

WARUNKI METEOROLOGICZNE I BIOMETEOROLOGICZNE POŁUDNIOWO-ZACHODNIEGO SVALBARDU W 2010 ROKU

METEOROLOGICAL AND BIOMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF SOUTH-WEST SVALBARD IN 2010

Sebastian Sikora¹, Tomasz Budzik², Krzysztof Migala¹, Dariusz Puczko³

¹ – Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery, IGiRR, Uniwersytet Wrocławski
ul. Kosiby 6/8, 51–621 Wrocław
sebastian.sikora@uni.wroc.pl, krzysztof.migala@uni.wroc.pl

² – Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec
tomasz.budzik@us.edu.pl

³ – Zakład Badań Polarnych, Instytut Geofizyki PAN
ul. Księcia Janusza 64, 01–452 Warszawa
dp@igf.edu.pl

Zarys treści. Opracowanie nawiązuje do prezentowanych w latach ubiegłych artykułów, których celem jest przedstawienie warunków meteorologicznych i biometeorologicznych jakie występowały w południowej części Ziemi Wedela Jarsberga, SW Svalbard. Dane, na podstawie których tego dokonano, zostały zgromadzone w roku 2010 w następujących punktach: na terasie morskiej (PSP), pobliskim szczycie górskim (FUG) i na Lodowcu Hansa: w strefie akumulacji (HT9) i poniżej linii równowagi (HT4). Zgromadzone dane meteorologiczne są w pełni oryginalne i nigdzie dotychczas niepublikowane. Na ich podstawie przeprowadzono analizę warunków meteorologicznych i biometeorologicznych jakie występowały w 2010 roku. Po raz pierwszy autorzy zastosowali wskaźnik UTCI (Universal Thermal Climate Index) do oceny warunków klimatu odczuwalnego tego obszaru.

Słowa kluczowe: warunki meteorologiczne, bioklimat, Spitsbergen, automatyczne stacje meteorologiczne, UTCI.

1. Wprowadzenie

W prezentowanym artykule wykorzystano oryginalne, zgromadzone w trakcie 2010 roku dane meteorologiczne, które posłużyły do scharakteryzowania występujących na badanym obszarze warunków meteorologicznych i biometeorologicznych. SW Spitsbergen cechuje się wyjątkowymi walorami klimatycznymi, na które w dużej mierze (obok cyrkulacji atmosferycznej) wpływa dostawa ciepła przez Prąd Zachodniospitsbergeński. Ma to istotne znaczenie dla kształtowania się obserwowanych tutaj warunków meteorologicznych, czego przejawem jest dość wysoka temperatura powietrza (jak na obszar położony tak daleko za kołem podbiegunowym) i pojawiające się w sezonie zimowym częste odwilże skutkujące degradacją pokrywy śnieżnej.

Obszary arktyczne stanowią miejsce docelowe dla wielu grup ludzi: począwszy od naukowców badających procesy, które tutaj zachodzą, a skończywszy na miłośnikach ekstremalnych wypraw sportowo-rekreacyjnych. Dlatego istotne jest wykonywanie analiz, które pozwalają określić jakiego rodzaju bodźców klimatycznych należy się w tej części Arktyki spodziewać. Prowadzenie pomiarów meteorologicznych w obszarach arktycznych jest trudne i kosztochłonne. Dzięki działającej (z pewnymi przerwami) od 1957 roku Polskiej Stacji Polarnej im. Stanisława Siedleckiego, zlokalizowanej na brzegu fiordu Hornsund, wiedza na temat warunków klimatycznych w tej części archipelagu Svalbard jest bogata. Oprócz nowoczesnej, zmodernizowanej w 2009 roku automatycznej stacji meteorologicznej (Sikora i in. 2010) działającej w ramach norweskiej sieci stacji synoptycznych, prowadzone są badania topoklimatyczne obszaru położonego wokół Hornsundu. Szczególnie istotne jest monitorowanie warunków meteorologicznych panujących na pobliskim Lodowcu Hansa, które stanowią ważne uzupełnienie informacji o procesach glaciologicznych obserwowanych na tym lodowcu. Informacje gromadzone przez obserwatorium meteorologiczne Polskiej Stacji Polarnej im. S. Siedleckiego są od 2009 roku upubliczniane w postaci miesięcznych biuletynów (Soroka i in. 2009, Majchrowska i Małarzewski 2010) oraz podsumowań rocznych (Soroka i in. 2010, Majchrowska i in. 2011).

Warunki topoklimatyczne oraz bioklimatyczne okolic Hornsundu były przedmiotem wielu publikacji, które obejmowały zarówno krótkie okresy pomiarowe sezonu letniego (Głowicki i Baranowski 1974, Baranowski i Głowicki 1975a, 1975b; Pietroń 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, Araźny i in. 2009, 2010) jak i całoroczne analizy (Sikora i in. 2010). Pomiar i obserwacje meteorologiczne prowadzone w okolicach Hornsundu stały się źródłem kompleksowych opracowań warunków klimatycznych tego obszaru (Marsz i Styszyńska 2007).

Zachodnie wybrzeże Spitsbergenu jest obszarem intensywnie badanym przez naukowców polskich nie tylko w rejonie Hornsundu. Prowadzone prace badawcze skupione są na procesach zachodzących w środowisku arktycznym, w dużej mierze warunkowanych przez czynniki pogodowe. Sprzyja to zgromadzeniu szeregu informacji o warunkach meteorologicznych sezonu letniego okolic Bellsundu (Gluzka i Siwek 2006, 2007, 2009), w których rokrocznie przebywają naukowcy w ramach letnich wypraw polarnych Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. Niestety, prace te nie są kontynuowane w cyklu całorocznym, co wynika z kosztochłonności badań w rejonach arktycznych. Dobrze rozpoznany i opisany pod względem topoklimatycznym jest również rejon Kaffiöyry, gdzie znajduje się Stacja Polarna UMK. Prowadzone tam prace pomiarowe skoncentrowane są w sezonie letnim, a wyniki tych prac systematycznie publikowane (m.in.: Przybylak 1980, Araźny 1999, Kejna 2001, Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007, Kejna i in. 2010).

Prace porównujące warunki meteorologiczne występujące na stacji brzegowej w Hornsundzie wskazują na jej znaczną odmienną w stosunku do obszaru odległego zaledwie o kilka kilometrów od fiordu, co wiązać należy z bardzo zróżnicowaną topografią zaplecza fiordu. Charakterystycznym zjawiskiem często występującym na tym terenie w warstwie granicznej atmosfery są inwersje temperatury powietrza w profilu pionowym (Drzeniecka-Osiadacz i in. 2007).

2. Obszar badań

Pomiary meteorologiczne przeprowadzono w czterech punktach (tab. 1) w okolicy fiordu Hornsund, w południowej części Ziemi Wedela Jarlsberga (Spitsbergen Zachodni). Punkt PSP to obser-

watorium meteorologiczne Polskiej Stacji Polarnej, które reprezentuje typowy dla wyniesionych teras morskich teren pokryty roślinnością tundrową. Prowadzone w PSP pomiary meteorologiczne obejmują monitoring m.in. temperatury i wilgotności względnej powietrza, prędkości i kierunku wiatru, promieniowania całkowitego i odbitego (Budzik i in. 2009; Sikora i in. 2010a). Stanowisko pomiarowe FUG znajduje się na pobliskim szczycie Fugleberget (568 m n.p.m.), który oddalony jest o ok. 2 km od Polskiej Stacji Polarnej. Taka lokalizacja rejestratora umożliwi monitorowanie pionowego profilu termicznego granicznej warstwy arktycznej atmosfery. W tym punkcie prowadzone były tylko rejestracje temperatury i wilgotności powietrza za pomocą rejestratora HOBO Pro series zainstalowanego w osłonie radiacyjnej. Stanowiska HT4 i HT9 to stacje meteorologiczne zlokalizowane na Lodowcu Hansa, na wysokości odpowiednio ok. 180 i 430 m n.p.m. (obszar poniżej linii równowagi oraz w strefie akumulacyjnej; Araźny i in. 2010). Prowadzone są tam pomiary podstawowych elementów meteorologicznych (temperatura i wilgotność względna powietrza, prędkość i kierunek wiatru) oraz składowe bilansu radiacyjnego.

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 geograficzne 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	–
FUG	szczyt Fugleberget peak of Fugleberget	77.02008 N 15.56587 E	568	2.1
HT4	Lodowiec Hansa Hans glacier	77.04738 N 15.63275 E	180	5.6
HT9	Lodowiec Hansa Hans glacier	77.11656 N 15.48781 E	430	12.9

źródło: informacje własne; source: the own information

3. Dane i metody

Wartości elementów meteorologicznych w przedstawionych powyżej punktach zostały zgromadzone za pomocą automatycznych stacji meteorologicznych (PSP, HT4 i HT9) oraz termorejestratora HOBO Pro series (FUG). Dane obejmują okres od 01.01. do 31.12.2010 i były mierzone co 10 minut, przy czym w porównaniach poszczególnych stanowisk pomiarowych uwzględniono tylko wartości rekordów współistniejących. Szczegółowe informacje na temat konfiguracji systemów pomiarowych zostały zaprezentowane w pracach Sikory i in. (2010a i b). Zgromadzone dane posłużyły do wyliczenia wartości średnich i ekstremalnych dla poszczególnych miesięcy roku 2010.

W części prezentującej warunki bioklimatyczne zastosowano: wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI – wind chill index), uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (UTCI – universal thermal climate index) oraz składowe bilansu wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem. Wskaźniki te zostały wyliczone za pomocą programu BioKlima 2.6 (Błażejczyk i Błażejczyk 2010). Strumienie wymiany ciepła oraz bilans cieplny ciała człowieka zostały obliczone z wykorzystaniem modelu MENEX (Błażejczyk 2004). Wskaźnik UTCI jest najnowszą propozycją międzynarodowego zespołu biometeorologów

do oceny walorów bioklimatycznych danego miejsca. Podstawą do jego obliczenia jest wielowęzłowy model wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem zaproponowanym przez Fiałę (Fiała i in. 2001). Ze względu na subiektywność odczuć cieplnych, poszczególnym wartościom UTCI przypisano typy reakcji termofizjologicznej organizmu człowieka, co obiektywizuje wpływ warunków meteorologicznych na organizm człowieka (Błażejczyk i in. 2010). Wskaźnik ten wyliczono również za pomocą programu Bioklima 2.6. Oceny warunków biometeorologicznych dokonano dla stanowisk PSP, HT4 i HT9, ponieważ w tych punktach rejestrowano parametry meteorologiczne niezbędne do obliczenia wskaźników.

W opracowaniu zaprezentowano również wpływ cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie się warunków meteorologicznych i biometeorologicznych. Do tego celu wykorzystano kalendarz cyrkulacji Niedźwiedzia (2011).

4. Warunki meteorologiczne

4.1. Temperatura powietrza

Rok 2010 można zaklasyfikować jako ciepły, ze średnią temperaturą powietrza wynoszącą -3.5°C czyli o 0.9°C więcej niż średnia wieloletnia z okresu 1978-2006 (tab. 2). Wśród średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza szczególnie odmienny był styczeń – cieplejszy o 6°C niż w wieloleciu referencyjnym. Podobnie jak w latach poprzednich, miesiące letniej połowy roku, czerwiec-wrzesień, charakteryzowały się dodatnimi wartościami temperatury. Najcieplejszy był lipiec ze średnią 3.8°C , a najchłodniejszy marzec z temperaturą wynoszącą -13.2°C , przy czym było to o 2.6°C mniej niż średnia dla tego okresu w wieloleciu. Liczba dni charakterystycznych w niewielkim stopniu odbiegała od średniej z poprzednich lat. W 2010 roku dni mroźnych ($t_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$) zaobserwowano 178 (sześć mniej niż średnio w poprzednim okresie), a dni bardzo mroźnych ($t_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$) było 45 (o 12 mniej niż w latach 1978-2006). Minimalna temperatura powietrza została zmierzona 5 marca i wyniosła -23.7°C – tylko w czterech latach (1991, 1999, 2006 i 2008) okresu 1981-2010 była ona wyższa. Maksymalna temperatura powietrza wyniosła 9.8°C i została zmierzona w lipcu (tab. 2).

Tabela 2 – Table 2

Wybrane wskaźniki termiczne zmierzone w roku 2010 w odniesieniu do lat 1978-2006
Selected meteorological indices occurred in 2010 compared with 1978-2006 period

Temperatura powietrza – Air temperature [$^{\circ}\text{C}$]	2010	1978-2006
średnia roczna – annual mean	-3.5	-4.4
maksymalna – maximum	9.8 (09.07)	13.5 (07.07.2005)
minimalna – minimum	-23.7 (05.03)	-35.9 (16.01.1981)
minimalna przy gruncie – minimum near the ground	-28.2 (22.11)	-40.3 (16.01.1981)
maks. amplituda dobowa – max. daily amplitude	20.0 (06.03)	22.5 (16.02.1980)
maks. zmiana w ciągu 3 h – max change per 3 h	↓9.0 (21.03)	↑10.2 (27.12.1980)
maks. zmiana w ciągu 6 h – max change per 6 h	↓12.0 (21.03)	↑14.7 (23.02.1993)
maks. zmiana w ciągu 12 h – max change per 12 h	↓13.4 (21.03)	↓17.9 (15-16.02.1980)
dni mroźnych – frosty days ($t_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$)	178	184
dni bardzo mroźnych – strong frosty days ($t_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$)	45	57
dni z temp. maks. $> 0^{\circ}\text{C}$ – days with ($t_{\text{max}} > 0^{\circ}\text{C}$)	185	180

źródło: Biuletyn Meteorologiczny Spitsbergen – Homsund, Podsumowanie roku 2010
source: Meteorological bulletin Spitsbergen – Hornsund, Summary of the year 2010

Z pomiarów prowadzonych w okolicach Hornsundu wynika, że najchłodniejszym miejscem był szczyt Fugleberget (FUG) ze średnią roczną temperaturą powietrza wynoszącą -6.2°C oraz obszar akumulacyjny lodowca Hansa (HT9) z wartością o 0.1°C wyższą. Synchroniczne pomiary w stacji polarnej (PSP) oraz poniżej linii równowagi Lodowca Hansa (HT4) wykazały temperaturę średnią roczną odpowiednio o 3.2°C i 1.4°C wyższą. W tych dwóch stanowiskach średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w okresie czerwiec-wrzesień były dodatnie, podczas gdy na pozostałych stanowiskach tylko lipiec i sierpień charakteryzowały się dodatnimi wartościami średnimi. Czynnikiem, który w istotny sposób wpływa na różnicowanie się tych wartości jest niewątpliwie wysokość nad poziomem morza. Pionowy gradient temperatury (w $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) był najmniejszy w przypadku profilu PSP-FUG, a jego średnia roczna wartość wyniosła $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, przy czym najmniejszą średnią zaobserwowano w marcu, lipcu i sierpniu ($0.4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) a największą w lutym ($0.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Zbliżoną wartość wyliczono dla profilu PSP-HT9 ($0.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) – najmniejsze miesięczne wartości gradientu wystąpiły w czerwcu i lipcu ($0.4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), a największe w lutym ($1.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Natomiast dla stanowisk PSP-HT4 średni gradient termiczny był znacząco większy i wynosił średnio w roku $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Przy czym zakres różnic średnich miesięcznych jego wartości w tym profilu zmieniał się od $0.4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (maj) do $1.9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (luty).

4.2. Wilgotność powietrza

Charakterystyczną cechą obszarów arktycznych jest stosunkowo niewielka zawartość pary wodnej w powietrzu, co związane jest z dużą zależnością tego elementu meteorologicznego od temperatury powietrza. Uwzględniając wilgotność względną jako kryterium do oceny higrycznej, szczyt Fugleberget cechował się największą średnią roczną wartością tego parametru, która wynosiła 88% (tab. 3). Najniższa średnia roczna wilgotność względna została zarejestrowana na stanowisku PSP i wynosiła 81%. Uwzględniając temperaturę powietrza badanych obszarów, największą zawartością pary wodnej w powietrzu charakteryzowała się zlokalizowana najbliżej brzegu fiordu PSP gdzie średnia roczna wartość ciśnienia cząsteczkowego wynosiła 4.3 hPa i była o 0.6 hPa wyższa od obliczonej dla stanowisk FUG i HT9 oraz o 0.3 hPa od punktu zlokalizowanego poniżej linii równowagi Lodowca Hansa. W przebiegu rocznym ciśnienia pary wodnej zauważyć można wyraźne maksimum w lipcu kiedy średnia wartość wynosi od 7.2 hPa (PSP) do 6.4 hPa (FUG i HT9). Początek 2010 roku zaznaczył się wyższymi wartościami tego parametru niż miało to miejsce w latach poprzednich. Było to związane z adwekcjami dość ciepłego i zasobnego w parę wodną powietrza z sektora południowego. W styczniu ponad trzykrotnie zmierzono większe wartości opadu atmosferycznego (95.9 mm) niż średnio w latach ubiegłych – aż w 11 dniach miał on postać ciekłą, a wszystkie dni zaklasyfikowano jako opadowe (dobowa suma opadu $\geq 0.1\text{ mm}$). Porównując średnią wartość opadu z latami ubiegłymi nie zauważa się znacznej odmienności – wyniosła ona 448.5 mm, co stanowiło 104% średniej wieloletniej. W ciągu całego 2010 roku 250 dni należy uznać za dni z opadem ($\geq 0.1\text{ mm}$), a najwyższa dobowa suma opadu wystąpiła w lipcu i wyniosła 25.2 mm. Równie duże sumy dobowe (powyżej 20 mm) zmierzono również w styczniu i październiku (Majchrowska i in. 2011).

4.3. Prędkość wiatru

Warunki anemologiczne w 2010 roku nie odbiegały znacząco od średnich z lat minionych. Średnia prędkość wiatru na stanowisku PSP wyniosła 5.7 m/s i była o 0.2 m/s wyższa niż średnia wieloletnia.

Największą średnią miesięczną wartość zanotowano w lutym (8.4 m/s), a najmniejszą w sierpniu (3.1 m/s). Zainstalowany w 2009 roku nowy wiatromierz ultrasoniczny wykonuje pomiar prędkości i kierunku wiatru co 1 sekundę. Daje to możliwość rejestracji maksymalnej prędkości wiatru. 27.01.2010 roku wyniosła ona 37 m/s (Majchrowska i in. 2011).

Tabela 3 – Table 3

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

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

	Miesiąc Month	PSP			FUG			HT4			HT9		
		średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max
Temperatura powietrza [°C] Air temperature [°C]	I	-4.2	-17.2	3.1	-7.9	-20.0	-0.3	-5.4	-22.0	2.8	-7.2	-22.9	1.4
	II	-7.9	-21.4	1.5	-12.6	-26.7	-3.6	-11.2	-23.6	-1.3	-12.6	-27.3	-2.3
	III	-13.3	-23.5	2.1	-15.5	-23.1	-1.0	-15.9	-30.2	0.6	-16.9	-28.4	-0.4
	IV	-9.4	-15.2	-2.0	-12.2	-16.9	-2.2	-10.9	-21.5	-0.8	-12.7	-21.4	0.3
	V	-0.5	-21.7	3.5	-4.2	-12.3	2.2	-1.2	-16.3	4.6	-3.1	-14.3	4.5
	VI	1.7	-1.9	7.9	-1.3	-6.3	9.6	0.1	-4.8	7.2	-0.2	-5.4	7.4
	VII	3.9	-1.2	9.6	1.6	-2.7	9.1	2.3	-3.1	8.4	2.0	-2.5	8.6
	VIII	3.6	-1.3	9.2	1.1	-4.0	9.2	1.5	-5.0	7.7	0.9	-5.7	7.4
	IX	2.5	-2.8	6.3	-0.8	-5.7	3.0	1.3	-4.5	5.6	-0.5	-6.5	3.8
	X	-0.1	-9.7	6.7	-3.3	-12.5	4.6	-1.6	-12.9	5.3	-3.2	-17.4	5.0
	XI	-3.0	-6.8	-1.3	-6.4	-10.1	-4.4	-4.9	-10.5	-2.2	-6.0	-11.0	-2.9
	XII	-9.7	-19.7	1.3	-12.8	-22.5	-1.9	-11.5	-27.0	0.4	-13.5	-28.8	0.0
Wilgotność względna powietrza [%] Relative humidity [%]	I	84	43	100	91	72	100	90	54	100	90	62	100
	II	73	40	100	85	39	100	71	25	100	83	30	100
	III	73	43	100	78	34	100	76	33	100	78	27	100
	IV	76	58	100	81	61	100	77	47	100	81	39	100
	V	81	49	100	92	73	100	83	57	100	87	49	100
	VI	82	56	100	88	47	100	86	48	100	83	46	100
	VII	89	69	100	94	63	100	92	65	100	91	58	100
	VIII	82	51	100	88	56	100	88	56	100	85	54	100
	IX	84	51	100	94	73	100	88	63	100	93	66	100
	X	82	54	100	92	64	100	85	51	100	90	57	100
	XI	86	66	100	92	90	100	89	72	100	90	80	100
	XII	75	29	100	82	37	100	77	33	100	81	34	100
Prędkość wiatru [m/s] Wind speed [m/s]	I	6.5	0.0	22.2	-	-	-	6.7	0.0	16.8	4.4	0.0	23.2
	II	8.6	0.0	24.7	-	-	-	6.7	0.0	16.2	3.4	0.0	20.0
	III	6.1	0.0	24.3	-	-	-	5.8	0.0	15.6	3.5	0.0	20.8
	IV	8.2	0.0	19.5	-	-	-	5.1	0.0	14.3	2.4	0.0	19.9
	V	6.5	0.0	18.2	-	-	-	4.7	0.0	13.0	3.5	0.0	15.9
	VI	4.3	0.0	19.6	-	-	-	3.6	0.0	9.2	2.5	0.0	9.5
	VII	3.9	0.0	14.9	-	-	-	3.1	0.0	9.5	1.7	0.0	6.1
	VIII	3.2	0.0	14.3	-	-	-	3.5	0.0	8.8	2.4	0.0	11.5
	IX	5.6	0.0	16.6	-	-	-	4.0	0.0	9.5	2.5	0.0	7.8
	X	5.4	0.0	22.9	-	-	-	5.2	0.0	13.9	3.7	0.0	20.2
	XI	4.8	0.0	11.7	-	-	-	3.7	0.0	9.3	2.0	0.0	7.2
	XII	7.3	0.0	22.6	-	-	-	6.5	0.0	15.2	3.5	0.0	23.4

źródło: baza wymiany danych glacio-topoclim; source: Hornsund glacio-topoclim database

Prowadząc synchroniczne pomiary parametrów wiatru w okolicy fiordu Hornsund stwierdzono, że to właśnie stacja brzegowa (PSP) charakteryzuje się największą średnią roczną prędkością wiatru, która jest prawie dwukrotnie wyższa niż ta rejestrowana na polu firmowym Lodowca Hansa (HT9). Wiatr mierzony na Lodowcu Hansa jest wyraźnie silniejszy na obszarze poniżej linii równowagi: średnio prawie o 2 m/s w stosunku do punktu pomiarowego zlokalizowanego w jego obszarze akumulacyjnym. Wskazuje to na wyraźne uprzywilejowanie anemologiczne tej części lodowca w dużej mierze indukowane przez spływające z wyższych partii lodowca powietrze, przez co w styczniu i sierpniu średnia prędkość wiatru na stanowisku HT4 była wyższa niż na stacji brzegowej. Podobne zróżnicowanie warunków dynamicznych w dolnej warstwie atmosfery zarejestrowano w latach wcześniejszych (Sikora i in. 2010a).

5. Warunki biometeorologiczne

5.1. Wskaźnik ochładzania wiatrem (WCI)

W 2010 roku najmniejszą wartość wskaźnika ochładzania wiatrem zidentyfikowano na obszarze pokrytym tundrą (stanowisko PSP), która wynosiła 430.3 W/m^2 , co miało miejsce w sierpniu. Była to wartość wyższa od obserwowanej w roku 2009 (Sikora i in. 2010) o ok. 16 W/m^2 (tab. 4). W obszarze zlodowaconym najmniejsze wartości WCI wystąpiły w czerwcu. W skali odczuć opracowanej na podstawie wartości WCI sugeruje to występowanie klasy „komfortowo”, której maksymalna częstość pojawiania się przypada na lipiec i sierpień, lecz nawet wówczas obserwuje się ją w nie więcej niż 8% czasu tych miesięcy (tab. 5), co stanowi znacznie mniejszy odsetek czasu niż miało to miejsce w roku 2009. Maksymalna wartość tego wskaźnika – 2340 W/m^2 – została obliczona dla obszarze akumulacyjnego Lodowca Hansa w marcu i sugeruje ona odczucie termiczne określane jako „ekstremalnie mroźno” (ze względu na sporadyczność jej pojawiania się klasa ta nie została zamieszczona w tab. 5). Mimo występowania w tym miejscu tak wysokich wartości WCI, okazuje się, że w roku 2010 był to obszar, który charakteryzował się najłagodniejszymi termicznie warunkami: wskazuje na to zarówno średnia roczna wartość WCI (nieco ponad 1030 W/m^2 , co było o 50 W/m^2 mniej niż na obszarze niezlodowaconym) jak i analiza częstości pojawiania się klas odczuć cieplnych: w 40% czasu całego roku obserwuje się tam warunki określane jako „chłodno” (tab. 5). Jest to klasa, która może powodować niewielki dyskomfort termiczny, lecz uwzględniając aktywność fizyczną osób przemieszczających się po lodowcu, należy podkreślić jej „oszczędzające” termicznie znaczenie dla organizmu człowieka. Zarówno średnie miesięczne wartości WCI jak i analiza częstości klas odczuć identyfikują okres lipiec-sierpień jako najłagodniejszy termicznie dla osób przebywających w okolicach Hornsundu. Wówczas prawie wszędzie klasa „chłodno” dominuje i jest obserwowana w około 4/5 czasu tych miesięcy. Najmniej korzystna do prowadzenia działań na zewnątrz pomieszczeń, klasa odczuć „mroźno”, pojawia się w okresie od grudnia do kwietnia. W marcu uwidacznia się wyjątkowość obszaru zlodowaconego, poniżej linii równowagi (stanowisko HT4): wówczas klasa „mroźno” pojawia się tutaj w 40% czasu, jest to czterokrotnie częściej niż na pozostałych stanowiskach.

5.2. Uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (UTCI)

Mnogość wskaźników biometeorologicznych określanych najogólniej jako temperatura odczuwalna, skłoniła środowisko biometeorologów do opracowania uniwersalnego narzędzia do określania

walorów bioklimatycznych miejsc, w których pojawiać się mogą ludzie. W przypadku UTCI zrezygnowano z konstruowania skali odczuć termicznych, która jest subiektywna i w dużej mierze uzależniona od właściwości adaptacyjnych ludzi (przebywając dłuższy czas w danych warunkach, organizm człowieka „przyzwyczajają się” do nich). Zastąpiono ją oceną obiektywnej reakcji organizmu człowieka na warunki zewnętrzne, która przebiega podświadomie.

Tabela 4 – Table 4

Średnie, minimalne i maksymalne wartości wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI; W/m^2) i uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (UTCI; $^{\circ}C$) w poszczególnych miesiącach na badanym obszarze w 2010 roku
 Monthly average and extreme values of wind chill index (WCI; W/m^2) and universal thermal climate index (UTCI; $^{\circ}C$) at investigated area in 2010

	Miesiąc Month	PSP			HT4			HT9		
		średnia average	min	max	średnia average	min	max	średnia average	min	max
WCI [W/m^2] wind chill index - WCI [W/m^2]	I	1150.6	562.1	1791.0	1257.3	576.3	1933.6	1149.2	599.9	1970.8
	II	1415.4	624.0	2011.6	1470.1	650.5	2012.8	1247.2	679.4	1796.9
	III	1387.7	687.5	1873.0	1558.8	765.4	2003.8	1338.2	754.7	2340.8
	IV	1375.4	825.6	1756.9	1347.5	597.5	1692.1	1148.5	603.9	1694.2
	V	1026.1	523.3	1652.7	1021.6	505.3	1572.8	995.1	521.3	1469.6
	VI	868.6	511.1	1250.2	911.2	456.1	1251.3	854.6	452.1	1230.7
	VII	792.8	466.7	1153.4	829.7	502.0	1125.0	742.3	465.3	1055.5
	VIII	762.8	430.3	1112.6	883.0	484.4	1213.2	817.0	472.4	1277.9
	IX	895.4	495.0	1218.3	905.2	493.2	1236.1	871.9	537.8	1227.1
	X	958.3	488.1	1439.6	1055.2	548.0	1603.0	1018.3	519.0	1739.8
	XI	1020.0	615.2	1411.1	1071.2	634.6	1472.6	948.4	663.8	1277.4
	XII	1313.5	622.3	1962.2	1456.1	707.1	2127.2	1282.6	623.6	2039.0
UTCI [$^{\circ}C$]	I	-26.2	-59.4	0.4	-31.4	-60.7	-0.1	-25.4	-72.0	-1.0
	II	-36.3	-65.3	-3.2	-40.0	-57.7	-5.5	-28.7	-58.6	-5.7
	III	-35.0	-61.4	-5.9	-40.9	-56.5	-10.2	-31.9	-67.2	-1.3
	IV	-35.4	-57.2	-3.4	-31.3	-55.1	6.8	-21.6	-62.4	7.1
	V	-18.7	-45.8	10.2	-16.5	-42.9	12.3	-13.8	-48.9	11.6
	VI	-8.6	-40.3	12.9	-8.7	-32.8	15.1	-4.8	-31.1	16.5
	VII	-5.6	-34.0	13.4	-6.1	-28.3	12.4	-0.5	-20.0	16.2
	VIII	-3.8	-26.5	15.2	-9.3	-32.0	14.7	-5.2	-36.5	14.6
	IX	-13.2	-39.7	11.7	-13.1	-34.1	15.2	-9.9	-29.7	8.8
	X	-17.2	-47.4	5.2	-23.0	-49.2	2.2	-19.0	-55.3	2.9
	XI	-19.8	-40.6	-2.8	-21.5	-43.5	-4.1	-16.0	-33.5	-5.7
	XII	-34.2	-64.9	-4.8	-38.8	-65.1	-5.8	-30.6	-67.1	-3.8

źródło: baza wymiany danych glacio-topoclim; source: Hornsund glacio-topoclim database

Na analizowanym obszarze wartości UTCI zmieniały się w zakresie od $-72^{\circ}C$ (w styczniu) do $16.5^{\circ}C$ (w czerwcu), a ekstremalne wartości tego wskaźnika wyliczono na obszarze pola firmowego Lodowca Hansa (HT9; tab. 4). Wartości UTCI na pozostałych stanowiskach zawierały się od $-65^{\circ}C$ do $15^{\circ}C$ (zarówno w PSP jak i HT4). Obszar pola firmowego jest identyfikowany jako silnie bodźcowy: warunki termoneutralne biotermicznie pojawiają się tam kilkakrotnie częściej w okresie od czerwca do sierpnia niż na innych stanowiskach badanego terenu, lecz silny stres chłodu jest tam możliwy prawie w ciągu całego roku (za wyjątkiem lipca). Przeciętnie w ciągu całego roku ta najbardziej niekorzystna

biotermicznie klasa obciążeń cieplnych najczęściej pojawia się na obszarze lodowca poniżej linii równowagi (HT4), a w lutym i marcu obserwuje się ją w ponad 90% czasu (tab. 6). W okresie od czerwca do sierpnia klasy „silny stres zimna” i „bardzo silny stres zimna” występują zdecydowanie rzadziej. Jedynie w punkcie HT4 można je obserwować w 1/3 miesiąca, a na pozostałych stanowiskach spada do kilku, kilkunastu procent czasu tego samego okresu.

Tabela 5 – Table 5

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

Miesiąc Month	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9
	mroźno <i>frosty</i>			zimno <i>cold</i>			chłodno <i>cool</i>			komfortowo <i>Comfortable</i>		
I	2.8	11.5	8.7	79.4	79.9	70.0	17.8	8.6	21.4	0.0	0.0	0.0
II	20.5	22.6	2.0	76.9	76.3	87.5	2.5	1.1	10.5	0.0	0.0	0.0
III	11.9	40.7	10.4	85.6	59.1	86.5	2.4	0.2	3.1	0.0	0.0	0.0
IV	6.5	4.5	1.2	93.0	91.8	81.4	0.4	3.7	17.4	0.0	0.0	0.0
V	0.0	0.0	0.0	74.1	72.1	62.0	25.4	26.6	37.5	0.5	1.3	0.5
VI	0.0	0.0	0.0	34.5	46.4	35.3	64.1	51.3	60.9	1.3	2.3	3.8
VII	0.0	0.0	0.0	16.6	16.7	4.4	78.5	80.7	88.0	4.9	2.6	7.6
VIII	0.0	0.0	0.0	8.6	36.4	21.0	85.9	61.7	75.3	5.5	1.9	3.7
IX	0.0	0.0	0.0	45.5	49.2	32.8	53.0	48.7	66.9	1.5	2.1	0.2
X	0.0	0.0	0.1	56.8	64.6	57.4	40.3	34.8	41.4	2.9	0.6	1.1
XI	0.0	0.0	0.0	66.5	68.9	56.0	33.5	31.1	44.0	0.0	0.0	0.0
XII	14.7	29.0	12.8	78.1	68.9	74.2	7.3	2.1	13.0	0.0	0.0	0.0

źródło: baza wymiany danych glacio-topoclim; source: Hornsund glacio-topoclim database

Tabela 6 – Table 6

Częstość występowania (%) klas obciążeń termicznych organizmu wyznaczonych na podstawie UTCI
Frequency (%) of thermal stress for human body based on UTCI

Miesiąc Month	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9
	brak obciążeń cieplnych <i>no thermal stress</i>			łagodny stres zimna <i>slight cold stress</i>			umiarkowany stres zimna <i>moderate cold stress</i>			silny stres zimna <i>strong cold stress</i>			bardzo silny stres zimna <i>very strong cold stress</i>		
I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5	8.0	16.7	42.5	32.5	45.7	42.0	59.5	37.6
II	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	1.0	6.0	16.1	7.9	33.9	81.6	91.1	60.1
III	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	2.1	21.7	6.5	30.1	77.7	93.5	67.8
IV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.3	1.8	7.2	26.2	26.5	22.3	42.5	71.8	70.1	30.1
V	0.1	0.1	0.3	3.3	7.1	9.2	25.8	28.1	43.4	48.9	50.1	33.6	21.9	14.5	13.4
VI	1.0	2.4	7.8	17.7	19.4	24.7	52.9	43.3	53.0	26.7	32.2	14.2	1.8	2.7	0.3
VII	1.1	0.7	5.0	28.4	19.3	46.9	51.2	64.8	46.4	18.7	14.6	1.8	0.7	0.5	0.0
VIII	2.1	1.0	3.3	28.7	12.3	28.5	58.7	53.4	49.1	10.5	31.6	16.7	0.0	1.7	2.4
IX	0.3	0.3	0.0	5.8	5.2	6.3	42.2	41.6	61.1	44.4	49.0	31.7	7.2	3.8	0.9
X	0.0	0.0	0.0	3.6	1.4	3.1	31.6	26.3	31.4	40.5	26.4	31.1	24.3	45.9	34.3
XI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	28.7	35.4	29.7	39.7	58.9	37.3	31.6	5.7
XII	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	1.6	6.3	31.4	15.9	33.9	64.7	82.5	59.7

źródło: baza wymiany danych glacio-topoclim; source: Hornsund glacio-topoclim database

Oznacza to, że nawet w najcieplejszym okresie roku możliwe jest wystąpienie warunków biometeorologicznych, które w krótkim czasie mogą doprowadzić do nadmiernej utraty ciepła z organizmu i pojawienia się oznak hipotermii. Najbardziej neutralna klasa, czyli brak obciążeń cieplnych, pojawia się w okresie od maja do września – na stanowiskach PSP i HT4 waha się w granicach 0.1-2.4% czasu. Natomiast na polu firmowym można ją obserwować w prawie 8 % czasu czerwca. Tak duże różnice wynikają z ilości promieniowania krótkofalowego, które dociera do tego obszaru – duża wysokość nad poziomem morza powoduje, że natężenie strumienia energii tego promieniowania jest znaczne i ma to istotne znaczenie dla ilości tej formy energii pochłoniętej przez organizm człowieka.

5.3. Strumienie wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem

Dominującym strumieniem strat ciepła z organizmu w warunkach klimatu okolic Hornsundu jest ciepło jawne (mC) – w ten sposób tracone jest średnio w roku od 60.7% (HT9) do 64.6% (HT4) energii u osób eksponowanych na warunki zewnętrzne. W najcieplejszych miesiącach średni udział tego strumienia utraty ciepła z ciała człowieka spada do niecałych 55% na polu firmowym Lodowca Hansa. Największa średnia miesięczna wartość tego strumienia wystąpiła w 2010 roku w strefie przybrzeżnej i dla lutego wyniosła -203 W/m^2 , podczas gdy na stanowisku HT9 była ona o ponad 50 W/m^2 wyższa (co oznacza mniejsze straty ciepła za pośrednictwem tego strumienia). Strumienie ewaporacyjnej utraty ciepła (mE) oraz strata energii drogą promieniowania długofalowego (mL) cechują się podobnymi do siebie wartościami, a ich średnie miesięczne mieszczą się w zakresie od -28.0 W/m^2 do -35.7 W/m^2 (tab. 7). Łagodzący doznania chłodu strumień promieniowania krótkofalowego pochłoniętego przez człowieka (mR) osiąga maksymalne wartości na lodowcu poniżej linii równowagi – zarejestrowana wartość promieniowania krótkofalowego określa jego maksymalne natężenie na 54 W/m^2 . Istotny wpływ na tak duże wartości tego strumienia ma albedo podłoża – przy niewielkim kącie padania promieni słonecznych do ciała dociera nie tylko promieniowanie bezpośrednie od Słońca, lecz również odbite od lodu pozbawionego już pokrywy śnieżnej. Analiza średnich wartości miesięcznych tego strumienia energii wskazuje jednak na obszar pola firmowego jako najbardziej uprzywilejowanego w jego dopływie – w czerwcu średnia wartość wynosi 18.2 W/m^2 (HT9) i jest o prawie 7 W/m^2 większa niż w strefie przybrzeżnej. W przebiegu dobowym uśrednionych wartości tego strumienia w miesiącach letnich (VI-VIII), na obszarze pola firmowego osiąga on ponad 20 W/m^2 , podczas gdy w strefie nadbrzeżnej nie przekracza 15 W/m^2 (rzc. 1). Ten strumień ma dość istotne znaczenie w dostarczaniu ciepła do organizmu człowieka w okresie od połowy marca do połowy września.

Ryc. 1 Dobowy przebieg strumienia promieniowania pochłoniętego przez ciało człowieka (mR) na badanym obszarze w okresie VI-VIII 2010

Fig. 1 Diurnal cycle of absorbed solar radiation by the man (mR) on investigated area

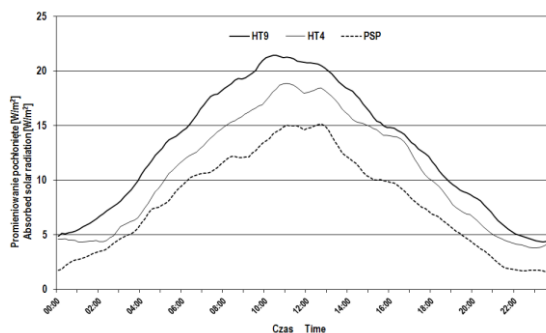


Tabela 7 – Table 7

Srednie miesięczne wartości poszczególnych strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem (W/m^2) w roku 2010 na badanym obszarze

Monthly average values of man-environment heat exchange fluxes (W/m^2) in 2010 on investigated area

Miesiąc Month	mR			mC			mE		
	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9
I	0.0	0.0	0.0	-163.1	-180.7	-155.3	-30.8	-30.6	-29.7
II	0.1	0.2	0.1	-203.1	-198.6	-150.4	-29.9	-29.2	-28.2
III	2.9	3.4	3.9	-176.6	-191.8	-158.5	-28.6	-28.3	-28.0
IV	7.1	7.9	8.5	-197.4	-172.9	-135.8	-29.9	-29.2	-28.4
V	7.0	10.2	11.4	-154.6	-147.4	-134.8	-33.0	-32.4	-31.0
VI	11.4	15.7	18.2	-123.7	-130.4	-115.2	-33.1	-32.7	-32.1
VII	6.4	9.2	12.3	-117.1	-118.1	-101.8	-33.7	-32.8	-32.2
VIII	7.7	8.9	10.4	-110.5	-126.0	-112.8	-33.8	-32.9	-32.3
IX	3.0	3.6	3.6	-138.0	-132.4	-115.8	-33.9	-32.8	-31.0
X	0.3	0.4	0.4	-145.1	-156.0	-139.6	-32.4	-31.6	-30.3
XI	0.0	0.0	0.0	-139.8	-140.6	-117.8	-30.7	-29.8	-29.3
XII	0.0	0.0	0.0	-188.1	-193.1	-153.2	-29.5	-29.0	-28.3
	mL			mRes			mS		
	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9	PSP	HT4	HT9
I	-34.0	-33.7	-34.4	-19.6	-19.8	-20.3	-112.4	-129.7	-104.6
II	-34.9	-34.2	-34.9	-20.9	-21.4	-22.0	-153.7	-148.2	-100.3
III	-34.6	-33.5	-34.9	-21.9	-22.4	-22.6	-123.8	-137.7	-105.1
IV	-35.3	-34.3	-35.6	-21.0	-21.3	-21.7	-141.5	-114.8	-78.0
V	-34.4	-34.2	-34.5	-18.7	-18.9	-19.3	-98.7	-87.6	-73.2
VI	-34.2	-34.4	-35.0	-18.2	-18.5	-18.7	-62.8	-65.2	-47.8
VII	-33.3	-33.3	-34.4	-17.3	-17.7	-17.9	-60.0	-57.9	-39.0
VIII	-34.1	-33.6	-34.5	-17.6	-18.1	-18.3	-53.2	-66.6	-52.5
IX	-33.8	-33.6	-33.8	-17.9	-18.1	-18.6	-85.6	-78.3	-60.6
X	-34.5	-34.0	-34.0	-18.7	-19.1	-19.5	-95.4	-105.2	-88.0
XI	-34.2	-34.0	-35.0	-19.3	-19.8	-20.0	-89.0	-89.2	-67.1
XII	-35.7	-34.0	-34.4	-21.0	-21.4	-21.8	-139.3	-142.5	-102.8

źródło: baza wymiany danych glacio-topoclim; source: Hornsund glacio-topoclim database

Strumienie wymiany ciepła [W/m^2] – heat exchange fluxes [W/m^2]:

mR – promieniowanie pochłonięte przez organizm człowieka - absorbed solar radiation,

mC – turbulencyjna wymiana ciepła jawnego (konwekcja) – turbulent exchange of sensible heat (convection),

mE – turbulencyjna wymiana ciepła utajonego (ewaporacja) – turbulent exchange of latent heat (evaporation),

mL – utrata ciepła w postaci promieniowania długofalowego – heat exchange by long-wave radiation,

mRes – straty ciepła przez oddychanie (respiracja) – respiratory heat loss (respiration),

mS – saldo wymiany ciepła – net heat storage

Bilans wymiany ciepła między człowiekiem, a otoczeniem na badanym obszarze w sporadycznych sytuacjach może osiągać wartości zbliżone do $0 W/m^2$, co oznacza dla osób tam przebywających warunki termoneutralne – potwierdza tym samym rezultaty analizy warunków bioklimatycznych przeprowadzonej za pomocą wskaźników UTCI i WCI. Niemniej, średnie wartości miesięczne salda bilansu cieplnego ciała człowieka na badanym obszarze są ujemne, co oznacza konieczność podejmowania działań przeciwdziałających nadmiernemu wyziębieniu organizmu.

6. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w okolicy Hornsundu

Czynnikiem mającym najistotniejszy wpływ na kształtowanie się warunków pogodowych na południowym Spitsbergenie jest cyrkulacja atmosferyczna. W roku 2010 najczęściej, bo w ponad 20% dni, obserwowana była cyklonalna cyrkulacja z sektora północnego i północno-wschodniego, podczas gdy w latach 1950-2009 dominująca była cyrkulacja cyklonalna, ale z sektora wschodniego i południowo-wschodniego (tab. 8). W ciągu całego roku dwukrotnie częściej dochodziło do adwekcji mas powietrza z sektora północnego (NW, N i NE; średnio 36% dni w roku 2010) niż z południa (Niedźwiedź 2011) – w okresie 1950-2009 również przeważał ten kierunek napływu mas powietrza, lecz nie tak znacznie (adwekcja z N miała miejsce 29% dni a z S w 22.7%).

Tabela 8 – Table 8

Częstość typów cyrkulacji atmosferycznej w roku 2010 na tle okresu 1950-2009 (Niedźwiedź 2011)
Atmospheric circulation types frequency in 2010 compared with period 1950-2009 (Niedźwiedź 2011)

	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Cc+Bc	x
2010	12.3	11.5	2.5	3.8	7.9	20.3	14.8	7.1	5.2	9.0	5.5
1950-2009	10.7	10.6	4.0	3.2	11.7	14.1	16.4	8.5	5.4	12.5	2.9

źródło: Niedźwiedź T., 2011, Katalog typów cyrkulacji dla Spitsbergenu – zbiór komputerowy
source: Niedźwiedź T., 2011, Calendar of Circulation Types for territory of Spitsbergen

Masy powietrza docierające z sektora północnego i północno-wschodniego najintensywniej wpływały na obniżenie temperatury powietrza – średnio o ponad 2°C, lecz w styczniu i listopadzie przy tym kierunku adwekcji spadała ona o 7.1 i 5.6°C (tab. 9). Napływ powietrza z sektora południowego i południowo-zachodniego powodował zawsze wzrost temperatury powietrza, przy czym był on wyraźnie większy w zimowej połowie roku. Jednak najmniejsze średnie wartości temperatury zarejestrowano dla dni, w których dochodziło do adwekcji powietrza z sektora wschodniego oraz południowo-wschodniego w układzie antycyklonalnym i było to -7.0°C. Również powietrze docierające z północy i północnego-wschodu przemieszczające się zarówno w układach cyklonalnych jak i antycyklonalnych dość istotnie obniża temperaturę powietrza - średnio wynosi ona w tych sytuacjach -6.0 °C.

Największa dynamika przepływu powietrza w okolicy Hornsundu została zmierzona w sytuacjach adwekcji mas powietrza z sektora wschodniego i południowo-wschodniego – bez względu na typ układu barycznego warunkującego ten przepływ – obserwowany wzrost wynosił nawet ponad 6 m/s w stosunku do średniej miesięcznej. Średnia wartość prędkości wiatru w dniach z tymi typami cyrkulacji atmosferycznej wynosiła w 2010 roku 9.5 m/s.

W 2010 roku, podobnie jak w latach poprzednich, zmiany wartości elementów meteorologicznych decydowały o zmianach warunków biometeorologicznych. Największy wpływ na poziom wskaźnik UTCI miała adwekcja z sektora wschodniego i południowo-wschodniego (antycyklonalna) obniżając jego wartości średnio o 9.6°C i osiągając przeciętnie -35.6°C. Napływ powietrza z tego kierunku warunkowany przez układ cyklonalny, obniżał wartości UTCI średnio o 6.4°C. Cyrkulacja zachodnia i północno-zachodnia (zarówno cyklonalna jak i antycyklonalna) sprzyjała występowaniu warunków termicznych nieznacznie obciążających układ termofizjologiczny człowieka – wartość UTCI w takich sytuacjach wynosiła średnio nieco poniżej -8°C i oznaczało to średni wzrost o 3.7°C. Największy

średnio wzrost tego wskaźnika dawał się zauważyć w sytuacjach napływu powietrza z sektora południowego i południowo-zachodniego w układzie wyżowym powodując wzrost średnio o 7.2°C.

Tabela 9 – Table 9

Średnie odchylenia wartości temperatury powietrza, prędkości wiatru i uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (UTCI) w określonych typach cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych miesiącach na stacji PSP w 2010 roku

Average monthly anomalies of air temperature, wind speed and universal thermal climate index (UTCI) observed in different types of atmospheric circulation at station PSP in 2009

Miesiąc Month	Typ cyrkulacji atmosferycznej – Type 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											
I	-7.1	-	5.5	-6.6	-0.1	-6.5	-0.8	5.5	-1.3	1.3	0.0
II	-	-3.5	-	-	1.7	4.0	5.4	3.4	-	-	-
III	-1.9	2.3	-	-	-6.9	0.2	4.9	6.2	-	2.1	-0.3
IV	-2.3	-0.9	-	-	-1.5	0.0	1.4	5.0	-	4.0	-
V	-	0.3	1.1	2.1	-0.9	-1.6	-1.0	1.7	-	1.2	-
VI	-0.2	-	-	1.0	-1.6	-0.3	1.4	-	0.4	0.9	-1.6
VII	-	-0.8	-	0.1	-1.8	-0.1	0.4	0.4	0.8	0.8	0.5
VIII	0.3	-	-	-2.4	0.3	-0.2	-	0.7	0.4	1.2	-1.3
IX	-0.8	0.2	-2.0	-0.5	-1.2	0.9	0.7	1.0	0.6	0.3	-0.6
X	-0.5	-	-	-	-	-3.0	0.4	5.7	5.9	0.4	-
XI	-5.6	-6.1	3.6	6.5	-1.5	-2.3	3.6	-	-	5.2	0.0
XII	-0.6	1.2	-2.0	-	-	-3.3	-0.5	5.2	4.6	3.0	0.8
Prędkość wiatru – Wind speed											
I	1.6	-	-4.7	-3.1	-1.6	-2.3	4.7	-1.2	2.6	-0.4	-1.6
II	-	0.7	-	-	-4.7	-4.3	0.7	-2.9	-	-	-
III	-0.8	4.5	-	-	-1.7	-0.9	3.6	4.0	-	0.1	-1.0
IV	-2.4	3.7	-	-	-3.3	-0.5	2.6	3.3	-	-1.8	-
V	-	1.4	-3.4	-1.5	-2.2	-2.9	3.0	0.2	-	-0.3	-
VI	-1.1	-	-	-0.7	-1.7	0.2	4.5	-	-1.0	-0.6	0.6
VII	-	1.6	-	-0.6	-1.9	0.9	-1.5	0.9	-0.7	1.6	-1.6
VIII	-0.7	-	-	-1.0	-0.5	1.1	-	1.1	1.1	2.4	-0.9
IX	-1.3	3.4	-2.4	-2.2	-3.2	-0.2	3.9	-2.9	-1.8	-2.6	-2.4
X	-0.4	-	-	-	-	-1.2	6.1	-0.3	-0.9	-0.8	-
XI	-1.3	6.6	-1.9	-1.3	-1.5	-2.3	3.2	-	-	1.5	-2.1
XII	-4.4	4.8	1.2	-	-	-2.0	4.1	-1.2	-3.8	-2.1	-1.5
UTCI											
I	-14.5	-	20.9	0.0	3.3	-1.5	-12.2	10.1	-8.9	2.3	3.7
II	-	-6.4	-	-	13.6	16.3	5.7	10.2	-	-	-
III	0.6	-9.7	-	-	-3.5	2.3	-2.4	-4.2	-	1.9	1.4
IV	3.9	-11.5	-	-	8.6	1.6	-6.7	-3.1	-	9.0	-
V	-	-2.8	9.6	5.5	5.0	6.4	-9.7	0.4	-	2.9	-
VI	3.7	-	-	3.3	1.9	-2.4	-11.0	-	4.9	2.7	-2.7
VII	-	-4.4	-	0.7	4.2	-2.5	4.7	-3.2	2.8	-1.7	6.0
VIII	2.5	-	-	0.8	2.0	-3.1	-	-4.1	-3.8	-5.5	1.2
IX	3.0	-8.4	2.8	4.4	7.7	-0.2	-8.7	8.3	5.1	7.5	4.4
X	-0.7	-	-	-	-	-0.5	-15.3	8.7	10.9	1.8	-
XI	-3.2	-23.8	9.9	10.8	1.6	3.8	-5.0	-	-	2.6	5.7
XII	11.1	-9.6	-7.0	-	-	1.0	-10.3	8.4	15.5	7.4	3.9

7. Podsumowanie

Dane meteorologiczne analizowane w opracowaniu pozwalają na ocenę roku 2010 jako nieco cieplejszego od średniej wieloletniej. Duże znaczenie dla tego parametru termicznego miał niezwykle ciepły styczeń, którego średnia temperatura powietrza była o 6°C większa niż wieloletnia dla tego miesiąca. W listopadzie badanego roku zmierzono maksymalną dobową wartość ciśnienia atmosferycznego, która wyniosła 1046.8 hPa (27.11), a związana była z ośrodkiem antycyklonalnym o nazwie „Uwe”.

Przeprowadzone pomiary po raz kolejny potwierdziły uprzywilejowanie biotermiczne obszaru akumulacyjnego Lodowca Hansa, co związane jest ze zwiększonym strumieniem promieniowania całkowitego docierającego tam. Jakkolwiek średnie wartości wskaźników biometeorologicznych wyraźnie identyfikują ten obszar jako najbardziej korzystny dla człowieka, to należy spodziewać się tutaj bodźców biotermicznych o dość dużym zróżnicowaniu i natężeniu. Obszar lodowca poniżej linii równowagi cechuje się mniej korzystnymi warunkami biometeorologicznymi ze względu na znaczną prędkość wiatru, który dociera tutaj, a dodatkowym mechanizmem generującym go są sploty grawitacyjne powietrza z obszarów położonych powyżej.

Okolice Hornsundu należy uznać za obszar silnie bodźcowy, ze względu na dużą dynamikę zmian temperatury powietrza i prędkości wiatru tutaj rejestrowanych. Osoby przybywające tutaj powinny charakteryzować się szczególnie dobrym stanem zdrowia, ponieważ tak duże zmiany warunków biometeorologicznych, jakie w tutejszym środowisku zachodzą, mogą sprzyjać występowaniu i pogłębianiu się już zaistniałych procesów chorobowych.

Podziękowania

Opracowanie powstało dzięki aktywności uczestników XXXII i XXXIII Wyprawy Polarnej PAN na Spitsbergen, za co autorzy serdecznie dziękują. Prowadzone badania mogły odbyć się dzięki funkcjonowaniu obserwatorium meteorologicznego i sieci stacji pomiarowych utrzymywanych w ramach działalności Polskiej Stacji Polarnej im. Stanisława Siedleckiego IGF PAN. W opracowaniu wykorzystano dane zgromadzone w bazie wymiany danych GLACIO-TOPOCLIM (www.glacio-topoclim.org).

Literatura

- Arażny A., 1999. Differentiation of air temperature in the summer season 1998 on the Waldemar Glacier and on the Kaffiøra Plain (Spitsbergen). [w:] Polish Polar Studies, 26th International Polar Symposium, Lublin: 25–35.
- Arażny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., Puczek D., 2009. Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w cieplej połowie roku 2007 i 2008, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 203–222.
- Arażny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., 2010. Meteorological and biometeorological conditions in the Hornsund area (Spitsbergen) during the warm season, *Polish Polar Research*, 31, 3: 217–238.
- Baranowski S., Glowicki B., 1975a. Meteorological and hydrological investigations in the Hornsund region made in 1970, *Acta Universitatis Wratislaviensis* 251: 35–39.
- Baranowski S., Glowicki B., 1975b. Przebieg wybranych elementów meteorologicznych w ciągu lata 1971 r. na Spitsbergenie. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 287: 95–99.
- Błażejczyk K., 2004. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. *Prace Geograficzne* 192, Wyd. IGI PAN: 291 s.
- Błażejczyk K., Błażejczyk M., 2010. Pakiet programu komputerowego BioKlima 2.6 (stan z dnia 23.06.2011) <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/BioKlima.htm>

- Błażejczyk K., Broede P., Fiala D., Havenith G., Holmer I., Jendritzky G., Kampmann B., 2010. UTCI – nowe narzędzie badania warunków bioklimatycznych w różnych skalach czasowych i przestrzennych, *Przegląd Geofizyczny*, LV, 1-2: 5–19.
- Brázdil R., Piasecki J., Prošek P., Szczepankiewicz-Szmyrka A., 1988. The topoclimatic differentiation of the Werenskiöld Glacier and Bratteggdalen regions. [w:] Brázdil R. i in., *Results of investigations of the Geographical Research Expedition, Spitsbergen 1985*, Brno: 187–210.
- Budzik T., Sikora S., Araźny A., 2009. Przebieg roczny salda promieniowania powierzchni czynnej w Hornsundzie V 2008 – IV 2009. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 233–246.
- Drzeniecka-Osiadacz A., Migala K., Sikora S., 2007. Cechy warstwy granicznej atmosfery w rejonie Hornsundu w lipcu i sierpniu 2005r. [w:] Przybylak R., Kejna M., Araźny A., Głowacki P. (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*. Toruń: 131–146.
- Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M., 2001. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*, 45: 143–159.
- Gluz A., Siwek K., 2006. Przebieg warunków pogodowych na stacji Calypsoben 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 Calypsoben (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 223–231.
- Głowicki B., Baranowski S, 1974. Glacio-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. Araźny i P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 165–178.
- Kejna M., Przybylak R., Araźny A., Jankowska J., Maszewski R., Wyszynski P., 2010. Warunki topoklimatyczne w sezonach letnich w rejonie Kaffioyry (NW Spitsbergen) w latach 2005-2009. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20: 63–81.
- Majchrowska E., Małarzewski Ł., 2010. *Miesięczny biuletyn meteorologiczny, wersja elektroniczna*.
- Majchrowska E., Soroka J., Małarzewski Ł., 2011. *Biuletyn meteorologiczny: Spitsbergen – Hornsund, podsumowanie roku 2010, wersja elektroniczna*, 14 s.
- 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.
- Migala 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.
- Migala 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. Araźny i P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika: 89–112.
- Niedźwiedz T., 2011. *Katalog typów cyrkulacji dla Spitsbergenu – zbiór komputerowy*. Katedra Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.

- 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 Univeristas Wratislaviensis, 738: 159–163.
- 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 Kaffiöry w lecie 1979. *Maszynopis pracy magisterskiej*.
- 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., Arażny A., Budzik T., Migala K., Puczek D., 2010a. Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne okolic Hornsundu (Spitsbergen Zachodni) w roku 2009. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20: 83–101.
- Sikora S., Puczek D., Soroka J., Głowacki P., 2010b. Nowa automatyczna stacja meteorologiczna w Polskiej Stacji Polarnej im. Stanisława Siedleckiego (Hornsund, Svalbard). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20: 183–185.
- 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.
- Ustrnul Z., 1987. Some characteristics of air thermal conditions in Hornsund, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 8(3): 261–275.

Wpłynęło: 26 czerwca 2011; poprawiono: 2 października 2011

Summary

Results of meteorological and biometeorological investigation in polar region are the aim of presented paper. Investigated area is located in SW part of Spitsbergen (surrounding of Hornsund fjord) where operate the Polish Polar Station. Data used in the paper were collected in 2010 by an automatic weather stations (measured parameters: air temperature and relative humidity, wind speed and direction, global and reflected solar radiation) located: at the Polish Polar Station (PSP: 77.00159 N 15.54131 E, 10 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.). Only a peak of Fugleberget (FUG 77.02008 N 15.56587 E, 568 m a.s.l.) were equipped with air temperature and relative humidity logger HOBO Pro series. Biometeorological conditions of investigated area were evaluated by Wind Chill Index, analysis of man-environment heat exchange fluxes and Universal Thermal Climate Index (UTCI; new developed tool for biometeorological investigation). Above indices identified accumulation zone as a place with specific biometeorological condition: average values of UTCI and WCI indicate mildest biothermal environment. However, in this area highest biometeorological stimuli are observed. Weather condition of SW Spitsbergen is strongly modified by atmospheric circulation. In 2010 air masses flowed from north sector were observed (36% days) twice often than from south.

Key words: meteorological conditions, bioclimate, Spitsbergen, automatic weather stations, UTCI.