

## ZŁODZENIE HORNSUNDU I JEGO PRZEDPOLA (SW SPITSBERGEN) W SEZONIE ZIMOWYM 2006/2007

ICE CONDITION IN HORNSUND AND ITS FORESHORE (SW SPITSBERGEN)  
DURING WINTER SEASON 2006/2007

Anna Styszyńska<sup>1</sup>, Anna Rozwadowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska  
ul. Sędzickiego 19, 81–374 Gdynia  
stysa@am.gdynia.pl

<sup>2</sup> – Instytut Oceanologii PAN  
ul. Powstańców Warszawy 55, 81–712 Sopot  
ania@iopan.gda.pl

**Zarys treści.** W sezonie zimowym 2006/2007 przebieg zlodzenia Hornsundu był odmienny od przeciętnego. Od listopada do marca średnia miesięczna temperatura powietrza była o 3.6–6.3 deg wyższa od średniej klimatycznej (1978–2006). Ujemna temperatura wody powierzchniowej przy brzegu Isbjornhamny występowała od 28 IX 2006 do 27 V 2007 r. Najniższe wartości temperatury wody mierzono w drugiej i trzeciej dekadzie października (–1.8°C). Latem i jesienią 2006 r. dochodziło do bardzo intensywnego obłamywania się lodu lodowcowego, który okresowo tworzył zwarte skupienia wzdłuż brzegu. Rozwój lodu morskiego w Isbjornhamnie cechuje się stadialnością. Pierwszy okres tworzenia się lodu morskiego miał miejsce między 6 października a 3 listopada, drugi – od połowy stycznia. W tym samym czasie dryfujący lód allochtoniczny pojawił się również na przedpolu fiordu. Od trzeciej dekady lutego do drugiej dekady kwietnia prawie cała powierzchnia Hornsundu pokryta była lodem dryfującym o zmiennej zwartości. Na osiowej partii fiordu lód morski zanikł po 25 kwietnia, a w Brepollen – w trzeciej dekadzie czerwca 2007 r. Maksymalna wysokość wału lodu nabrzegowego w Isbjornhamnie osiągnęła 2.5 m.

**Słowa kluczowe:** lód morski, sezon lodowy, temperatura wody morskiej, Hornsund, Spitsbergen

### 1. Wprowadzenie

Tworzenie się lodu na morzu stanowi ważny element dynamiki środowiska polarnego. Z jednej strony reguluje on szereg procesów abiotycznych i biotycznych występujących w środowisku, z drugiej – odzwierciedla działanie innych, z reguły wielkoskalowych, procesów zachodzących w oceanie i atmosferze. Z tej przyczyny monitoring pokrywy lodowej w Hornsundzie i na jego przedpolu dostarczyć może szereg informacji mających znaczenie lokalne i regionalne. Lód o większej zwartości, dryfujący po wodach fiordu, wytłumia falowanie docierające z otwartego morza i uniemożliwia tworzenie się lokalnego falowania wiatrowego. Wskutek tego, na niektórych odcinkach brzegu mineralnego, tam gdzie lód utrzymuje się dłużej, rozwój form brzegowych przebiegać będzie wolniej, a na brzegach lodowych – skróceniu ulegnie czas działania procesów termoabrazji. Gruba pokrywa lodowa ograni-

czając dopływ promieniowania słonecznego do wody opóźniać będzie proces ich wiosennego i wczesnoletniego nagrzewania, co wpłynie na szereg procesów natury biologicznej (m.in. wielkość produkcji pierwotnej, rozwój fito- i zoo-planktonu, możliwości żerowania wielu ptaków gniazdujących w tym rejonie, itd.). Zlodzenie akwenu, poprzez ograniczenie wymiany ciepła między wodą a atmosferą, wywiera również wpływ na modyfikacje warunków klimatycznych.

Charakterystyczną cechą pokrywy lodowej występującej w rejonie Hornsundu jest jej dwoistość. Wewnątrz fiordu, zwłaszcza w zatokach pobocznych, dochodzi do powstawania lodu autochtonicznego, który zimą tworzy, głównie przy brzegu, pokrywę lodu stałego (przylepa, pripaj, ang. *fast ice*). Pod wpływem falowania wchodzącego do fiordu z otwartego morza i prądów pływowych oraz występujących wiatrów sztormowych wiejących wzdłuż fiordu, lód ten może być okresowo łamany i jako kra dryfować po wodach Hornsundu oraz być wynoszony na wody otwarte. Poza lodem morskim, w obrębie poszczególnych partii fiordu, może dochodzić do okresowego gromadzenia się lodu lodowcowego pochodzącego z osypujących się klifów lodowców uchodzących do morza. Lód ten występuje w postaci gruzu (druzgotu) lodowcowego (ang. *brash glacier ice*), odłamków (ang. *growler*; wystających do 1 m ponad lustro wody) i odłamów gór lodowych (ang. *berg bit*; wystających 1–5 m n.p.m.). Od niektórych klifów mogą się również odłamywać małe góry lodowe (ang. *small iceberg*; 5–15 m n.p.m.).

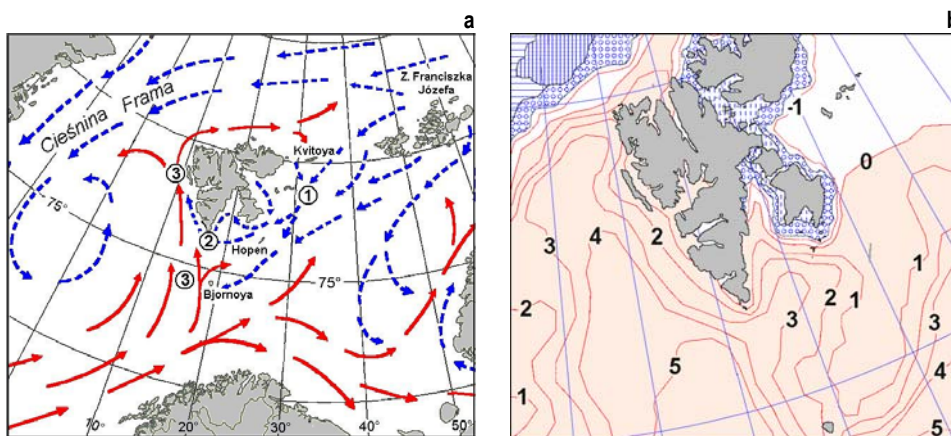
Lody występujące na zewnątrz fiordu są w większości lodami allochtonicznymi, pochodzącymi z Morza Barentsa (głównie z rejonu Storfjordu i obszarów położonych na wschód od Svalbardu, na północ od 78°N) lub z basenu arktycznego. Dryfują one wzdłuż brzegu SW Spitsbergenu w wodach Prądu Sorkapskiego (wcześniej Wschodniospitsbergeńskiego; ryc. 1a). Lody te, z prądami pływowymi lub pod wpływem wiatru, mogą zdryfować do wnętrza fiordu i okresowo pokrywać znaczną część jego powierzchni. Dopiero gdy wody prądowe wychłodzą się do temperatury zamarzania (–1.79°C), wzdłuż brzegu otwartego morza, zwłaszcza w strefach płycizn, może tworzyć się lód *in situ*. Według Norwegian Meteorological Institute<sup>1</sup> pokrywa lodowa na przedpolu Hornsundu występuje przeciętnie przez 7 miesięcy (XII–VI) w roku, przy czym o większym zwarciu (4–7/10) – od stycznia do kwietnia. Sezon bezlodowy ogranicza się do końca lata i jesieni (VIII–X). W okresie największego rozwoju – w marcu – pokrywa lodowa (o zwartości > 1/10) może się rozciągać na odległość do 54 Mm (100 km) od brzegu. Charakterystyczne cechy rozwoju pokrywy lodowej na przedpolu Hornsundu w latach 1993–2001 omawiają Styszyńska i Wiśniewska (2002), a w obrębie fiordu – Görlich i Stepko (1992), Rodzik i Wiktorowicz (1995), Styszyńska i Buchert (2004, 2005) oraz Styszyńska i Kowalczyk (2007).

W czasie XXIX Wyprawy Polarnej PAN kontynuowano, rozpoczęty trzy lata wcześniej, monitoring zlodzenia zachodniej i środkowej części fiordu Hornsund. Według programu rejestracja obejmowała występowanie lodu morskiego (napływowego i tworzącego się *in situ*) oraz lodu lodowcowego i gór lodowych. Obserwacje wykonywano, gdy zauważono istotne zmiany w charakterze lodu morskiego (wpłynięcie do zatoki lodu allochtonicznego; wyraźne zmiany koncentracji, rozmieszczenia pasm i pasów lodu; pojawienie się lodu nabrzeżowego w Isbjornhamnie; zmiany grubości i powierzchni lodu stałego) oraz pojawienia się gór lodowych i dużych ilości gruzu lodowcowego (z głębi fiordu, lokalnego – z Lodowca Hansa). W miarę możliwości określano rodzaj oraz stopień koncentracji lodu dryfującego. Przy wizualnej identyfikacji lodów posługiwano się opisami form i stadiów rozwojowych lodu zawartymi w terminologii lodów morskich WMO (1970, 1989). W czasie trwania XXIX Wyprawy obserwatorzy Anna Rozwadowska i Andrzej Czarnecki wykonali 20 szkiców sytuacyjnych na wcześniej przygoto-

---

<sup>1</sup> Mean ice concentration for 1976–2006; <http://polarview.met.no/clima.html>

wanych podkładach kartograficznych, z których jeden obejmował rejon Isbjornhamny, a drugi – cały fiord Hornsund. W 2006 roku szkice wykonano: 18 i 21 października oraz 2 listopada, a w 2007 roku: 16 i 28 stycznia; 5, 12, 16 i 22 lutego; 3, 7, 15, 20 i 23 marca; 3, 18 i 20 kwietnia; 1 maja oraz 1 i 19 czerwca. Obserwacje prowadzono ze zboczy Fugleberget lub Ariekammen oraz Półwyspu Wilczka. W okresie nocy polarnej oraz niesprzyjających warunków pogodowych, uniemożliwiających wspinaczkę na zbocza Fugleberget, obserwacje nie były wykonywane. 20 kwietnia 2007 r. stan zlodzenia wewnętrznych partii fiordu oszacowano z pokładu śmigłowca, a w dniach 1 i 19 czerwca – jachtu "Selma". Na szkicach notowano również dane hydrometeorologiczne takie jak: temperatura wody i powietrza oraz kierunek i prędkość wiatru mierzone za pomocą stacji automatycznej Vaisala QLC-50 zlokalizowanej na Polskiej Stacji Polarnej. Każdy szkic dokumentowano zdjęciami fotograficznymi. W okresie od 6 lipca 2006 r. do 30 czerwca 2007 r. wykonywano także codzienne pomiary temperatury wody morskiej (termometrem wodnym w oprawie) w bezpośrednim pobliżu Polskiej Stacji Polarnej (w rejonie Banachówki) oraz określano stan zalodzenia zachodniego brzegu Isbjornhamny.



Ryc. 1. Rozkład prądów powierzchniowych w rejonie Svalbardu (a) i temperatury wody morskiej [°C] 21 listopada 2006 r. według Norwegian Meteorological Institute (b).

1 – Prąd Wschodniospitsbergeński, 2 – Prąd Sorkapski, 3 – Prąd Zachodniospitsbergeński

Fig 1. Surface currents in the Svalbard region (a) and sea surface temperature [°C] on 21 November 2006 according to Norwegian Meteorological Institute (b).

1 – East Spitsbergen Current, 2 – Sorkapp Current, 3 – West Spitsbergen Current

Obserwacje lodów prowadzone w rejonie stacji w Hornsundzie uzupełniono analizami map lodowych wydawanych dla rejonu Svalbardu przez Norweski Instytut Meteorologiczny<sup>2</sup> oraz dla NW części Morza Barentsa przez amerykański National Ice Center<sup>3</sup>. Mapy norweskie pokazują rozkład przestrzenny lodów o danej zawartości, a mapy amerykańskie także informacje o grubości i formach lodu morskiego. Mapy te opracowywane są na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych.

<sup>2</sup> <http://polarview.met.no/>

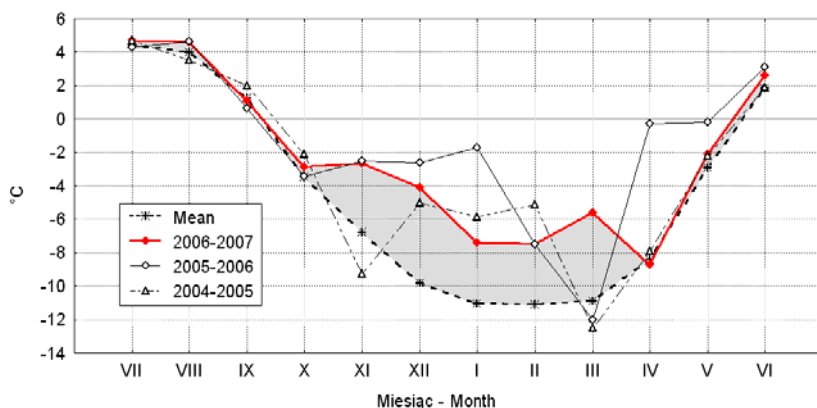
<sup>3</sup> <http://www.natice.noaa.gov/products/arctic/index.htm>

## 2. Warunki meteorologiczne i hydrologiczne w sezonie zimowym 2006/2007

Tempo tworzenia się lodu morskiego zależy od intensywności oddawania ciepła przez wodę do atmosfery, które jest tym większe, im niższa jest temperatura powietrza (dalej  $T_p$ ) i większe prędkości wiatru. W Hornsundzie, przeciętnie już w październiku  $T_p$  osiąga wartości ujemne, w następnych miesiącach szybko się obniża, spadając w okresie od grudnia do marca poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  (ryc. 2). Od marca rozpoczyna się szybki wzrost  $T_p$ , osiągający międzymiesięczne maksimum między kwietniem i majem (5.4 deg; Marsz i Styszyńska 2007).

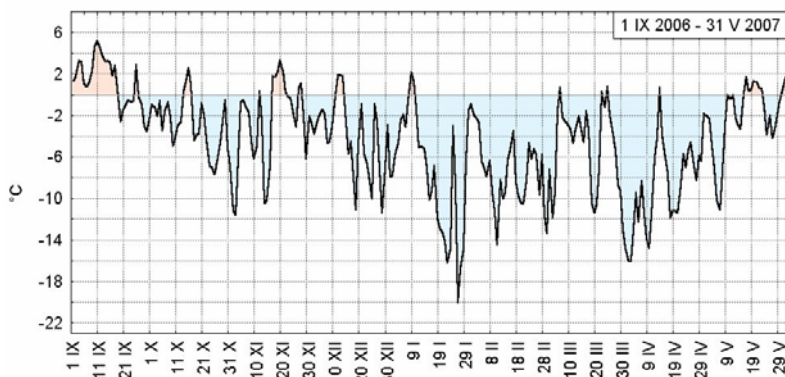
Sezon lodowy 2006/2007 miał w Hornsundzie przebieg wyraźnie odmienny od przeciętnego. Od listopada do marca włącznie średnia miesięczna  $T_p$  była wyższa o kilka stopni od średniej wieloletniej z lat 1978–2006 (w listopadzie o 4.1, w grudniu  $-5.7$ , styczniu  $-3.7$ , lutym  $-3.6$  i marcu  $-5.3$  deg; patrz ryc. 2). Przebieg średniej miesięcznej  $T_p$  w omawianym sezonie był również różny od tych jakie występowały w dwóch sezonach poprzedzających, w których średnie miesięczne minimum notowano w marcu, podczas gdy w ostatnim miało ono miejsce dopiero w kwietniu (ryc. 2). Przesunięcie momentu wystąpienia minimum na koniec zimy wskazuje na bardzo dużą międzyroczną zmienność  $T_p$  w chłodnej porze roku i na znaczną oceanizację klimatu SW Spitsbergenu w ostatnich latach.

Jesienią 2006 r. średnie dobowe  $T_p$  poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  wystąpiły stosunkowo późno, bo dopiero w trzeciej dekadzie września, a niższe od  $-5^{\circ}\text{C}$  pojawiały się sporadycznie dopiero w październiku. W pierwszej połowie zimy (listopad, grudzień, pierwsza połowa stycznia) rzadko kiedy średnia dobowa  $T_p$  spadała poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$  (ryc. 3). W tym czasie często notowano kilkudniowe ocieplenia, w czasie których  $T_p$  osiągała wartości dodatnie. Znaczące spadki średniej dobowej  $T_p$  (poniżej  $-12^{\circ}\text{C}$ ) miały miejsce dopiero w drugiej połowie stycznia. W drugiej połowie zimy – w lutym i marcu – kilkudniowe adwekcje bardzo mroźnego ( $T_p < -10^{\circ}\text{C}$ ) powietrza przedzielane były ocieplieniami, w czasie których średnia dobowa  $T_p$  osiągała wartości dodatnie. Na końcu zimy – w kwietniu – nastąpił wyraźny spadek temperatury (ryc. 3), średnia dobowa  $T_p$  w pierwszej dekadzie wyniosła  $-12.7^{\circ}\text{C}$ , drugiej  $-7.2^{\circ}\text{C}$  i trzeciej  $-6.1^{\circ}\text{C}$ , a średnia miesięczna  $T_p$  była bliska średniej wieloletniej.



Ryc. 2. Przebieg średniej miesięcznej temperatury powietrza w Hornsundzie w sezonie 2006/2007 na tle sezonów 2004/2005 i 2005/2006 oraz średniej wieloletniej z okresu VII 1978 – VI 2006 (Mean)

Fig. 2. Course of mean monthly air temperature at Hornsund station during the season 2006/2007 as compared to 2004/2005 and 2005/2006 seasons and the multiyear (July 1978 – June 2006) mean



Ryc. 3. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w Hornsundzie w okresie od 1 września 2006 do 31 maja 2007 r.

Fig. 3. Course of mean daily air temperature at Hornsund station in the period 1 September 2006 – 31 May 2007

Wobec bardzo łagodnej pod względem termicznym zimy 2006/2007, odmienny przebieg miał również sezon lodowy. Jesienią, kiedy warunki termiczne były zbliżone do przeciętnych, w głębi fiordu, w warunkach spokojnej wody, na płytkich, osłoniętych od fali i prądów pływowych akwenach, mogło dojść do powstania lodu świeżego (ang. *nilas*, do 10 cm grubości) i szarego (ang. *grey ice*, 10-15 cm grubości). Oszacowana według formuły Zubova (za: Zakrzewski 1982), na podstawie sum stopnio-dni mrozu, grubość lodu stałego (bez pokrywy śnieżnej) mogła na koniec października osiągnąć 14 cm (tab. 1). Dalszy rozwój tego lodu, możliwy na wewnętrznych, osłoniętych od fali akwenach fiordu (Brepollen, Burgerbukta, Samarinvagen) gdzie lód mógł tworzyć się w jednym cyklu, uległ znacznemu spowolnieniu. Teoretycznie możliwa grubość lodu w sezonie 2006/2007 mogła być mniejsza od grubości przeciętnej o około 70–78% (tab. 1), natomiast w porównaniu do poprzedniego sezonu (2005/2006) końcowa grubość lodu mogła być o 11 cm większa.

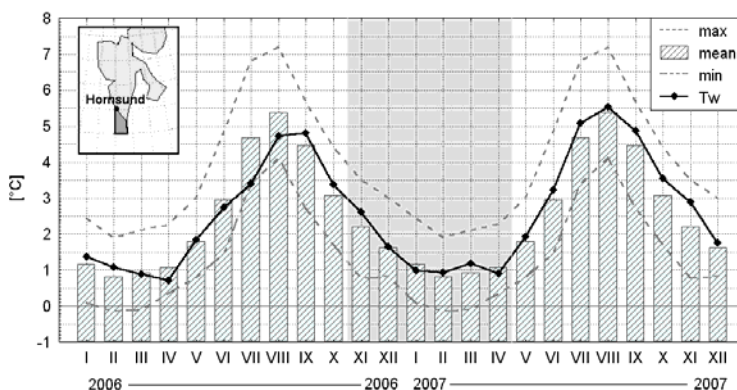
Tabela 1 – Table 1

Miesięczne sumy stopnio-dni mrozu w Hornsundzie i przyrost grubości lodu stałego (bez pokrywy śnieżnej) obliczony według formuły Zubova, w sezonie 2006/2007 oraz w wieloleciu (1978-2006)

Monthly sums of frost degree-day and the increase in fast ice thickness (without snow cover) calculated with the Zubov formula during the season 2006/2007 and multiyear period (1978-2006)

Miesiąc Month	Sezon 2006/2007 – Season 2006/2007		Średnia wieloletnia – Multiyear average	
	Stopnio-dni mrozu [°C] Frost degree-day [°C]	Grubość lodu [cm] Ice thickness [cm]	Stopnio-dni mrozu [°C] Frost degree-day [°C]	Grubość lodu [cm] Ice thickness [cm]
IX	-17.3	2.6	-17.5	3
X	-94.9	14	-122.0	17
XI	-94.3	23	-185.0	32
XII	-133.4	33	-307.7	50
I	-231.4	47	-344.6	67
II	-208.9	58	-287.5	79
III	-174.3	66	-338.9	91
IV	-260.4	77	-254.1	100
V	-73.8	80	-97.0	103

Na przedpolu Hornsundu warunki do tworzenia się lodu morskiego były również niesprzyjające. Przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powierzchniowej warstwy wody w rejonie SW wybrzeża Spitsbergenu (od Sorkappu po Hornsund) – w gridzie 76-77°N i 15-17°E<sup>4</sup> – wskazuje (ryc. 4), że w całym sezonie zimowym 2006/2007 miała ona wartości dodatnie. Jesienią (IX-X) i na początku zimy (XI, patrz ryc. 1b) oraz w jej drugiej połowie (II-III) temperatura wody (dalej Tw) była wyższa niż przeciętnie. Przyczyniała się do tego stosunkowo wysoka temperatura powietrza, przy której intensywność oddawania ciepła przez wodę do atmosfery była mocno ograniczona. Dodatkowo, zasób ciepła w wodach podpowierzchniowych Prądu Zachodniospitsbergeńskiego na szerokości Hornsundu był znacząco wyższy niż przeciętnie (Walczowski i Piechura 2007). Dopiero występujące w drugiej połowie stycznia oraz na początku kwietnia silne mrozy przyczyniły się do znaczącego spadku temperatury wody i w obu tych miesiącach była ona nieco niższa niż średnie wieloletnie (ryc. 4). W takich warunkach powstawanie lodu *in situ* na zewnątrz fiordu, u wybrzeży SW Spitsbergenu, było niemożliwe.



Ryc. 4. Przebieg średniej miesięcznej temperatury wody morskiej (Tw) w gridzie (76-77°N, 15-17°E) w 2006 i 2007 r. na tle średniej (mean), maksymalnej (max) i minimalnej (min) Tw z okresu 1982-2006 (dane: OI SST v.2)

Fig. 4. Course of mean monthly SST (Tw) in (76-77°N, 15-17°E) grid in 2006 and 2007 as compared to the mean maximum (max) and minimum (min) SST from the period 1982-2006 (data: OI SST v.2)

W odróżnieniu od wód występujących na zewnątrz fiordu, pomiary temperatury wody w warstwie przypowierzchniowej prowadzone na zachodnim brzegu Isbjornhamny (przy Banachówce) wskazują, że stosunkowo szybko, bo już w ostatnich dniach września, Tw w strefie przybrzeżnej wewnątrz fiordu osiągnęła wartości ujemne (ryc. 5, tab. 2). Znaczący spadek temperatury wody powierzchniowej obserwowany w tym czasie w bezpośrednim pobliżu Polskiej Stacji Polarnej spowodowany był przede wszystkim występowaniem na powierzchni Isbjornhamny wód lodowcowych oraz dużej ilości growlerów i gruzu lodowcowego pochodzących z Lodowca Hansa. Ujemna Tw w okresach nagromadzenia się w pobliżu zachodniego brzegu Isbjornhamny znacznych ilości lodu lodowcowego obserwowana była także latem (6, 7, 16, 18 lipca) i na początku września (4 i 12). W takich przypadkach temperatura wody

<sup>4</sup> Źródło danych: NOAA\_OI\_SST\_V2, NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA; <http://www.cdc.noaa.gov/> (Reynolds i in. 2002).

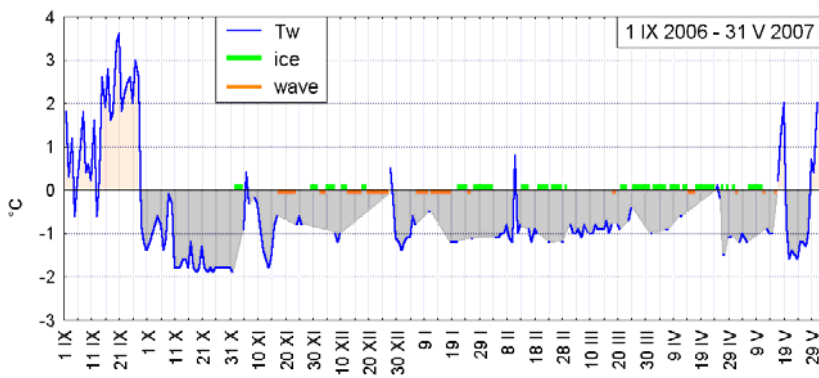
spadała z ponad 2°C gdy lodu nie było do -0.6°C przy dużej zwartości druzgotu lodowcowego. Poczynając od 28 września 2006 r. aż do 27 maja 2007 r. temperatura wody mierzona w rejonie Banachówki miała wartości ujemne (tab. 2, ryc. 5). W tym okresie tylko w ciągu trzech dni Tw podniosła się nieco powyżej zera (5 XI do 0.4°C, 27 XII – 0.5°C i 10 II – 0.8°C). Najniższe wartości temperatury wody powierzchniowej zmierzono w drugiej i trzeciej dekadzie października (-1.8÷ -1.9°C).

Tabela 2 – Table 2

Temperatura wody powierzchniowej mierzonej na zachodnim brzegu Isbjornhamny w okresie od 5 lipca 2006 do 30 czerwca 2007. Brak obserwacji ze względu na występujący na brzegu lód lub duże falowanie oznaczono jako "ice" lub "wave"

Sea surface temperature measured on the western shore of Isbjornhamna in the period from 5 July 2006 to 30 June 2007. Lack of observation because of shore ice or big waves was marked as "ice" or "wave"

Dzień Day	2006						2007					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
1	-	3.5	1.8	-1.2	-	-1.5	-1.2	ice	ice	ice	wave	1.2
2	-	4.5	0.3	-1.0	-	wave	-1.1	wave	-0.8	ice	-1.2	1.8
3	-	4.0	1.2	-0.8	-	wave	-1.1	-1.1	-1.0	ice	-1.0	2.2
4	-	4.2	-0.6	-0.6	-0.9	ice	-0.6	-1.1	-1.0	ice	-1.1	1.6
5	0.2	3.9	0.2	-0.8	0.4	ice	-0.8	-1.0	-0.9	ice	-1.2	2.1
6	-0.4	4.1	0.8	-1.4	-0.3	ice	wave	-1.0	-1.1	-0.9	ice	1.9
7	-0.2	2.2	1.8	-1.1	wave	-1.0	wave	-0.8	-0.8	ice	ice	3.1
8	2.2	2.7	0.4	-0.1	-0.2	-1.2	wave	-1.1	-	ice	ice	2.6
9	0.4	2.2	0.6	-0.3	-0.3	-1.0	wave	-1.2	-1.0	ice	ice	2.8
10	0.3	2.8	0.2	-1.8	-0.8	-	-0.5	0.8	-1.0	ice	ice	2.8
11	1.6	3.1	1.6	-1.8	-1.4	-	wave	-1.0	-0.8	-0.6	wave	2.5
12	4.1	3.4	-0.6	-1.8	-1.6	wave	wave	-0.8	-0.9	ice	-0.9	3.4
13	2.8	3.1	0.3	-1.6	-1.8	wave	wave	ice	-0.9	ice	-1.0	2.5
14	4.1	4.5	2.6	-1.6	-1.6	wave	wave	ice	-0.9	wave	-1.0	2.2
15	2.3	4.6	1.9	-1.8	-0.8	wave	wave	-0.9	-0.7	wave	wave	3.2
16	-0.1	5.2	2.8	-1.2	-0.6	wave	wave	-1.2	-1.0	ice	0.2	3.3
17	2.8	4.6	1.6	-1.8	wave	ice	wave	-0.9	-0.8	ice	1.2	3.2
18	-0.6	4.2	1.8	-1.9	wave	ice	-1.2	-1.0	wave	ice	2.0	3.3
19	0.8	4.2	3.4	-1.8	wave	wave	-1.2	ice	-0.8	ice	-0.8	3.2
20	4.3	4.4	3.6	-1.3	wave	wave	-1.2	ice	-0.9	ice	-1.6	4.0
21	4.2	3.8	1.8	-1.8	wave	wave	ice	ice	ice	ice	-1.4	4.8
22	4.1	4.5	2.2	-1.9	wave	wave	ice	-1.2	ice	ice	-1.5	4.4
23	4.3	3.4	2.5	-1.8	-0.8	wave	ice	ice	-0.7	ice	-1.6	3.2
24	5.1	4.2	2.6	-1.9	-0.6	wave	wave	ice	-0.4	0.1	-1.2	4.2
25	4.9	4.1	2.0	-1.8	-0.8	wave	ice	ice	ice	-0.2	-1.2	3.6
26	4.8	4.4	3.0	-1.8	wave	wave	-1.1	ice	ice	ice	-1.3	3.8
27	4.9	3.4	2.6	-1.8	-0.8	0.5	ice	wave	ice	-1.4	-0.9	3.8
28	4.8	3.8	-0.8	-1.8	wave	-0.2	ice	-1.2	ice	ice	0.7	2.6
29	6.1	2.9	-1.2	-1.8	ice	-1.1	ice		ice	-1.1	0.4	-0.4
30	5.0	3.0	-1.4	-1.8	ice	-1.2	ice		ice	ice	2.0	2.2
31	4.9	2.5		-1.9		-1.4	ice		-1.0		-	
Min	-0.6	2.2	-1.4	-1.9	-1.8	-1.5	-1.2	-1.2	-1.0	-1.4	-1.6	-0.4
Max	6.1	5.2	3.6	-0.1	0.4	0.5	-0.5	0.8	-0.4	0.1	2.0	4.8

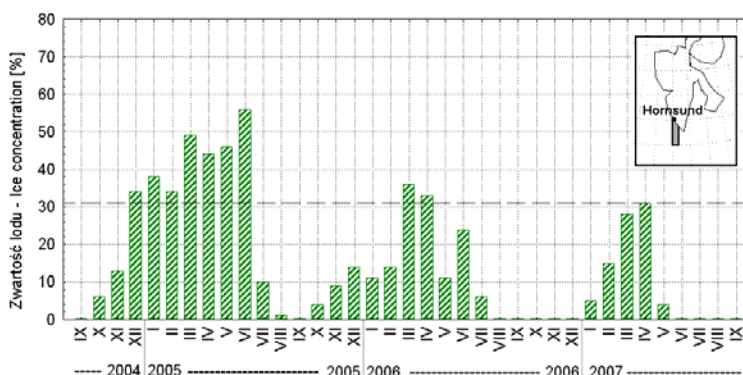


Ryc. 5. Przebieg temperatury wody powierzchniowej (Tw) mierzonej na zachodnim brzegu Isbjornhamny w okresie od 1 września 2006 do 31 maja 2007 r. Brak obserwacji ze względu na występujący na brzegu lód lub duże falowanie oznaczono jako "ice" lub "wave"

Fig. 5. Course of sea surface temperature (Tw) measured on the western shore of Isbjornhamna in the period 1 September 2006 – 31 May 2007.

Lack of observation because of shore ice or waves was marked as "ice" or "wave"

Bardzo późno, bo dopiero w trzeciej dekadzie grudnia 2006 roku, lód młody (10-30 cm grubości) pojawił się na Storfjordzie i płycznach Sorkappu. Po połamaniu przez fale lód ten mógł w wodach Prądu Sorkapskiego dryfować na północ i począwszy od pierwszej dekady stycznia 2007 r. pojawiać się u wejścia do Hornsundu. Jego ilość była jednak niewielka. Według NOAA NECP średnia zawartość lodów na podejściu do Hornsundu, w gridzie 76-77°N i 15-16°E<sup>5</sup>, w styczniu nie przekraczała 5%. W tym samym czasie w poprzednim sezonie lodowym była większa od 10%, a w sezonie 2004/2005



Ryc. 6. Średnia miesięczna koncentracja lodów morskich na podejściu do fiordu Hornsund (w gridzie 76-77°N, 15-16°E) w trzech ostatnich sezonach lodowych (dane: NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL)

Fig. 6. Mean monthly sea ice concentration at the approach to Hornsund Fjord (in 76-77°N, 15-16°E grid) in the latest ice seasons (data: NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL)

<sup>5</sup> Źródło danych: NOAA\_OI\_SST\_V2 – ice field, NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA.



nawet od 30% (ryc. 6). Dopiero w marcu i kwietniu ilość lodów dryfujących w wodach Prądu Sorkapskiego wzrosła na tyle, że średnia miesięczna zawartość lodów szacowana w gridzie 76-77°N i 15-16°E, czyli w polu o rozmiarach 14 x 60 Mm, dochodziła do 30% (ryc. 6). W świetle danych NOAA/OAR/ESRL PSD (zbiór: OI SST\_v2 – ice field), w maju zawartość lodów niesionych w wodach Prądu Sorkapskiego zmalała do 4%, a od czerwca aż do końca sezonu letniego wody na przedpolu Hornsundu wolne były od lodu.

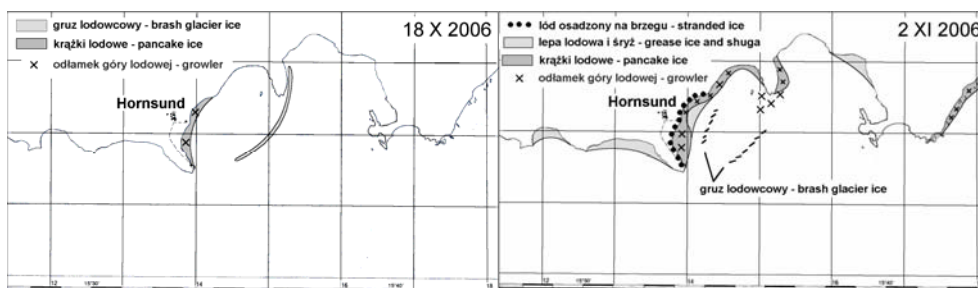
### 3. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola w sezonie 2006/2007

Latem i jesienią 2006 r., dzięki utrzymywaniu się temperatury powietrza powyżej normy klimatycznej, dochodziło do intensywnego obłamywania się lodu lodowcowego, który wypełniał poboczne zatoki fiordu, te do których uchodziły spływające lodowce. Mniejsze kawałki lodu tworzyły gruz lodowcowy, większe – growlery i odłamy gór lodowych, które wraz z prądami pływowymi przemieszczane były po wodach fiordu i wynoszone na jego przedpole. W tym czasie gruz lodowcowy i growlery odłamujące się od Lodowca Hansa tworzyły okresowo bardzo zwarte skupienia rozciągające się wzdłuż brzegu w Isbjornhamnie i Hansbukcie. 16 i 18 lipca 2006 r. zawartość growlerów i odłamów gór lodowych wzdłuż zachodniego brzegu Isbjornhamny sięgała 7-8/10. Po dłuższym okresie wolnym od lodu, większe pokrycie zatoki lodem lodowcowym zanotowano 19 sierpnia, kiedy to 1/3 powierzchni Isbjornhamny pokryła się gruzem lodowym i growlerami. Kolejny wzrost skupienia growlerów i druzgotu lodowcowego w pobliżu Banachówki obserwowano 4-6, 10 i 12 września. Duże pokrycie zatoki lodem lodowcowym obserwowano również od 28 września do 2 października oraz 10-12 i 19-20 października.

Na początku października powierzchniowa warstwa wody pochodzenia lodowcowego pokrywająca Isbjornhamnę osiągnęła homotermię na poziomie zamarzania wody wysłodzonej. Spowodowało to, że po obfitym opadzie śniegu, który wystąpił 6 października (12 cm na dobę), przez dwa następane dni pomiędzy pojedynczymi growlerami i gruzem lodowcowym występowała lepa śnieżna (ang. *slush*), a później (10-12 X) – gdy wzrosła ilość dryfującego lodu lodowcowego i temperatura powietrza spadła poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$  – zawiesina kryształów lodu (ang. *frazil ice*) i lepa lodowa (ang. *grease ice*). W tym czasie obserwowano w Hornsundzie długotrwałe wiatry z E i NE (w październiku częstość tych kierunków wiatru wyniosła 40.7 i 39.1% odpowiednio; Marsz i Styszyńska 2007) o na ogół umiarkowanej prędkości. Z tego względu nie doszło do powstania jednolitej tafli lodu świeżego, a jedynie, w efekcie zmarzania lepy, do wystąpienia od 18 października śryżu (ang. *shuga*) i krążków lodowych (ang. *pancake ice*; ryc. 7). Ten świeżo powstały lód morski został po 3 listopada usunięty, po czym aż do 7 grudnia po wodach Isbjornhamny dryfowały tylko zmienne ilości gruzu lodowcowego i growlerów.

Görlich i Stepko (1992) podają, że po mechanicznym usunięciu pierwszego lodu morskiego w zatoce następuje dłuższy okres wolnej od lodu wody, w czasie którego w Isbjornhamnie osiągana jest homotermia całej kolumny wody. Jednakże ze względu na stratyfikację gęstościową wód, homotermia może dotyczyć tylko powierzchniowej warstwy wody. Choć w grudniu 2006 r. kilkakrotnie (7–9, 12, 17–18, 29–31), zwłaszcza po większych, choć krótkotrwałych, spadkach temperatury powietrza (patrz ryc. 3), obserwowano lepe lodowe i śryż wśród gęsto upakowanych wzdłuż zachodniego brzegu Isbjornhamny growlerów i gruzu lodowcowego, to trwały rozwój lodu morskiego w tej części fiordu miał miejsce dopiero od połowy stycznia 2007 r. (ryc. 8). Obserwacje rozwoju lodu morskiego prowadzone w sezonie 2006/2007 potwierdzają więc tezę Görlicha i Stepki (1992) o stadialności rozwoju lodu morskiego w Isbjornhamnie. W tym samym czasie na wewnętrznych partiach fiordu, które nie są

eksponowane na działanie fal oceanicznych i falowania lokalnego oraz silnych prądów pływowych, lód stały mógł się tworzyć w jednym cyklu. Biorąc pod uwagę wielkość sumy stopnio-dni mrozu (tab. 1), już na końcu października powstały tam lód mógł mieć do 14 cm grubości. Występowanie w tym czasie lodu młodego w Brepollen potwierdza obserwacja wykonana 2 listopada ze szczytu Fugleberget, kiedy to w Adriabukcie i na linii przebiegającej od Traunpyntem (na zachód od Samarinvagen) po Treskelodden obserwowano skraj bardzo zwarte go lodu dryfującego wychodzącego z Brepollen.



Ryc. 7. Rozmieszczenie gruzu lodowcowego i lodu morskiego w Isbjornhamnie 18 X i 2 XI 2006 r.

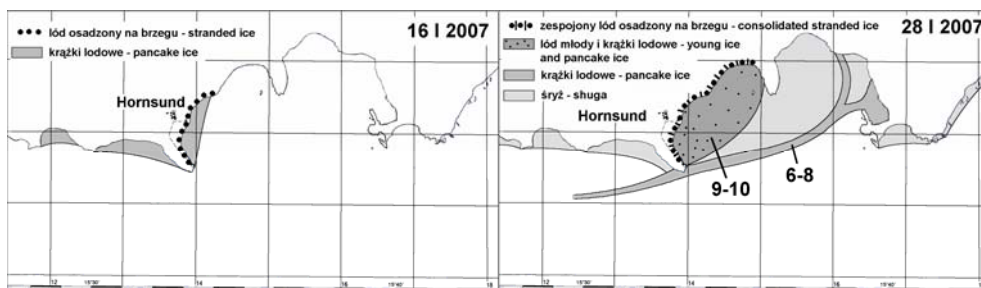
Fig. 7. Distribution of brash glacier ice and sea ice in Isbjornhamna on 18 October and 2 November 2006

Przy utrzymujących się w trzeciej dekadzie października wiatrach z sektora NE i E, na zachodnim brzegu Isbjornhamny doszło do wyrzucenia na brzeg w strefie pływów znacznych ilości growlerów i gruzu lodowcowego, które następnie zaczęły być spajane śniegiem, lepą i zamarzającymi bryzgami wody morskiej, tworząc załazek wału lodu nabrzeżowego (ryc. 7 – szkic z 2 XI 2006 r.). Zahamowanie jego rozwoju nastąpiło w drugiej dekadzie listopada, kiedy w rejon SW Spitsbergenu napłynęły ciepłe masy powietrza (patrz ryc. 3), a związane z nimi obfite opady deszczu doprowadziły do intensywnej ablacji lodu. Do ostatecznego zniszczenia wału lodu nabrzeżowego (ang. *stranded ice*) przyczyniło się falowanie związane z bardzo silnymi wiatrami z sektora wschodniego występującymi między 17 a 23 listopada. W tych dniach doszło do całkowitego oczyszczenia Isbjornhamny z lodu, po czym gruz lodowy, growlery oraz pojedyncze odłamy zaczęły ponownie gromadzić się zarówno wzdłuż, jak i na brzegu Isbjornhamny.

Mimo iż w grudniu, po większych, choć krótkotrwałych, spadkach temperatury powietrza kilkunrotnie (7–9, 12, 17–18, 29–31) obserwowano wśród pływającego wzdłuż brzegu gęsto upakowanego gruzu lodowcowego lepą lodową i śryż, przyspieszające zmarzanie gruzu w krę, to nie doszło do ponownego zespojenia lodu zwałowanego na brzegu. Z tego względu w trzeciej dekadzie grudnia, w okresie występowania silnych wiatrów wiejących z różnych kierunków (od SE przez SW–NW do NE), zachodni brzeg Isbjornhamny został ponownie oczyszczony z lodu osadzonego na brzegu (między 19 a 28 grudnia). Kolejny okres tworzenia się lodu nabrzeżowego rozpoczął się w ostatnich dniach grudnia 2006 r., kiedy to pod wpływem bardzo silnych wiatrów wschodnich doszło do wyrzucenia na brzeg dużych ilości gruzu lodowcowego, który szybko został zespojony lepą lodową i zamarzającymi bryzgami wody morskiej.

W połowie stycznia 2007 r., wraz z nadejściem fali mrozu (do  $-10 \div -15^{\circ}\text{C}$ ; ryc. 3), zachodnia część Isbjornhamny i strefa przybrzeżna od Wilczekodden po Ariebuktę (ryc. 8 – szkic z 16 I 2007 r.),

pokryły się lepią lodową i śryżem szybko zmarzającymi w krążki lodowe. Choć 24 stycznia przykryła je gruba na 12 cm warstwa świeżo spadłego śniegu, to ze względu na bardzo niską  $T_p$  ( $-15 \div -23^\circ\text{C}$ ) narastanie lodu postępowało szybko, tak, że pod koniec miesiąca (ryc. 8 – szkic z 28 I 2007 r.) w pobliżu zachodniego brzegu Isbjornhamny obserwowano już lód młody (15–30 cm). W połowie trzeciej dekady stycznia praktycznie cała zatoka pokryta była płatami pozmarzanych z sobą kier lodu młodego bądź krążków lodowych. Proces narastania lodu funkcjonował najprawdopodobniej również w zatokach pobocznych środkowej i wewnętrznej części Hornsundu, jednakże ze względu na panujące ciemności stwierdzenie tego faktu było niemożliwe. Biorąc pod uwagę liczbę stopnio-dni mrozu notowaną na Polskiej Stacji Polarnej, lód stały tworzący się w jednym cyklu w Burgerbukcie, Samarinvagen i Brepollen mógł osiągnąć grubość 47 cm (lód pierwszoroczny cienki; tab. 1).



Ryc. 8. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie 16 i 28 stycznia 2007 r.

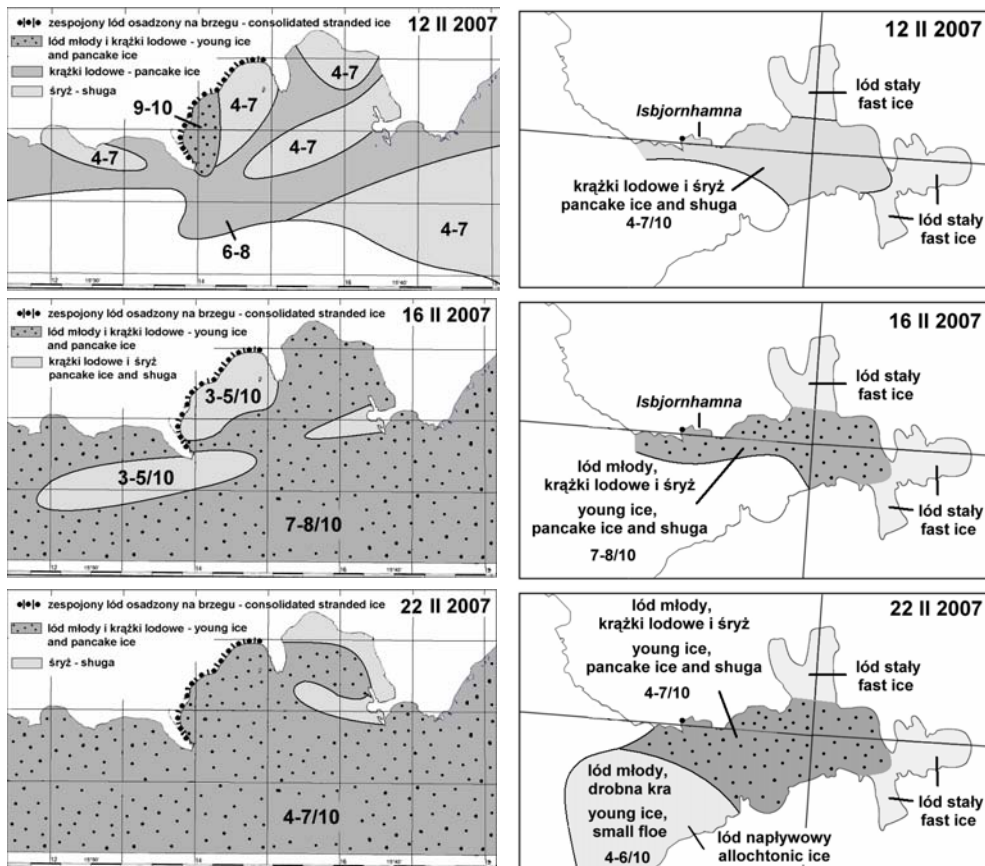
Fig. 8. Distribution of ice in Isbjornhamna on 16 and 28 January 2007

Na Storfjordzie i płycznach Sorkappu lód morski w sezonie 2006/2007 zaczął tworzyć się bardzo późno, bo dopiero w trzeciej dekadzie grudnia 2006 r. Po połamaniu przez fale lód ten w wodach Prądu Sorkapskiego zaczął dryfować na północ i poczynając od pierwszej dekady stycznia 2007 r. zaczął pojawiać się w niewielkich ilościach u wejścia do Hornsundu. W świetle informacji podawanych na norweskich i amerykańskich mapach lodowych, do końca grudnia 2006 r. wody na przedpolu Hornsundu były wolne od lodu. Dopiero na początku stycznia 2007 r. na wysokości południowego wejścia do fiordu (rejon Palffyodden), pojawił się lód o zawartości od 2 do 4/10. Pod koniec pierwszej dekady stycznia zaczął on wchodzić i pokrywać wody najpierw zewnętrznej, a później również środkowej części fiordu. Były to pasma bardzo drobnej kry lodu szarego (ang. *grey ice*; 10–15 cm) i szarobiałego (ang. *grey-white ice*; 15–30 cm), które z racji swojej niewielkiej grubości i ciemnej barwy mogły, w warunkach nocy polarnej, zostać niezauważone przez obserwatora. Pod wpływem silnych (10–14 m/s) wiatrów ze wschodu wiejących 17–18 stycznia lód ten został wypchnięty z fiordu, tak, że zarówno wody osiowej partii Hornsundu jak i jego przedpola zostały na kilka dni uwolnione od lodu. Jednakże już na początku trzeciej dekady stycznia wody w szerokiej na ponad 20 km strefie przybrzeżnej SW Spitsbergenu ponownie pokryte były lodem młodym (10–30 cm grubości) o zawartości od 3 do 5/10. Pod koniec stycznia, pod wpływem wiatrów z W i NW, szerokość strefy zalodzonej zmniejszyła się, ale zawartość lodów wrosła do 9–10/10.

W lutym doszło do przestrojenia makrosynoptycznej cyrkulacji atmosfery. Znacznie częściej niż poprzednio dochodziło do napływu w rejon południowego Spitsbergenu mroźnych mas powietrza ze

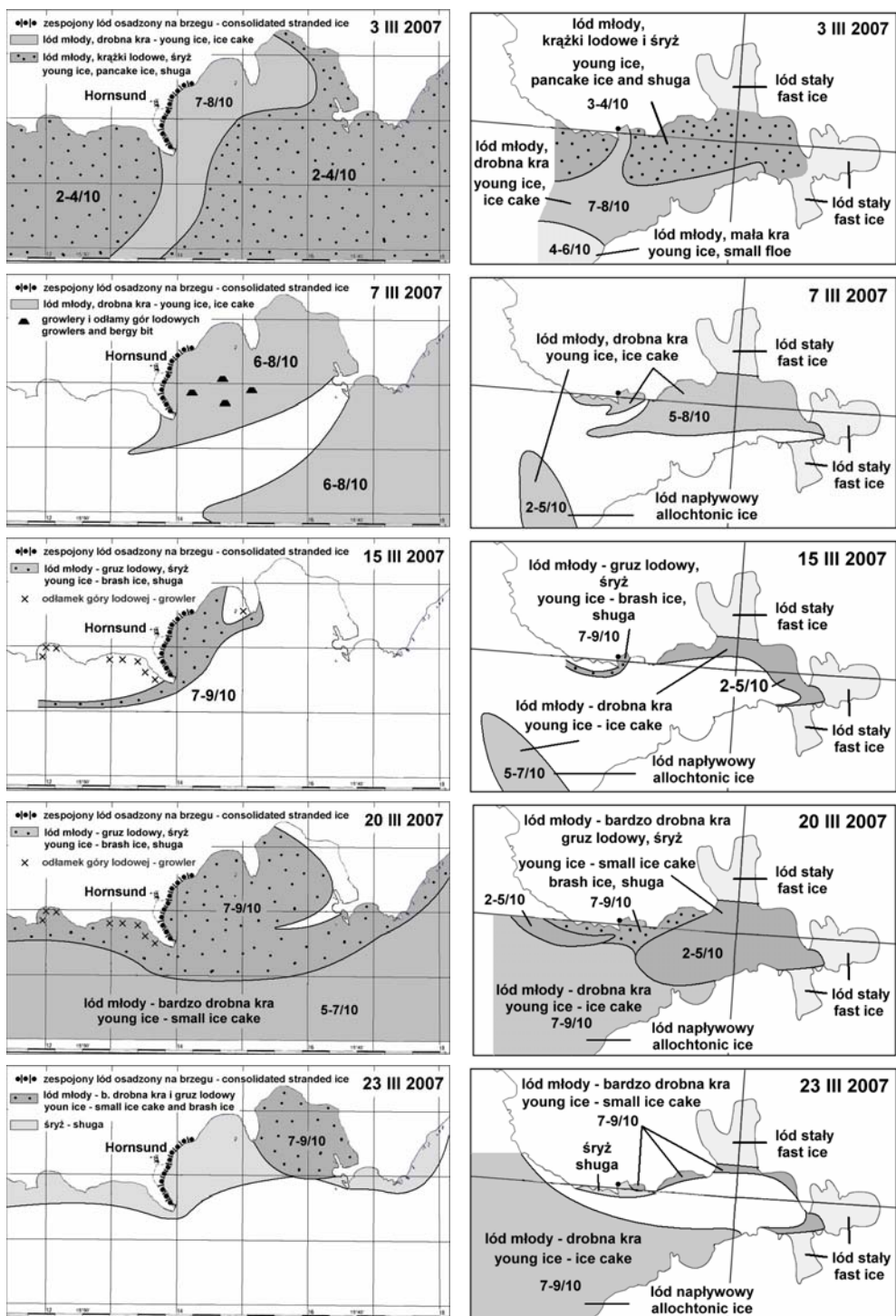
wschodu, co sprzyjało intensyfikacji procesów tworzenia i rozwoju lodu. Występujące w ostatnim dniu stycznia i pierwszych kilku dniach lutego silne (11-14 m/s) wiatry z sektora wschodniego doprowadziły do połamania i rozproszenia lodu wypełniającego Isbjornhamnę, tak, że 5 lutego wzdłuż zachodniego brzegu tej zatoki gromadził się tylko zwarty śryż z rzadkim gruzem lodowym i pojedynczymi growlerami, a 7 lutego cała zatoka wolna była od lodu morskiego. Ponowny spadek temperatury powietrza (do  $-15^{\circ}\text{C}$ ) doprowadził do kolejnego szybkiego pokrycia się Isbjornhamny i środkowej części fiordu najpierw śryżem i krążkami lodowymi, a później – od połowy lutego – zwartą i bardzo zwartą krą lodu młodego (ryc. 9). Przez cały luty na brzegu utrzymywał się wał lodu nabrzeżowego o wysokości około 1 m.

Na początku trzeciej dekady lutego zaczęły być, wraz z prądami pływowymi, wnoszone do Hornsundu lody allochtoniczne (ryc. 9 – szkic z 22 II 2007 r.). Ze względu na słabe oświetlenie i dużą odległość od obserwatora trudno było je rozpoznać. W większości była to drobna kra (średnica poniżej 20 m) lodu młodego z niewielką domieszką lodu białego (ang. *white ice*; 30-50 cm grubości). Taki stan zlodzenia utrzymywał się do 5 marca (ryc. 10 – szkic z 3 III 2007 r.). Pokryciu lodem wód zewnętrznej i środkowej części Hornsundu sprzyjały również występujące w tym czasie wiatry zachodnie (ryc. 11).



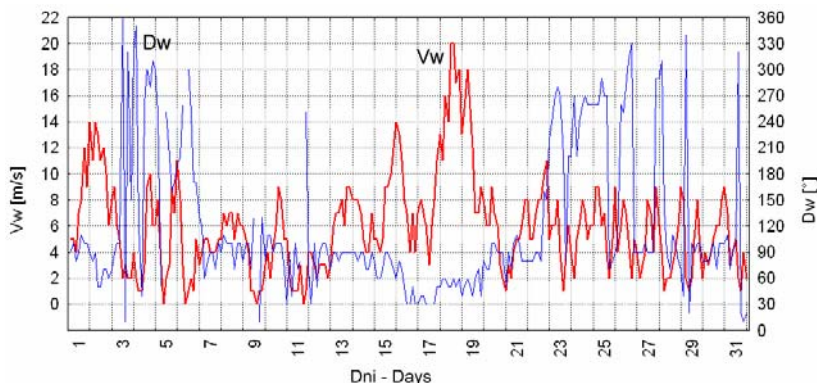
Ryc. 9. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie i Hornsundzie – 12, 16, i 22 lutego 2007 r.

Fig. 9. Distribution of ice in Isbjornhamna and Hornsund on 12, 16 and 22 February 2007



Ryc. 10. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie i Hornsundzie 3, 7, 15, 20 i 23 marca 2007 r.

Fig. 10. Distribution of ice in Isbjornhamna and Hornsund on 3, 7, 15, 20 and 23 March 2007

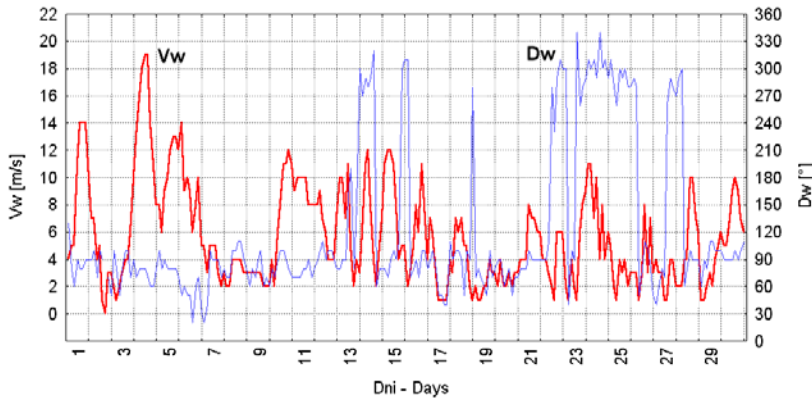


Ryc. 11. Zmiany prędkości (Vw) i kierunku (Dw) wiatru na stacji w Hornsundzie w marcu 2007 r.

Fig. 11. Plot of wind velocity (Vw) and direction (Dw) at Hornsund station in March 2007

W marcu, w rejonie Spitsbergenu dominowały układy niskiego ciśnienia, z którymi związane były występujące na przemian adwekcje zimnego i ciepłego powietrza. Taka cyrkulacja atmosfery na stacji w Hornsundzie przejawiała się dużymi wahaniami temperatury (ryc. 3), z trzema falami znacznych ochłodzeń ( $T_p < -10^\circ\text{C}$ ) i dwoma okresami dużych ociepleń, kiedy to średnie dobowe  $T_p$  były bliskie  $0^\circ\text{C}$ . Marzec cechował się również znacznymi zmianami kierunku i prędkości wiatru (ryc. 11). W rezultacie stan zlodzenia wód Hornsundu podlegał dużym wahaniom (ryc. 10). Po zaktywizowaniu się w lutym Prądu Bjornoi, napór lodów allochtonicznych dryfujących w Prądzie Sorkapskim, widoczny w trzeciej dekadzie lutego, zelżał i coraz mniej z nich mogło wraz z prądami pływowymi zdryfować do wnętrza Hornsundu. W takiej sytuacji zmiana kierunku wiatru na południowy (6 III) i później wschodni (7-21 III) doprowadziła do oczyszczenia z lodów najpierw południowych partii fiordu (ryc. 10 – szkic z 7 III), a później również centralnych (ryc. 10 – szkic z 15 III). Wiatry wschodnie, które przyczyniały się do uwalniania od lodu osiowych partii fiordu, na zachodnim brzegu Isbjornhamny doprowadzały do piętrzenia lodu i nadbudowywania wału lodu nabrzeżowego. Jego wysokość na początku marca szacowana na około 1 m, pod koniec pierwszej dekady wzrosła do 1.5 m (7 III) – 2 m (8 III), by pod koniec drugiej dekady (17 III) osiągnąć 2.5 m. W drugiej dekadzie marca Spitsbergen znajdował się pod wpływem północnych peryferii atlantyckich niżów kolejno przemieszczających się od Islandii przez Bjornoyę w kierunku Nowej Ziemi. Taka sytuacja synoptyczna doprowadziła do przyspieszenia wynosu lodów ze Storfjordu i dalszego ich ruchu na północ w wodach Prądu Sorkapskiego. Dryfujące w zwartych (7-9/10) ławicach drobne kry lodu młodego (10-30 cm grubości) pod koniec drugiej dekady dotarły na przedpole Hornsundu i ponownie zaczęły wnikać do jego wnętrza (ryc. 10 – szkice z 20 i 23 III 2007 r.). Wypełnianie fiordu lodem allochtonicznym przyspieszały występujące w trzeciej dekadzie marca wiatry zachodnie (ryc. 11). Od 24 marca do końca miesiąca lód ten dodyfował do Isbjornhamny gdzie podlegał (25-27 III) piętrzeniu.

W pierwszej dekadzie kwietnia południowy Spitsbergen w dalszym ciągu znajdował się pod wpływem północnych peryferii niżów znad Morza Barentsa i Półwyspu Kolskiego. W Hornsundzie okres ten zaznaczył się dominacją silnych i bardzo silnych wiatrów wschodnich (ryc. 12), którym towarzyszył wyraźny spadek temperatury powietrza (ryc. 3). Średnia dobowa  $T_p$  wahała się w tej dekadzie od  $-8.3$  do  $-16.1^\circ\text{C}$ . Spowodowało to zmienny stan zlodzenia osiowej partii fiordu. Na początku kwietnia (ryc. 13



Ryc. 12. Zmiany prędkości (Vw) i kierunku (Dw) wiatru na stacji w Hornsundzie w kwietniu 2007 r.

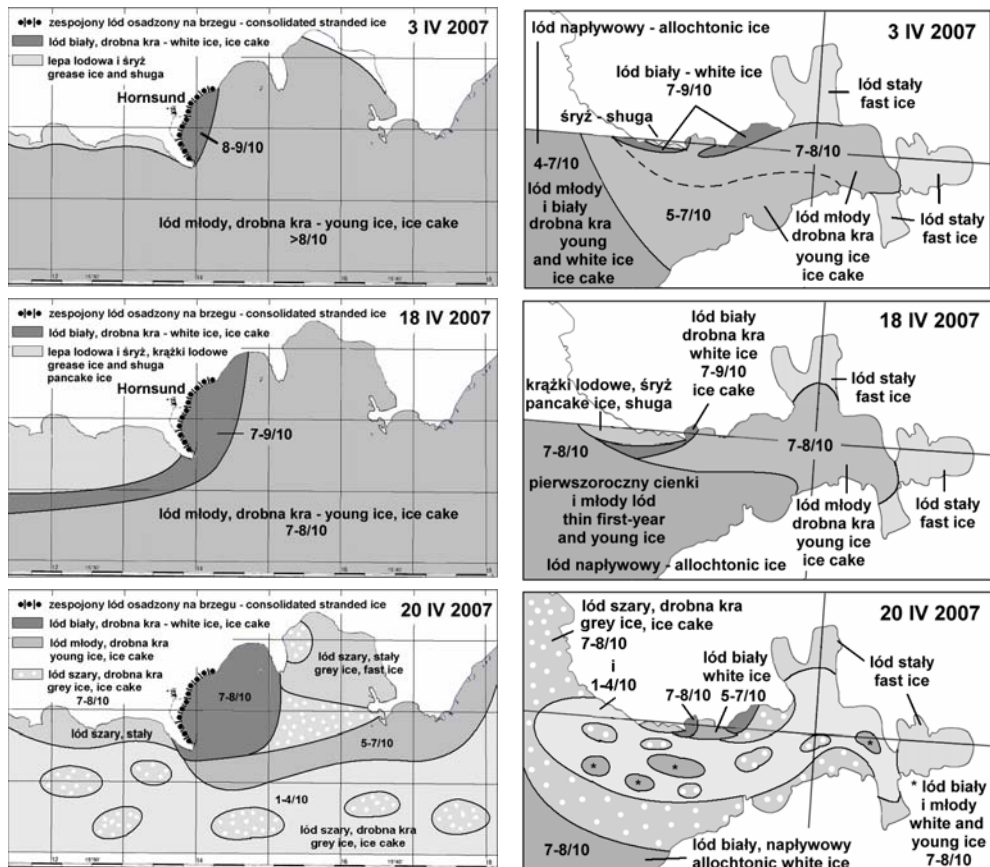
Fig. 12. Plot of wind velocity (Vw) and direction (Dw) at Hornsund station in April 2007

szkic z 3 IV) wejściowa i środkowa część Hornsundu pokryta była na ogół zwartą krą lodu młodego. Na przedpolu fiordu, w wodach Prądu Sorkapskiego, dryfowały na północ ławice i pasma drobnej kry lodu młodego i małe kry lodu białego. Szerokość tej strefy lodów można na podstawie map lodowych Norweskiego Instytutu Meteorologicznego oszacować na około 25 km. 4 kwietnia 2007 r. sztormowy wiatr ze wschodu (ryc. 12) doprowadził do oczyszczenia osiowej partii Hornsundu i odepchnięcia na zachód zwartych pasm lodu dryfującego w wodach Prądu Sorkapskiego. Zamarznięte pozostały jedynie zatoki poboczne Hornsundu i strefy szkieł występujących w pobliżu brzegu (np. między Wilczekodden a Worcesterpynten). Zachodnia część Isbjornhamny pokryta była zmarzniętą krą i dalej od brzegu – zwartą krą lodu młodego, a wody Hansbukty – lepą lodową. Bardzo niska temperatura powietrza i słabe wiatry występujące 7-9 kwietnia (ryc. 12) sprzyjały gwałtownemu marznięciu wody i pokryciu osiowej partii Hornsundu początkowymi postaciami lodu (lepa lodowa, śryż), a w następnych dniach lodem młodym (lód szary i szaro-biały). W tym czasie wzrastała również grubość lodu w Isbjornhamnie (16 IV oszacowano ją na około 50 cm). Zachodnie wiatry występujące od 13 do 16 kwietnia (ryc. 12) doprowadziły do częściowego pokrycia południowo-zachodniej części Hornsundu (do Hornstulloden – wschodni kraniec Gaashamny) lodami allochtonicznymi (ryc. 13 – szkic z 18 IV) o dużej zwartości. Tworzyły je pasma cienkiego lodu pierwszorocznego (30-70 cm grubości) i lodu młodego (szaro-białego), powoli dryfujące w prądach pływowych do wnętrza fiordu.

Szczegółowy obraz zlodzenia osiowej partii Hornsundu powstał 20 kwietnia 2007 roku kiedy to dokonano przelotu helikopterem (ryc. 13 – szkic z 20 IV). Wykazał on, że wody osiowej części fiordu pokryte były drobną i bardzo drobną krą lodu szarego o niezbyt dużym skupieniu (1-4/10). W strefach rozrzedzeń o zmiennej konfiguracji występowały także krążki lodowe. W środkowej części wejściowej partii fiordu zlokalizowano 4 skupienia (platy) lodu o dużym zwarcie (7-9/10) budowane przez lód biały (30-50 cm) i szaro-biały (15-30 cm). Podobne, duże skupienie lodu o większej grubości zauważono na zachód od półwyspu Treskelen (ryc. 13 – szkic z 20 IV). Dużym zwarcie (7-8/10) charakteryzował się lód szary zalegający na przedpolu fiordu i rozciągający się dalej na wschód wzdłuż południowego brzegu Hornsundu, po zachodnie wejście do Samarinvagen. Większe ławice zwartego (7-8/10), grubego lodu (pierwszorocznego cienkiego; 30-70 cm) znajdowały się tylko w rejonie Palffyodden i rozciągały dalej na W i NW od tego przylądka. W czasie przelotu helikopterem stwierdzono również, że

granica lodu stałego pokrywającego Brepollen przebiega wzdłuż linii łączącej Treskelodden z Meranpynten (ryc. 13 – szkic z 20 IV). Podobny obraz zlodzenia Hornsundu utrzymał się do 22 kwietnia. W następnych 4 dniach, gdy centrum małoaktywnego układu niskiego ciśnienia przemieściło się nad NE część Morza Barentsa i w rejonie Hornsundu wystąpiły wiatry z sektora zachodniego i północno-zachodniego, doszło do częściowego zwarcia (4-7/10) lodów do tej pory luźno dryfujących w fiordzie.

W kwietniu, tylko w czasie 4 dni w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej nie notowano występowania lodu morskiego (15, 24-25 i 29 IV). W pozostałych dniach, na wodach zachodniej części Isbjornhamny występowała zwarta, częściowo pozmarzana i miejscami spiętrzona kra lodu młodego i białego, wśród której widoczne były pojedyncze growlery i odłamy lodu lodowcowego. Jedynie przy zachodnim brzegu Półwyspu Wilczka i dalej wzdłuż brzegu aż do Worcesterpynten przez pierwsze dwie dekady kwietnia utrzymywała się strefa występowania początkowych postaci lodu, a w ostatniej dekadzie – lodu szarego tworzącego przylepę (ang. *fast ice*). Podobna przylepa powstała na początku ostatniej dekady w Hansbukcie (ryc. 13 – szkic z 20 IV). Przez cały kwiecień na zachodnim brzegu Isbjornhamny utrzymywał się również wał zespolonego lodu osadzonego na brzegu o wysokości 2.5 m.



Ryc. 13. Rozmieszczenie lodu w Isbjornhamnie i Hornsundzie 3, 18 i 20 kwietnia 2007 r.

Fig. 13. Distribution of ice in Isbjornhamna and Hornsund on 3, 18 and 20 April 2007



W ostatnich dniach kwietnia i pierwszej połowie maja południowy Spitsbergen znajdował się pod wpływem północnej peryferii atlantyckiego układu niskiego ciśnienia z centrum nad Morzem Norweskim. W Hornsundzie okres ten zaznaczył się wyraźnym wzrostem temperatury powietrza (ryc. 3) i dominacją silnych (do 20 m/s) wiatrów wschodnich i południowo-wschodnich. Przyczyniły się one do bardzo szybkiego usunięcia lodów morskich z osiowej partii fiordu. Przez cały maj po wodach tej części fiordu dryfowały z prądami pływowymi jedynie nieliczne pasma kry pochodzące z łamania stałego lodu wypełniającego wewnętrzne zatoki: Brepollen, Burgerbukę i Samarinvagen. W większości były to coraz bardziej zmurszałe drobne i bardzo drobne kry lodu pierwszorocznego cienkiego (30-70 cm grubości), w które wmarznięte były odłamy lodu lodowcowego.

Na początku (1-4) maja Isbjornhamna była wolna od lodu morskiego. Później (od 5 do 14 maja), w różnym stopniu pokruszony lód morski zalegał jedynie wzdłuż zachodnich jej brzegów. Resztki zbitego lodu, zwłaszcza w miejscach gdzie wcześniej na mieliznach i przybrzeżnych skałach były zwalę lodowe, obserwowano także na pozostałym, śledzonym fragmencie północnego brzegu Hornsundu, głównie na zachód od Wilczekodden. W tym czasie lód stały utrzymywał się jedynie w Brepollen i na wewnętrznych częściach Burgerbuky oraz Samarinvagen.

W pierwszej połowie maja lód nabrzegowy obserwowany na zachodnim brzegu Isbjornhamny nie wykazywał oznak topnienia. Jego wysokość przez cały ten okres szacowana była na 2.5 m. Konserwacji lodu sprzyjać mogło utrzymujące się w tym czasie duże zachmurzenie w piętrze niskim i brak opadów ciekłych. Dopiero w drugiej połowie maja jego zanik stał się zauważalny. 16 maja wysokość wału lodu nabrzegowego szacowano na 2 m, a od 25 maja do 8 czerwca – na 1.5 m.

Od 15 do 18 maja 2007 r. Isbjornhamna ponownie była wolna od lodu morskiego. 19 maja około 23 LT do Isbjornhamny zdryfowało pasmo lodu allochtonicznego. Był to pochodzący ze Storfjordu lód pierwszoroczny, który w pasmach luźnej kry dryfował w wodach Prądu Sorkapskiego i po zmianie kierunku wiatru na zachodni (17/18 V) na krótko zaczął wchodzić do Hornsundu. Przez kilka dni (do 29 V) część tego lodu gromadziła się wąskim, zwartym pasmem rozciągniętym wzdłuż brzegu w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej.

Od 30 maja do 17 czerwca wody Isbjornhamny wolne były od lodu. Jedynie na brzegu utrzymywał się jeszcze szczątkowy wał lodu nabrzegowego, który ostatecznie zanikł w pierwszych dniach lipca. Od połowy czerwca wzdłuż zachodniego brzegu Isbjornhamny zaczął pojawiać się gruz lodowcowy i growlery osypujące się z pobliskiego Lodowca Hansa.

W świetle analizy map lodowych wydawanych przez Norweski Instytut Meteorologiczny i Narodowe Centrum Lodowe USA (National Ice Center) w drugiej połowie maja przedpole Hornsundu wolne było od lodu napływowego. Jedynie wzdłuż brzegu SW Spitsbergenu, między Sorkappem a Hornsundem dryfowały w wodach Prądu Sorkapskiego pasma luźnego lodu. W pierwszej dekadzie czerwca pierwszoroczny lód średni (70–120 cm) i cienki (30-70 cm grubości), dryfujące w zwartych i bardzo zwartych (7–9/10) ławicach w wodach Prądu Wschodniospitsbergeńskiego dochodziły jedynie do Sorkappu. W drugiej dekadzie czerwca lód ten zaczął dryfować na zachód od Sorkappu i szybko przemieszcza się na północ wzdłuż SW wybrzeża Spitsbergenu, tak, że 21 czerwca pojawił się w rejonie Palffyodden, a 22 – wraz z prądem przypływu – zaczął wkraczać do Hornsundu. Przeważająca część wejściowej partii fiordu pokryła się pasmami lodu o na ogół dużej koncentracji (6–8/10) i zmiennej konfiguracji. W środkowej partii fiordu dryfujący lód zajął tylko osiową jej część i na krótko (22-23 VI) oparł się na Przylądku Wilczka. Występujące od 26 do 28 czerwca silne wiatry wschodnie (10-17 m/s) doprowadziły do wyniesienia tego lodu na przedpole fiordu. Od tego momentu, aż do 10 lipca, po wodach Hornsundu

dryfowały z prądem pływowym jedynie pojedyncze kry lodu pierwszorocznego cienkiego odłamujące się od resztek lodu stałego zalegającego w głębi Samarinvagen, zachodniej części Burgerbukty i Brepollen.

#### 4. Podsumowanie

Ze względu na długo utrzymującą się wysoką temperaturę powietrza, w okresie listopad-marzec znacznie wyższą od średniej wieloletniej (od 3.6 do 5.7 deg w ujęciu średniej miesięcznej) oraz większy niż przeciętnie zasób ciepła w wodach Prądu Zachodniospitsbergeńskiego, sezon lodowy 2006/2007 na wodach fiordu Hornsund i na jego przedpolu miał lekki przebieg. Nie doszło do powstania lodu *in situ* na wybrzeżu SW Spitsbergenu. Na przedpolu Hornsundu występował jedynie lód allochtoniczny, dryfujący w wodach Prądu Sorkapskiego. Obszarem źródłowym tego lodu są wody Storfjordu i pływiczny Sorkappu. Od momentu powstania lodu na tych akwenach zależy czas jego pojawienia się na przedpolu Hornsundu. W sezonie 2006/2007 lód morski na wymienionych akwenach zaczął tworzyć się bardzo późno, bo dopiero w trzeciej dekadzie grudnia. Stąd też w rejonie Palffyodden i wejściu do Hornsundu pojawił się miesiąc później niż przeciętnie.

Przeprowadzone całoroczne pomiary temperatury wody powierzchniowej w strefie przybrzeżnej Isbjornhamny wykazały, że w przypadku występowania na powierzchni fiordu wysłodzonych wód lodowcowych i dużych ilości growlerów i gruzu lodowcowego wartości ujemne temperatura tej warstwy wody może osiągnąć bardzo wcześnie, bo już w ostatnich dniach września. W takich przypadkach, w osłoniętych od falowania i prądów pływowych zatokach pobocznych Hornsundu, tych do których uchodzą lodowce, zamarzanie wody może rozpocząć się bardzo szybko – już na przełomie września i października. Proces narastania lodu morskiego ulega przyspieszeniu, gdy w tym czasie występują obfite opady śniegu. Jednakże wystąpienie silnych wiatrów w początkowym etapie tworzenia lodu morskiego doprowadza do mechanicznego jego usunięcia, po którym nastąpić może dłuższy okres bezlodowy.

W sezonie 2006/2007 pierwsze postaci lodu morskiego (lepę śnieżną i lodową oraz śryż) w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej, przy zachodnim brzegu Isbjornhamny, obserwowano od 6 października do 3 listopada. Drugi okres tworzenia się lodu morskiego rozpoczął się 7 grudnia. Jednakże i on ze względu na występujące silne wiatry był krótkotrwały. Dopiero w połowie stycznia, po nadejściu dużych mrozów, doszło do powstania bardziej trwałej pokrywy lodowej (lodu młodego). Ale i ten lód szybko został przez silne wiatry połamany i rozproszony na znacznej powierzchni fiordu. Trwała powłoka lodu stałego powstała jedynie na wodach wewnętrznych Hornsundu, w głęboko wciętych w łąd zatokach Brepollen, Burgerbukta oraz Samarinvagen.

Od trzeciej dekady lutego do końca kwietnia stan zlodzenia Hornsundu podlegał dużym wahaniom. W tym czasie kilkakrotnie cała powierzchnia Hornsundu była pokryta lodem morskim. Miało to miejsce wtedy, kiedy do zachodniej i środkowej partii fiordu wpływał lód allochtoniczny, dryfujący w wodach Prądu Sorkapskiego, a partie środkową i wewnętrzną pokrywał lód powstały *in situ*. Pokrywa ta była jednak kilkakrotnie degradowana przez bardzo silne wiatry wschodnie doprowadzające do wyniesienia większości lodów na zewnątrz fiordu. Na początku maja, pod wpływem bardzo silnych wiatrów z E i SE, doszło do bardzo szybkiego usunięcia lodów z osiowej partii Hornsundu. Po tym terminie, pomijając dwa krótkie epizody (19-29 V i 22-23 VI) wplynięcia do zachodniej i środkowej części fiordu luźnych pasm lodu allochtonicznego, po wodach Hornsundu dryfowały jedynie pojedyncze kry odłamywane od lodu stałego wypełniającego Brepollen, Burgerbukty oraz Samarinvagen. Sezon lodowy 2006/2007

zakończył się 10 lipca, kiedy to zauważono ostatnie kawały mocno zmurszałego lodu morskiego dryfujące z prądem pływowym z głębi fiordu na jego przedpole.

Sezon lodowy 2006/2007 był nieco dłuższy od poprzedniego i charakteryzował się wyjątkowo dużą zmiennością związaną przede wszystkim ze zmianami cyrkulacji atmosferycznej. Pierwsze postaci lodu morskiego (lepę lodową i śryż) przy zachodnim brzegu Isbjornhamny w ostatnim sezonie obserwowano już 6 października, podczas gdy w 2006 r. miało to miejsce dopiero na końcu października. Koniec okresu występowania lodu morskiego w Hornsundzie w obu sezonach był podobny i przypadał na pierwsze dni lipca. W ostatnim sezonie dłuższy był również okres całkowitego zalodzenia fiordu. W sezonie 2005/2006 miało to miejsce jedynie w drugiej połowie marca, podczas gdy w sezonie 2006/2007 było to kilka epizodów w okresie od trzeciej dekady lutego do końca kwietnia (22 II – 5 III, 20-22 III, 24-28 III, 4-30 IV).

## Literatura

- Görlich K., Stepko W., 1992. Hydrological phenomena related to sea-ice cover formation and presence in Hornsund, Spitsbergen. [w:] Landscape, Life world and Man in High Arctic. Institute of Ecology PAS Publishing Office: 83–92.
- Marsz A., Styszyńska A. (red.), 2007. Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie - stan, zmiany i ich przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, 376 s.
- Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W., 2002. An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate. *Journal of Climate*, 15: 1609–1625.
- Rodzic J., Wiktorowicz S., 1995. Shore ice of Hornsund fiord in the areas of the Polish Polar Station in Spitsbergen during the 1992/1993 winter. *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen, UMCS Lublin*: 191–195.
- Styszyńska A., Buchert L., 2004. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2003/2004. *Polish Polar Studies, XXX Międzynarodowe Sympozjum Polarne, Gdynia*: 369–376.
- Styszyńska A., Buchert L., 2005. Warunki lodowe w Hornsundzie i na jego przedpolu w sezonie zimowym 2003/2004. *Publications of the Institute of Geophysics Academy of Sciences D-66 (373)*: 93–105.
- Styszyńska A., Kowalczyk M., 2007. Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2005-2006. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 17: 147–158.
- Styszyńska A., Wiśniewska B., 2002. Zlodzenie Zatoki Nottingham (SW Spitsbergen) w latach 1993–2001 – przebieg i uwarunkowania. *Polish Polar Studies, Funkcjonowanie i monitoring geosystemów obszarów polarnych. Poznań*: 279–303.
- Walczowski W., Piechura J., 2007. Pathways of the Greenland Sea warming. *Geophysical Research Letters*, 34, L10608, doi:10.1029/2007GL029974.
- WMO Sea-ice Nomenclature - WMO/OMM/BMO - No. 259, 1970; Suppl No. 5, 1989.
- Zakrzewski W., 1982. Lody na morzach. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk: 313 s.

## Summary

This article presents the development of sea ice cover in the waters of central and western part of the Hornsund Fjord, as well as in its foreshore during winter season 2006–2007. Due to long lasting (November–March) high air temperatures (Fig. 1) the sea ice cover development of Hornsund was different from the average one. Significant decrease in air temperature was observed only in April (mean

monthly  $-8.7^{\circ}\text{C}$ ). In such thermal conditions the maximum thickness of sea ice which might have been formed in the outer, sheltered from high seas areas of the fjord, estimated with the help of Zubov formula, could reach 47cm in January, 58cm in February, 66cm in March, up to 77–80cm in the period from April to May 2007 (Tab.1).

In summer and autumn 2006 only brash glacier ice and small icebergs broken off the glaciers endings on the sea in Hornsund drifted in the waters of the fjord. At this time brash glacier ice and growlers broken off the Hans Glacier periodically concentrated densely along the coast of Isbjorhamna.

The first forms of new ice (slush and grease ice as well as shuga) were observed close to the west coast of Isbjornhamna from 6<sup>th</sup> October till 3<sup>rd</sup> November. The second period of sea ice formation started on 7<sup>th</sup> December. However, the ice disappeared quickly because of strong winds. Not sooner than in the middle of January when severe frost was noted, a permanent ice cover was formed (young ice). But also this ice was broken and diverged in most part of the fjord. Fast ice was only observed in the internal waters of Hornsund, in the Brepollen, Burgerbukta and Samarinvagen bays.

From the third decade of February till the end of April the ice cover of Hornsund experienced large fluctuations. During that period the entire area of Hornsund was covered with sea ice a few times. This phenomenon was noted when the allochtonic ice drifting in the waters of the Sorkapp Current entered western and central part of the fjord and when the central and inner parts were covered with ice formed in situ. This sea ice cover was several times destroyed by very strong east winds causing that most of ice was moved outside the fjord. At the beginning of May very strong E and SE winds caused ice removal from the axial part of Hornsund. Later, apart from two short episodes (19-29 May and 22-23 June) when open strips of allochtonic ice entered west and central part of the fjord, only single floes of broken-off the fast ice from Brepollen, Burgerbukta and Samarinvagen drifted in the waters of Hornsund. The ice season 2006/2007 ended on 19<sup>th</sup> July when the last floes of very rotten ice were observed drifting from the inside of the fjord with the tidal stream to its foreshore.