

## CHARAKTERYSTYKA ODWILŻY W HORNSUNDZIE (SW SPITSBERGEN)

### CHARACTERISTICS OF THAWS AT HORNSUND (SW SPITSBERGEN)

Dorota Matuszko<sup>1</sup>, Jakub Soroka<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński  
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków  
d.matuszko@uj.edu.pl

<sup>2</sup> – Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Gorzowie Wielkopolskim, Oddział we Wrocławiu, IMGW – PIB  
ul. Sybiraków 10, 66-400 Gorzów Wielkopolski  
jakub.soroka@imgw.pl

**Zarys treści.** Celem opracowania jest charakterystyka odwilży i dni odwilżowych w Hornsundzie. Odwilże rozpatrywano podczas 34 sezonów zimowych od 1 grudnia 1982 roku do 30 kwietnia 2016 roku. Pod pojęciem odwilży rozumiano okres co najmniej jednodniowy z temperaturą dobową maksymalną  $\geq 0^{\circ}\text{C}$ , który następuje bezpośrednio po co najmniej dwudniowym okresie mroźnym, czyli z temperaturą dobową maksymalną  $< 0^{\circ}\text{C}$ . Dni odwilżowe definiowano jako wszystkie dni z dodatnią temperaturą maksymalną  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  w sezonie zimowym, po co najmniej dwóch pierwszych dniach mroźnych po rozpoczęciu tego sezonu.

Dokonano oceny zmienności wieloletniej występowania odwilży i dni odwilżowych, określono ich częstość w sezonie zimowym, daty początku, długość ciągów dni, uwarunkowań cyrkulacyjnych ich występowania i warunków meteorologicznych im towarzyszących. Stwierdzono wzrost częstości i długości trwania odwilży oraz przesunięcie zwartego okresu mroźnego z grudnia i stycznia na luty i marzec. Tendencje te są szczególnie widoczne od początku XXI wieku. Występowaniu odwilży sprzyja adwekcja ciepłego powietrza z południa

**Słowa kluczowe:** odwilże, dni odwilżowe, sezon zimowy, Spitsbergen, Hornsund.

### 1. Wprowadzenie

Odwilż rozumiana jest najczęściej jako czasowe ocieplenie w okresie mrozów, wywołujące topnienie pokrywy śnieżnej. Według Słownika Meteorologicznego (Niedźwiedź 2003) odwilżą atmosferyczną określa się okresowe (do kilku dni) topnienie śniegu i lodu na powierzchni gruntu po podniesieniu się temperatury powietrza powyżej  $0^{\circ}\text{C}$  w zimie na skutek adwekcji ciepłego powietrza. W literaturze klimatologicznej spotyka się różne kryteria wydzielenia odwilży. Kuziemski (1971) definiował odwilż jako okres co najmniej dwudniowy, w którym temperatura maksymalna przekroczyła  $0^{\circ}\text{C}$ , po minimum dwudniowym okresie mroźnym, tj. z temperaturą maksymalną poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Czarnecka i Michalska (2006) oraz Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz (2013) za odwilż przyjęły okres co najmniej dwóch dni ze średnią dobową temperaturą powyżej  $0^{\circ}\text{C}$ , po co najmniej trzech pierwszych dniach z temperaturą poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Definicję odwilży atmosferycznych na podstawie kryterium Czarneckiej zastosowali Olba-Zięty i Grabowski (2005), którzy piszą, że za „odwilż przyjmują dni ze średnią dobową temperaturą powietrza powyżej  $0^{\circ}\text{C}$  przez co najmniej trzy dni w ciągach 2-, 5-, 10- i 20-dniowych”. Wymienieni autorzy rozpatrywali odwilże tylko w zimie. Za początek zimy uznali okres ze średnią

dobową temperaturą powietrza poniżej 0°C, utrzymującą się przez co najmniej trzy dni, a za koniec – początek okresu ze średnią dobową temperaturą powietrza powyżej 0°C, utrzymującą się przez co najmniej trzy dni.

W literaturze klimatologicznej, która dotyczy terenów polarnych nie ma opracowań bezpośrednio poruszających problem odwilży. Na pogody przejściowe, przymrozkowo-odwilżowe związane z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w ciągu doby zwrócił uwagę Ferdynus (2006). Do pogód tej grupy zaliczył wszystkie pogody z minimalną dobową temperaturą mniejszą od 0°C, a maksymalną większą od 0°C (bez względu na wartość średniej dobowej temperatury powietrza). Podobną tematyką, występowaniem dni mroźnych i z przejściem temperatury powietrza przez 0°C w Hornsundzie i na wybranych stacjach w Arktyce Atlantyckiej i Syberyjskiej zajmowali się Niedźwiedź i in. (2012) oraz Łupikasza i in. (2013, 2014a, 2014b).

Zmienność wieloletnia występowania odwilży, podobnie jak liczby dni charakterystycznych pod względem termicznym może być traktowana jako wskaźnik współczesnych zmian klimatu. W Hornsundzie ma to szczególne znaczenie ze względu na zachodzące wówczas procesy tajania śniegu i lodu. Zdaniem McDonald i in. (2004) zmiana momentu wystąpienia wiosennej odwilży w wysokich szerokościach geograficznych wpływa na średnią roczną wielkość wymiany dwutlenku węgla z otoczeniem. Oddziałuje również na procesy biotyczne i abiotyczne, np. rozwój warstwy czynnej czy głębokość wieloletniej zmarzliny (Leszkiewicz i Caputa 2004, Dolnicki i in. 2013). W rejonie polarnym zmiany klimatu w ostatnich kilkudziesięciu latach wynikały głównie ze zmiany czasu trwania i typu zimy (Przybylak 2007, Ferdynus 2013). Najsilniejsza tendencja do ocieplenia zaznacza się w grudniu i jest istotna statystycznie także w innych miesiącach sezonu zimowego, w listopadzie i kwietniu (Marsz i Styszyńska 2007, 2013; Łupikasza i in. 2012, 2014b). Odwilże są czynnikiem łagodzącym surowość zimy. Wraz z towarzyszącymi im opadami deszczu oraz silnym wiatrem powodującym wywiewanie śniegu są ważnymi elementami kształtującymi pokrywę śnieżną w Hornsundzie i na okolicznych lodowcach. Pojawiająca się w czasie odwilży na powierzchni śniegu woda (zarówno z opadów deszczu, jak i z roztopiania) przenika w głąb pokrywy śnieżnej, a następnie zamarza tworząc warstwę lodoszreni. Głębokość penetracji wody opadowej i roztopowej w profilu śnieżnym zależy od intensywności opadów deszczu oraz skali i długości odwilży (Soroka i in. 2016).

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka odwilży w Hornsundzie, ocena zmienności wieloletniej, określenie częstości, dat początku i długości ciągów dni z odwilżami oraz uwarunkowań cyrkulacyjnych ich występowania i warunków meteorologicznych im towarzyszących.

## 2. Dane i metody

W niniejszym opracowaniu odwilże rozpatrywano wyłącznie w sezonie zimowym wyznaczonym przez Marsza (2007) jako okres od 1 grudnia do 30 kwietnia. Pod pojęciem odwilży rozumiano okres co najmniej jednodniowy z temperaturą maksymalną ( $T_{MAX}$ )  $\geq 0^{\circ}\text{C}$ , który następuje bezpośrednio po co najmniej dwudniowym okresie mroźnym, czyli z temperaturą dobową maksymalną ( $T_{MAX}$ )  $< 0^{\circ}\text{C}$ . Tak przyjęta definicja uwzględnia cechy przebiegu temperatury powietrza w strefie polarnej polegające na dużej dynamice zmian warunków termicznych, szczególnie związanych z przejściem temperatury przez 0°C. Zastosowane kryterium – w odróżnieniu od pozostałych – uwzględnia również krótkie, ale dość częste epizody odwilżowe. W sezonie zimowym nawet podczas kilkugodzinnego okresu z dodatnią temperaturą powietrza, któremu mogą towarzyszyć opady deszczu i silny wiatr

zachodzą dynamiczne procesy mające wpływ na zmiany w pokrywie śnieżnej, bilans masy lodowców oraz wietrzenie mrozowe. W Hornsundzie dosyć często pojedyncze dni mroźne oddzielają dni z temperaturą dodatnią, czyli zgodnie z wcześniej przyjętą definicją odwilży, nie ma dwudniowego okresu mroźnego poprzedzającego dni z temperaturą dodatnią. Dlatego dodatkowo w niniejszej pracy wprowadzono termin dni odwilżowe rozumiane jako wszystkie dni z dodatnią temperaturą maksymalną ( $T_{MAX} \geq 0^{\circ}\text{C}$ ) w sezonie zimowym, po co najmniej dwóch pierwszych dniach mroźnych po rozpoczęciu tego sezonu.

Materiał liczbowy wykorzystany w opracowaniu stanowiły wyniki pomiarów temperatury powietrza, wysokości pokrywy śnieżnej, sumy opadów, kierunku i prędkości wiatru wykonanych na Polskiej Stacji Polarnej Instytutu Geofizyki PAN w Hornsundzie. Dane dobowe z lat 2012-2016 otrzymano dzięki uprzejmości Tomasza Wawrzyniaka z Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, natomiast dane z wcześniejszego okresu pochodzą z nieistniejącej już ogólnodostępnej bazy danych Glacio-Topoclim. Autorzy składają serdeczne podziękowania Panom: prof. P. Głowackiemu i prof. M. Lewandowskiemu oraz Obserwatorom z Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie za udostępnienie i możliwość wykorzystania danych meteorologicznych z Polskiej Stacji Polarnej Instytutu Geofizyki PAN w Hornsundzie.

W opracowaniu uwzględniono 34 sezony zimowe od 1 grudnia 1982 roku do 30 kwietnia 2016 roku. Na wstępie wyznaczono okresy z odwilżą zgodnie z przyjętą definicją oraz obliczono liczbę dni z odwilżą. Następnie dokonano analizy synoptyczno-klimatologicznej wykorzystując katalog typów cyrkulacji T. Niedźwiedzia (2016). Obliczono częstość występowania poszczególnych typów cyrkulacji w sezonach zimowych, a następnie prawdopodobieństwo warunkowe występowania odwilży w typach cyrkulacji.

Polska Stacja Polarna w Hornsundzie jest unikatowym miejscem badań atmosfery i klimatu, ponieważ reprezentuje obszar bardzo ważny pod względem synoptycznym, w którym kształtujące się warunki cyrkulacyjne wpływają na pogodę w znacznej części Europy. W strefie polarnej ocieplenie jest bardziej widoczne niż na innych obszarach, dlatego wyniki pomiarów i obserwacji z tej stacji mają także duże znaczenie w wyjaśnianiu zmian klimatu. Charakterystykę położenia stacji ( $\varphi = 77^{\circ}00'N$ ,  $\lambda = 15^{\circ}33'E$ ,  $H = 10$  m n.p.m.) szczegółowo opisano w monografii klimatu Hornsundu pod redakcją A.A. Marsza i A. Styszyńskiej (2013) oraz innych publikacjach zamieszczonych w Problemach Klimatologii Polarnej.

### 3. Odwilże

Zgodnie z przyjętą definicją, w badanym wieloleciu w Hornsundzie występowało średnio w sezonie zimowym ponad 8 odwilży. Najwięcej (15) było ich w sezonie 2015/2016, a najmniej (4) w sezonach 1987/1988, 1993/1994 i 2001/2002 (ryc. 1). Do końca XX wieku tylko w trzech sezonach liczba odwilży była większa od średniej, natomiast od zimy 2002/2003 ich liczba stopniowo rosła, przekraczając średnią w każdym roku z wyjątkiem sezonu 2012/2013. W poszczególnych latach odwilże rozpoczynały się w różnym okresie, najczęściej w grudniu (27 razy), w styczniu (5 razy) lub dopiero w lutym (tab. 1). W badanym wieloleciu pierwsza odwilż najwcześniej wystąpiła 3 grudnia 2003 roku, a najpóźniej 9 lutego 1994 roku. Ostatnie odwilże w sezonie zimowym najczęściej zaczynały się w trzeciej dekadzie kwietnia (24 razy). Data najwcześniejszej odwilży w tym miesiącu przypadła na 7 kwietnia 2003 roku, ale nie była to jeszcze odwilż wiosenna gdyż od 21 kwietnia 2003 roku panował

jeszcze 18-dniowy okres mroźny. Stosunkowo wcześniej początek ostatniej odwilży w sezonie zimowym wystąpił także 11 kwietnia 2004 i 2005 roku (tab. 1). Bardzo często (25 razy) po ostatnich odwilżach w kwietniu występowały jeszcze dni mroźne, czyli właściwe odwilże wiosenne przypadają dopiero na maj.

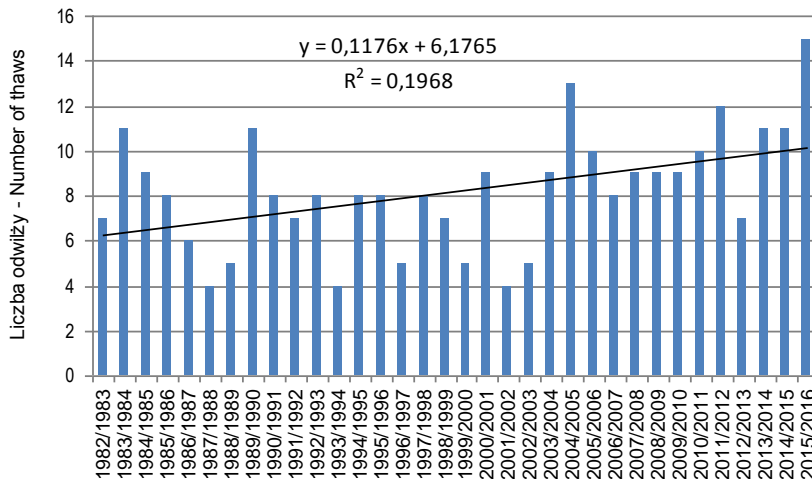
Tab. 1. Daty pierwszej i ostatniej odwilży w sezonie zimowym, liczba dni i najdłuższe ciągi dni w czasie odwilży oraz średnia z wartości temperatury maksymalnej w dniach z odwilżą

Table 1. Dates of first and last thaw in winter season, number of thaw days, the longest thaw period and their average TMAX.

Sezon zimowy Winter season	Data odwilży Thaw date		Liczba dni Number of days	Najdłuższe ciągi [dni] The longest thaw period [days]	Śr. temp. Average temperature [°C]
	Początek pierwszej Start of 1st thaw	Początek ostatniej Start of last thaw			
1982/1983	30.12.1982	13.04.1983	20	7	1,2
1983/1984	11.01.1984	26.04.1984	23	3	1,1
1984/1985	07.12.1984	28.04.1985	24	6	1,9
1985/1986	13.12.1985	21.04.1986	23	9	1,2
1986/1987	23.12.1986	24.04.1987	31	9	1,4
1987/1988	17.01.1988	29.04.1988	6	3	0,9
1988/1989	02.01.1989	25.04.1989	16	6	1,6
1989/1990	26.12.1989	27.04.1990	30	6	1,9
1990/1991	17.12.1990	27.04.1991	25	8	1,5
1991/1992	07.12.1991	26.04.1992	16	5	1,2
1992/1993	30.12.1992	26.04.1993	14	3	1,3
1993/1994	09.02.1994	15.04.1994	20	6	1,4
1994/1995	04.12.1994	11.04.1995	24	6	1,6
1995/1996	08.01.1996	11.04.1996	36	12; 08.-19.03. 1996	1,4
1996/1997	30.12.1996	16.04. 1997	10	3	1,0
1997/1998	12.12.1997	23.04.1998	14	3	1,1
1998/1999	09.12.1998	18.04.1999	15	3	1,3
1999/2000	27.12.1999	30.04.2000	18	13; 27.12. - 08.01.2000	1,2
2000/2001	05.12.2000	25.04.2001	22	6	1,2
2001/2002	04.01.2002	27.04.2002	15	7	1,1
2002/2003	13.12.2002	07.04.2003	8	2	1,1
2003/2004	03.12.2003	24.04.2004	24	6	1,2
2004/2005	05.12.2004	17.04.2005	33	6	1,4
2005/2006	06.12.2005	22.04.2006	46	13; 04.04.-16.04.2006	2,1
2006/2007	10.12.2006	13.04.2007	24	5	1,8
2007/2008	12.12.2007	16.04.2008	23	6	1,5
2008/2009	11.12.2008	30.04.2009	24	6	1,2
2009/2010	05.12.2009	27.04.2010	20	6	1,7
2010/2011	14.12.2010	21.04.2011	32	10	1,8
2011/2012	08.12.2011	24.04.2012	48	15; 26.01.-09.02.2012	1,9
2012/2013	06.12.2012	22.04.2013	32	9	1,5
2013/2014	15.12.2013	20.04.2014	41	19; 31.01.-18.02.2014	1,5
2014/2015	31.12.2014	25.04.2015	31	7	1,2
2015/2016	06.12.2015	28.04.2016	45	8	1,7

Czas trwania odwilży jest różny, najczęściej od 1 do 3 dni, ale zdarzają się okresy ocieplenia dłuższe, często powyżej 10 dni. Kilkunastodniowe odwilże pojawiają się w Hornsundzie dopiero od 1996 roku, wcześniej trwały maksymalnie 9 dni. Najdłuższy ciąg dni (19) z temperaturą dodatnią

wystąpił od 31 stycznia do 18 lutego 2014 roku. Panowała wówczas sytuacja cyklonalna z adwekcją powietrza z południowego wschodu i południa (Niedźwiedź 2016), temperatura powietrza dochodziła do 4,4°C, wiał wiatr z prędkością ponad 10 m/s, a wysokość pokrywy śnieżnej zmniejszyła się o 10 cm w ciągu 4 dni. Także druga pod względem długości odwilż, trwająca 15 dni wystąpiła w środku zimy – od 26 stycznia do 9 lutego 2012 roku. W tych dniach dominowała adwekcja powietrza z południowego zachodu, zarówno przy sytuacjach cyklonalnych jak i antycyklonalnych (Niedźwiedź 2016), temperatura powietrza wahała się od -4,3°C do +4,1°C, występował opad deszczu, a wysokość pokrywy śnieżnej była zmienna i wahała się od 0 do 3 cm.



Ryc. 1. Przebieg wieloletni liczby odwilży w sezonach zimowych w Hornsundzie (1982/1983 do 2015/2016)

Fig. 1. Long-term course of number of thaw periods in winter seasons in Hornsund (1982/1983 – 2015/2016).

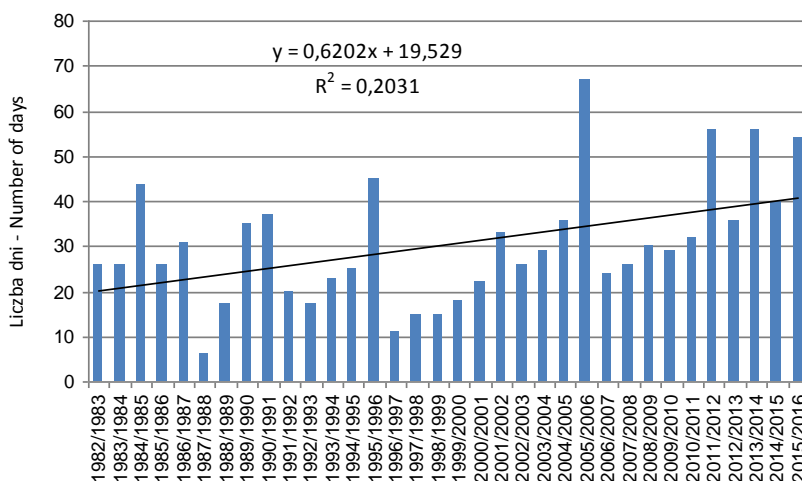
W analizowanych sezonach zimowych odwilże stanowiły łącznie od 6 dni (1987/1988) do 48 dni (2011/2012). W XXI w. zaznaczył się wzrost częstości występowania odwilży i zwiększenie długości ciągów odwilżowych. Od 2004 roku liczba dni podczas odwilży przekraczała średnio 32, a w sezonach 2005/2006, 2011/2012, 2013/2014, 2015/2016 była nawet wyższa od 40 (tab. 1).

Średnia maksymalna temperatura powietrza podczas odwilży wahała się średnio od 1 do 2°C, najniższa (0,9°C) była w sezonie zimowym 1987/1988, a najwyższa (2,1°C) w zimie 2005/2006 (tab.1). Odwilże były przyczyną topnienia śniegu i okresów z brakiem ciągłej pokrywy śnieżnej.

#### 4. Dni odwilżowe

Według Ferdynusa (2013) w Hornsundzie pogoda z ujemną temperaturą przez całą dobę występuje w ponad 80% wszystkich dni w sezonie zimowym, a tylko w 2% dni powyżej zera. W ciągu kilku godzin temperatura może wzrastać od wartości ujemnych do dodatnich. Niekiedy w ciągu doby dochodzi do kilkukrotnego przejścia temperatury przez 0°C (Łupikasza i in. 2012). Takim krótkotrwałym odwilżom towarzyszy najczęściej obfity opad deszczu i silny wiatr, czego konsekwencją może być zanik kilkunastocentymetrowej pokrywy śnieżnej. Zdarzają się także przypadki, że pojedyncze dni mroźne przeplatają się z pojedynczymi dniami z temperaturą dodatnią.

Zgodnie z przyjętymi na wstępie kryteriami takie okresy nie były uznawane za odwilż, tylko nazwano je dniami odwilżowymi. Od początku XXI wieku dni z dodatnią temperaturą w sezonie zimowym występują coraz częściej (ryc. 2). W zimie 2005/2006 było ich aż 67, a w trzech innych sezonach liczba dni odwilżowych przekroczyła 50, co nigdy wcześniej się nie zdarzało. W styczniu 2006 roku wystąpiły skrajne warunki cyrkulacyjne sprzyjające silnej adwekcji ciepłego powietrza z południowego zachodu. Niżej z okolic Islandii wędrowały przez Morze Grenlandzkie w głąb Arktyki, a nie wchodziły w Morze Barentsa (Niedźwiedz 2007).



Ryc. 2. Przebieg wieloletni liczby dni odwilżowych w sezonach zimowych w Hornsundzie (1982/1983 do 2015/2016)

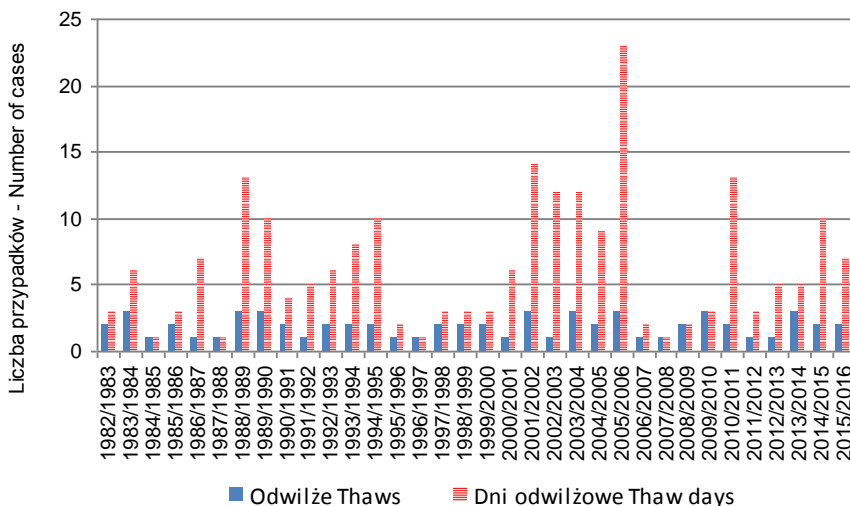
Fig. 2. Long-term course of number of thaw days in winter seasons in Hornsund (1982/1983 – 2015/2016).

Najmniej dni odwilżowych (6) było w sezonie 1987/1988, charakteryzującym się także najniższą temperaturą podczas odwilży (tab. 1) i najmniejszą liczbą odwilży (4), które wystąpiły jako jeden ciąg trzydniowy w styczniu i trzy pojedyncze dni w lutym, marcu i kwietniu. We wszystkich tych dniach panowała sytuacja cyklonalna, w styczniu i lutym z adwekcją powietrza z południowego zachodu, a w pozostałych dniach sytuacja bezadwekcyjna. Podobnie, jak w innych dniach odwilżowych padał deszcz (ponad 10 mm od 17.01. do 19.01) i wiał silny wiatr.

W osiemnastu sezonach zimowych dni odwilżowe występowały w każdym miesiącu, a w pozostałych sezonach zdarzały się bez przerw ponad miesięczne okresy mroźne, najczęściej w marcu, ale także w lutym, styczniu i grudniu. W pierwszej połowie badanego okresu rzadziej odwilże były w grudniu i styczniu, a w drugiej połowie – w lutym i marcu, co potwierdza wyniki badań innych autorów, że w Hornsundzie najsilniejsza tendencja do ocieplania jest w grudniu (Marsz i Styszyńska 2007, 2013). Trend wszystkich średnich miesięcznych charakterystyk temperatury powietrza (temperatura średnia, maksymalna i minimalna) w grudniu jest najsilniejszy (Łupikasza i in. 2012). W sezonie 2001/2002 po ponad dwutygodniowym okresie z dodatnią temperaturą w grudniu i czterech dniach odwilżowych na początku stycznia nastąpił prawie trzymiesięczny ciąg dni mroźnych (od 9 stycznia do 2 kwietnia – 84 dni). Był to najdłuższy nieprzerwany okres mroźny w historii pomiarów w Hornsundzie, ale nie najchłodniejszy. Temperatura powietrza w styczniu i lutym 2002 roku mieściła się w normie termicznej dla tych miesięcy.

W sezonie 2001/2002, podobnie jak w zimach lat 1987/1988 i 1993/1994 były tylko 4 odwilże (ryc. 1), ale z różną liczbą dni odwilżowych od 6 (1987/1988) do 33 (2001/2002). W styczniu, pod koniec badanego wielolecia, nastąpiła sekwencja lat, w których liczba dni odwilżowych była większa niż w latach wcześniejszych (2006: 21 dni, 2008: 12 dni, 2010: 13 dni, 2012: 16 dni, 2013: 11 dni, 2014: 16 dni, 2015: 10 dni, 2016: 12 dni). Warto zauważyć, że po roku 2000 marzec stał się miesiącem mroźniejszym niż wcześniej, w którym dni odwilżowe pojawiają się rzadko lub w ogóle nie występują, tak jak miało to miejsce w latach: 2001, 2002, 2003, 2006, 2008, 2013. Można zatem sądzić, że w XXI wieku w Hornsundzie mroźna zima przychodzi później niż w ubiegłym stuleciu, bo dopiero w lutym lub marcu.

Kwiecień jest ostatnim miesiącem sezonu zimowego, dlatego można było przypuszczać, że mogą pojawiać się w nim już odwilże wiosenne. Z tego względu interesujące było zbadanie czy w przebiegu wieloletnim zmienia się liczba odwilży i dni odwilżowych w tym miesiącu. Jak wynika z danych przedstawionych na rycinie 3 kwiecień jest miesiącem, w którym nie zaznacza się wyraźna tendencja zmian liczby odwilży i dni odwilżowych w wieloleciu. Można jedynie wyróżnić okresy o zwiększonej częstotliwości odwilży i dni odwilżowych (lata 1989-1995, 2002-2006, 2011-2016) lub wyraźnie mniejszej (lata 1996-2000, 2007-2010), które są zależne od zmienności frekwencji adwekcji z południa. W analizowanym wieloleciu w kwietniu zawsze pojawiała się odwilż (maksymalnie 3 razy w miesiącu) i często przypadła na koniec miesiąca (ryc. 3). Liczba dni odwilżowych znacznie wahała się w poszczególnych sezonach zimowych, od jednego (w latach 1985, 1988, 1997, 2007) do 23 (rok 2006). W kwietniu 2006 roku wystąpił najbardziej intensywny napływ powietrza z południa (wskaźnik S = +31) i jedna z największych dodatnich anomalii termicznych w kwietniu (Niedźwiedz 2007). Temperatura powietrza była wówczas wyższa o 12,4°C od średniej wieloletniej. Warto zaznaczyć, że w Hornsundzie w sezonie zimowym największy wpływ na temperaturę powietrza ma cyrkulacja południkowa, a dodatniej wartości wskaźnika S (napływ powietrza z sektora południowego) odpowiada wzrost temperatury.



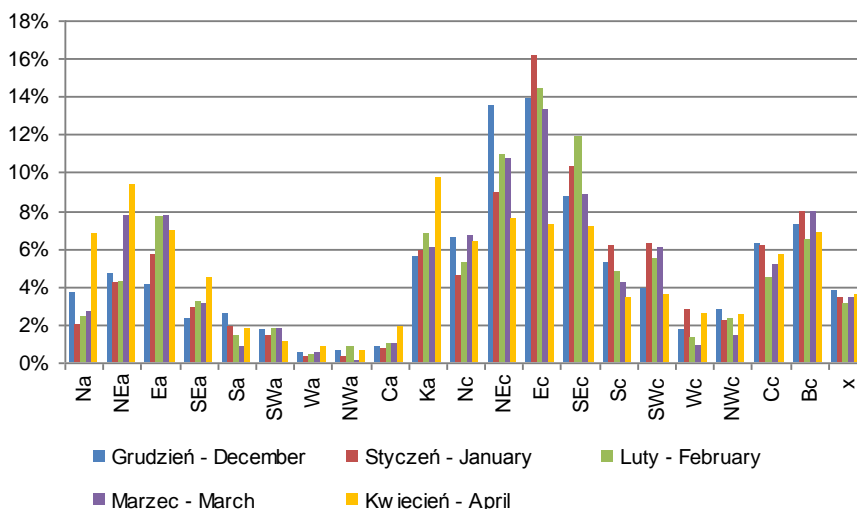
Ryc. 3. Przebieg wieloletni liczby odwilży i dni odwilżowych w kwietniu w Hornsundzie (1982/1983 do 2015/2016)

Fig. 3. Long-term course of number of thaw periods and thaw days in April in Hornsund (1982/1983 to 2015/2016).

## 5. Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie odwilży

W sezonie zimowym, ze względu na ograniczenie lub brak dopływu promieniowania słonecznego decydującą rolę w kształtowaniu pogody w Hornsundzie odgrywa cyrkulacja atmosfery. Zdaniem wielu badaczy na występowanie odwilży szczególnie wpływ ma kierunek adwekcji mas powietrznych (Kuziemski 1971, Mrugała 1988, 1990; Bednorz 2012). Łupikasza i in. (2013) stwierdzili, że na Spitsbergenie najczęściej statystycznie istotne korelacje są między miesięczną liczbą dni z przejściem temperatury przez 0°C oraz wskaźnikiem cyrkulacji południowej, co oznacza iż napływ powietrza z południa w sezonie zimowym powoduje wzrost częstości występowania odwilży.

Cyrkulacja atmosfery nad Spitsbergenem jest bardzo urozmaicona i kształtuje się głównie pod wpływem procesów atmosferycznych zachodzących w atlantyckim sektorze Arktyki. Związane jest to dynamiką występujących tam niżów barycznych (zwłaszcza Niżu Islandzkiego). Częstość poszczególnych typów cyrkulacji ulega dużym zmianom z roku na rok i w poszczególnych miesiącach; niekiedy znacznie różni się od warunków średnich (Niedźwiedź 2007). Przewaga sytuacji niżowych widoczna jest także w sezonie zimowym badanego wielolecia (ryc. 4). Największą częstością odznaczają się sytuacje cyklonalne z adwekcją powietrza ze wschodu (Ec – z maksimum w styczniu), z północnego wschodu (NEc – z maksimum w grudniu) i południowego wschodu (SEc – z maksimum w lutym).



Ryc. 4. Częstość [%] występowania nad Spitsbergenem typów cyrkulacji (Niedźwiedź 2016) w poszczególnych miesiącach sezonu zimowego (1982/1983 do 2015/2016).

Objaśnienia: 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

Fig. 4. Frequency of occurrence [%] of circulation types (Niedźwiedź 2016) in each month of winter seasons in Spitsbergen (1982/1982 – 2015/2016).

Explanations: N, NE ... - direction of the air advection, a – anticyclonic situation, c – cyclonic situation, Ca, Cc – the centre of the high and low, respectively, Bc – trough of low pressure, Ka – anticyclonic wedge or ridge of high pressure, x – unclassified situations or pressure col.



Główną cechą pola barycznego w zimie jest rozległa bruzda niskiego ciśnienia ciągnąca się od Niżu Islandzkiego przez morza Norweskie i Barentsa w kierunku Nowej Ziemi. Wzdłuż osi tej bruzdy przemieszcza się większość niżów. Spitsbergen jest położony w północnej części wymienionego układu ciśnienia co powoduje, że nad tym obszarem typowy jest przepływ mas powietrza z sektora wschodniego (Niedźwiedź 2007). W kwietniu ośrodek niżowy utrzymuje się nad Morzem Norweskim, a Spitsbergen przechodzi pod wpływ Wyżu Grenlandzkiego. Z tego powodu w kwietniu stosunkowo często (powyżej 8%) występują (ryc. 4) sytuacje antycyklonalne (Ka i NEa). W sezonie zimowym prawie w ogóle nie zdarzają się sytuacje antycyklonalne z napływem powietrza z zachodu i północnego zachodu (Wa, NWa – poniżej 1%).

W sezonie zimowym 50% i więcej przypadków (tab. 2) dni odwilżowych stanowią te, którym towarzyszą sytuacje niżowe z adwekcją powietrza z południa, południowego zachodu i zachodu (Sc, SWc, Wc) oraz sytuacje wyżowe z południowego zachodu (SWa). Największe prawdopodobieństwo wystąpienia odwilży w grudniu jest przy sytuacjach SWc i Sc, w styczniu – SWc, Wc i Sc, w lutym – SWa i SWc, w marcu – SWa, Wc i SWc, a w kwietniu – przy sytuacji SWa, Sc, SWc. Na ogół warunkami sprzyjającymi wystąpieniu odwilży jest napływ powietrza z południowego zachodu niezależnie od sytuacji barycznej oraz z południa i zachodu przy sytuacjach cyklonalnych. W kilku sytuacjach antycyklonalnych (Na, NEa, Ea, NWa, Ca, Ka) i cyklonalnych (Nc, NEc) w niektórych miesiącach dni odwilżowe nie występują lub zdarzają się sporadycznie (Wa) – tabela 2.

Tab. 2. Prawdopodobieństwo warunkowe [%] wystąpienia dni odwilżowych w typach cyrkulacji (Niedźwiedź 2016) w poszczególnych miesiącach sezonu zimowego (1982/1983 do 2015/2016)

Table 2. Conditional probability [%] of occurrence of thaw days in circulation types (Niedźwiedź 2016) in each month of winter seasons (1982/1982 – 2015/2016)

Typ Type	Miesiące - Months					Sezon Season	Typ Type	Miesiące - Months					Sezon Season
	XII	I	II	III	IV			XII	I	II	III	IV	
Na	3	5	0	0	1	2	Nc	1	2	0	1	5	2
NEa	0	0	0	0	1	0	NEc	1	4	1	0	4	2
Ea	0	0	0	0	3	1	Ec	6	2	4	7	13	5
SEa	17	7	3	3	9	8	SEc	29	24	24	18	38	26
Sa	15	16	15	38	44	24	Sc	46	52	44	49	64	50
SWa	24	43	71	83	64	57	SWc	48	64	59	76	60	63
Wa	-	-	-	-	-	-	Wc	35	64	33	78	42	50
NWa	0	0	29	0	17	13	NWc	18	18	19	21	24	20
Ca	0	14	0	0	5	4	Cc	25	29	33	38	48	34
Ka	0	2	0	2	14	4	Bc	19	16	18	22	26	20
							x	8	9	3	9	14	9

## 6. Podsumowanie i wnioski

Odwilże są ważnym wskaźnikiem zmian klimatu w strefie polarnej ze względu na zachodzące wówczas procesy tajania i metamorfozy śniegu oraz rozmarzania gruntu. W Hornsundzie w sezonach zimowych występuje coraz więcej odwilży i trwają one coraz dłużej oraz znacznie wzrasta liczba dni odwilżowych.

W badanym wieloleciu, od 1 grudnia 1982 roku do 30 kwietnia 2016 roku, występowało średnio w sezonie zimowym ponad 8 odwilży. Najwięcej (15) było ich w sezonie 2015/2016, a najmniej (4)

w sezonach 1987/1988, 1993/1994 i 2001/2002. Do końca XX wieku tylko w trzech sezonach liczba odwilży była większa od średniej, natomiast od zimy 2002/2003 ich liczba stopniowo wzrastała przekraczając średnią w każdym roku z wyjątkiem sezonu 2012/2013. Wzrosła także liczba dni odwilżowych, od sześciu w sezonie 1987/1988 do sześćdziesięciu siedmiu w sezonie 2005/2006. Także w trzech innych sezonach XXI wieku (2011/2012, 2013/2014, 2015/2016) liczba dni odwilżowych przekroczyła 50, co nigdy wcześniej się nie zdarzało. Po 2000 roku nastąpiło przesunięcie zwartego okresu mroźnego (bez odwilży lub z małą liczbą odwilży) z grudnia i stycznia na luty lub marzec.

Należy jednak stwierdzić, że większa liczba odwilży nie przekłada się automatycznie na wzrost temperatury powietrza, tylko oznacza zwiększenie dynamiki przebiegu temperatury. Wprawdzie widoczna jest zależność wzrostu temperatury i zwiększenia liczby odwilży, ale teoretycznie może zdarzyć się wiele okresów bardzo mroźnej pogody poprzedzielanych krótkimi odwilżami co daje niską średnią temperaturę i jednocześnie dużo odwilży.

Występowanie odwilży wykazuje wyraźną zależność od cyrkulacji atmosfery. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia odwilży w sezonie zimowym jest przy sytuacjach SWc, Sc, Wc i SWa. Towarzyszy im wtedy najczęściej silny wiatr z sektora południowego i opady deszczu.

## Literatura

- Bednorz E., 2012. *Atmospheric conditions of intense thaws in the Polish lowlands*. Meteorologische Zeitschrift, 21 (1): 89-98.
- Czarnecka M., Michalska B., 2006. *Perception of weather conditions during atmospheric thaw in the Szczecin Lowlands*. International Agrophysics, 21: 29-37.
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., 2013. *The occurrence of atmospheric thaw in Poland over the last 50 years*. Geographia Polonica, 86 (4): 327-340.
- Dolnicki P., Grabiec M., Puczek D., Gawor Ł., Budzik T., Klementowski J., 2013. *Variability of temperature and thickness of permafrost active layer at coastal sites of Svalbard*. Polish Polar Research, 34 (4): 353-374.
- Ferdynus J., 2006. *Pogody przymrozkowo-odwilżowe w rocznej strukturze stanów pogód Hornsundu (SW Spitsbergen) w latach 1980–2005*. Problemy Klimatologii Polamej, 16: 115-124.
- Ferdynus J., 2013. *States of the weather and weather seasonality*. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), Climate and climate change at Hornsund, Svalbard. Maritime University, Gdynia: 221-251.
- Kuziemski J., 1971. *Przyczyny meteorologiczne odwilży w Polsce*. Prace PIHM, 101: 3-23.
- Leszkiewicz J., Caputa Z., 2004. *The thermal condition of the active layer in the permafrost at Hornsund, Spitsbergen*. Polish Polar Research, 25 (3-4): 223-239.
- Łupikasza E., Malarzewski Ł., Niedźwiedz T., 2012. *Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni z przejściem temperatury przez 0°C w Hornsundzie (Spitsbergen)*. Problemy Klimatologii Polamej, 22: 5-16.
- Łupikasza E., Niedźwiedz T., 2013. *Frequency of ice days at selected meteorological stations in Svalbard*. Bulletin of Geography – Physical Geography Series, No 6: 80-97.
- Łupikasza E., Niedźwiedz T., Malarzewski Ł., 2013. *Występowanie dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C na wybranych stacjach w atlantyckim sektorze Arktyki*. Problemy Klimatologii Polamej, 23: 121-135.
- Łupikasza E., Niedźwiedz T., Malarzewski Ł., 2014a. *Regional Differentiation in probability of ice days occurrence in Poland*. Quaestiones Geographicae, 33(3): 89-99.
- Łupikasza E., Malarzewski Ł., Niedźwiedz T., 2014b. *Trendy temperatury powietrza oraz liczby dni mroźnych i z przejściem temperatury przez 0°C w Arktyce Atlantyckiej i Syberyjskiej*. Problemy Klimatologii Polamej, 24: 5-24.

- Marsz A.A., Styszyńska A. 2007. *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia: 376 s.
- Marsz A. A., Styszyńska A. (eds), 2013. *Climate and Climate Change at Hornsund, Svalbard*. Gdynia Maritime University, Gdynia: 402 s.
- McDonald K.C., Kimball J.S., Njoku E., Zimmermann R., Zhao M., 2004. *Variability in Springtime Thaw in the Terrestrial High Latitudes: Monitoring a major control on the biospheric assimilation of atmospheric CO<sub>2</sub> with space borne microwave remote sensing*. Earth Interactions, 8: 1-23.
- Mrugala S., 1987. *Przestrzenny rozkład odwilży atmosferycznych o różnej intensywności w Polsce*. Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego. Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, Geografia, 29 (2): 47-52.
- Mrugala S., 1987/88a. *Przestrzenny rozkład odwilży atmosferycznych na obszarze Polski*. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, 42/43 (9), Sectio B: 156-171.
- Mrugala S., 1987/88b. *Typy cyrkulacji i masy powietrzne a występowanie odwilży atmosferycznych w Polsce*. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, 42/43 (10), Sectio B, 173-187.
- Mrugala S., 1988. *Częstość występowania typów cyrkulacji w poszczególnych rodzajach odwilży atmosferycznych na obszarze Polski*. Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego. Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, Geografia, 30 (2): 61-65.
- Mrugala S., 1990. *Typy cyrkulacji a występowanie zim ekstremalnie odwilżowych*. Materiały konferencyjne Ogólnopolskiej Sesji Naukowej „Meteorologia i Hydrologia a Ochrona Środowiska” Przesieka k/Jeleniej Góry, 25-28 września 1990: 68-72.
- Niedźwiedz T. (red.) 2003. *Słownik Meteorologiczny*. Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW, Warszawa: 495 s.
- Niedźwiedz T., 2007. *Cyrkulacja atmosferyczna*. [w:] A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.) *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 45-63.
- Niedźwiedz T., 2016. *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Spitsbergenu – zbiór komputerowy udostępniony przez autora*. Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Niedźwiedz T., Łupikasza E., Małarzewski Ł., 2012. *Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen)*. Problemy Klimatologii Polarnej, 22: 17-26.
- Olba-Zięty E., Grabowski J., 2005. *Terminy i częstość występowania odwilży atmosferycznych w okolicach Olsztyna w latach 1952-2002*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, 5, (14): 231-236.
- Przybylak R., 2007. *Recent air-temperature changes in the Arctic*. Annals of Glaciology, 46: 316-324.
- Soroka J., Benedyk M., Matuszko D., 2016. *Opady marznące i gołoledź w Hornsundzie (SW Spitsbergen)*. Problemy Klimatologii Polarnej, 26: 37-58.

Wpłynęło: 26 października 2016 r., poprawiono: 27 grudnia 2016 r., zaakceptowano: 30 grudnia 2016 r.

## Summary

Long-term variability in the occurrence of thaw periods can be used as an indicator of climate change in the polar zone due to the snow and ice melting processes associated with them. The study looked at the thaw period and days with thaw parameters at Hornsund and included the long-term variability, frequencies, onset timing, permanence, associated atmospheric circulation and accompanying weather conditions.

The study limited itself to looking at thaw periods during the winter season defined by Marsz (2007), which runs from 1 December to 30 April. Thaw was defined as a period of at least one day

with a maximum daily temperature equal or greater than zero degrees ( $T_{MAX} \geq 0^{\circ}\text{C}$ ), which followed immediately after at least two days of sub-zero temperatures ( $T_{MAX} < 0^{\circ}\text{C}$ ). Days with a thaw were defined as days with an above-zero daily maximum temperature ( $T_{MAX} \geq 0^{\circ}\text{C}$ ) following after at least the first two sub-zero days of a given winter season.

The study employed records of daily measurements of air temperature, depth of snow-cover, precipitation totals and wind speed and direction made at the Polish Polar Station in Hornsund during 34 winter seasons from 1 December 1982 to 30 April 2016. During that period, there were on average eight thaw periods per season. The highest number of thaws (15) was recorded in 2015/2016 and the lowest (4) in 1987/1988, 1993/1994 and 2001/2002. The timing of thaw onset varied between seasons, but was most frequent in December (27), followed by January (5) and February. Typical thaws lasted between one and three days in length, but there were many warm spells even exceeding ten days. These longest thaw periods only appeared in Hornsund in 1996, as previously they had never lasted for more than nine days. The longest such warm spell during the study period was recorded between 31 January and 18 February 2014. It was accompanied by a cyclonic situation with air advection from the south-east and south (Niedźwiedź 2016), a peak air temperature of  $4.4^{\circ}\text{C}$ , a wind speed of more than 10 m/s, and a snow cover shrinking rate of 10 cm in four days.

Since the beginning of the 21<sup>st</sup> century, there has been a steady increase in the frequency of days with a winter thaw. In the 2005/2006 season there were 67 such days, while three other seasons also had more than the until-then unheard of 50 days of thaw. The least days with a thaw (6) were recorded in the 1987/1988 season which had the lowest air temperature during a thaw and the lowest number of thaw periods (4), among which there was one three-day spell in January and three isolated days in February, March and April. A total of 18 seasons during the study period, had thaw days in each month, while in the other seasons there would be unbroken monthly or longer periods with freezing temperatures, typically in March, but also in December, January, and February.

Winter season weather in Hornsund is primarily determined by atmospheric circulation due to the limited or non-existent solar radiation. The most frequent are cyclonic situations with air advection from the east (Ec peaking in January), north-east (NEc peaking in December) and south-east (SEc peaking in February). April stands out with relatively frequent (more than 8%) anticyclonic situations (Ka and NEa). There are almost no incidences of anticyclonic situations with western or north-western advection (Wa, NWa – less than 1%). Thaws are most likely in the following situations: December – SWc and Sc, January – SWc, Wc and Sc, February – SWa and SWc, March – SWa, Wc and SWc, and April – SWa, Sc and SWc. In general, the situation favouring a thaw involves air advection either from the south-west regardless of the pressure system, or from the south and west in cyclonic situations.

**Key words:** thaws, thaw days, winter season, Spitsbergen, Hornsund.