

## WARUNKI METEOROLOGICZNE I BIOMETEOROLOGICZNE OKOLIC HORNSUNDU (SPITSBERGEN ZACHODNI) W ROKU 2009

METEOROLOGICAL AND BIOMETEOROLOGICAL CONDITIONS  
IN THE HORNSUND REGION (WESTERN SPITSBERGEN) IN 2009

Sebastian Sikora<sup>1</sup>, Andrzej Arażny<sup>2</sup>, Tomasz Budzik<sup>3</sup>, Krzysztof Migala<sup>1</sup>, Dariusz Puczek<sup>4</sup>

<sup>1</sup> – Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery, IGiRR, Uniwersytet Wrocławski  
ul. Kosiby 6/8, 51–670 Wrocław  
migalak@meteo.uni.wroc.pl, sikoraseb@meteo.uni.wroc.pl

<sup>2</sup> – Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
ul. Gagarina 9, 87–100 Toruń  
andy@umk.pl

<sup>3</sup> – Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski  
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec  
tomasz.budzik@us.edu.pl

<sup>4</sup> – Zakład Badań Polarnych i Morskich, Instytut Geofizyki PAN  
ul. Księcia Janusza 64, 01–452 Warszawa  
dp@gf.edu.pl

**Zarys treści.** W artykule zostały zaprezentowane rezultaty pomiarów meteorologicznych przeprowadzonych w południowej części Ziemi Wedela Jarsberga, SW Spitsbergen w roku 2009. Pomiarzy były prowadzone na czterech stanowiskach: na terasie morskiej (PSP), morenie bocznej lodowca (WER) i na lodowcu: w strefie akumulacji (HT9) i poniżej linii równowagi (HT4). Informacje o wartościach elementów meteorologicznych zostały wykorzystane do oceny warunków biotermiczno-meteorologicznych jakie występowały w tych typach terenu. W tym celu przeanalizowano wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI), temperatury odczuwalnej (STI) oraz poszczególnych strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem.

**Słowa kluczowe:** warunki meteorologiczne i biometeorologiczne, Spitsbergen, WCI, STI.

### 1. Wprowadzenie

Celem niniejszego artykułu jest scharakteryzowanie warunków meteorologicznych i biometeorologicznych jakie wystąpiły w SW części Spitsbergenu w roku 2009. W opracowaniu wykorzystano informacje o warunkach meteorologicznych gromadzone w tym okresie przez automatyczne stacje meteorologiczne.

Archipeląg Svalbard, którego Spitsbergen Zachodni jest największą wyspą, to jeden z najbardziej na północ wysuniętych obszarów europejskiej Arktyki przez cały rok zamieszkiwanej przez ludzi. Dlatego niezwykle istotne jest analizowanie warunków meteorologicznych i biometeorologicznych

tego obszaru. Ponadto obserwowane od wielu lat procesy deglacji Svalbardu sprawiają, że konieczny jest ciągły monitoring abiotycznych i biotycznych elementów tego środowiska.

Ze względu na wyjątkowo trudne warunki panujące w tych szerokościach geograficznych niewiele jest miejsc w Arktyce, które byłyby monitorowane w sposób ciągły przez wiele lat jak ma to miejsce w okolicy fiordu Hornsund. Informacje o kształtowaniu się warunków meteorologicznych w tym regionie były przedmiotem wielu opracowań, które obejmowały zarówno krótsze okresy – szczególnie sezony letnie, kiedy prowadzenie badań o charakterze topoklimatycznym jest możliwe (Głowicki i Baranowski 1974, Baranowski i Głowicki 1975a, 1975b; Pietroni i Ziemiański 1985, Ustrnul 1987, Brázdil i in. 1988, Pereyma i Lucerska 1988, Pereyma i Piasecki 1988, Migala i in. 2004, Nasiółkowski i Pereyma 2007, Migala i in. 2008). Prowadzone na Polskiej Stacji Polarnej im. S. Siedleckiego od 1957 roku (a od 1978 w sposób ciągły) badania meteorologiczne zostały wykorzystane do stworzenia kompleksowego opracowania klimatycznego tego obszaru (Marsz i Styszyńska 2007). Od października 2009 roku jest publikowana wersja elektroniczna wybranych miesięcznych charakterystyk meteorologicznych rejestrowanych i obserwowanych w PSP (Soroka i in. 2009, 2010).

Innym obszarem Spitsbergenu Zachodniego o dobrze rozpoznanych warunkach klimatycznych są okolice Kaffiöry, gdzie jest zlokalizowana Stacja Polarna Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Miejsce to jest celem wiosennych i letnich wypraw naukowych, a zgromadzone wówczas pomiary i obserwacje wnoszą cenne informacje o kształtowaniu się tam warunków topoklimatycznych (Przybylak 1980, Wójcik i in. 1981, 1998; Marciniak 1983, Marciniak i in. 1985, Wójcik i Przybylak 1985, Marciniak i Przybylak 1992, Przybylak 1992, Araźny 1999, Kejna 2001, Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007).

Obszarem dobrze rozpoznany pod względem topoklimatycznym jest okolica Bellsundu (północny fragment Ziemi Wedela Jarlsberga, W Spitsbergen), który jest celem wypraw naukowców z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. Prowadzone badania topoklimatyczne skupiają się głównie na miesiącach letnich (Gluza i Siwek 2006, 2007).

Rejestrowane i obserwowane wielkości wybranych elementów meteorologicznych często trudne są do interpretacji w kontekście ich wpływu na organizmy ludzi przebywających w chłodnym środowisku Arktyki. Jest to powodem tworzenia opracowań, które uwzględniając warunki meteorologiczne informują o realnych odczuciach biotermicznych osób tam mieszkających i pracujących (Szczepankiewicz-Szmyrka 1981, Marciniak 1983, Zawiaślak 1986; Szczepankiewicz-Szmyrka 1988, Gluza 1988, Szczepankiewicz-Szmyrka i Pereyma 1992, Nordli i in. 2000, Araźny 2003, Owczarek 2004, Przybylak i Araźny 2005, Araźny 2006, 2008; Araźny i Błażejczyk 2007, Sikora i in. 2007, Araźny i in. 2009, Gluza i Siwek 2009).

## **2. Obszar badań**

Pomiary meteorologiczne wykorzystane w prezentowanym opracowaniu pochodziły z południowego fragmentu Ziemi Wedela Jarlsberga (SW Spitsbergen) i zostały przeprowadzone w czterech punktach (tab. 1). Część z nich (PSP, HT4, HT9) została już scharakteryzowana we wcześniejszych opracowaniach z tego zakresu (Araźny i in. 2009), dlatego dokładniejszego omówienia wymaga tylko stanowisko WER. Znajduje się ono na morenie bocznej lodowca Werenskiolda, tuż przy Stacji Polarnej im. Stanisława Baranowskiego Uniwersytetu Wrocławskiego, u wylotu z doliny Bratteg, która znajduje na SSE od punktu pomiarowego. Czoło lodowca Werenskiolda jest oddalone o ok. 2 km (w kierunku

ENE). Stanowisko pomiarowe WER jest otoczone pasmami górskimi o zróżnicowanej wysokości (ok. 500-600 m n.p.m.; sektor N-E-S) i znajduje się ok. 1 km od brzegu morza (kierunek W). Powierzchnia, na której zlokalizowane jest stanowisko pomiarowe to kamienista morena z bardzo niewielką ilością porostów i roślin naczyniowych.

Tabela 1 – Table 1

Lokalizacja punktów pomiarowych wykorzystanych w opracowaniu  
Location of points where meteorological parameters used in presented paper were collected

Nazwa Name	Lokalizacja Location	Współrzędne Coordinates	Wysokość n.p.m. [m] Altitude a.s.l. [m]	Odległość od PSP [km] Distance to PSP [km]
PSP	Polska Stacja Polarna Polish Polar Station	77.00159°N 15.54131°E	10	-
HT4	Lodowiec Hansa Hans Glacier	77.04738°N 15.63275°E	180	5.6
WER	Stacja Polarna UW Polar Station of Wrocław University	77.07101°N 15.17852°E	31	11.9
HT9	Lodowiec Hansa Hans Glacier	77.11656°N 15.48781°E	430	12.9

### 3. Dane i metody

Informacje o wybranych elementach meteorologicznych zostały zgromadzone przez urządzenia automatyczne. Były to automatyczne stacje meteorologiczne (szczegółowe informacje podano w tab. 2) dokonujące pomiaru wybranych elementów meteorologicznych co minutę (PSP) lub co 10 minut (pozostałe stanowiska; tab. 2). W Polskiej Stacji Polarnej są prowadzone pomiary i obserwacje meteorologiczne z zakresu podstawowego (na potrzeby Światowej Organizacji Meteorologicznej) oraz pomiary specjalne (jak np. pomiary aktynometryczne czy aerozolowej warstwy optycznej).

Tabela 2 – Table 2

Rodzaje urządzeń pomiarowych wykorzystywanych do gromadzenia informacji  
o elementach meteorologicznych oraz mierzone parametry

Types of equipment used for acquisition meteorological data presented in paper and collected parameters

Stacja Station	Urządzenie pomiarowe Type of equipment	Element meteorologiczny Meteorological parameters
PSP	stacja automatyczna Vaisala QLC 50 i Campbell CR1000 automatic weather station Vaisala QLC 50 & Campbell CR1000	t, f, v, Kglob, Kref
HT4	stacja automatyczna Campbell CR3000 automatic weather station Campbell CR3000	t, f, v, Kglob, Kref
WER	stacja automatyczna Campbell CRx10*, automatic weather station Campbell CRx10*	t, f, v, Kglob,
HT9	Stacja automatyczna Campbell CR1000**/CR3000 automatic weather station Campbell CR1000**/CR3000	t, f, v, Kglob, Kref

\* – rozpoczęcie pracy: 8.04.2009; \*\* – wymiana loggera: 29.04.2009, t – temperatura powietrza,  
f – wilgotność względna powietrza, v – prędkość wiatru, Kglob – promieniowanie całkowite,  
Kref – promieniowanie odbite

\* – start of acquisition: 8.04.2009; \*\* – logger replacement: 29.04.2009, t – air temperature, f – relative humidity,  
v – wind speed, Kglob – global irradiation, Kref – reflected radiation

Wykorzystane w opracowaniu dane meteorologiczne są w znacznej mierze oryginalnymi, nigdzie dotychczas nie publikowanymi. Pomimo starań, by urządzenia rejestrujące działały bez przerw, wystąpiły pewne problemy techniczne, które uniemożliwiły zgromadzenie danych ze wszystkich dni w roku. Na stanowisku WER automatyczna stacja meteorologiczna została zainstalowana dopiero na początku kwietnia 2009 roku. Na początku marca 2009 pojawił się problem techniczny z rejestratorem na stanowisku HT9, który wymagał wymiany, czego dokonano dopiero w końcu kwietnia 2009. Z tych okresów nie uwzględniono pomiarów dla stacji WER i HT9.

Warunki meteorologiczne zostały omówione w opracowaniu na podstawie wartości średnich, maksymalnych i minimalnych wybranych elementów meteorologicznych z 2009 roku. Natomiast do oceny warunków biometeorologicznych wybrano następujące wskaźniki: temperaturę odczuwalną (STI) i wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI). Specyfika tych wskaźników oraz sposoby ich wyliczenia były publikowane w wielu pracach (Błażejczyk 2004, Kozłowska-Szczęsna i in. 1997, Siple i Passel 1945) w związku z tym nie jest konieczne przypominanie stosownych wzorów w niniejszym opracowaniu. Wartości tych wskaźników zostały obliczone na podstawie danych meteorologicznych zarejestrowanych co 10 minut przy użyciu wzorów empirycznych, które są zaimplementowane do programu BioKlima 2.5 (Błażejczyk i Błażejczyk 2007). Zostały one zaprezentowane jako wartości średnie, minimalne i maksymalne oraz jako częstości występowania określonych klas odczuć termicznych w odpowiednich skalach. Do wyliczenia wielkości wskaźników zastosowano prędkość wiatru zredukowaną do poziomu 2 m nad powierzchnią podłoża.

W opracowaniu analizie poddano również wpływ cyrkulacji atmosferycznej, która ma decydujące znaczenie w kształtowaniu pogody na Spitsbergenie. W tym celu wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji dla tego obszaru opracowany przez Niedźwiedzia (2010).

## **4. Warunki meteorologiczne**

### **4.1. Temperatura powietrza**

Prowadzone w 2009 roku pomiary temperatury powietrza w PSP wykazały, że był on jednym z najcieplejszych w historii pomiarów. Ze średnią wartością  $-2,7^{\circ}\text{C}$  znalazł się on na piątym miejscu (po 2006, 1984, 2007 i 2005). Był o około  $1,7^{\circ}\text{C}$  cieplejszy od średniej wieloletniej. Tak wysokie uprzywilejowanie termiczne badanego okresu pozwala na zaklasyfikowanie go do lat ciepłych. W całym roku aż w 11 miesiącach średnia temperatura powietrza była wyższa niż średnia w latach minionych, co przełożyło się na liczbę dni charakterystycznych: mniejszą częstość dni mroźnych i bardzo mroźnych, a większą dni z temperaturą dodatnią (tab. 3). Zarejestrowane w 2009 r. wartości ekstremalne temperatury powietrza nie świadczyły o wyjątkowości tego okresu: temperatura minimalna była o ponad  $10^{\circ}\text{C}$  wyższa od najniższej z roku 1981, a temperatura maksymalna była o  $2,7^{\circ}\text{C}$  niższa od najwyższej zarejestrowanej w 2005 r. Wyjątkowy pod względem termicznym był koniec roku: listopad i grudzień były średnio o około  $6,0^{\circ}\text{C}$  cieplejsze niż w latach 1978-2006.

Z pomiarów prowadzonych w okolicy Hornsundu wynika, że najchłodniejszym obszarem jest strefa akumulacji Lodowca Hansa – na co oczywisty wpływ ma wysokość n.p.m. Na stacji HT9 średnie miesięczne wartości temperatury powietrza jedynie w lipcu i sierpniu były dodatnie, podczas gdy na pozostałych stanowiskach również w czerwcu oraz wrześniu średnia temperatura przekroczyła  $0^{\circ}\text{C}$ . Warto zauważyć, że średnia miesięczna temperatura powietrza w części lodowca znajdującej się poniżej linii równowagi (HT4;  $2,5^{\circ}\text{C}$ ) była w sierpniu niższa niż w strefie akumulacji (HT9;  $2,9^{\circ}\text{C}$ ).

Prawdopodobną przyczyną takiej sytuacji były stany inwersyjne w warstwie granicznej atmosfery: średni gradient temperatury powietrza w profilu PSP-HT4 wahał się od 0,8 (maj) do 1,4°C/100 m (kwiecień, październik), a w profilu PSP-HT9 od 0,3 (sierpień) do 1,0°C/100 m (styczeń, luty). Potwierdzeniem tego jest analiza częstości występowania gradientu temperatury o wartościach mniejszych niż 0,5°C/100 m – w profilu PSP-HT9 w sierpniu obserwowano je ponad trzykrotnie częściej niż w profilu PSP-HT4 (odpowiednio: 54% i 16,1% czasu trwania pomiarów; tab. 4).

Tabela 3 – Table 3

Wybrane wskaźniki termiczne zmierzone w roku 2009 w odniesieniu do lat 1978-2006  
Selected meteorological indices occurred in 2009 compared with 1978-2006 period

Temperatura – Temperature	2009		1978-2006	
średnia roczna – annual mean	-2,7		-4,4	
Maksymalna – maximum	10,8	(01.08)	13,5	(07.07.2005)
Minimalna – minimum	-25,8	(06.01)	-35,9	(16.01.1981)
minimalna przy gruncie – minimum near the ground	-30,6	(26.10)	-40,3	(16.01.1981)
maks. amplituda dobowa – max. daily amplitude	15,2	(05.01)	22,5	(16.02.1980)
maks. zmiana w ciągu 3 h – max change per 3 h	↓5,5	(01.03)	↑10,2	(27.12.1980)
maks. zmiana w ciągu 6 h – max change per 6 h	↓7,5	(04.01)	↑14,7	(23.02.1993)
maks. zmiana w ciągu 12 h – max change per 12 h	↓10,3	(04/05.01)	↓17,9	(15-16.02.1980)
dni mroźnych – ice days (tmax<0°C)	148		184	
dni bardzo mroźnych – strong ice days (tmax<-10°C)	43		57	
dni z temp. maks. >0°C – days with (tmax>0°C)	216		180	

źródło: Biuletyn Meteorologiczny Spitsbergen – Hornsund, podsumowanie roku 2009

source: Meteorological bulletin Spitsbergen – Hornsund, summary of the year 2009

Tabela 4 – Table 4

Częstość występowania gradientu temperatury mniejszego niż 0,5°C/100m  
w profilach PSP-HT9 i PSP-HT4 w roku 2009

Frequency of occurrence of vertical gradients below 0,5°C/100m in profiles PSP-HT9 and PSP-HT4 in 2009

Miesiąc Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
PSP-HT9	12,5	10,4	-	-	27,5	28,1	33,2	54,0	22,1	7,9	24,5	10,8
PSP-HT4	16,7	16,4	28,4	21,6	25,5	18,9	25,1	16,1	16,4	6,1	20,0	15,5

źródło: Polska Stacja Polarna, source: Polish Polar Station

Uwzględniając tylko wartości temperatury powietrza z okresów synchronicznej rejestracji na wszystkich stanowiskach (od maja do grudnia 2009) okazuje się, że średnia była taka sama na stacji PSP i WER (0,9°C), o prawie 2°C niższa na stanowisku HT4 (-0,9°C) i o prawie 3°C niższa w strefie akumulacyjnej lodowca Hansa (-2,0°C) – tab. 5.

## 4.2. Prędkość wiatru

Średnia roczna prędkość wiatru w PSP wyniosła 5,8 m·s<sup>-1</sup> średnio w roku czyli niewiele więcej niż w latach 1978-2006 (o 0.3 m·s<sup>-1</sup>). Stosowany obecnie anemometr umożliwia ciągły pomiar i rejestrację prędkości wiatru – dzięki czemu możliwe jest określenie jego maksymalnej prędkości – w 2009

było to 39 m s<sup>-1</sup> (19.12). W badanym okresie wystąpiło niewiele więcej dni z wiatrem silnym (>15 m s<sup>-1</sup>) niż średnio w latach 1978-2006 (odpowiednio 43 i 39 dni spełniających to kryterium).

Tabela 5 – Table 5

Średnie, minimalne i maksymalne wartości wybranych parametrów meteorologicznych w poszczególnych miesiącach zarejestrowane na stacjach (dane zsynchronizowane)

Monthly average and extreme values recorded at the stations (only simultaneous data used into account)

	Miesiąc Month	PSP			HT4			WER			HT9		
		średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max
Temperatura powietrza [°C] Air temperature [°C]	I	-10,3	-25,7	2,9	-12,5	-31,7	1,4	-	-	-	-14,5	-34,6	0,3
	II	-9,2	-18,0	2,5	-10,8	-21,0	1,2	-	-	-	-13,3	-26,5	-0,1
	III	-8,9	-22,0	1,9	-10,4	-25,7	0,9	-	-	-	-	-	-
	IV	-10,6	-19,3	2,0	-13,0	-24,1	1,0	-11,2	-17,5	3,1	-	-	-
	V	-0,3	-6,8	3,5	-1,6	-12,1	4,2	-0,5	-7,2	3,4	-3,1	-15,4	4,4
	VI	2,7	-1,9	7,4	1,0	-4,6	7,9	2,3	-1,1	7,1	-0,04	-7,0	6,1
	VII	5,1	0,9	10,6	3,4	-0,6	9,3	5,8	0,9	15,0	2,6	-2,4	8,0
	VIII	4,3	-0,4	10,7	2,5	-3,1	8,3	4,8	-0,7	10,9	2,9	-3,0	9,7
	IX	2,0	-2,9	6,9	0,2	-5,4	5,5	1,6	-3,3	8,0	-1,2	-7,6	5,3
	X	-2,3	-11,0	3,4	-4,8	-17,6	2,8	-2,9	-9,6	4,3	-6,1	-17,4	2,0
	XI	-1,0	-7,8	3,3	-2,7	-14,7	3,0	-1,2	-4,6	3,9	-4,3	-15,3	1,9
	XII	-3,6	-15,2	3,4	-5,4	-21,4	3,7	-3,8	-16,8	5,9	-7,4	-21,6	2,9
Prędkość wiatru [m·s <sup>-1</sup> ] Wind speed [m·s <sup>-1</sup> ]	I	6,1	0,0	29	4,9	0,0	18,6	-	-	-	4,1	0,0	29,3
	II	8,8	0,0	38	5,3	0,0	18,4	-	-	-	5,3	0,0	29,8
	III	7,0	0,0	37	5,0	0,0	21,8	-	-	-	-	-	-
	IV	4,4	0,0	24	3,6	0,1	10,0	3,5	0,0	18,2	-	-	-
	V	3,6	0,0	33	4,3	0,0	10,6	3,6	0,0	14,0	3,2	0,1	10,6
	VI	4,0	0,0	31	4,0	0,0	15,4	3,2	0,0	15,8	3,1	0,1	13,1
	VII	5,8	0,0	24	5,2	0,1	9,5	4,5	0,0	16,0	2,9	0,1	11,3
	VIII	3,5	0,0	31	4,3	0,0	13,6	2,0	0,0	16,5	2,1	0,1	12,1
	IX	5,9	0,0	36	5,3	0,0	16,6	3,8	0,0	19,4	3,9	0,1	15,1
	X	4,4	0,0	30	5,8	0,0	13,8	3,7	0,0	18,7	4,1	0,1	19,6
	XI	6,7	0,0	33	4,6	0,0	12,8	3,6	0,0	12,2	4,4	0,1	28,1
	XII	6,9	0,0	39	6,0	0,0	17,6	5,8	0,0	10,7	4,5	0,0	29,5
Wilgotność względna [%] Relative humidity [%]	I	74	35	100	75	36	100	-	-	-	79	40	99
	II	76	34	100	73	27	100	-	-	-	81	35	100
	III	83	47	100	82	44	100	-	-	-	-	-	-
	IV	71	33	100	73	41	100	67	40	99	-	-	-
	V	84	43	100	86	47	100	78	43	100	85	44	98
	VI	83	53	99	85	42	100	80	43	100	84	37	98
	VII	81	50	99	83	48	100	77	39	100	84	41	99
	VIII	86	51	99	89	62	100	86	43	100	87	48	100
	IX	82	47	100	86	51	100	77	43	100	87	46	100
	X	80	50	100	82	52	100	74	46	100	85	50	99
	XI	85	59	99	87	65	100	79	51	99	92	65	100
	XII	82	55	100	84	58	100	71	40	100	90	31	100

źródło: Polska Stacja Polarna, source: Polish Polar Station

Porównując prędkości wiatru na wszystkich stanowiskach pomiarowych (tab. 5) należy wskazać obszar reprezentowany przez PSP jako miejsce o największej średniej prędkości wiatru – ze względu

na brzegowe położenie stacji – na co wskazywał w swoich opracowaniach Araźny (2008, Araźny i in. 2009). Uwzględniając tylko okresy synchronicznej pracy urządzeń pomiarowych na wszystkich stanowiskach (*de facto* okres od maja do grudnia 2009) uzyskuje się następujące średnie wartości prędkości wiatru: PSP – 5,1, HT4 – 4,9, WER – 3,8 i HT9 – 3,5 m s<sup>-1</sup>. Duża prędkość przepływu powietrza w obszarze ablacyjnym lodowca Hansa oraz mniejsza niż w obszarze akumulacyjnym temperatura powietrza, może świadczyć o dużej roli cyrkulacji lokalnej czyli spływach grawitacyjnych wychłodzonego powietrza. Potwierdzeniem tego faktu jest sytuacja jaka kształtowała się w sierpniu 2009 roku: średnia prędkość wiatru na stacji HT4 była ponad dwukrotnie większa niż na stacji HT9 przy równoczesnej, wyjątkowo dużej częstości występowania gradientu temperatury powietrza (w odniesieniu do PSP) świadczącej o istnieniu stałej równowagi termodynamicznej w granicznej warstwie atmosfery. W porównaniu z wybranymi miesiącami lat 2007 i 2008 (Araźny i in. 2009) należy uznać rok 2009 za okres o większej dynamice ruchu powietrza na analizowanym obszarze.

### 4.3. Wilgotność względna powietrza

Wilgotność względna powietrza w PSP wyniosła średnio 81% w roku 2009 i była większa niż w okresie 1978-2006 o 2% – czyli nieznacznie. Największe różnice w stosunku do średniej wieloletniej stwierdzono w ostatnim kwartale roku – wówczas w kolejnych miesiącach wilgotność względna była o 4% (X), 9% (XI) i 11% (XII) wyższa od średniej wieloletniej. Charakterystyczny przebieg roczny tego elementu obserwowany w wieloleciu 1978-2006, czyli najniższe wartości zimą a najwyższe w okresie letnim, w roku 2009. był odmienny i tylko w 3 miesiącach roku wystąpiły średnie wartości miesięczne poniżej 80% (I, II i IV; tab. 5). Nieco większej wilgotności względnej powietrza towarzyszyła wyższa roczna suma opadów atmosferycznych, która w roku 2009 wyniosła 479.7 mm, co stanowiło prawie 110% sumy z wielolecia 1978-2006.

W rejonie Hornsundu miejscem o największych średnich miesięcznych wartościach wilgotności względnej był w roku 2009 lodowiec na co wskazywano już we wcześniejszych opracowaniach (Araźny i in. 2009). Należy zwrócić uwagę na dużo mniejsze wartości tego parametru rejestrowane na stacji WER – średnio w całym okresie synchronicznych pomiarów wilgotność względna powietrza była tutaj mniejsza o 5% w porównaniu z PSP. Prawdopodobną przyczyną mniejszej wilgotności względnej powietrza w tym miejscu jest jego specyficzna lokalizacja: pasmo gór o wysokości względnej kilkuset metrów wymusza spiętrzanie się mas powietrza przemieszczających się z sektora wschodniego (kierunek dominujący), co powoduje powstawanie zjawisk fenowych.

## 5. Warunki biometeorologiczne

### 5.1. Wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI)

Wskaźnik ten został opracowany w trakcie badań bioklimatu obszarów antarktycznych i można go stosować do oceny bodźcowości łącznego wpływu temperatury powietrza i prędkości wiatru. Ze względu na swoją specyfikę WCI jest szczególnie użyteczny w klimacie chłodnym i zimnym a opracowana skala odczuć termicznych (dla człowieka ubranego w odzież o współczynniku termoizolacyjności wynoszącym 4,0 clo) umożliwi ewaluację klimatu lokalnego w świetle wpływu na doznania termiczne.

W roku 2009 wartości WCI wahały się na badanym obszarze w zakresie od 387 do 2239 W·m<sup>-2</sup> – najniższa wartość wystąpiła na morenie bocznej lodowca Werenskiolda (WER) w lipcu, a najwyższa

w strefie akumulacyjnej lodowca Hansa w lutym (tab. 6). Uwzględniając średnie miesięczne wartości tego wskaźnika można wskazać na obszar poniżej linii równowagi lodowca Hansa (HT4) jako najbardziej niekorzystny dla człowieka. Natomiast najbardziej łagodne warunki występują na morenie bocznej lodowca Werenskiolda, co potwierdza analiza częstości występowania odpowiednich klas odczuć termicznych. W miesiącach VII-IX na stacji WER odczucie określane jako „komfortowo” pojawia się w 12,8% (VII), 33,9% (VIII) i 24% (IX) czasu danego miesiąca. W tym samym okresie na Lodowcu Hansa ta klasa odczuć pojawia się dość sporadycznie i jedynie w obszarze akumulacyjnym jej częstość występowania wynosi prawie 6% czasu sierpnia (tab. 7). Na obszarze lodowca dominujące jest odczucie „zimno” – w strefie poniżej linii równowagi jest obserwowana najczęściej we wszystkich miesiącach. Różnice w rejestrowanej prędkości wiatru wyraźnie wpływają na kształtowanie się odczuć termicznych jakich doznają osoby przebywające na lodowcu Hansa – strefa akumulacji jest wyraźnie łagodniejsza biotermicznie niż strefa poniżej linii równowagi – średnio o 10% częściej pojawia się tam klasa odczuć „zimno”.

Tabela 6 – Table 6

Średnie, minimalne i maksymalne wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI;  $W \cdot m^{-2}$ ) i temperatury odczuwalnej (wg, Błażejczyka; °C) w poszczególnych miesiącach na badanym obszarze w roku 2009

Monthly average and extreme values of wind chill index (WCI;  $W \cdot m^{-2}$ ) and subjective temperature (according to Błażejczyk; °C) at investigated area in 2009

	Miesiąc Month	PSP			HT4			WER			HT9		
		średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max
WCI [ $W \cdot m^{-2}$ ] wind chill index - WCI [ $W \cdot m^{-2}$ ]	I	1289,9	558,8	2083,7	1425,3	563,4	2174,7				1350,1	597,9	2215,2
	II	1394,2	593,3	1905,1	1353,7	584,4	1994,5				1337,3	706,1	2238,6
	III	1287,4	588,5	1938,3	1332,1	595,2	1994,9						
	IV	1209,5	604,0	1672,7	1339,6	666,3	1847,3	1226,7	604,9	1726,7			
	V	883,4	525,0	1339,9	1045,2	508,9	1611,7	948,0	553,1	1326,8	991,1	549,6	1539,3
	VI	823,0	462,8	1191,7	932,8	477,6	1271,1	835,3	484,0	1184,4	881,16	476,1	1300,0
	VII	809,2	414,4	1183,7	935,4	513,5	1220,9	781,6	386,8	1155,8	817,0	462,9	1247,5
	VIII	745,9	461,6	1154,5	923,9	488,4	1224,5	671,0	413,8	1167,6	751,1	443,3	1255,2
	IX	884,8	468,3	1390,0	1029,8	530,0	1422,3	827,4	486,3	1379,2	966,5	498,5	1468,9
	X	975,9	563,7	1359,7	1228,7	579,3	1713,9	980,4	550,7	1391,9	1127,2	575,8	1588,1
	XI	1022,4	527,7	1490,5	1040,0	559,1	1537,4	903,9	524,8	1356,0	1086,4	592,3	1594,7
	XII	1134,8	537,8	1657,3	1250,9	548,2	1931,7	1167,6	565,5	1768,7	1163,8	562,7	1736,5
Temperatura odczuwalna - STI [°C] Subjective temperature index - STI [°C]	I	-29,0	-50,3	-9,7	-32,0	-54,5	-10,9				-33,2	-66,8	-12,6
	II	-29,4	-43,9	-10,2	-30,7	-48,4	-9,9				-33,2	-62,0	-12,8
	III	-24,5	-50,6	27,2	-25,6	-61,3	22,2						
	IV	-16,2	-38,9	12,9	-17,4	-43,3	14,9	-16,1	-38,7	15,6			
	V	-6,5	-20,4	20,3	-4,8	-24,5	21,0	-5,7	-20,7	18,0	-2,8	-25,1	22,1
	VI	0,0	-19,6	24,7	0,8	-22,3	24,7	1,4	-17,1	25,5	3,0	-18,0	23,9
	VII	2,1	-17,0	26,0	0,1	-18,0	21,8	4,0	-13,9	28,2	2,1	-15,3	24,6
	VIII	-2,2	-18,8	24,6	-5,5	-20,6	20,5	-0,3	-20,8	25,4	-2,2	-19,5	25,9
	IX	-10,2	-37,3	16,7	-12,7	-29,1	15,3	-9,9	-26,3	19,5	-12,4	-28,2	21,8
	X	-17,4	-28,9	9,5	-22,1	-38,7	9,6	-18,4	-29,5	8,2	-22,0	-36,7	14,7
	XI	-17,3	-34,3	-7,5	-19,3	-31,7	-10,5	-16,6	-25,5	-8,1	-20,6	-41,0	-11,6
	XII	-21,0	-40,3	-7,7	-24,1	-44,3	-10,1	-22,0	-39,8	-7,4	-24,8	-55,2	-10,1

źródło: Polska Stacja Polarna, source: Polish Polar Station



Tabela 7 – Table 7

Częstość występowania [%] klas odczuć termicznych wyznaczonych na podstawie WCI  
The thermal feelings frequency of occurrence [%] based on WCI

	Mroźno – Frosty				Zimno – Cold				Chłodno – Cool				Komfortowo – Comfortable			
	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9
I	21,4	37,6	-	25,4	62,0	48,9	-	62,1	16,5	13,4	-	12,5	0,1	0,0	-	0,0
II	23,3	15,5	-	15,1	68,7	77,6	-	80,1	8,0	6,9	-	4,7	0,0	0,0	-	0,0
III	16,3	21,7	-	-	70,6	68,7	-	-	13,2	9,5	-	-	0,0	0,0	-	-
IV	0,3	11,2	1,4	-	89,4	82,8	88,0	-	10,2	6,0	10,6	-	0,0	0,0	0,0	-
V	0,0	0,0	0,0	0,0	39,9	74,8	57,2	60,0	57,3	24,8	41,4	39,8	2,8	0,4	1,5	0,2
VI	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	52,2	28,5	38,1	71,6	45,8	64,4	59,4	5,4	2,1	7,1	2,5
VII	0,0	0,0	0,0	0,0	32,5	55,0	24,1	21,1	57,2	44,6	63,1	75,1	10,2	0,4	12,8	3,8
VIII	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	51,3	6,6	12,3	72,8	47,8	59,5	82,0	13,8	0,9	33,9	5,7
IX	0,0	0,0	0,0	0,0	43,9	70,5	39,9	57,1	46,8	29,1	36,1	41,7	9,3	0,4	24,0	1,3
X	0,0	0,0	0,0	0,0	62,6	92,4	61,6	84,1	37,2	7,1	37,8	15,9	0,2	0,0	0,6	0,0
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	69,3	70,3	48,6	80,3	28,7	29,6	47,6	19,7	2,0	0,2	3,8	0,0
XII	0,1	12,3	2,1	0,6	79,9	72,8	80,4	78,9	19,4	13,4	17,4	20,3	0,6	1,4	0,0	0,2

W świetle średnich miesięcznych wartości WCI w roku 2009 najbardziej korzystnym miesiącem pod względem biotermicznym był sierpień, a jego wartość na wszystkich stacjach mieściła się w zakresie odczucia „chłodno”. Ten rodzaj odczuć biotermicznych zdecydowanie dominował na badanym obszarze, z wyjątkiem stacji HT4, gdzie dominujące było odczucie „zimno”.

Obliczone wartości WCI w roku 2009 nie odbiegały znacznie od tych z lat ubiegłych. W porównaniu z wynikami badań w sezonach VI-IX z lat 2007-2008 (Araźny i in. 2009) stwierdzono wyraźnie łagodniejsze warunki biotermiczne jakie występowały na obszarze akumulacyjnym Lodowca Hansa – co wynika z mniejszych wartości rejestrowanej tutaj prędkości ruchu powietrza.

## 5.2. Temperatura odczuwalna (STI)

Temperatura odczuwalna jest wskaźnikiem bioklimatycznym, który określa łączny wpływ temperatury i wilgotności powietrza, prędkości wiatru oraz promieniowania słonecznego (widzialnego i podczerwonego) na organizm człowieka. Ponadto uwzględnia on również reakcje fizjologiczne żywego organizmu (w trakcie przebywania w warunkach klimatu gorącego wydzielany jest pot, a w czasie ekspozycji na niską temperaturę powietrza dochodzi do obkurczania naczyń krwionośnych w organizmie człowieka) na zmieniające się parametry fizyczne otoczenia. Jest to możliwe dzięki wprowadzeniu do wzoru empirycznego służącego wyliczeniu wartości STI informacji o bilansie energetycznym organizmu człowieka eksponowanego na dane warunki meteorologiczne. Zazwyczaj nie dysponuje się kompletem pomiarów warunków fizycznych otoczenia i termo-fizjologicznych organizmu, dlatego przyjmuje się pewne stałe założenia: eksponowany na warunki pogodowe jest mężczyzna poruszający się z prędkością  $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , a wartość wytwarzanego przez organizm ciepła metabolicznego wynosi  $135 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ . Albedo tego wirtualnego modelu człowieka wynosi 31%, a termoizolacyjność odzieży chroniącej go przed warunkami pogodowymi jest proporcjonalna do temperatury powietrza (przy temperaturze poniżej  $-20^\circ\text{C}$ , termoizolacyjność odzieży wynosi 3,0 Clo). Obliczając temperaturę podłoża przyjęto zasadę, że na lodowcu i powierzchniach ze śniegiem nigdy nie jest ona wyższa niż  $0,0^\circ\text{C}$ . Ponadto zastosowano prędkość wiatru zredukowaną do poziomu 2 m nad badaną powierzchnią.

W świetle wartości chwilowych temperatury odczuwalnej zróżnicowanie warunków biotermicznych na badanym obszarze w roku 2009 wahało się w zakresie od -66,8°C (HT9; styczeń) do 28,2°C (WER; lipiec). Powierzchnia lodowca jest obszarem, na którym są obserwowane największe amplitudy temperatury odczuwalnej: w strefie akumulacyjnej amplituda roczna (wyznaczona na podstawie wartości chwilowych) wyniosła w 2009 roku ponad 90°C, a poniżej linii równowagi było to ok. 10°C mniej (tab. 6). Tak duże różnice wynikają z faktu, że chwilowe wartości parametrów meteorologicznych ( $t$  i  $v$ ) mogą być zimą w noc polarną dość skrajne – przy temperaturze powietrza poniżej -20,0°C prędkość wiatru wynosi 25 m s<sup>-1</sup> i więcej! Natomiast w okresie letnim do powierzchni lodowca dociera strumień promieniowania krótkofalowego o znacznym natężeniu, który jest w dużym stopniu odbijany od powierzchni lodowca co powoduje, że wartość strumienia energii pochłanianej przez organizm człowieka w postaci promieniowania krótkofalowego może wynosić ponad 40 W m<sup>-2</sup>.

Uwzględniając okresy synchronicznej rejestracji elementów meteorologicznych przez wszystkie stacje należy wskazać na morenę boczną lodowca Werenskiolda jako obszar o najwyższej średniej wartości temperatury odczuwalnej, która wynosiła tu -8,4°C i była o 0,7°C wyższa od stwierdzonej na stacji PSP oraz o 1,5°C do 2,5°C na lodowcu Hansa. Najbardziej niekorzystnymi biotermicznie miesiącami były styczeń i luty – wówczas na wszystkich stacjach średnia wartość STI była zbliżona do -30°C. W tych miesiącach odczucia termiczne: „bardzo zimno” i „ekstremalnie zimno” dominowały w rejonie Hornsundu i występowały nawet w ponad 90% obserwacji (luty, stacje HT4 i HT9). Pod względem częstości pojawiania się najbardziej niekorzystnych i zagrażających zdrowiu oraz życiu człowieka odczuć termicznych – „ekstremalnie zimno” – wyróżnia się strefa akumulacji Lodowca Hansa, gdzie w styczniu i lutym występowała w 43,% i 26,8% obserwacji (tab. 8). Odczucia „chłodno” najczęściej pojawiają się w okresie od maja do sierpnia, lecz nawet wówczas tylko wyjątkowo jest ono dominujące w miesiącu – taka sytuacja pojawiła się w czerwcu na stacji HT9 i w lipcu na morenie bocznej Werenskiolda. Korzystne dla organizmu człowieka odczucie „komfortowo” występuje w rejonie Hornsundu, lecz w roku 2009 pojawiało się ono zdecydowanie rzadziej niż w roku 2008, a częstość jego występowania nie przekroczyła 5% czasu miesiąca.

Tabela 8 – Table 8

Częstość występowania (%) klas odczuć termicznych wyznaczonych na podstawie STI  
The thermal feelings frequency of occurrence (%) based on STI

	Ekstremalnie zimno Extremely cold				Bardzo zimno Very cold				Zimno Cold				Chłodno Cool				Komfortowo Comfortable			
	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9	PSP	HT4	WER	HT9
I	26,9	40,5	-	43,5	38,4	35,1	-	37,6	34,7	24,4	-	18,9	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	0,0
II	16,0	16,9	-	26,8	72,8	73,4	-	66,8	11,2	9,7	-	6,4	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	-	0,0
III	8,6	12,1	-	-	58,1	57,8	-	-	31,5	29,0	-	-	1,9	1,1	-	-	0,0	0,0	-	-
IV	0,5	9,9	0,1	-	41,0	31,6	41,3	-	49,0	46,2	46,6	-	9,5	12,3	12,1	-	0,0	0,0	0,0	-
V	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,4	0,9	84,8	68,6	79,9	58,6	15,2	30,1	19,6	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0
VI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	62,6	49,9	54,8	41,3	37,0	49,7	44,7	58,2	0,5	0,2	0,6	0,5
VII	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,5	54,6	43,0	50,9	39,1	45,4	53,3	48,3	4,3	0,0	3,7	0,8
VIII	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	74,3	75,6	63,3	65,6	25,1	24,4	35,3	34,0	0,6	0,0	1,4	0,4
IX	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	11,6	5,5	15,8	87,2	80,1	85,3	75,3	7,9	8,3	9,3	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0
X	0,0	0,1	0,0	0,0	24,8	67,1	38,0	70,5	74,7	32,6	61,5	29,0	0,5	0,2	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
XI	0,0	0,0	0,0	0,4	23,7	37,9	13,8	46,0	76,3	62,1	86,2	53,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
XII	0,0	7,0	0,9	1,9	49,4	57,5	53,5	67,7	50,6	35,5	45,6	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### 5.3. Strumienie wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem

Wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem zostały wyliczona z wykorzystaniem modelu MENEX\_2005 (Błażejczyk 2004). Ze względu na brak pomiarów termo-fizjologicznych do wyliczenia poszczególnych strumieni ciepła oraz bilansu energetycznego wykorzystano tylko dane meteorologiczne. Ponadto zastosowano założenia takie same jak w przypadku obliczania temperatury odczuwalnej (STI).

Stosunkowo niskie wartości temperatury powietrza i duża prędkość wiatru powodują, że dominującym strumieniem ciepła oddawanego przez organizm człowieka do otoczenia jest strumień ciepła jawnego (konwekcja; mC), który stanowi około 2/3 wszystkich strat ciepła. Jego największe średnie wartości miesięczne występują w lutym – wówczas na stacji PSP i HT9 kształtował się na poziomie  $-205 \text{ W m}^{-2}$  (znak „-” wskazuje, że jest to strata ciepła; tab. 9). W przebiegu rocznym obserwuje się nieco mniejszy udział tego strumienia w bilansie cieplnym organizmu człowieka w miesiącach letnich. W najcieplejszym okresie roku, średnie miesięczne wartości tego strumienia kształtują się na badanym obszarze w zakresie od  $-101,3$  (WER) do  $-140,0 \text{ W m}^{-2}$  (HT9). Tak duże wartości tego strumienia wymiany ciepła z otoczeniem oznaczają, że niezwykle istotny jest rodzaj odzieży chroniącej osobę przebywającą na zewnątrz budynków: nie wystarczy, że ubrania będą miały wysoki współczynnik termoizolacyjności – bardzo ważne jest stosowanie ubrań wiatroszczelnych z membranami paroprzepuszczalnymi.

W warunkach klimatu polarnego, jaki występuje w okolicach Hornsundu, strumień ciepła utajonego (ewaporacyjnego; mE) ma drugorzędne znaczenie w procesie wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem. Najmniejsze znaczenie mają kolejno: strumień promieniowania długofalowego (mL) i respiracyjna utrata ciepła (mRes).

Wartości salda bilansu cieplnego (mS) obserwowane w badanym okresie wskazują na dość znaczne straty ciepła z organizmu człowieka w ciągu całego roku. Niemniej występują w okresie lata sytuacje, kiedy przyjmuje on wartości zbliżone do neutralnych a nawet dodatnie. Należy zwrócić uwagę na orientacyjny charakter zaprezentowanych wyliczeń – w trakcie poruszania się po tym niezwykle trudnym terenie organizm człowieka produkuje znacznie więcej ciepła metabolicznego niż zakładane  $135 \text{ W m}^{-2}$  (najczęściej przemieszczanie się jest związane z przenoszeniem plecaka o znacznej masie, co wpływa na zwiększenie produkowanego ciepła metabolicznego).

## 6. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie się warunków meteorologicznych i biometeorologicznych

Do oceny wpływu cyrkulacji atmosferycznej na warunki meteorologiczne i biometeorologiczne wykorzystano typologię zaproponowaną przez Niedźwiedzia oraz dostępny w postaci elektronicznej kalendarz typów cyrkulacji, który jest na bieżąco uzupełniany, a obejmuje lata 1950-2009. W typologii wydziela się 20 podstawowych typów cyrkulacji atmosferycznej, w której uwzględnia się ośrodek baryczny sterujący w danym dniu przepływem mas powietrza oraz kierunek ich adwekcji. Ponadto wydzielono dodatkowo typ x, który oznacza siodło baryczne lub sytuację trudną do zidentyfikowania. W opracowaniu zastosowano typologię uproszczoną – kierunki sąsiadujące są ze sobą pogrupowane, co umożliwiło wydzielenie 10 sytuacji głównych oraz jednej niezidentyfikowanej.

W roku 2009 średnie częstości cyrkulacji kształtowanej przez określone układy baryczne (antycyklony i cyklony), które sterowały przepływem mas powietrza nad Spitsbergenem nieznacznie odbiegały

od średniej z lat 1950-2008 – różnice wynosiły ok. 1-2% (tab. 10). Jednak ich częstość w poszczególnych miesiącach była znacząco różna: w okresie od czerwca do sierpnia średnio o 19% częściej obserwowano sterowanie cyrkulacją atmosferyczną przez układy wysokiego ciśnienia, co miało istotne znaczenie dla warunków meteorologicznych i biometeorologicznych jakie wówczas kształtowały się na badanym obszarze. Wyjątkowy był sierpień, kiedy to w 45% dni wystąpiła sytuacja centralna antycyklonalna lub klin wysokiego ciśnienia (Ca+Ka).

Tabela 9 – Table 9

Średnie miesięczne wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem ( $W \cdot m^{-2}$ ) w roku 2009 na badanym obszarze

Monthly average values of man-environment heat exchange fluxes ( $W \cdot m^{-2}$ ) in 2009 on investigated area

	PSP					HT4				
	mC	mE	mRes	mQ	mS	mC	mE	mRes	mQ	mS
I	-171,7	-29,5	-21,1	-34,7	-122,1	-185,9	-29,2	-21,5	-34,2	-135,8
II	-205,5	-29,7	-20,9	-35,4	-156,4	-190,7	-29,2	-21,3	-35,5	-141,6
III	-181,8	-29,5	-20,8	-33,1	-130,1	-188,4	-29,2	-21,1	-32,7	-136,4
IV	-151,0	-29,2	-21,3	-26,8	-93,2	-162,7	-28,7	-21,8	-25,2	-103,4
V	-122,2	-31,9	-18,6	-27,5	-65,2	-151,6	-32,1	-19,0	-23,6	-91,2
VI	-121,4	-33,8	-17,8	-23,6	-61,5	-140,6	-33,5	-18,2	-20,7	-78,1
VII	-134,1	-36,3	-17,1	-22,8	-75,3	-151,0	-35,7	-17,6	-22,3	-91,5
VIII	-112,5	-34,0	-17,3	-27,8	-56,5	-140,3	-33,8	-17,7	-27,0	-83,9
IX	-144,3	-33,9	-18,0	-32,5	-93,7	-161,7	-33,1	-18,4	-31,4	-109,7
X	-134,9	-31,2	-19,2	-34,1	-84,4	-180,0	-31,0	-19,8	-33,7	-129,5
XI	-157,5	-32,2	-18,8	-34,7	-108,2	-156,4	-31,4	-19,2	-35,0	-107,0
XII	-168,0	-31,2	-19,5	-34,6	-118,3	-186,5	-30,6	-19,9	-34,8	-136,8
	WER					HT9				
I	-	-	-	-	-	-164,9	-28,6	-22,0	-34,2	-114,7
II	-	-	-	-	-	-205,1	-28,6	-21,8	-37,4	-157,8
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	-153,3	-29,2	-21,4	-26,5	-95,4	-	-	-	-	-
V	-134,9	-32,5	-18,8	-26,1	-77,2	-131,3	-31,0	-19,3	-21,9	-68,6
VI	-123,8	-33,9	-18,0	-22,1	-62,8	-124,6	-32,4	-18,6	-19,1	-59,7
VII	-133,2	-37,9	-17,0	-21,7	-74,8	-116,5	-33,4	-17,8	-21,6	-54,3
VIII	-101,3	-33,9	-17,1	-27,4	-44,8	-105,8	-32,7	-17,7	-26,8	-48,0
IX	-133,9	-33,7	-18,2	-32,9	-83,6	-136,7	-31,5	-18,8	-30,9	-82,9
X	-140,0	-31,3	-19,4	-34,9	-90,6	-148,5	-29,8	-20,1	-33,5	-96,9
XI	-134,5	-32,0	-18,9	-35,6	-86,1	-149,4	-30,3	-19,6	-34,0	-98,2
XII	-173,0	-31,7	-19,6	-34,9	-124,3	-160,2	-29,6	-20,4	-34,8	-109,9

Strumienie wymiany ciepła [ $W \cdot m^{-2}$ ] – heat exchange fluxes [ $W \cdot m^{-2}$ ]:

mC – turbulencyjna wymiana ciepła jawnego (konwekcja) – turbulent exchange of sensible heat (convection),  
mE – turbulencyjna wymiana ciepła utajonego (ewaporacja) – turbulent exchange of latent heat (evaporation),  
mRes – straty ciepła przez oddychanie (respiracja) – respiratory heat loss (respiration), mQ – saldo radiacyjne człowieka – radiation balance of man, mS – saldo wymiany ciepła – net heat storage

Wartości elementów meteorologicznych są silnie zależne od rodzaju mas powietrza, które w danym dniu kształtują pogodę, co w głównym stopniu jest determinowane przez typ cyrkulacji atmosferycznej. Adwekcja z sektora południowo-zachodniego wymuszona przez układ cyklonalny wpływała na temperaturę powietrza dodatnio – w okresie zimowym jej odchylenie w tym typie cyrkulacji wynosiło ponad 9°C (I i II; tab. 11).

Tabela 10 – Table 10

Częstość występowania antycyklonalnych (a) i cyklonalnych (c) typów cyrkulacji występujących na Spitsbergenie  
Frequency of occurrence anticyclonic (a) and cyclonic (c) atmospheric situations occurred at Spitsbergen area

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009												
a	22,6	39,3	9,7	56,7	41,9	66,7	64,5	67,7	13,3	22,6	6,7	48,4
c	74,2	57,1	90,3	40,0	51,6	33,3	35,5	29,0	80,0	71,0	83,3	51,6
1950-2008												
a	31,1	34,3	37,6	48,7	59,6	48,9	45,2	47,8	33,4	35,4	29,8	31,1
c	66,3	63,0	60,0	48,8	38,2	48,0	51,2	48,9	62,4	61,7	67,6	66,2

źródło: kalendarz cyrkulacji atmosferycznej dla Spitsbergenu (Niedźwiedź 2010)

source: calendar of atmospheric circulation for Spitsbergen (Niedźwiedź 2010)

Tabela 11 – Table 11

Średnie odchylenia wartości wybranych elementów meteorologicznych i wskaźników biometeorologicznych w określonych typach cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych miesiącach na stacji PSP w 2009 roku

Average monthly anomalies of air temperature, wind speed and selected biometeorological indices observed in different types of atmospheric circulation at station PSP in 2009

Miesiąc Month	Typy cyrkulacji atmosferycznej – Types of atmospheric circulation										
	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Cc+Bc	x
Temperatura powietrza – Air temperature [°C]											
I	-5,2	-1,5	6,1	-	1,7	-11,6	-10,0	9,3	-3,6	0,7	-11,8
II	-	-4,2	5,4	-	-0,8	-5,6	1,4	9,5	-	5,2	-3,8
III	-2,8	-3,4	-	-	-9,6	-2,6	-0,2	6,6	-	2,8	-
IV	-3,0	2,7	-1,6	3,0	-2,4	-0,9	5,4	4,3	10,5	4,7	1,0
V	-0,9	-	-	0,7	-0,2	-	1,8	-	-1,5	0,0	0,4
VI	-1,4	-	1,3	1,0	1,3	-0,6	0,8	1,0	-	0,1	-
VII	1,0	0,7	-	-	-0,5	-0,4	-1,6	-	-	-	-
VIII	-0,1	-	0,1	-1,1	0,3	-0,3	-0,9	-0,1	0,6	-0,7	0,2
IX	-	-	-	-1,5	0,1	-0,2	0,3	-0,1	0,3	1,0	-2,0
X	-4,3	-	-	-	-0,1	-0,1	2,8	-	-0,4	2,2	1,7
XI	-	-	0,7	-	-5,9	-4,7	0,4	1,8	-	0,0	-1,4
XII	-5,0	-0,3	3,3	-	3,1	-7,8	-1,2	1,5	1,9	2,5	-
Prędkość wiatru – Wind speed [m s <sup>-1</sup> ]											
I	-2,9	9,2	3,6	-	-1,6	-1,2	5,2	0,7	-0,1	-1,2	0,0
II	-	1,7	-4,8	-	-3,9	-2,3	4,6	-2,9	-	-1,4	-2,5
III	-2,0	-1,8	-	-	0,1	-2,4	2,9	0,1	-	-4,6	-
IV	0,0	3,6	5,6	-2,2	-2,6	-1,7	2,2	0,3	1,1	0,1	1,6
V	-1,8	-	-	-0,8	-1,6	-	5,4	-	0,2	-0,1	0,6
VI	-1,0	-	-1,1	0,1	-0,3	-1,1	9,2	-0,4	-	2,1	-
VII	-2,9	5,3	-	-	-4,1	-2,4	1,8	-	-	-	-
VIII	-1,5	-	-1,4	0,3	-0,7	1,0	6,3	2,9	-2,2	-1,2	-2,6
IX	-	-	-	-1,9	-3,0	-2,6	3,8	0,8	-0,7	1,0	-4,7
X	-2,0	-	-	-	-1,1	-1,0	6,0	-	2,6	1,4	0,8
XI	-	-	-3,4	-	-0,8	-3,0	3,0	-1,3	-	-3,3	-4,0
XII	-2,6	4,8	-2,0	-	-3,4	1,5	2,8	-3,9	0,9	-2,7	-

cd. tabeli 11 – cont. Table 11

Miesiąc Month	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Cc+Bc	x
Wskaźnik ochładzania wiatrem – Wind chill index [W·m <sup>-2</sup> ]											
I	-14,1	402,1	-4,4	-	-100,3	304,2	592,1	-223,4	81,3	-103,0	397,2
II	-	244,3	-398,5	-	-149,0	50,3	117,1	-395,0	-	-215,1	50,5
III	-12,6	66,6	-	-	363,5	-35,6	133,9	-166,4	-	-328,1	-
IV	98,6	132,8	338,0	-237,3	-101,8	-95,8	-30,4	-109,2	-225,8	-113,7	98,1
V	-89,6	-	-	-53,5	-95,9	-	187,4	-	76,6	-8,7	32,5
VI	-3,4	-	-75,4	-7,8	-68,6	-24,2	257,9	-16,6	-	79,9	-
VII	-120,8	157,0	-	-	-160,6	-59,1	125,4	-	-	-	-
VIII	-58,0	-	-57,6	46,3	-40,9	72,1	268,9	157,5	-134,8	-8,6	-161,3
IX	-	-	-	29,9	-100,3	-114,0	131,3	70,6	11,1	36,4	-177,4
X	2,0	-	-	-	-47,0	-44,0	150,0	-	155,3	18,2	-35,1
XI	-	-	-158,5	-	203,7	7,3	123,2	-96,6	-	-153,3	-181,6
XII	44,2	171,9	-152,1	-	-227,2	351,1	152,0	-226,4	-18,6	-207,7	-
Temperatura odczuwalna – Subjective temperature [°C]											
I	-5,5	-8,2	5,6	-	2,5	-13,8	-15,6	11,7	-4,7	1,6	-14,7
II	-	-6,9	9,9	-	1,3	-5,2	-1,4	14,4	-	7,9	-2,9
III	0,7	-3,2	-	-	-9,7	-0,7	-2,3	6,7	-	5,9	-
IV	-2,0	-4,0	-13,9	6,8	1,0	2,1	-0,2	1,6	18,5	3,4	-5,7
V	8,4	-	-	-0,5	0,6	-	-6,3	-	0,7	0,8	-2,0
VI	2,7	-	-1,2	0,6	4,0	-0,5	-7,8	-2,7	-	-8,1	-
VII	11,4	-5,0	-	-	0,6	1,5	-8,2	-	-	-	-
VIII	2,0	-	-0,7	1,9	1,5	-2,7	-5,8	-6,1	-1,8	-0,9	4,3
IX	-	-	-	-1,3	3,4	0,2	-1,2	-1,6	0,8	-1,1	2,4
X	-4,9	-	-	-	0,1	1,0	-0,2	-	-2,5	1,9	1,8
XI	-	-	3,1	-	-7,5	-5,3	-1,4	3,4	-	2,2	0,6
XII	-5,3	-3,4	5,5	-	6,7	-11,3	-3,4	4,4	2,6	5,4	-
Bilans cieplny organizmu człowieka – Net heat storage of human body [W·m <sup>-2</sup> ]											
I	26,2	-142,7	-27,3	-	22,1	-5,3	-96,1	14,2	-5,3	12,7	-21,6
II	-	-30,5	73,8	-	51,4	20,0	-64,4	62,7	-	32,0	30,7
III	23,9	20,4	-	-	-15,2	28,1	-39,8	18,5	-	63,2	-
IV	-5,6	-39,5	-82,3	33,7	28,6	19,0	-16,5	4,3	14,2	8,0	-17,4
V	23,7	-	-	9,6	16,9	-	-58,7	-	-3,9	0,6	-8,0
VI	10,3	-	11,8	0,9	8,0	11,0	-111,3	5,1	-	-26,3	-
VII	39,3	-56,3	-	-	42,6	25,1	-27,4	-	-	-	-
VIII	15,9	-	14,4	-3,9	9,8	-13,4	-73,2	-30,5	23,0	10,2	31,0
IX	-	-	-	19,7	37,6	26,6	-44,0	-6,9	12,7	-7,6	52,6
X	14,2	-	-	-	12,4	10,7	-66,3	-	-30,3	-8,8	-5,8
XI	-	-	40,9	-	-2,1	23,7	-34,0	19,9	-	38,8	41,9
XII	23,2	-65,2	32,9	-	50,2	-33,2	-37,5	50,3	-1,4	39,9	-

źródło: Polska Stacja Polarna, source: Polish Polar Station

W okresie letnim ten typ cyrkulacji atmosferycznej był obserwowany dość sporadycznie i nie wpływał istotnie na temperaturę powietrza. Najczęściej obserwowany na Spitsbergenie w ciągu całego roku typ cyrkulacji – E+S<sub>Ec</sub> (25.8% dni w 2009 roku; 22.4% dni w latach 1950-2008) miał różny wpływ na temperaturę powietrza: w styczniu 2009 wiązał się z ujemnym odchyleniem (-10°C), lecz w lutym było ono już dodatnie (1.4°C). Istotne znaczenie może tutaj mieć okres jego występowania – w styczniu zaobserwowano ten typ tylko raz, natomiast w lutym było to ponad 21% dni. W okresie letnim ten

typ cyrkulacji atmosferycznej jest stosunkowo rzadki – pojawia się nie częściej niż 3 dni w miesiącu i powoduje ochłodzenie – w VII i VIII odchylenie ujemne temperatury powietrza w tym typie wyniosło odpowiednio  $-1,6^{\circ}\text{C}$  i  $-0,9^{\circ}\text{C}$ . Z tym typem cyrkulacji wiąże się zawsze wzrost prędkości wiatru na stacji PSP: największe dodatnie odchylenie występuje w czerwcu ( $9\text{ m s}^{-1}$ ), a najniższe w lipcu (1,8). Ten element meteorologiczny wykazuje natomiast zdecydowanie ujemne odchylenie w sytuacjach z pogodą kształtowaną przez cyrkulację Ca+Ka – wówczas średnia prędkość wiatru była mniejsza nawet o  $4,1\text{ m s}^{-1}$  (w lipcu). Ma to oczywisty wpływ na wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI), który może być mniejszy w tym typie cyrkulacji atmosferycznej o ponad  $220\text{ W m}^{-2}$  (XII). Natomiast napływ powietrza z sektora wschodniego i południowo-wschodniego wymuszony przez ośrodek niskiego ciśnienia (E+S<sub>Ec</sub>) zazwyczaj wpływał negatywnie na warunki biometeorologiczne: wówczas wskaźnik ochładzania wiatrem był nawet o blisko  $600\text{ W m}^{-2}$  wyższy niż średnia miesięczna (styczeń), a temperatura odczuwalna (STI) spadała o  $15^{\circ}\text{C}$ . Również bilans wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w tym typie cyrkulacji wskazuje na większe straty ciepła (nawet o  $111\text{ W m}^{-2}$  w czerwcu). W sytuacjach charakteryzujących się niezbyt wielkim dynamizmem przepływu powietrza (Ca+Ka) było obserwowane w roku 2009 polepszenie się warunków biometeorologicznych: temperatura odczuwalna w takiej sytuacji była nawet o  $6,7^{\circ}\text{C}$  wyższa (XII) niż średnia miesięczna a utrata ciepła z organizmu człowieka ulegała wówczas zmniejszeniu nawet o ponad  $50\text{ W m}^{-2}$  (II i XII). W podobny sposób wpływa na warunki biometeorologiczne sytuacja centralna cyklonalna lub cyrkulacja kształtowana przez bruzdę niskiego ciśnienia – jednak w tych przypadkach zaobserwowano niewielkie ich pogorszenie się w okresie letnim (VI-VIII). Jednakże wówczas częstość występowania takich sytuacji cyrkulacyjnych była niewielka w 2009 roku – zaledwie 3 dni w czerwcu i 1 dzień w sierpniu.

## 7. Podsumowanie

Południowa część Ziemi Wedela Jarlsberga, gdzie były prowadzone badania charakteryzuje się dość zróżnicowanymi warunkami biometeorologicznymi. Wpływ na to ma kilka czynników, m.in. wysokość n.p.m, rodzaj podłoża i odległość od brzegu fiordu. Najbardziej niekorzystnym biotermicznie obszarem jest strefa akumulacji lodowca, gdzie występują ekstremalne warunki meteorologiczne skutkujące dużą bodźcowością tego klimatu. Aktywne sploty wychłodzonych mas powietrza po powierzchni lodowca powodują, że jego strefa poniżej linii równowagi również jest silnie niekorzystna dla osób tam przebywających. Zarówno zastosowane wskaźniki bioklimatyczne jak i wielkości elementów meteorologicznych wskazują na występowanie chwilowych wartości mogących mieć bardzo niekorzystny wpływ na organizm człowieka: nawet krótka ekspozycja nagiej skóry w niektórych sytuacjach może doprowadzić do powstania odmrożeń. Natomiast zlokalizowana na NW od Polskiej Stacji Polarnej stacja WER charakteryzuje się najbardziej łagodnymi warunkami biotermicznymi. Istotne znaczenie w kształtowaniu warunków meteorologicznych i biometeorologicznych ma typ cyrkulacji atmosferycznej – dominujący w ciągu całego roku typ E+S<sub>Ec</sub> powoduje pogorszenie warunków biometeorologicznych. Zmniejszona dynamika przepływu powietrza nad Spitsbergenem związana z typami cyrkulacji atmosferycznej Ca+Ka oraz Cc+Bc warunkowała w roku 2009 wyraźną poprawę warunków biometeorologicznych na stacji PSP.

## Podziękowania

Opracowanie wykonano w ramach projektu specjalnego MNiSW, nr 113/IPY/2007/01 (Struktura przestrzenna pola temperatury powietrza jako podstawa do rozpoznania mechanizmów funkcjonowania ekosystemów na

obszarze Zachodniego Spitsbergenu – TOPOCLIM). Autorzy pragną serdecznie podziękować Instytutowi Geofizyki PAN za udostępnienie danych meteorologicznych, które gromadzone są w ramach realizacji programu badań monitoringowych warunków meteorologicznych i topoklimatycznych przez Polską Stację Polarną im. Stanisława Siedleckiego. Dane wykorzystane w opracowaniu zostały zgromadzone w trakcie trwania XXXI i XXXII Wyprawy Polarnej IGF PAN na Spitsbergen a wszystkim osobom zaangażowanym w ich gromadzenie autorzy serdecznie dziękują.

## Literatura

- Arażny A., 1999. Differentiation of air temperature in the summer season 1998 on the Waldemar Glacier and on the Kaffiöyra Plain (Spitsbergen). [w:] Polish Polar Studies, 26: 25–35.
- Arażny A., 2003. Variability of cooling power of the air in Hornsund (SW Spitsbergen) in the period 1979-2000. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2542, Studia Geograficzne, 75: 447–461.
- Arażny A., 2006. Variability of the predicted insulation index of clothing in the Norwegian Arctic for the period 1971-2000. Polish Polar Research, 27 (4): 341–357.
- Arażny A., 2008. Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971-2000. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń: 215 s.
- Arażny A., Błażejczyk K., 2007. Warunki biometeorologiczne na Równinie Kaffiöyra i w rejonie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w okresie od 16 lipca do 20 września 2005 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny i P. Głowacki (red.), Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 67–87.
- Arażny A., Mięgała K., Sikora S., Budzik T., Puczek D., 2009. Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w ciepłej połowie roku 2007 i 2008. Problemy Klimatologii Polarnej, 19: 203–222.
- Baranowski S., Głowicki B., 1975a. Meteorological and hydrological investigations in the Hornsund region made in 1970. Acta Universitatis Wratislaviensis, 251: 35–39.
- Baranowski S., Głowicki B., 1975b. Przebieg wybranych elementów meteorologicznych w ciągu lata 1971 r. na Spitsbergenie. Acta Universitatis Wratislaviensis, 287: 95–99.
- Brázdil R., Piasecki J., Prošek P., Szczepankiewicz-Szmyrka A., 1988. The topoclimatic differentiation of the Werenskiöld Glacier and Bratteggdalen regions. [w:] R. Brázdil i in., Results of investigations of the Geographical Research Expedition, Spitsbergen 1985, Brno: 187–210.
- Błażejczyk K., 2004. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Prace Geograficzne, 192, Wyd. IGiPZ PAN: 291 s.
- Błażejczyk K., Błażejczyk M., 2007. Pakiet programu komputerowego BioKlima 2.5. [www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm](http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/bioklima.htm).
- Gluz A. F., 1988. Wyniki pomiarów ochładzania katatermometrycznego w lipcu i sierpniu 1986 r. w Calypsobyen (Zachodni Spitsbergen). XV Sympozjum Polarne, Wrocław: 207–211.
- Gluz A., Siwek K., 2006. Przebieg warunków pogodowych na stacji Calypsobyen w sezonie letnim 2005. Problemy Klimatologii Polarnej, 16: 139–146.
- Gluz A., Siwek K., 2007. Struktura typów pogody w rejonie Bellsundu (W Spitsbergen) w sezonach letnich. Problemy Klimatologii Polarnej, 17: 113–120.
- Gluz A., Siwek K., 2009. Odczuwalność cieplna w sezonach letnich 2007 i 2008 w Calypsobyen (Spitsbergen). Problemy Klimatologii Polarnej, 19: 223–231.
- Głowicki B., Baranowski S., 1974. Glacjo-meteorologiczne badania w czasie wypraw 1970 i 1971 r. Polskie Wyprawy na Spitsbergen 1970 i 1971 r. Materiały z Sympozjum Spitsbergeńskiego, Wrocław 6–7 kwietnia 1972. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego: 17–21.
- Kejna M., 2001. Warunki meteorologiczne na Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 1999 roku. Problemy Klimatologii Polarnej, 11: 55–65.



- Kejna M., Maszewski R., 2007. Warunki meteorologiczne w rejonie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2006 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny i P. Głowacki (red.), Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 165–178.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997. Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski. IGIPIZ PAN, Monografie 1, Warszawa: 200 s.
- Marciniak K., 1983. Attempt of evolution of thermic conditions perceptible in summer at the Kaffiöyra (NW Spitsbergen). *Acta Universitatis N. Copernici, Geografia XVIII*, 56, Toruń: 125–145.
- Marciniak K., Marszelewski W., Przybylak R., 1985. Temperatura powietrza na Lodowcu Elizy i Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim – studium porównawcze. *Materiały XII Sympozjum Polarnego*, Szczecin: 31–42.
- Marciniak K., Przybylak R., 1992. Zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza w strefie wybrzeża regionu Kaffiöyry (NW Spitsbergen) w czasie lata polarnego. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 111–120.
- 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.
- Migała K., Buchert L., Pereyma J., 2004. Termika powietrza w rejonie fiordu Hornsund (SW Spitsbergen) w warunkach nocy polarnej. *XXX Międzynarodowe Sympozjum Polarne*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 118–119.
- Migała K., Nasiółkowski T., Pereyma J., 2008. Topoclimatic conditions in the Hornsund area (SW Spitsbergen) during the ablation season 2005, *Polish Polar Research*, 29 (1): 73–91.
- Nasiółkowski T., Pereyma J., 2007. Warunki topoklimatyczne w otoczeniu fiordu Hornsund w lipcu i sierpniu 2005 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny i P. Głowacki (red.), Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 89–112.
- Niedźwiedz T., 1997. Częstość występowania typów cyrkulacji nad Spitsbergenem (1951-1995). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 9–17.
- Niedźwiedz T., 2007. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w Hornsundzie. [w:] A.A. Marsz i A. Styszyńska (red.), Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 151–158.
- Niedźwiedz T., 2010. Katalog typów cyrkulacji dla Spitsbergenu – zbiór komputerowy. Katedra Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Nordli P. Ø., Førland E. J., Niedźwiedz T., 2000. Wind-chill temperature at Svalbard and Jan Mayen. *Klima. Report No. 07/00*, Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo: 47 s.
- Owczarek M., 2004. Odczuwalność ciepła w okresie zimowym w rejonie Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie w latach 1991-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 171–182.
- Pereyma J. 1983. Climatological problems of the Hornsund area. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 714: 131 s.
- Pereyma J., Lucerska K., 1988. Warunki meteorologiczne na Spitsbergenie w sezonach letnich 1970-1974 ze szczególnym uwzględnieniem lat 1973 i 1974. *Biuletyn Meteorologiczny*, 29 (4), *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 738: 159–163.
- Pereyma J., Piasecki J., 1988. Warunki topoklimatyczne i hydrologiczne w rejonie Lodowca Werenskiolda na Spitsbergenie w sezonie letnio-jesiennym 1983 r. *Wyprawy Polarne Uniw. Śląskiego*, Katowice: 107–122.
- Pietroń Z., Ziemiański M., 1985. Results of some meteorological measurements and observations carried out at Hornsund (Spitsbergen) from 1 August, 1983, to 31 July, 1984. *Polish Polar Research*, 6 (3): 365–376.
- Przybylak R., 1980. Warunki klimatyczne lodowca Waldemara (Spitsbergen) i ich pionowe zróżnicowanie w porównaniu z warunkami klimatycznymi na równinie Kaffiöyry w lecie 1979. *Maszynopis pracy magisterskiej*.
- Przybylak R., 1992. Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983. *Dokumentacja Geograficzna*, 2: 1–105.

- Przybylak R., Arażny A., 2005. Porównanie warunków klimatycznych i bioklimatycznych północnej części Ziemi Oskara II z innymi obszarami zachodniego wybrzeża Spitsbergenu w okresie 1975-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 15: 119–131.
- Przybylak R., Arażny A., Ćwiklińska K., 2007. Warunki meteorologiczne w regionie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2005 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny i P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 51–65.
- Sikora S., Migala K., Drzeniecka-Osiadacz A., Puczek., 2007. Zmienność klimatu odczuwalnego Arktyki na przykładzie SW Spitsbergenu. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny i P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 113–130.
- Soroka J., Haczek A., Sikora S., 2009. Miesięczny biuletyn meteorologiczny, wersja elektroniczna.
- Soroka J., Haczek A., Sikora S., 2010. Biuletyn meteorologiczny: Spitsbergen – Hornsund, podsumowanie roku 2009, wersja elektroniczna, 14 s.
- Szczepankiewicz-Szmyrka A., 1981. Warunki biometeorologiczne na przedpolu lodowca Werenskiolda w lecie 1980 roku. VIII Sympozjum Polarne, Sosnowiec: 43–48.
- Szczepankiewicz-Szmyrka A., 1988. Biometeorological conditions in the summer-autumn period of 1985 in the Werenskiold Glacier region. [w:] Results of investigations of the Geographical Research Expedition, Spitsbergen 1985, Brno: 142–452.
- Szczepankiewicz-Szmyrka A., Pereyma J., 1992. Biometeorological conditions in Hornsund, in 1979-1980. [w:] K. W. Opaliński, R. Z. Klekowski. (red.), *Landscape, Life world and man in high Arctic*, Institute of Ecology, Polish Academy of Science, Warszawa: 103–111.
- Ustrnul Z., 1987. Some characteristics of air thermal conditions in Hornsund, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 8(3): 261–275.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1981. Stosunki termiczne sezonu letniego na Lodowcu Waldemara i nadmorskiej Nizinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen). *Materiały VIII Sympozjum Polarne*, Sosnowiec: 21–32.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1998. Częstość i intensywność inwersji temperatury powietrza w sezonie letnim w regionie Kaffiöry (NW Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 3: 45–68.
- Wójcik G., Przybylak R., 1985. Pionowe gradienty temperatury powietrza na Lodowcu Waldemara (Ziemia Oskara II, Spitsbergen). XII Sympozjum Polarne, Szczecin: 67–74.
- Zawiślak T., 1986. Preliminary characteristic of the bioclimatic conditions of the Spitsbergen west coast. *Acta Universitatis Wratislaviensis, Results of Investigations of the Polish Scientific Spitsbergen Expeditions VI*, 966, Wrocław: 75–85.

Wpłynęło: 25 czerwca 2010; poprawiono: 3 września 2010

## Summary

Presented paper is focused on the meteorological and biometeorological conditions observed in south part of the Wedel Jarsberg Land (SW Spitsbergen) in 2009. Meteorological data used in presented study were collected in four locations: at the Polish Polar Station (PSP: 77.00159°N 15.54131°E, 10 m a.s.l.), lateral moraine of Werenskiold Glacier (WER: 77.07101°N, 15.17852°E, 31 m a.s.l.), middle part of Hans Glacier below equilibrium line (HT4: 77.04738°N, 15.63275°E, 180 m a.s.l.) and accumulation's zone of Hans Glacier (HT9: 77.11656°N, 15.48781°E, 430 m a.s.l.).

The average air temperature registered in 2009 was  $-2.7^{\circ}\text{C}$  and it is one of the warmest year from starting of the meteorological observations at the Polish Polar Station in 1978. The last two months (November and December) were exceptional: with almost  $6^{\circ}\text{C}$  higher monthly average of air temperature (in comparison with average from 1983 to 2006). Meteorological data as: air temperature, relative humidity, wind speed and solar irradiation were used for calculating the following biometeorological indexes: wind chill index (WCI), subjective temperature index (according to Błażejczyk; STI), man-environment heat exchange fluxes (mC, mE, mRes), radiation and total heat exchange balances (mQ, mS). A significant variety of the biometeorological stimuli at investigated area were observed: in lateral moraine (WER) the most often "comfortable" conditions occurred – up to 34% of the time of August – if wind chill index is taken into account – while this class of thermal feelings at HT4 location is rare (less than 1% of the time of August). The high value of negative heat balance of man exposed to meteorological conditions at the Hans glacier during winter could be danger for human body, if no special arctic wear is used.

**Key words:** meteorological and biometeorological conditions, Spitsbergen, WCI, STI.