3	20,8	1,7	3,4	34,5	30,4	19,2	10,5
Sa	26,3	8,3	40,0	47,6	61,9	12,5	0	2,9	30,4	42,1	63,6	29,6
SWa	30,0	64,7	58,8	63,6	76,9	30,0	0	0	52,2	27,3	58,3	50,0
Wa	25,0	75,0	50,0	42,9	75,0	27,7	0	11,4	47,1	28,6	33,3	50,0
NWa	0	0	0	16,7	42,1	26,8	11,1	30,8	50,0	0	50,0	0
Ca	14,3	0	0	0	36,7	52,9	4,8	7,7	50,0	0	0	0
Ka	1,6	0	0	11,4	43,8	34,4	1,2	8,6	47,6	14,0	10,8	1,6
Nc	1,7	5,7	1,7	6,0	58,3	35,8	1,6	8,2	53,4	17,6	3,4	3,2
NEc	2,6	1,0	0	3,3	22,7	32,7	5,1	2,3	35,9	25,2	5,0	0,7
Ec	2,2	1,3	5,2	9,8	37,9	27,5	0	7,4	27,9	39,6	14,3	5,5
SEc	18,7	13,0	12,6	34,7	48,8	20,7	2,3	1,4	27,7	37,5	37,8	25,6
Sc	59,0	34,8	45,0	37,1	57,1	5,6	0	2,2	13,8	36,4	58,1	54,9
SWc	65,7	71,2	61,7	41,9	62,5	8,5	0	1,8	18,2	47,2	73,6	61,0
Wc	46,2	39,1	69,2	38,5	76,2	14,3	0	3,8	26,9	41,2	63,6	63,6
NWc	13,0	19,0	9,1	23,8	44,4	42,6	0	16,0	62,5	53,3	27,3	28,6
Cc	32,3	25,0	33,3	35,0	48,8	31,8	0	0	25,0	52,5	54,2	35,5
Bc	16,4	12,9	24,0	17,5	51,5	21,9	0	8,2	15,7	47,8	40,3	20,0
x	10,5	8,0	-	17,2	53,8	35,5	0	14,7	45,6	33,3	20,0	8,3

N, NE ... - kierunek napływu powietrza, a – sytuacja antycyklonalna, c – sytuacja cyklonalna, Ca, Cc – centrum, odpowiednio wyżu i niżu, Bc – bruzda niżowa, Ka – klin wyżowy, x – sytuacja niesklasyfikowana.

Pogrubiono wartości powyżej 40%

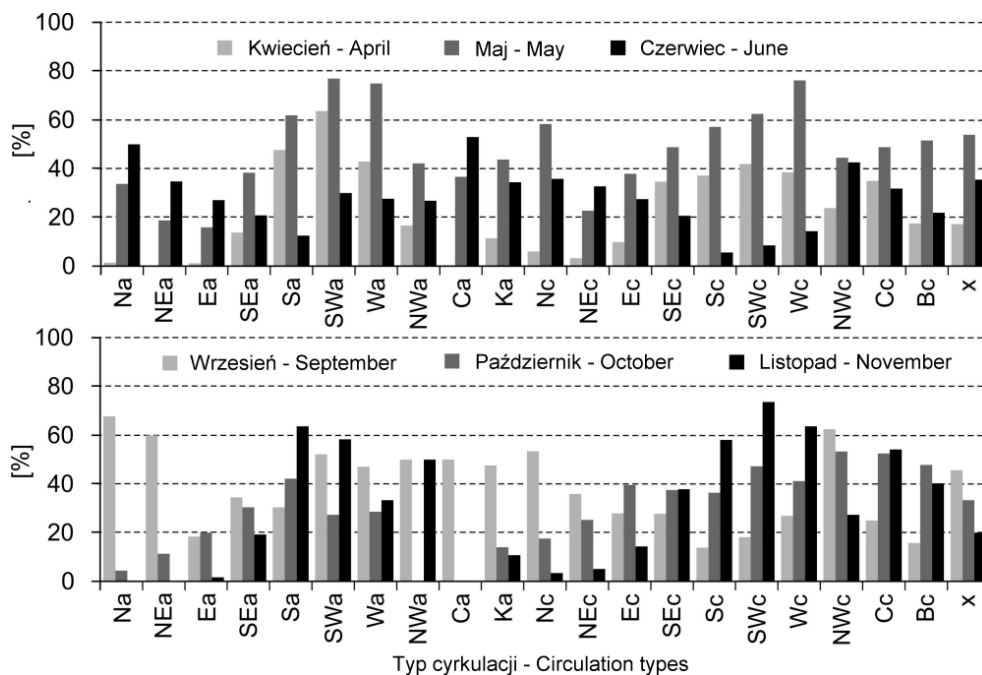
N, NE ... - direction of the air advection, a – anticyclonic situation, c – cyclonic situation, Ca, Cc – the centre of the high and low, respectively, Bc – through of low pressure, Ka – anticyclonic wedge or ridge of high pressure, x – unclassified situations or pressure col. Values above 40% are bolded.

Związki między występowaniem dni z Tmin<0°C i Tmax>0°C a cyrkulacją atmosfery charakterystyczne dla sezonu zimowego utrzymują się jeszcze w kwietniu, a pojawiają się już październiku i listopadzie; przy czym w kwietniu ich prawdopodobieństwo podczas napływu powietrza z południa (szczególnie z SW) jest mniejsze podczas sytuacji niżowych aniżeli przy wyżach (ryc. 5).



Ryc. 4. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$) w typach cyrkulacji w wybranych miesiącach (grudzień, styczeń, luty, marzec)

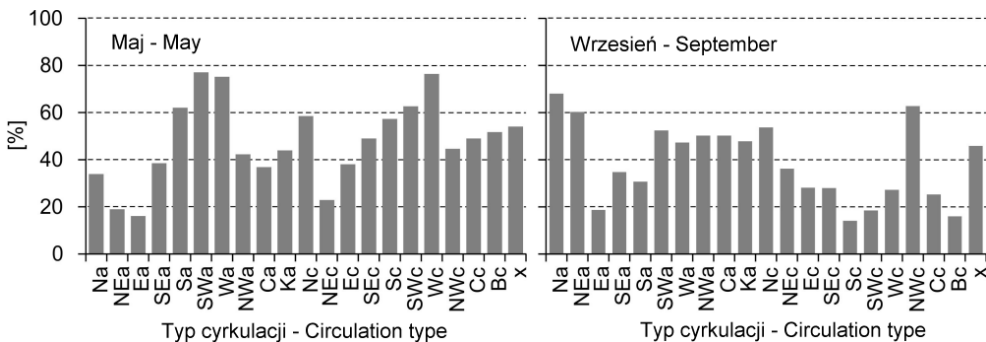
Fig. 4. Conditional probability [%] of the days with freeze-thaw events ($T_{min} < 0^{\circ}C$ and $T_{max} > 0^{\circ}C$) in circulation types in selected months (December, January, February, March).



Ryc. 5. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$) w typach cyrkulacji na wiosnę (kwiecień-czerwiec) i jesienią (wrzesień-listopad)

Fig. 5. Conditional probability [%] of the days with freeze-thaw events ($T_{min} < 0^{\circ}C$ and $T_{max} > 0^{\circ}C$) in circulation types in spring (April-June) and in autumn (September-November).

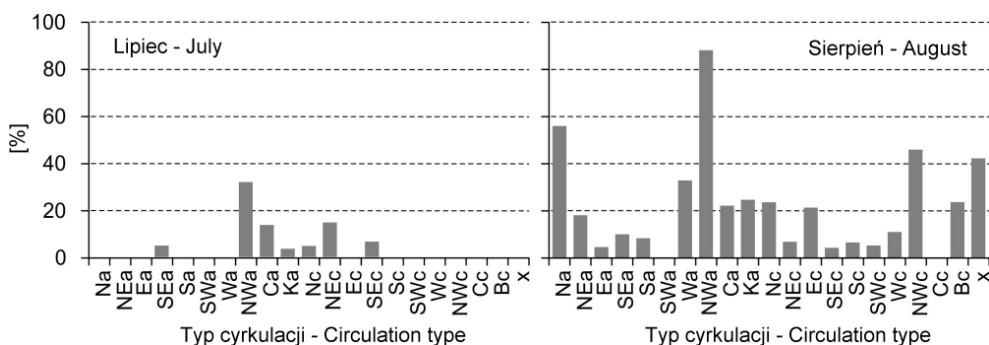
W ciągu roku największą częstością dni z przejściem temperatury przez próg 0°C odznacza się maj i wrzesień, przy czym relacje pomiędzy ich występowaniem a cyrkulacją atmosfery w miesiącach tych kształtują się odmiennie (ryc. 6). W maju największe prawdopodobieństwo wystąpienia dni z $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ zaznacza się przy typach SWa (77%), Wa (75%) oraz Wc (76%); ponadto stanowią one około 60% dni z typami Sa (62%), SWc (62,5%), Nc (58%) i Sc (57%). Najmniejszą szansą wystąpienia dni z przejściem temperatury przez 0°C w maju, kiedy średnia temperatura powietrza jest jeszcze wciąż ujemna (tab. 1) charakteryzują się dni, podczas których nad Spitsbergen napływa zimne powietrze z kierunku północno wschodniego i wschodniego przy oddziaływaniu układu wysokiego ciśnienia (Ea: 16% i NEa 19%), (ryc. 6). We wrześniu, którego średnia temperatura powietrza jest dodatnia (tab. 1), ten sam typ cyrkulacji atmosferycznej (NEa) oraz typ Na generują z kolei najwięcej dni z $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ (odpowiednio 60% i 68%). W miesiącu tym stosunkowo dużo dni z przejściem temperatury przez 0°C pojawia się również w typie NWc (62%). Należy także zauważyć niewielkie zróżnicowanie prawdopodobieństwa wystąpienia badanych dni we wrześniu (około 6%) pomiędzy typami z napływem powietrza z sektora N-SW (sytuacje: SWa: 52%, Wa: 47%, NWA: 50% i Nc: 53%) oraz podczas oddziaływania centrum wyżu (Ca: 50%) i występowania klina wyżowego (Ka: 48%). Najmniej dni z przejściem temperatury przez 0°C we wrześniu zdarza się w sytuacjach cyklonalnych SWc (18%), Sc (14%) i Bc (16%), sprowadzających nad Spitsbergen cieplejsze powietrze z południa.



Ryc. 6. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ i $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) w typach cyrkulacji w miesiącach charakteryzujących się największą częstością takich dni (maj i wrzesień)

Fig. 6. Conditional probability [%] of the days with freeze-thaw events ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ and $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$) in circulation types in the months of the highest frequency of such days (May and September).

W lipcu i sierpniu, kiedy dni z przejściem temperatury przez 0°C notowane są rzadko, największe prawdopodobieństwo ich wystąpienia związane jest z sytuacją NWA (11% i 31%). W sierpniu związek ich występowania z cyrkulacją atmosferyczną, to jest napływem powietrza z sektora północnego jest szczególnie silny; wówczas prawdopodobieństwo ich wystąpienia w typach Na (20%), NWA (31%) i NWc (16%) jest zdecydowanie wyższe niż w pozostałych typach cyrkulacji (ryc. 7, tabela 2). W lipcu dni z przejściem temperatury przez próg 0°C zdarzają się tylko przy typach antycyklonalnych: NWA (11%), Ca (5%), SEa (2%) i Ka (1%) oraz przy typach cyklonalnych: NEc (5%) oraz SEc i Nc (2%). W sierpniu takich dni nie notowano jedynie przy dwóch sytuacjach synoptycznych: SWa i Cc.



Ryc. 7. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C ($T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$) w typach cyrkulacji w miesiącach charakteryzujących się najmniejszą częstością takich dni (lipiec i sierpień)

Fig. 7. Conditional probability [%] of the days with freeze-thaw events ($T_{min} < 0^{\circ}C$ and $T_{max} > 0^{\circ}C$) in circulation types in the months of the lowest frequency of such days (July and August).

6. Podsumowanie i wnioski

Zmienność wieloletnia liczby dni z przejściem temperatury przez 0°C, traktowana jako wskaźnik współczesnych zmian klimatu, ma w Hornsundzie szczególne znaczenie ze względu na zachodzące wówczas procesy zamarzania wody i tajania lodu. Pomimo lokalizacji Hornsundu w strefie klimatu polarnego, gdzie przeciętnie miesięczna temperatura powietrza jest dodatnia tylko podczas od jednego do 4 miesięcy, dni z przejściem temperatury przez próg 0°C pojawiają się tam w ciągu całego roku. Średnio w roku notuje się około 74 takich dni, a ich przebieg roczny ma charakter bimodalny z pierwszorzędym maksimum w maju, a drugorzędym we wrześniu. W miesiącach letnich dni takie najrzadziej występują w sierpniu.

W Hornsundzie w rozpatrywanym wieloleciu częstość dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$ istotnie zmienia się tylko w grudniu (tendencja wzrostowa) oraz w czerwcu (tendencja malejąca). Zarówno wzrostowa tendencja w grudniu jak i spadkowa tendencja częstości występowania dni z przejściem temperatury przez próg 0°C w czerwcu związana jest z dodatnim trendem temperatury powietrza w Hornsundzie. W grudniu rosnący trend wszystkich średnich miesięcznych charakterystyk temperatury powietrza (temperatura średnia, maksymalna i minimalna) jest najsilniejszy. Czerwiec jest z kolei miesiącem, w którym średnia miesięczna temperatura minimalna jest bliska 0°C (+0,3°C), a jej trend jest dodatni, co skutkuje zmniejszaniem się częstości spadku temperatury poniżej 0°C w ciągu doby.

Występowanie dni z przejściem temperatury przez 0°C wykazuje wyraźną zależność od cyrkulacji atmosfery, zaś charakter tych zależności zmienia się w ciągu roku. W miesiącach zimowych (grudzień, styczeń luty marzec) jak również w listopadzie występowanie dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$ związane jest z napływem ciepłego powietrza z południa zarówno przy układach wyżowych jak i niżowych. W kwietniu i maju również obserwuje się wzrost częstości występowania dni z przejściem temperatury przez 0°C podczas adwekcji powietrza z południa, przy czym w kwietniu prawdopodobieństwo wystąpienia omawianych dni w cyklonalnych typach Ec, Nwc, Cc i Bc nie odbiega znacząco od prawdopodobieństwa w typach Sc, SWc i Wc; z kolei w maju sporą częstością dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$ charakteryzują się sytuacje niżowe z adwekcją powietrza z północy (typ Nc). Drugorzędne, wrześniowe maksimum częstości dni z przejściem temperatury przez 0°C generowane jest głównie przez napływ

powietrza z N i NE podczas sytuacji wyżowych oraz z NW podczas sytuacji niżowych. Temperatura powietrza przekracza próg 0°C podczas około 60% dni z wymienionymi typami cyrkulacji, przy czym sporą, oscylującą wokół 50%, częstością dni z $T_{min} < 0^{\circ}C$ i $T_{max} > 0^{\circ}C$ charakteryzuje się większość typów antycyklonalnych w wyjątkiem Ea, SEa i Sa.

W lecie silne związki pomiędzy częstością omawianych dni i cyrkulacją atmosfery stwierdzono w sierpniu. Przejściu temperatury przez 0°C sprzyja napływ chłodnego powietrza podczas sytuacji Na, NWa i NWc. Jeśli obserwowana wzrostowa tendencja temperatury powietrza w Hornsundzie utrzyma się w najbliższych latach, można przypuszczać, że obecnie nieistotne tendencje wzrostowe liczby dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C, głównie w kwietniu oraz w maju, mogą wkrótce osiągnąć statystyczną istotność. Obecnie wielkość tendencji w wymienionych miesiącach jest wyższa niż w pozostałych, a poziom ich statystycznej istotności jest nieznacznie wyższy od przyjmowanego progu 0,05.

Literatura

- Glickman T.S. (red.), 2000. Glossary of Meteorology. Second Edition. American Meteorological Society, Boston Massachusetts, U.S.A.: 855 s.
- Hess M., 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. Zeszyty Naukowe UJ. Prace Geograficzne 11: 1-258.
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2001. Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2000/2001, Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-57(341).
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2003. Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2001/2002, Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-60(351).
- Instytut Geofizyki PAN, 2009-2012. Biuletyn meteorologiczny – Spitsbergen – Hornsund 2009.10-2012 (dostępne na stronie internetowej: www.glacio-topoclim.org/index.php/reports).
- Kierzkowski T., 1996. Cechy klimatu lokalnego stacji w Hornsundzie w oparciu o materiał z lat 1978-1995. Problemy Klimatologii Polarnej, 6: 67-82.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 2007. Klimat Rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 376 s.
- Miętus M. (red.) 2000-2001. Roczniki Meteorologiczne Hornsund (1978/79-1980/81, 1982/83-1999/2000). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział Morski, Gdynia.
- Niedźwiedź T (red.), 2003. Słownik Meteorologiczny. Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW. Warszawa: 495 s.
- Niedźwiedź 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>)).
- Niedźwiedź T., Łupikasa E., Malarzewski Ł., 2012. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen) na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen). Problemy Klimatologii Polarnej, 22: (w niniejszym tomie).
- Przybylak R., 2007. Recent air-temperature changes in the Arctic. Annales of Glaciology, 46: 316-324.
- Ustrnul Z., 1987. Some characteristics of air thermal conditions in Hornsund, Spitsbergen. Polish Polar Research 8 (3): 261-275.
- Wielbińska D., 1992. Dodatni subtrend temperatury powietrza w Hornsundzie, w okresie od 1978/79 do 1990/91. Problemy Klimatologii Polarnej 2: 103-110.

Wpłynęło: 15 września 2012 r., poprawiono: 18 października 2012 r.

Summary

Days with freeze-thaw events at which air temperature crosses the threshold of 0°C ($T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$) are regarded as an important index of climate change. In the Polar Region such thermal conditions trigger the processes of water melting and freezing. This paper aims at the recognition of the variability and changes in the frequency of days with $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$ as well as the relationships between their occurrence and macro scale circulation on the basis of available data.

Days with freeze-thaw events occur throughout the year. Statistically significant trends in the occurrence of such days were found in June (downward trend) and December (upward trend). The directions of the trends are related to the magnitude of the average monthly temperatures and their growing tendencies. Relationships between the occurrence of days with $T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$ and $T_{\max}>0^{\circ}\text{C}$ and atmospheric circulation change seasonally. Regardless of the type of baric centre, the warm air advection from the south-west sector (S, SW, W) favours the occurrence of such days in the winter half-year months (November-April) as well as in October. In August, when the relation between days with freeze-thaw events and atmospheric circulation is evident, as well as in July, the occurrence of the days concerned is linked to the inflow of cold air from the NW and W directions, particularly when Spitsbergen is influenced by the anticyclone.

Key words: days with freeze-thaw events, atmospheric circulation. Spitsbergen, Hornsund.