

WARUNKI TOPOKLIMATYCZNE W SEZONACH LETNICH W REJONIE KAFFIØYRY (NW SPITSBERGEN) W LATACH 2005-2009

TOPOCLIMATIC CONDITIONS IN SUMMER SEASONS IN THE KAFFIØYRA REGION (NW SPITSBERGEN) IN THE YEARS 2005-2009

Marek Kejna, Rajmund Przybylak, Andrzej Arażny, Joanna Jankowska,
Rafał Maszewski, Przemysław Wyszyński

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika,
ul. Gagarina 9, 87–100 Toruń
marek.kejna@umk.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono zróżnicowanie temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz kierunku i prędkości wiatru w rejonie Kaffiøry (NW Spitsbergen) w sezonach letnich 2005-2009. Na podstawie pomiarów w 8 punktach stwierdzono znaczne różnice topoklimatyczne uwarunkowane rodzajem podłoża, wysokością nad poziom morza, odległością od morza, ekspozycją oraz lokalną cyrkulacją atmosferyczną. W rejonie Kaffiøry często występują sytuacje inwersyjne, związane nie tylko ze stratyfikacją termiczno-wilgotnościową napływających mas powietrza, ale również oddziaływaniem czynników lokalnych. Zróżnicowanie topoklimatyczne zmienia się w zależności od stopnia zachmurzenia i pory doby oraz w czasie formowania się wiatrów lokalnych (wiatry lodowcowe i fenowe).

Słowa kluczowe: Spitsbergen, Kaffiøyra, topoklimat, temperatura powietrza, wilgotność względna, kierunek i prędkość wiatru.

1. Wprowadzenie

Ze względu na niedobór energii słonecznej związany z niewielkim kątem padania promieni słonecznych, zjawiskiem dnia i nocy polarnej oraz dominacją powierzchni śnieżno-lodowcowych klimat regionów polarnych jest szczególnie wrażliwy na wszelkie zmiany zachodzące na kuli ziemskiej. Liczne sprzężenia zwrotne, jakie zachodzą między atmosferą, oceanem i kriosferą powodują, że regiony polarne podlegają o wiele szybszemu ociepleniu w porównaniu do niższych szerokości geograficznych (IPCC 2007). Zmiany temperatury powietrza w Arktyce wykazują przy tym znaczne zróżnicowanie regionalne (np. Przybylak 1996, 2003, 2007; Richter-Menge i in. 2006).

Specyficzne warunki klimatyczne występują w Arktyce Norweskiej, gdzie zaznacza się nie tylko wpływ czynników insolacyjno-radiacyjnych, ale szczególną rolę pełnią procesy mające swoją genezę w regionach pozapólnych (np. Johannessen i in. 2004, Styszyńska 2005, Walczowski i Piechura 2006, Chylek i in. 2009, Marsz i Styszyńska 2009). Położony w centralnych rejonach Arktyki Norweskiej Spitsbergen (największa wyspa Svalbardu) charakteryzuje się znacznym wzrostem temperatury

powietrza w ostatnich latach sięgającym (stacja Longyearbyen) 1,6°C/100 lat (Steffensen 1982, Førland i in. 1997, Hanssen-Bauer i Førland 1998, 2000; Førland i Hanssen-Bauer 2001, 2002; Overland i in. 2004, Nordli i Kohler 2004). Warunki klimatyczne w tym rejonie cechują się przy tym dużą zmiennością z roku na rok związaną z dynamiką atmosfery (niże przemieszczające się bruzdą islandzko-karską) zmianami temperatury powierzchni oceanu, cyrkulacją prądów morskich, a w szczególności zasięgiem lodów morskich. Nad Spitsbergen napływają różnorodne masy powietrza uformowane nad otwartymi wodami oceanicznymi oraz polami lodowymi Morza Arktycznego (Niedźwiedź 2006).

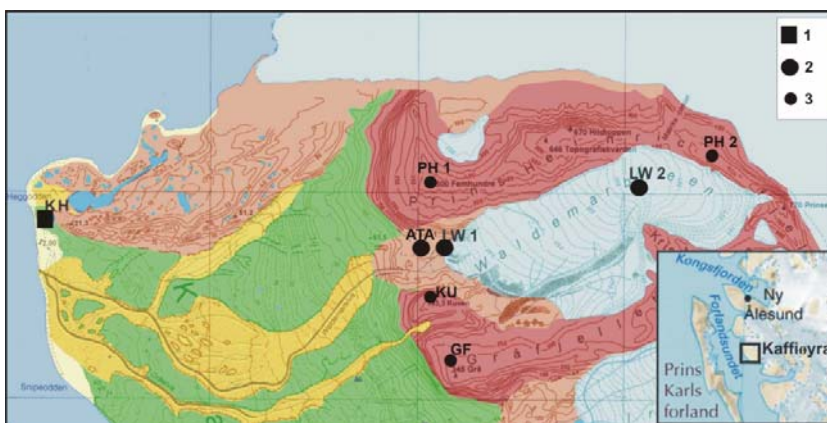
Warunki meteorologiczne na Spitsbergenie wykazują przy tym znaczne zróżnicowanie przestrzenne związane nie tylko z aktualną sytuacją synoptyczną, ale i czynnikami lokalnymi (np. Kamiński 1989, Migala i in. 2008, Przybylak i Araźny 2006). Szczególnie latem, w czasie dnia polarnego, mniejszą rolę odgrywa szerokość geograficzna, a bardziej zaznacza się wpływ orografii, odległości od wybrzeża (narastający w głąb wyspy kontynentalizm) i lokalnej cyrkulacji powietrza (np. Marciniak i Przybylak 1987, Przybylak 1989, 1992a, b; Kejna i in. 2000, Gluza i in. 2004, Przybylak i Araźny 2005, 2006; Przybylak i in. 2007, 2008). W skali lokalnej podstawowe znaczenie mają właściwości podłoża. Zróżnicowane albedo powierzchni, od niewielkiego albedo wody i skał po znaczne albedo powierzchni śnieżno-lodowcowych, wpływa na ilość energii słonecznej pochłanianej przez podłoże (Budzik i in. 2009). Również orografia terenu poprzez modyfikację kierunku i prędkość przepływu mas powietrza wpływa na lokalny klimat. Z ukształtowaniem powierzchni związana jest również ekspozycja względem słońca i zacienienie.

Badania topoklimatyczne na Spitsbergenie są skoncentrowane w kilku rejonach: najwcześniej rozpoczęto je w rejonie Hornsundu i Lodowca Werenskiolda (np. Baranowski 1968, Baranowski i Głowicki 1975, Pereyma i Piasecki 1988, Brázdil i in. 1991, Pereyma i Nasiółkowski 2007, Migala i in. 2008, Araźny i in. 2009, Marsz i Styszyńska 2009), a następnie w rejonie Kaffiøyry, gdzie pomiary meteorologiczne rozpoczęto już w 1975 r. (Leszkiewicz 1977), natomiast zróżnicowanie przestrzenne warunków meteorologicznych rozpoczęto badać w 1977 r. (Wójcik 1982) i kontynuowano w czasie kolejnych wypraw (m.in. Marciniak i Przybylak 1987, Wójcik i Przybylak 1991, Wójcik i in. 1992, 1993; Marciniak i in. 1993, Kejna i Dzieńszewski 1994, Araźny 1999, Kejna 2001). Od 2005 r. do badań zaczęto wykorzystywać automatyczne stacje meteorologiczne, wyniki tych badań zamieszczono w pracach: Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007, Maszewski i Wyszyński 2008. Znacznie później badania topoklimatyczne podjęto w rejonie Bellsundu (np. Gluza i Piasecki 1989, Brázdil i in. 1991, Gluza i in. 2004) oraz Isfiordu (np. Rachlewicz 2003, Rachlewicz i Styszyńska 2007).

Niniejsze opracowanie stanowi podsumowanie 5-letnich badań prowadzonych przez ośrodek toruński w rejonie Kaffiøyry w latach 2005-2009. W porównaniu do dotychczasowych badań zwiększono liczbę stanowisk, zakres rejestrowanych elementów oraz częstotliwość pomiarów. Głównym celem prowadzonych badań jest analiza zmienności czasowo-przestrzennej warunków meteorologicznych w rejonie Kaffiøyry w sezonie letnim. Poprzez odpowiednią lokalizację stanowisk starano się w artykule wykazać wpływ rodzaju podłoża, wysokości nad poziom morza, odległości od wybrzeża na zróżnicowanie topoklimatyczne w tym rejonie.

2. Dane i metody badań

W opracowaniu wykorzystano dane z 8 punktów pomiarowych w rejonie Kaffiøyry (NW Spitsbergen) z sezonów letnich 2005-2009 (tab. 1, ryc. 1). Główna stacja pomiarowa była zlokalizowana w bazie Toruńskich Wypraw Polarnych na morenie czołowo-bocznej Lodowca Aavatsmarka, niedaleko



Ryc. 1. Położenie stacji meteorologicznych wykorzystanych w opracowaniu na podkładzie mapy topograficznej K.R. Lankaufa (2002).

Objaśnienia: 1 – stacja Kaffiøyra-Heggodden, 2 – automatyczne stacje meteorologiczne, 3 – rejestratory temperatury i wilgotności powietrza

Fig. 1. Location of meteorological stations used in this study shown on a topographic map made by K. R. Lankauf (2002).

Explanation: 1 – Kaffiøyra-Heggodden station, 2 – automatic weather station, 3 – air temperature and humidity device

Tabela 1 – Table 1

Stanowiska meteorologiczne wykorzystane w opracowaniu
Meteorological stands used in this study

Stanowiska – Stands		φ	λ	m n.p.m. – m a.s.l.
KH	Kaffiøyra-Heggodden	78°41'34" N	11°51'39" E	11,5
ATA	ATA	78°40'31" N	11°59'30" E	137,0
LW1	Lodowiec Waldemara-1	78°40'31" N	12°00'01" E	130,0
LW2	Lodowiec Waldemara-2	78°40'59" N	12°05'15" E	375,0
LA	Lodowiec Aavatsmarka	78°57'46" N	11°57'46" E	130,0
KU	Kuven	78°40'53" N	12°00'53" E	193,0
GF	Gråfjellet	78°30'59" N	12°00'33" E	345,0
PH1	Prins Heinrichfjella-1	78°40'51" N	11°59'28" E	500,0
PH2	Prins Heinrichfjella-2	78°41'01" N	12°06'25" E	590,0

przylądka Heggodden, stąd też nazwano ją Kaffiøyra-Heggodden (KH). Na stacji KH prowadzono co 6 godzin (0, 6, 12 i 18 UTC) pomiary i obserwacje podstawowych elementów meteorologicznych oraz równoległe rejestrację automatyczną (stacja Vantage Pro 2). Pozostałe stanowiska, przeznaczone do badań topoklimatycznych, założono w rejonie Lodowca Waldemara. Jest to niewielki lodowiec typu alpejskiego, o powierzchni ok. 2,5 km² charakteryzujący się w ostatnich latach ujemnym bilansem masy sięgającym w latach 2002-2004 -62 cm ekwiwalentu wodnego na rok (Sobota 2005) i szybkim cofaniem się jego czoła, od 1909 r. o 660 m (Lankauf 2005). Główny profil pomiarowy prowadził od strefy morenowej Lodowca Waldemara (stanowisko ATA, 137 m n.p.m.), poprzez czoło lodowca (LW1, 130 m n.p.m.), aż po jego pole firnowe (LW2, 375 m n.p.m.). Pozostałe stanowiska zlokalizowano na otaczających ten lodowiec masywach górskich, na ryglu skalnym Kuven (KU, 193 m n.p.m.),

Gråfjellet (GF, 345 m n.p.m.) oraz Prins Heinrichfjella: stanowiska na wysokości 500 m n.p.m. (PH1) i 590 m n.p.m. (PH2).

W głównym profilu badania prowadzono przy pomocy automatycznych stacji meteorologicznych Vantage Pro (rejestracja ciśnienia atmosferycznego, kierunku i prędkości wiatru, temperatury i wilgotności względnej powietrza), natomiast w pozostałych stanowiskach zainstalowano rejestratory elektroniczne temperatury i wilgotności powietrza RH101, firmy MadgeTech. Pomiarów prowadzono na wysokości 200 cm, czujniki temperatury i wilgotności powietrza były umieszczone w osłonach antyradiacyjnych, natomiast na stanowisku PH2 czujnik był zainstalowany w klatce meteorologicznej na wysokości 20 cm n.p.g.

Okres pomiarowy w poszczególnych latach był zróżnicowany. Najwcześniej na Kaffiøyrze pomiary rozpoczęto w 2007 r. (od 4 lipca), najdłużej je prowadzono w 2005 r. (do 20 września) – tab. 2. Na stanowiskach topoklimatycznych okres pomiarowy był z przyczyn logistycznych krótszy. Wystąpiły też braki danych związane z awariami rejestratorów elektronicznych. Dlatego też dla celów porównawczych wybrano wspólny, najbardziej kompletny dla wszystkich wypraw, okres pomiarowy od 21.07 do 31.08, zwanym dalej „sezonem letnim”.

Tabela 2 – Table 2

Okres obserwacji meteorologicznych na stacji Kaffiøyra-Heggodden w latach 2005-2009
Period of meteorological observation at the Kaffiøyra-Heggodden station in the years 2005-2009

Rok Year	Okres obserwacji Observation period	Obserwatorzy Observers
2005	16.07-20.09	A. Araźny, K. Ówiklińska, R. Przybylak
2006	5.07-31.08	M. Kejna, R. Maszewski
2007	4.07-31.08	R. Maszewski, P. Wyszyński
2008	9.07-1.09	A. Nitowski, P. Wyszyński
2009	7.07-1.09	J. Jankowska, M. Kejna

Na wszystkich stanowiskach rejestracja była prowadzona z interwałem 10 minutowym. Dla stanowisk KH, ATA, LW1 i LW2 uzyskano dane o temperaturze i wilgotności powietrza oraz kierunku i prędkości wiatru (za wyjątkiem 2005 r. kiedy to na stanowisku LW1 działał tylko termohigrograf). Na pozostałych stanowiskach rejestrowano temperaturę i wilgotność powietrza.

Dane dotyczące typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie otrzymano dzięki uprzejmości T. Niedźwiedzia (2009). Były one już wielokrotnie prezentowane w jego publikacjach (np. Niedźwiedź 1997, 2006).

3. Wyniki

3. 1. Warunki pogodowe na stacji Kaffiøyra-Heggodden w latach 2005-2009

W latach 2005-2009 średnia temperatura powietrza w sezonie letnim, obliczona na podstawie pomiarów co 6 godzin, wyniosła 5,4°C i była wyższa o 0,6°C od średniej z dotychczasowych 17 wypraw w latach 1975-2009 (tab. 3). Jest to zgodne z obserwowaną tendencją do szybkiego wzrostu temperatury w wysokiej Arktyce (70-90°N) sięgającego 0,55°C/10 lat w okresie 1970-2008 (Chylek i in. 2009). Badany okres charakteryzował się nieznacznie większym stopniem zachmurzenia w stosunku do

średniej wieloletniej (8,6, w skali 0-10) i niższym usłonecznieniem (158,2 godz.). Średnia wartość ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza wyniosła 1012,4 hPa (od 1008,8 hPa w 2005 r. do 1017,2 hPa w 2009 r.). Prędkość wiatru, była zbliżona do średniej z wielolecia ($4,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), natomiast opady atmosferyczne były znacznie niższe (24,5 mm).

Tabela 3 – Table 3

Średnie wartości wybranych elementów meteorologicznych na stacji Kaffiøyra-Heggodden
w sezonach letnich 2005-2009

Mean values of selected meteorological elements at the Kaffiøyra-Heggodden station in the years 2005-2009

Element	2005	2006	2007	2008	2009	2005-2009	1975-2009
AP (hPa)	1008,8	1012,5	1009,7	1013,6	1017,2	1012,4	brak danych
V [m/s]	3,8	5,0	3,7	5,4	3,1	4,2	4,3
C [0-10]	9,1	8,3	8,7	8,9	7,9	8,6	8,4
SS [h]	149,4	158,0	132,0	131,7	220,0	158,2	162,9
Tmax abs [°C]	12,1	11,9	13,9	12,4	13,0	13,9	18,9
Tmax [°C]	7,5	7,0	7,4	6,1	7,6	7,1	6,5
Ti [°C]	5,8	5,2	5,5	4,5	6,1	5,4	4,8
Tmin [°C]	4,1	3,9	4,0	2,9	4,1	3,8	3,3
Tmin abs [°C]	1,4	1,0	-1,3	-0,8	0,9	-1,3	-4,2
DTR [°C]	3,4	3,1	3,6	3,2	3,5	3,4	3,2
e [hPa]	8,1	8,1	7,8	7,5	8,2	7,9	7,7
f [%]	87,0	91,0	85,0	88,0	87,0	87,6	88,5
Δe [hPa]	1,2	0,8	1,4	1,0	1,3	1,1	1,0
P [mm]	49,9	25,1	12,3	22,2	13,0	24,5	42,6

Objaśnienia: AP – ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza.; V – prędkość wiatru; C – zachmurzenie; SS – usłonecznienie; T – temperatura powietrza; DTR – amplituda dobowej temperatury powietrza, e – ciśnienie pary wodnej; f – wilgotność względna; Δe – niedosyt wilgotności; P – opad atmosferyczny

Explanations: AP – atmospheric pressure at sea level; V – wind velocity; C – cloudiness; SS – sunshine duration; T – air temperature; DTR – diurnal temperature range, e – water vapour pressure; f – relative air humidity; Δe – saturation deficit; P – precipitation

Analizowane lata różniły się pod względem przebiegu warunków pogodowych. Najniższa temperatura powietrza wystąpiła w 2008 r. ($4,5^{\circ}\text{C}$), był to rok bardzo pochmurny (8,9), o najmniejszej liczbie godzin ze Słońcem (131,7) i największej średniej prędkości wiatru ($5,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Najwyższa średnia temperatura wystąpiła w 2009 r. ($6,1^{\circ}\text{C}$), przy najmniejszym zachmurzeniu (7,9) oraz znacznym usłonecznieniu (220,0 godz.). Największe zachmurzenie (9,1) i opady atmosferyczne (49,9 mm) wystąpiły w 2005 r.

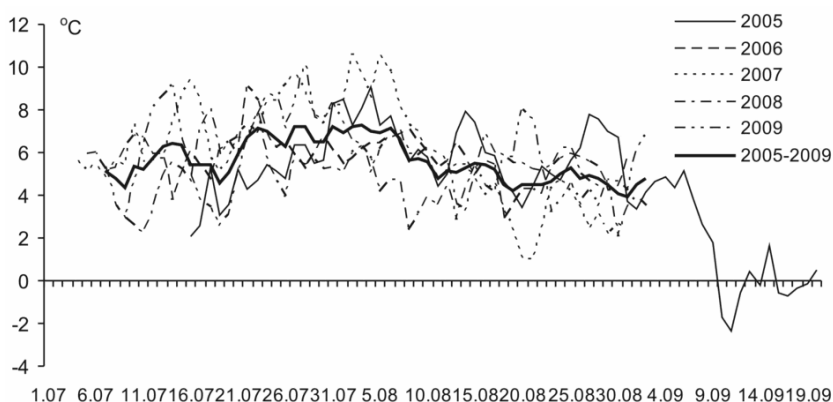
Tak zróżnicowane warunki pogodowe w analizowanych sezonach były związane ze specyfiką cyrkulacji atmosferycznej, a zwłaszcza częstością oddziaływania ośrodków niskiego i wysokiego ciśnienia oraz kierunkiem adwekcji mas powietrza. Według klasyfikacji T. Niedźwiedzia w analizowanym okresie w trzech latach przeważały sytuacje antycyklonalne, w 2009 r. stanowiły one aż 69,0%, w 2006 i 2008 po 52,4%. Natomiast w 2005 i 2007 r. wystąpiła dominacja sytuacji cyklonalnych (76,2% i 78,6% odpowiednio).

3.2. Zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza

Temperatura powietrza jest uzależniona od bilansu cieplnego powierzchni czynnej, którego jednym z najważniejszych elementów jest bilans radiacyjny. Oddziaływanie wielu czynników modyfikujących

wielkość dopływającego do powierzchni ziemi promieniowania słonecznego (np. zachmurzenie, ekspozycja, zacienienie, albedo) oraz adyabatyczne zmiany temperatury wraz z wysokością, adwekcja różnych mas powietrza, itp., powodują znaczne zróżnicowanie przestrzenne tego elementu.

W sezonie letnim w latach 2005-2009 na stacji Kaffiøyra-Heggodden najwyższa średnia dobową temperaturę powietrza wystąpiła na przełomie lipca i sierpnia ($7,3^{\circ}\text{C}$), a następnie temperatura stopniowo się obniżała wraz z malejącym kątem padania promieni słonecznych i zakończeniem dnia polarnego (ryc. 2). W poszczególnych latach w przebiegu temperatury powietrza zaznaczają się okresy ciepłe ze średnimi wartościami dobowymi temperatury sięgającymi $8-10^{\circ}\text{C}$. Są one uwarunkowane adwekcją z południa oraz występowaniem zjawisk fenowych (Wójcik i in. 1992). Równie często występują ochłodzenia związane z adwekcją chłodnych mas powietrza z północy lub zachodu.



Ryc. 2. Przebieg średnich dobowych wartości temperatury powietrza na Stacji Kaffiøyra-Heggodden w czasie sezonów letnich w latach 2005-2009

Fig. 2. Course of mean daily air temperature at the Kaffiøyra-Heggodden station during summer seasons 2005-2009

Pomiędzy stanowiskami topoklimatycznymi a wybrzeżem (stanowisko KH) występują znaczne różnice w temperaturze powietrza. W okresie 21.07-31.08 najwyższa średnia temperatura powietrza wystąpiła na wybrzeżu (KH – $5,8^{\circ}\text{C}$ – wartość obliczona z danych 10-minutowych) – tab. 4. Dość wysokie temperatury wystąpiły w obrębie łuku moren czołowych Lodowca Waldemara (ATA – $5,1^{\circ}\text{C}$). U czoła lodowca (LW1) temperatura była znacznie niższa ($4,5^{\circ}\text{C}$). Tak znaczne obniżenie temperatury na dystansie około 300 m związane jest z częstszym napływem chłodnego powietrza ukształtowanego nad powierzchnią lodowca. Najniższa średnia temperatura powietrza wystąpiła na polu firnowym Lodowca Waldemara (LW2 – $2,9^{\circ}\text{C}$), jest to efekt oddziaływania śnieżno-lodowcowego podłoża. Na pobliskim szczycie Gråfjellet, na podobnej wysokości nad poziom morza, średnia temperatura powietrza była o $1,1^{\circ}\text{C}$ wyższa. Na terenach górskich temperatura powietrza obniżała się z wysokością, jednak wystąpiły przy tym liczne zaburzenia związane z ekspozycją w stosunku do słońca i silnym nagrzewaniem podłoża, np. na wysokości 345 m n.p.m. temperatura wyniosła $4,0^{\circ}\text{C}$ (GF), podczas gdy na wysokości 500 m n.p.m. (PH1) $4,2^{\circ}\text{C}$. Na najwyższym położonym stanowisku (PH2 – 590 m n.p.m.) średnia temperatura w analizowanym okresie wyniosła $3,6^{\circ}\text{C}$.

Średni pionowy gradient temperatury powietrza pomiędzy stanowiskami KH i ATA wyniósł $-0,53^{\circ}\text{C}$ na 100 m, natomiast dla LW1 $-1,02^{\circ}\text{C}\cdot 100\text{ m}^{-1}$. Na Lodowcu Waldemara gradient między stanowiskami LW1 i LW2 zbliżony był do wilgotno-adiabatywnego i wyniósł $-0,63^{\circ}\text{C}\cdot 100\text{ m}^{-1}$. Na stanowiskach górskich pionowe gradienty są niższe, np. dla stanowiska PH1 ($-0,33^{\circ}\text{C}\cdot 100\text{ m}^{-1}$) i PH2 ($-0,38^{\circ}\text{C}\cdot 100\text{ m}^{-1}$) – tab. 4. Obniżone gradienty świadczą o oddziaływaniu czynników lokalnych w rejonie szczytów górskich oraz o stratyfikacji napływających nad Spitsbergen mas powietrza. Masy te ukształtowane nad chłodnymi wodami oceanicznymi, często posiadają stałą, a nawet inwersyjną stratyfikację termiczną.

Tabela 4 – Table 4

Średnie wartości temperatury powietrza w rejonie Kaffiøry w latach 2005-2009
Mean air temperature in the Kaffiøra region in the years 2005-2009

Stanowisko Stands	21-31.07	1-10.08	11-20.08	21-31.08	21.07-31.08	Gradient ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)* Lapse rate ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)*
KH	6,8	6,6	5,0	4,6	5,8	
ATA	6,5	5,8	4,1	3,9	5,1	-0,53
LW1	5,7	5,1	3,7	3,6	4,5	-1,02
LW2	4,1	3,7	1,8	2,1	2,9	-0,78
KU	6,5	4,3	4,6	4,8	5,6	-0,09
GF	5,6	4,9	2,2	2,6	4,0	-0,53
PH1	6,3	5,4	2,1	2,9	4,2	-0,33
PH2	5,5	4,9	0,9	0,9	3,6	-0,38

*- pionowy gradient temperatury w stosunku do stacji KH – vertical lapse rate related to KH station

Pomiędzy średnimi dobowymi wartościami temperatury powietrza na poszczególnych stanowiskach topoklimatycznych występuje zależność liniowa. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona (r) w stosunku do stanowiska KH jest istotny statystycznie ($p < 0,001$) dla wszystkich stanowisk, osiąga 0,88 na stanowiskach ATA i LW1 i maleje w miarę wzrostu odległości od wybrzeża i wysokości nad poziom morza, np. na LW2 $r = 0,76$, GF $r = 0,77$ (tab. 5). Wartości te, pomimo niewielkich odległości pomiędzy stanowiskami, są niezbyt wysokie, co świadczy o znacznej roli czynników lokalnych w kształtowaniu temperatury powietrza w tym rejonie.

Tabela 5 – Table 5

Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy stanowiskami topoklimatycznymi, sezony letnie 2005-2009
Linear Pearson correlation coefficients between topoclimatic stands, summer seasons 2005-2009

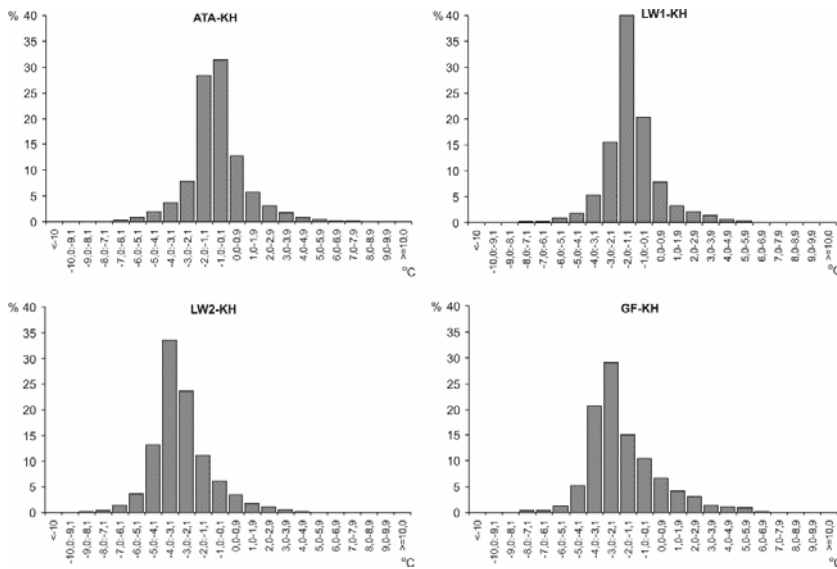
Stanowisko – Stand	ATA	LW1	LW2	GF	PH1	PH2
KH	0,88	0,88	0,76	0,77	0,81	0,82
ATA		0,92	0,80	0,93	0,88	0,82
LW1			0,83	0,90	0,87	0,80
LW2				0,74	0,79	0,66
PH1					0,94	0,91
PH2						0,96

Zależności między średnimi dobowymi wartościami temperatury na stanowiskach topoklimatycznych a wybrzeżem (KH) opisują poniższe równania, istotne na poziomie $p < 0,001$:

$$\begin{aligned} \text{ATA} \quad y &= 1,0311x - 0,8254, \\ \text{LW1} \quad y &= 0,9475x - 0,8354, \\ \text{LW2} \quad y &= 0,8364x - 1,8248, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GF} \quad y &= 1,2243x - 2,9988, \\ \text{PH1} \quad y &= 1,2243x - 2,9988, \\ \text{PH2} \quad y &= 1,4227x - 4,7053. \end{aligned}$$

Po obliczeniu częstości różnic temperatury powietrza (wartości 10 minutowe) między stanowiskami topoklimatycznymi a KH w przedziałach co 1°C stwierdzono, że na obszarze morenowym Lodowca Waldemara (ATA) najczęściej występują różnice w przedziałach od -0,1 do -2,0°C (59,7%) – ryc. 3. Często jednak formują się sytuacje przeciwne, cieplej jest na stanowisku ATA niż na wybrzeżu, w sumie stanowią one 25,1%. Na czole Lodowca Waldemara (LW1) w stosunku do KH jest chłodniej, różnice sięgające od -0,1 do -3,0°C stanowią 76,0%, zdarzają się jednak sytuacje, gdy również na tym stanowisku jest cieplej (15,6%). Na polu firnowym Lodowca Waldemara (LW2) ochładzający wpływ podłoża oraz znaczna wysokość powoduje, że 81,4% wszystkich sytuacji stanowią przypadki z różnicą od -1,0 do -5,0°C. Inwersja temperatury (cieplej na polu firnowym) występuje rzadko (7,0%). Stanowiska zlokalizowane na terenach górskich ze względu na wysokość są chłodniejsze, ale wartości różnic są rozproszone w szerokim zakresie, np. w przedziale od -0,1 do -4,0°C na stanowisku GF stanowią one 75,1, a na PH1 64,0%. Na PH2 najczęściej różnice występują w przedziale od -1,1 do -5,0°C (70,5%). Również na tych stanowiskach występują sytuacje inwersyjne (GF – 17,5%, PH1 – 24,2%, PH2 – 13,7%).



Ryc. 3. Histogramy różnic średniej dobowej temperatury powietrza między stanowiskami topoklimatycznymi a KH w sezonach letnich 2005-2009

Fig. 3. Histograms of the differences of mean daily air temperature between topoclimatic stands and KH station in the summer seasons 2005-2009

Wielkość różnic temperatury powietrza pomiędzy stanowiskami jest uzależniona m.in. od zachmurzenia, które nie tylko ogranicza dopływ promieniowania słonecznego, ale również zmniejsza straty promieniowania od powierzchni ziemi. Nierównomierne pochłanianie promieniowania słonecznego

poprzez silnie zróżnicowaną powierzchnię analizowanego obszaru powinno sprzyjać większym różnicom topoklimatycznym. Przeprowadzona analiza wykazała jednak bardziej złożoną naturę tego problemu. Na stanowisku KH co 6 godzin wykonywano obserwacje wielkości zachmurzenia i rodzaju chmur. Na podstawie 840 obserwacji wykonanych w okresie od 21.07 do 31.08 w latach 2005-2009 stwierdzono, że sytuacje z małym zachmurzeniem (0-2/10) występują bardzo rzadko (4,8%), również zachmurzenie częściowe (3-8/10) stanowi nieznaczny procent obserwacji (22,4%). Dominuje natomiast duże lub pełne zachmurzenie (72,7%) – tab. 6. W czasie sytuacji o małym zachmurzeniu różnice temperatury powietrza pomiędzy stanowiskami topoklimatycznymi a KH maleją, np. ATA -0,4°C, LW1 -0,8°C, a nawet występują sytuacje inwersyjne, np. KU 0,8°C, PH1 1,4°C. Jest to związane z większym nagrzewaniem terenów morenowych i szczytów wzniesień niż wybrzeża (KH), gdzie oddziaływanie chłodnych wód morskich jest większe. Nawet na polu firnowym Lodowca Waldemara (LW2) różnica w stosunku do stanowiska KH ulega wyraźnemu zmniejszeniu, ponieważ często napływa tam powietrze ukształtowane nad sąsiednimi morenami i stokami gór. Przy pełnym i dużym zachmurzeniu różnice temperatury powietrza zwiększają się, np. ATA -0,9°C, LW1 -1,3°C, LW2 -2,9°C, GF -2,1°C, PH2 -2,6°C.

Tabela 6 – Table 6

Średnie różnice temperatury powietrza [°C] na stanowiskach topoklimatycznych w stosunku do stanowiska KH w zależności od wielkości zachmurzenia, 21.07-31.08 w latach 2005-2009

Mean values of air temperature differences [°C] between topoclimatic stands and KH in comparison to cloudiness, 21.07-31.08 in the years 2005-2009

Zachmurzenie (0-10) Cloudiness (0-10)	Częstość (%) Frequency (%)	Stanowiska – Stands							
		ATA	LW1	LW2	KU	GF	PH1	PH2	
0-2	4,8	-0,4	-0,8	-2,3	0,8	-0,1	1,4	-0,9	
3-8	22,4	-0,4	-0,9	-2,7	0,0	-1,3	-0,5	-1,6	
9-10	72,7	-0,9	-1,3	-2,9	-0,9	-2,1	-2,0	-2,6	

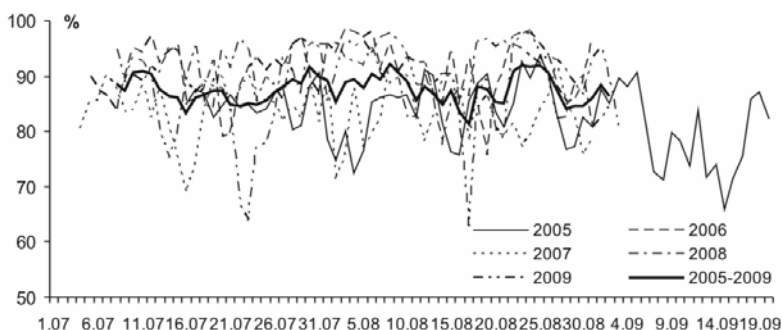
3.3. Zróżnicowanie przestrzenne wilgotności względnej powietrza

Wilgotność względna powietrza w rejonie Kaffiøyry jest wysoka ze względu na przewagę mas powietrza morskiego (tab. 7). Największa wilgotność względna występuje na wybrzeżu (KH 87,7%) oraz na szczytach górskich (GF 91,2%, PH2 91,8%). Najmniejsze nasycenie powietrza występuje na terenie morenowym (ATA 80,3%) oraz u czoła Lodowca Waldemara (LW1 81,4%). Wraz z wysokością wilgotność względna na lodowcu wzrasta osiągając na jego polu firnowym (LW2) 83,6%.

W sezonowym przebiegu wilgotności zaznaczają się jednak częste zaburzenia związane z sytuacjami fenowymi, zwłaszcza przy adwekcji ze wschodu, w czasie których średnie dobowe wartości wilgotności względnej spadają poniżej 70% (ryc. 4).

3.4. Zróżnicowanie przestrzenne kierunku i prędkości wiatru

Stosunki anemologiczne są uzależnione od sytuacji synoptycznej oraz lokalnych uwarunkowań związanych z orografią. W silnie zróżnicowanym hipsometrycznie rejonie Kaffiøyry występują wiatry tunelowe i fenowe. Nad nachyloną powierzchnią lodowców rozwija się sływ katabatyczny (wiatry lodowcowe) – Kejna, Maszewski 2007. Nierównomierne nagrzewanie podłoża prowadzi do lokalnej cyrkulacji w postaci wiatrów górskich i dolinnych, a nawet w strefie wybrzeża do cyrkulacji bryzowej (zwłaszcza bryzy morskiej w godzinach około południowych) – Kejna 1989.



Ryc. 4. Przebieg średnich dobowych wartości wilgotności względnej powietrza na Stacji Kaffiøyra-Heggodden w czasie wypraw polarnych w latach 2005-2009

Fig. 4. Course of daily mean relative air humidity values at the Kaffiøyra-Heggodden station during summer seasons 2005-2009

Tabela 7 – Table 7

Średnie wartości wilgotności względnej powietrza w rejonie Kaffiøyry w sezonach letnich w latach 2005-2009

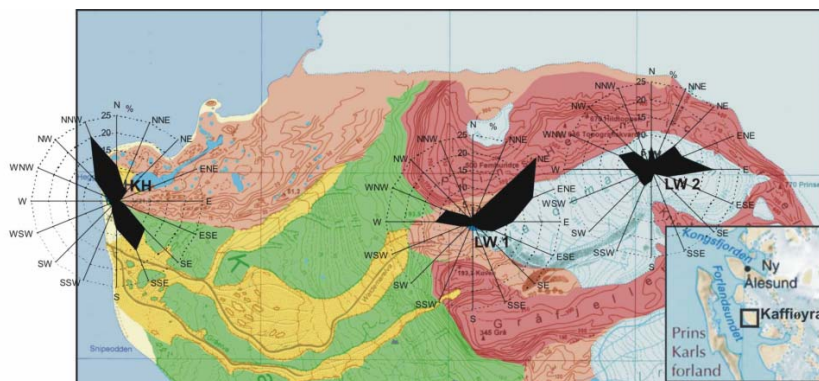
Mean values of relative air humidity in the Kaffiøyra region in the summer seasons 2005-2009

Stanowisko - Stand	21-31.07	1-10.08	11-20.08	21-31.08	21.07-31.08
KH	87,3	89,2	86,0	88,2	87,7
ATA	79,0	81,4	81,4	79,6	80,3
LW1	80,6	83,4	82,0	79,7	81,4
LW2	83,0	83,3	86,0	82,2	83,6
KU	83,6	95,3	88,6	80,4	88,5
GF	89,4	91,2	93,9	90,6	91,2
PH2	86,8	88,4	98,4	93,6	91,8

Na wybrzeżu (stacja KH) przeważają wiatry zgodne z przebiegiem Cieśniny Forland, najczęstsze są wiatry NNW (20,0%), SSE (15,1%), SE (11,3%), N (10,0%) i NW (8,5%) – ryc. 5. Ciszę pojawiają się rzadko (2,2%). Przed czołem Lodowca Waldemara dominują wiatry lodowcowe, na stanowisku ATA wiatry z sektora NE do ESE stanowią 58,9% wszystkich przypadków, z najczęstszym ENE (17,8%), podobnie na stanowisku LW1 (61,6%), z najczęstszym NE (25,5%). Zwiększoną częstością charakteryzują się również wiatry zachodnie w tym rejonie (ATA – 9,9%, LW1 – 10,4%), w czasie których powietrze wpychane jest w górę Lodowca Waldemara. Częstość cisz jest niewielka (ok. 2%). Odmienne kształtuje się cyrkulacja powietrza na polu firnowym (LW2) osłoniętym przez masywy górskie. Przeważają tu wiatry z sektora wschodniego (E – 17,1% i NE, ENE po 9,3%), czyli zgodne z osią pola firnowego oraz wiatry WNW (9,9%), NW (6,9%) i W (6,0%) związane z napływem powietrza wzdłuż jezora lodowcowego. Również od strony przełęczy Malinka Passet (N – 6,1%) występuje zwiększona częstość przepływu powietrza. Częstość cisz na polu firnowym jest największa i sięga 5,2%.

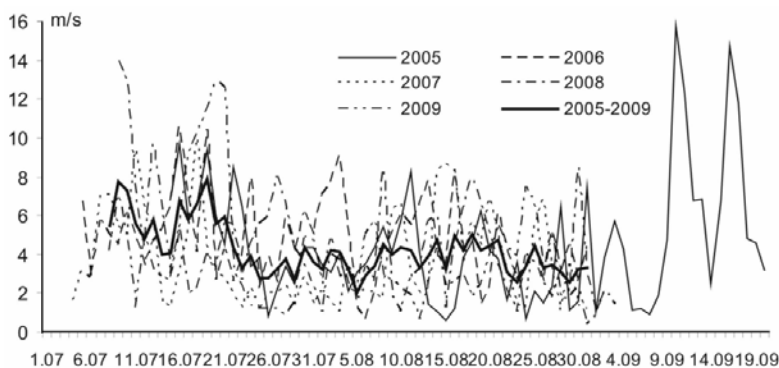
Największa średnia prędkość wiatru jest charakterystyczna dla wybrzeża KH (3,7 m·s⁻¹ – dane ze stacji automatycznej), zdecydowanie słabsze wiatry występują w rejonie Lodowca Waldemara osłoniętego masywami Prins Heinrichfjella i Gråfjellet przed dominującym w tym rejonie południkowym przepływem powietrza. Na stanowisku ATA średnia prędkość wiatru wyniosła 1,9 m·s⁻¹, na czołe lodowca (LW1) 2,1 m·s⁻¹ i na najbardziej osłoniętym polu firnowym (LW2) 1,8 m·s⁻¹. W przebiegu sezo-

nowym prędkości wiatru zaznaczają się dni z silnymi wiatrami, w których średnie dobowe wartości przekraczają $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ryc. 6).



Ryc. 5. Częstość kierunków wiatru i ciszy w rejonie Kaffiøry w sezonach letnich 2005-2009

Fig. 5. Frequency of wind directions and calms in the Kaffiøyra region during summer seasons 2005-2009



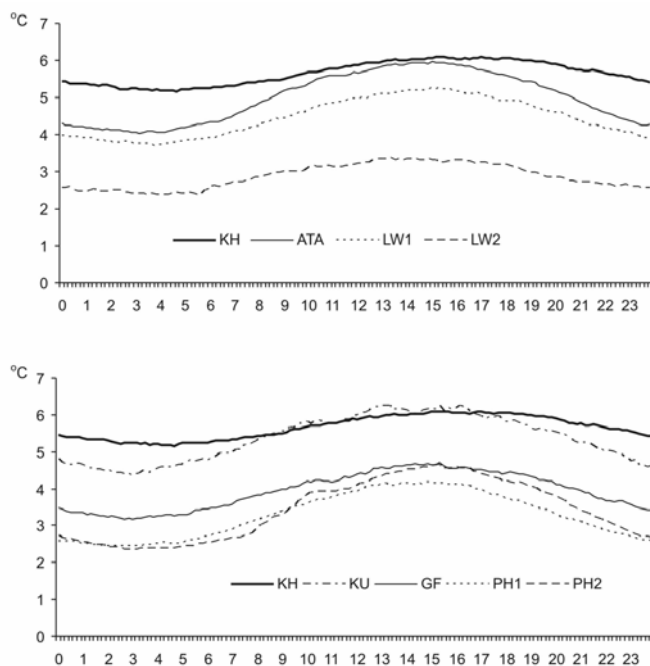
Ryc. 6. Przebieg średnich dobowych prędkości wiatru na Stacji Kaffiøyra-Heggodden w sezonach letnich w latach 2005-2009

Fig. 6. Course of daily mean wind velocity at the Kaffiøyra-Heggodden station during summer seasons 2005-2009

Największe średnie prędkości wiatru na wybrzeżu (KH) są związane z wiatrami o największej częstości, zgodnymi z przebiegiem Cieśniny Forland: NNW – $5,3$, SSE – $5,0$ i SE – $4,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, najsłabsze są wiatry poprzecznie skierowane do Cieśniny, E i W po $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Przed czołem Lodowca Waldemara (ATA, LW1) wiatry o największej częstości (wiatry lodowcowe) nie charakteryzują się dużą prędkością. Masy powietrza spływające z lodowca osiągają średnią prędkość poniżej $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, np. na stanowisku ATA wiatr z kierunku ENE – $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a na LW1 wiatr NE – $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Najsilniejsze są natomiast wiatry z kierunku zachodniego (ATA – $3,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, LW1 – $4,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Na polu firmowym Lodowca Waldemara (LW2) najsilniejsze są wiatry południowe ($4,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) przekraczające niewysoki grzbiet Gråfjellet, wiatry najczęstsze (E) są niezbyt silne $1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3.5. Zróżnicowanie topoklimatyczne w cyklu dobowym

Różnice topoklimatyczne pomiędzy stanowiskami zmieniają się w ciągu doby. W porównaniu do wybrzeża uśredniony przebieg dobowy temperatury powietrza na stanowisku ATA charakteryzuje się większą amplitudą (ryc. 7). W godzinach „nocnych” różnica temperatury pomiędzy KH i ATA sięga 1°C, w godzinach popołudniowych różnica maleje do 0,2°C, świadczy to o silnym nagrzewaniu się moren w okresie najwyższego położenia słońca. Słabiej to zjawisko jest widoczne bliżej czoła Lodowca Waldemara (LW2). Skok termiczny pomiędzy obszarem morenowym i zlodowaconym występuje zwłaszcza w godzinach okołopołudniowych. Uśredniony przebieg dobowy temperatury powietrza na polu firnowym jest spłaszczony, a różnice w stosunku do wybrzeża utrzymują się na stałym poziomie. Stanowiska położone w terenie górskim charakteryzują się znacznym wzrostem temperatury powietrza w godzinach około południowych, na stanowisku KU jest wtedy cieplej, pomimo 182 m różnicy wysokości w stosunku do KH. Przy niskich położeniach słońca zaznacza się na tych stanowiskach znaczne ochłodzenie, a pionowe gradienty temperatury przyjmują najwyższe wartości.

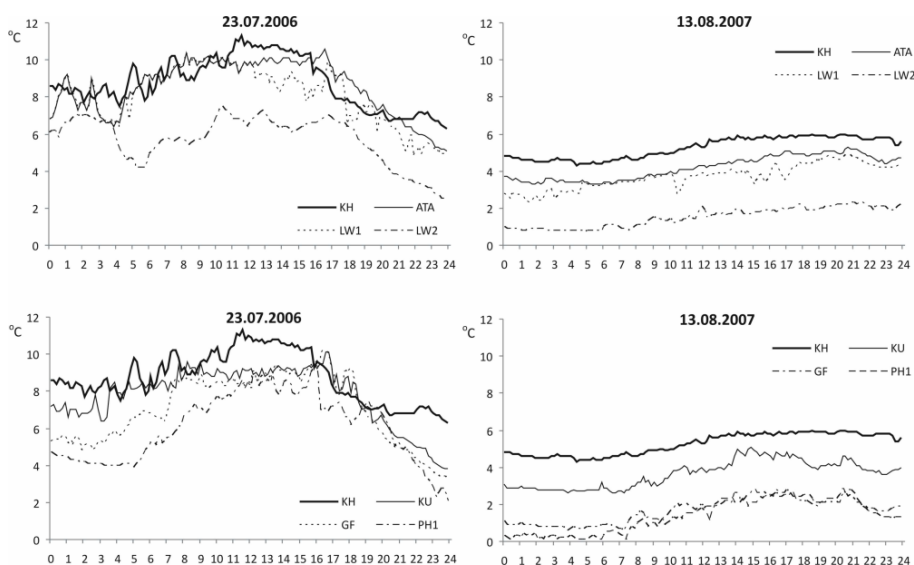


Ryc. 7. Uśredniony przebieg dobowy temperatury powietrza w rejonie Kaffiøyra w sezonach letnich w latach 2005-2009

Fig. 7. Average daily course of air temperature in the Kaffiøyra region in summer seasons 2005-2009

W poszczególnych dniach występują liczne zaburzenia i zróżnicowane sytuacje. Na ryc. 8 przedstawiono przebieg temperatury powietrza w dniach 23 lipca 2006 r. i 13 sierpnia 2007 r. W pierwszym dniu zachmurzenie było małe (2,5/10), wystąpiło 18,9 godzin ze słońcem, a natężenie promieniowania słonecznego w godzinach południowych osiągnęło 462 W·m⁻². Różnice temperatury powietrza między stanowiskami zmieniały się w ciągu doby. Przed czołem lodowca (stanowiska ATA, LW1) temperatura

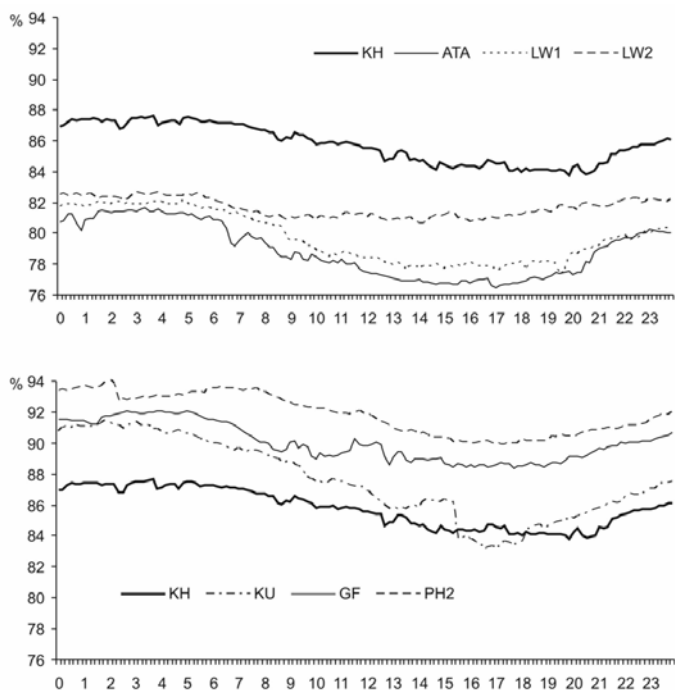
powietrza w godzinach przedpołudniowych była zbliżona, a nawet wyższa niż na wybrzeżu (KH). Następnie wyraźnie zaznaczyło się obniżenie temperatury na tych stanowiskach związane z nasileniem się spływu katabatycznego (różnice w stosunku do KH sięgały 2°C, zwłaszcza na LW1). Zdecydowanie najchłodniej było na polu firnowym Lodowca Waldemara (LW2). Na wzniesieniach (np. stanowiska KU, GF, PH1) najmniejsze różnice temperatury powietrza w porównaniu do KH wystąpiły w godzinach okołopołudniowych (ryc. 8). Przy niskich położeniach słońca pionowe gradienty temperatury powietrza wzrastały. Natomiast 13.08.2007 r. zachmurzenie było całkowite, nie wystąpiło ustonecznienie, a maksymalne natężenie promieniowania słonecznego sięgało 175 W·m⁻². Przebiegi dobowe na poszczególnych stanowiskach były wyrównane (ryc. 8). Pomiędzy stanowiskami utrzymywały się zbliżone różnice temperatury powietrza uwarunkowane wysokością nad poziomem morza oraz oddziaływaniem podłoża. Największe zaburzenia wystąpiły na czole Lodowca Waldemara (LW1), gdzie często dochodzi do napływu różnych mas powietrza ukształtowanych nad lodowcem lub też nad terenem niezlodowaconym.



Ryc. 8. Przebieg dobowy temperatury powietrza na wybranych stanowiskach w rejonie Kaffiøyry w dniach 24.07.2006 i 13.08.2007

Fig. 8. Course of air temperature at the selected stands in the Kaffiøyra region in the days: 24.07.2006 and 13.08.2007

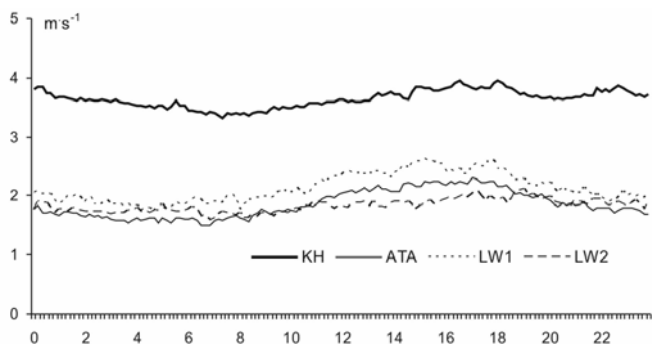
Uśredniony przebieg dobowy wilgotności względnej na wszystkich stanowiskach charakteryzuje się wyraźnym minimum w godzinach popołudniowych i najwyższymi wartościami w godzinach „nocnych” (ryc. 9). Jest on odwrócony w stosunku do przebiegu temperatury powietrza, od której uzależnione jest maksymalne ciśnienie pary wodnej. Najślabiej wyrażony przebieg dobowy (wyrównana wilgotność względna) występuje na polu firnowym Lodowca Waldemara, gdzie często utrzymują się mgły (chmury). Na terenach górskich występuje znaczna zmienność tego parametru związana z nagrzewaniem zboczy oraz obecnością chmur. Często wierzchołki gór sięgały ponad niskie chmury, które obejmują nizinę nadmorską i czoło lodowca.



Ryc. 9. Uśredniony przebieg dobowy wilgotności względnej powietrza w rejonie Kaffiøryry w sezonach letnich 2005-2009

Fig. 9. Average daily course of relative air humidity in the Kaffiøyra region in summer seasons 2005-2009

Uśredniony przebieg dobowy prędkości wiatru na wybrzeżu jest wyrównany ze względu na dużą dynamikę atmosfery wynikającą z makrogradientu ciśnienia (ryc. 10). Nierównomierne nagrzewanie podłoża (zwłaszcza na kontakcie morze-łąd, lodowiec-tereny niezlodowacone) sprzyja tworzeniu się lokalnej cyrkulacji powietrza i niewielkim nasileniem prędkości wiatru w godzinach popołudniowych. Maksimum to zaznacza się wyraźniej w rejonie Lodowca Waldemara, gdzie częściej występują wiatry lodowcowe.



Ryc. 10. Uśredniony przebieg dobowy prędkości wiatru w rejonie Kaffiøryry w sezonach letnich 2005-2009

Fig. 10. Average daily course of wind velocity in the Kaffiøyra region in summer seasons 2005-2009

4. Podsumowanie i wnioski

W rejonie Kaffiøyry, podobnie jak w innych rejonach Spitsbergenu, wykształcił się lokalny klimat związany z orografią terenu, zróżnicowanym podłożem (lodowce, tundra, sandr, moreny), hipsometrią, wysokością nad poziom morza, odległością od morza oraz cyrkulacją atmosferyczną. Zróżnicowanie topoklimatyczne zaznacza się w rozkładzie wszystkich elementów meteorologicznych. W sezonie letnim najwyższa temperatura powietrza występuje na wybrzeżu (KH – 5,8°C). Na terenach zlodowconych zaznacza się wpływ śnieżno-lodowcowego podłoża, np. na Lodowcu Waldemara temperatura powietrza w porównaniu do wybrzeża jest na czole (LW1) niższa o 1,3°C, a na polu firnowym (LW2) o 2,9°C – jest to efekt nie tylko wysokości nad poziom morza, ale głównie oddziaływanie ogromnej masy topniejącego lodowca. Strefa marginalna Lodowca Waldemara charakteryzuje się wysokimi temperaturami (ATA – 5,1°C). Na przedpolu Lodowca Waldemara występuje charakterystyczny skok termiczny, na niewielkim dystansie ok. 300 m (między ATA a LW1) temperatura powietrza jest niższa o 0,6°C. Na terenach górskich większy wpływ na temperaturę wywiera ekspozycja względem słońca oraz lokalna cyrkulacja. Przy pogodzie insolacyjnej następuje intensywne nagrzewanie się podłoża, a temperatura powietrza często jest wyższa niż na wybrzeżu, mimo znacznych różnic wysokości (inwersja temperatury).

Wilgotność względna powietrza jest wysoka ze względu na przewagę morskich mas powietrza. Najwyższe nasycenie powietrza parą wodną występuje na wybrzeżu (KH – 88%) oraz w górach (np. GF – 91%, PH2 – 92%) i na polu firnowym Lodowca Waldemara (LW2 – 84%), jest to wpływ spadku temperatury z wysokością. Najmniejsza wilgotność powietrza występuje na przedpolu Lodowca Waldemara (ATA – 80%). Jest to związane z adyabatycznym ogrzewaniem mas powietrza przemieszczonych przez wiatry lodowcowe. Przebieg wilgotności powietrza często zaburzą wiatry fenowe, w czasie których wilgotność względna zmniejsza się do 60-70%.

Zróżnicowana hipsometria występują sprzyja formowaniu się wiatrów tunelowych i fenowych. Nad nachyloną powierzchnią lodowców rozwija się spływ katabatyczny (wiatry lodowcowe), a nierównomierne nagrzewanie podłoża prowadzi do tworzenia wiatrów górskich i dolinnych, a nawet w strefie wybrzeża do cyrkulacji bryzowej.

Różnice topoklimatyczne między stanowiskami w rejonie Kaffiøyry są uzależnione od warunków insolacyjno-radiacyjnych, które w warunkach dnia polarnego znacznie zmieniają się pod wpływem zachmurzenia. Przy małym stopniu zachmurzenia, w wyniku intensywnej insolacji, następuje nagrzewanie terenów morenowych i górskich, co w konsekwencji zmniejsza różnice temperatury w porównaniu do wybrzeża, gdzie zaznacza się ochładzający wpływ wód morskich. Przy dużym zachmurzeniu różnice pomiędzy stanowiskami utrzymują się przez całą dobę na podobnym poziomie. Zróżnicowanie topoklimatyczne zwiększa się w czasie formowania się lokalnej cyrkulacji mas powietrza, np. wiatrów lodowcowych czy fenowych.

Podziękowania

Opracowanie wykonano w ramach projektów: IPY/272/2007 pt. „Struktura przestrzenna pola temperatury powietrza jako podstawa do rozpoznania mechanizmów funkcjonowania ekosystemów na obszarze Zachodniego Spitsbergenu (TOPOCLIM)” oraz PNRF- 22- AI-1/07 pt. „Klimat Arktyki a środowisko Mórz Nordyckich, Svalbardu i Grenlandii (AWAKE)”.

Literatura

- Arażny A., 1999. Warunki meteorologiczne na Równinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w okresie 20.07-2.09.1998. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 9: 103–116.
- Arażny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., Puczko D., 2009. Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w ciepłej porze roku 2007 i 2008. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 203–222.
- Baranowski S., 1968. Termika tundry peryglacialnej SW Spitsbergen. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 68; *Studia Geograficzne*, 10: 77 s.
- Baranowski S., Głowicki B., 1975. Meteorological and hydrological investigations in the Hornsund region made in 1970. [w:] *Results of investigations of the Polish Scientific Expeditions 1970-1974. vol. I. Acta Universitatis Wratislaviensis*, 251: 35–39.
- Brzdil R., Prošek P., Paczos S., Siwek K., 1991. Comparison of meteorological conditions in Calypsobyen and Reindalen in summer 1990. *Wyprawy Geograficzne UMCS na Spitsbergen*, Lublin: 57–76.
- Budzik T., Sikora S., Arażny A., 2009. Przebieg roczny salda promieniowania powierzchni czynnej w Hornsundzie (V 2008 - IV 2009). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 233–246.
- Chylek P., Folland C.K., Lesins G., Dubey M.K., Wang M., 2009. Arctic air temperature change amplification and the Atlantic. *Multidecadal Oscillation. Geophysical Research Letters*, 36, L14801, doi:10.1029/2009GL038777.
- Førland E. J., Hanssen-Bauer I., Nordli P. Ø., 1997. Climate statistic and longterm series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen. *DNMI Report No. 21/97 Klima*, Oslo: 1–72.
- Førland E. J., Hanssen-Bauer I., 2001. Changes in Temperature and precipitation in the Norwegian Arctic during the 20th Century. [w:] *India M. B., Bonillo D. L. (eds.), Detecting and Modelling Regional Climate Change*, Springer: 153–161.
- Førland E. J., Hanssen-Bauer I., 2002. Twentieth-century variations in temperature and precipitation in the Nordic Arctic. *Polar Record*, 38 (206): 203–210.
- Gluza A., Piasecki J., 1989. Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu cech klimatu południowego Bellsundu na przykładzie sezonu wiosenno-letniego 1987 r. *Sesja Polarna, INoZ*, Lublin: 9–28.
- Gluza A., Siłuch M., Siwek K., 2004. Porównanie wybranych elementów meteorologicznych w sezonie letnim między stacjami Hornsund i Calypsobyen (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 183–188.
- Hanssen-Bauer I., Førland E. J., 1998. Long-term trends in precipitation and temperature in the Norwegian Arctic: can they be explained by changes in atmospheric circulation patterns? *Climate Research*, 10: 143–153.
- Hanssen-Bauer I., Førland E. J., 2000. Temperature and precipitation variations in Norway 1900-1994 and their links to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 20 (14): 1693–1708.
- IPCC, 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report. *Climate Change 2007: Synthesis Report*).
- Johannessen O.M., Bengtsson L., Miles M.W., Kuzima S.I., Semenov V.A., Alekseev G.V., Nagurnyi A.P., Zakharov V.F., Bobylev L.P., Pettersson L.H., Hasselmann K., Cattle H.P., 2004. Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea-ice variability. *Tellus A*, 56 (4): 328–341.
- Kamiński A., 1989. Temperatura powietrza na Spitsbergenie Zachodnim i wyspach przyległych w atlantycko-europejskim obszarze Arktyki. *Prace Naukowe UŚ w Katowicach nr 1100*, Katowice: 95 s.
- Kejna M., 1989. Wiatry bryzowe na Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w lecie 1985 r. *Materiały VI Sympozjum Polarnego*, Toruń: 179–182.
- Kejna M., Dzieniszewski M., 1994. Warunki meteorologiczne na Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w okresie 26.06-31.08.1985 r. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia* 24: 43–54.
- Kejna M., Arażny A, Siwek K., 2000. Spatial differentiation of weather conditions on Spitsbergen in summer season 1999. *Polish Polar Studies*, Toruń: 191–202.

- 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. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Araźny, P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 165–178.
- Lankauf K.R., 2005. Recesja lodowców rejonu Kaffiøyry (Ziemi Oskara II - Spitsbergen) w XX wieku. [w:] M. Grześ, I. Sobota (red.) *Kaffiøyra. Zarys środowiska geograficznego Kaffiøyry (NW Spitsbergen)*. Toruń: 61–84.
- Leszkiewicz J., 1977. Meteorological conditions in the northern part of Kaffiøyra Plain during the period from July 1 to August 31, 1975. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia XIII*, 82: 97–111.
- Marciniak K., Przybylak R., 1987. Zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza w sezonie letnim na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu. *XIV Sympozjum Polarne*, Lublin: 168–173.
- Marsz A., Styszyńska A., 2007. *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia: 376 s.
- Marsz A., Styszyńska A., 2009. Oceanic control of the warming processes in the Arctic – a different point of view for the reasons of changes in the Arctic climate. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19, 7–31.
- Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1993. Dynamika warunków meteorologicznych na Równinie Kaffiøyra (NW Spitsbergen) w okresie 8.07-7.09.1989 r. *Wyniki Badań VIII Toruńskiej Wyprawy Polarnej Spitsbergen 89*, UMK, Toruń: 31–45.
- Maszewski R., Wyszynski P., 2008. Warunki meteorologiczne na Kaffiøyrze (NW Spitsbergen) w okresie od 5 lipca do 31 sierpnia 2007. [w:] Kowalska A. (red.), *Międzynarodowe Sympozjum Polarne*, Wrocław: 54–58.
- 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.
- Niedźwiedz T., 1997. Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem i ich rola w kształtowaniu temperatury powietrza. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 19–40.
- Niedźwiedz T., 2006. Główne cechy cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem (XII.1950-IX.2006), *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 91–105.
- Niedźwiedz T., 2009. *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie*. Komputerowa baza danych, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski.
- Nordli Ø., Kohler J., 2004. The early 20th century warming. Daily observations at Grønfjorden and Longyearbyen on Spitsbergen (2nd edition). *DNMI/klima, report No. 12/03*.
- Overland, J.E., Spillane M.C., Percival D.B., Wang M., Mofjeld H.O., 2004. Seasonal and Regional Variation of Pan-Arctic Surface Air Temperature over the Instrumental Record. *Journal of Climate*, 17: 3263–3282.
- Pereyma J., Nasiółkowski T., 2007. Warunki topoklimatyczne w otoczeniu Fiordu Hornsund (SW Spitsbergen) w sezonie ablacyjnym 2005 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Araźny, P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 89–112.
- Pereyma J., Piasecki J., 1988. Warunki topoklimatyczne i hydrologiczne w rejonie Lodowca Werenskiölda na Spitsbergenie w sezonie letnio-jesiennym 1983 roku. [w:] *Wyprawy Polarne Uniwersytetu Śląskiego 1980-1984*, Katowice: 107–122.
- Przybylak R., 1989. Zróżnicowanie przestrzenne temperatury i wilgotności powietrza w przebiegu rocznym na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu. [w:] A. Olszewski (red.), *Dorobek i perspektywy polskich badań polarnych*, XVI Sympozjum Polarne, Toruń: 161-163.
- Przybylak R., 1992a. Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1979-1983. *Dokumentacja Geograficzna*, 2: 105 s.
- Przybylak R., 1992b. Spatial differentiation of air temperature and humidity on western coast of Spitsbergen in 1979-1983. *Polish Polar Research*, 13 (2): 113–129.

- Przybylak R., 1996. Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce. Wydawnictwo Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń: 280 s.
- Przybylak R., 2003. The Climate of the Arctic. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 288 s.
- Przybylak R., 2007. Recent air-temperature changes in the Arctic. *Annals of Glaciology*, 46: 316–324.
- 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., 2006. Climatic conditions of the north-western part of Oscar II Land (Spitsbergen) in the period between 1975 and 2000. *Polish Polar Research*, 27(2): 133-152.
- 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, P. Głowacki (red.), *Abiologiczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 51–65.
- Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Maszewski R., Wyszyński P., 2008. Zróżnicowanie temperatury powietrza w regionie Kaffiøyry (NW Spitsbergen) w sezonach letnich 2005-2007. [w:] A. Kowalska, A. Latocha, H. Marszałek, J. Pereyma (red.), *Środowisko przyrodnicze obszarów polarnych*. Wrocław: 150–159.
- Rachlewicz G., 2003. Warunki meteorologiczne w zatoce Petunia (Spitsbergen Środkowy) w sezonach letnich 2000 i 2001. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 127–138.
- Rachlewicz G., Styszyńska A., 2007. Porównanie przebiegu temperatury powietrza w Petuniabukta i Svalbard-Lufthavn (Isfjord, Spitsbergen) w latach 2001-2003. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 17: 121–134.
- Richter-Menge J., Overland J., Proshutinsky A., Romanovsky V., Bengtsson L., Brigham L., Dyrurgerov M., Gascard J.C., Gerland S., Graverson R., Haas C., Karcher M., Kuhry P., Maslanik J., Melling H., Maslowski W., Morison J., Perovich D., Przybylak R., Rachold V., Rigor I., Shiklomanov A., Stroeve J., Walker D., Walsh J., 2006. State of the Arctic Report. NOAA OAR Special Report, NOAA/OAR/PMEL, Seattle, WA, 36 s.
- Sobota I., 2005. Struktura bilansu masy lodowców Kaffiøyry na tle lodowców Svalbardu. [w:] M. Grześ, I. Sobota (red.) *Kaffiøyra, Zarys środowiska geograficznego Kaffiøyry (NW Spitsbergen)*. Toruń: 43–60.
- Steffensen E., 1982. The climate at Norwegian arctic stations. *DNMI Klima*, 5: 3–44.
- Styszyńska A., 2005. Przyczyny i mechanizmy współczesnego (1982-2002) ocieplenia atlantyckiej Arktyki. Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia: 109 s.
- Walczowski W., Piechura J., 2006. New evidence of warming propagating toward the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 33, L12601, doi: 10.1229/2006GL025872.
- Wójcik G., 1982. Meteorological conditions at the Kaffiøyra Plain - Spitsbergen from 21st July to 28th August 1977. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia XVI*, 151–166.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1992. Temperatura i opady a cyrkulacja atmosferyczna w regionie Kaffiøyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w okresie 1975-1989. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 96–102.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1993. Mezo- i topoklimaty północnej części regionu Kaffiøyry (Ziemia Oskara II, NW Spitsbergen). Wyniki Badań VIII Toruńskiej Wyprawy Polarnej Spitsbergen 89, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń: 83–111.
- Wójcik G., Przybylak R., 1991. Warunki meteorologiczne na Równinie Kaffiøyra (NW Spitsbergen) w okresie 14.07-9.09.1982. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia 22*: 109–124.

Wpłynęło: 24 sierpnia 2010; poprawiono: 30 września 2010

Summary

The paper presents the spatial differentiation of the meteorological conditions in the summer seasons in the Kaffiøyra in the period 2005-2009. The meteorological measurement points (4 automatic weather stations and 4 electronic devices measuring temperature and humidity, 2 m a.g.l.) were located on the Kaffiøyra Plain (KH) on the Waldemar Glacier area (ATA, LW1, LW2) and on the mountains: Kuven (KU), Gråfjellet (GF) and Prins Heinrichfjella (PH1, PH2). The analysed five seasons had changeable weather conditions dependent on types of synoptic situations. The highest air temperatures were recorded on the coast (KH 5.8°C) and on the marginal zone of the Waldemar Glacier (ATA 5.1°C). On the glaciated area air temperature is decreasing with the altitude (LW2 2.9°C). The largest temperature lapse-rate is recorded at the transitional area between the glacier and its marginal zone. Growing altitude lowers air temperature on the mountain ridges (GF 4.0°C, PH2 3.6°C), but temperature inversions are recorded quite frequently in the region. Relative air humidity is high due to low temperature and large frequency of occurrence of maritime air masses. The highest mean relative air humidity was recorded on the coast (KH 88%) and on the firn field of the Waldemar Glacier (LW2 84%) as well as on the mountain ridges (PH2 92%). The course of the relative humidity is significantly influenced by foehn winds. Wind directions and velocity in the study area are strongly dependent on the synoptic situation and influence of local factors, mainly orography (foehn winds). Wind regime in the Waldemar Glacier significantly differs from that observed in the Kaffiøyra (here the tunnel effect is observed as a consequence of the narrow Forlandsundet, presences to the abovementioned plain), mainly due to katabatic winds occurrence.

Key words: Spitsbergen, Kaffiøyra, topoclimat, air temperature, relative humidity, wind direction and speed.