

## ZRÓŻNICOWANIE TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI WYGLĘDNEJ POWIETRZA W REJONIE KAFFIØYRY (NW SPITSBERGEN) W SEZONIE LETNIM 2014 ROKU

SPATIAL DIFFERENTIATION OF AIR TEMPERATURE AND RELATIVE AIR HUMIDITY  
IN THE KAFFIØYRA REGION (NW SPITSBERGEN) IN SUMMER SEASON 2014

Marek Kejna, Patrycja Ulandowska-Monarcha, Tomasz Strzyżewski

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi UMK w Toruniu  
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń,  
makej@umk.pl

**Zarys treści.** W artykule przedstawiono zróżnicowanie przestrzenne temperatury oraz wilgotności powietrza w rejonie Kaffiøry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2014 r. Na podstawie pomiarów na stanowiskach położonych na różnych wysokościach nad poziomem morza przeanalizowano zmiany temperatury i wilgotności powietrza w pionie, obliczono pionowe gradienty tych elementów. Uzyskane wyniki odniesiono do pionowych sondaży atmosfery wykonywanych w pobliskiej stacji w Ny Ålesund. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza wykazują znaczne zróżnicowanie przestrzenne. Relacje między stanowiskami zmieniają się z dnia na dzień w zależności od rodzaju mas powietrza oraz zachmurzenia. Stwierdzono również zmienność pionowych gradientów temperatury i wilgotności względnej powietrza w cyklu dobowym.

**Słowa kluczowe:** pionowe gradienty temperatury powietrza, pionowe gradienty wilgotności powietrza, stany równowagi termodynamicznej atmosfery, topoklimat, Kaffiøra, Spitsbergen.

### 1. Wstęp

Współczesna Arktyka wykazuje szybko postępujące zmiany klimatyczne, co wynika z licznych sprzężeń zwrotnych wzmacniających globalne ocieplenie (Arctic amplification) – Chylek i in. 2009. Występuje przy tym znaczne zróżnicowanie regionalne zmian temperatury powietrza (Przybylak 2003, 2007). W rejonie Svalbardu w latach 1898-2012 średnia roczna temperatura powietrza wzrosła aż o 2,6°C/100 lat (Nordli i in. 2014), jest to efekt zarówno zmian cyrkulacji atmosferycznej, jak i zmian temperatury wody i stopnia zlodzenia mórz Arktyki (Styszyńska 2005).

Postępujące ocieplenie wpływa na stan środowiska i funkcjonowanie lokalnych systemów klimatycznych Spitsbergenu. Problem zróżnicowania topoklimatycznego na Spitsbergenie był przedmiotem wielu opracowań (np. Marciniak i Przybylak 1987, Kejna i in. 2000, Przybylak i Araźny 2005). Badania topoklimatyczne koncentrują się w kilku rejonach Spitsbergenu, np. w rejonie Hornsundu i Lodowca Werenskiölda (Baranowski 1968, Pereyma i Piasecki 1988, Marsz i Styszyńska 2007, Nasiółkowski i Pereyma 2007, Drzeniecka-Osiadacz i in. 2007, Migala i in. 2008, Araźny i in. 2009), 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, Bednorz i Kolendowicz 2010, Láska i in. 2012, Małecki 2015).

Bogata bibliografia dotyczy rejonu Kaffiøyry (np. Wójcik 1982, Wójcik i Przybylak 1991, Wójcik i in. 1992, 1993, 1998; Araźny 1999, 2012; Kejna 2001, Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007, 1993, 2008, 2012; Kejna i in. 2010, Przybylak i in. 2012).

Napływające nad Svalbard powietrze pochodzi z południowej części Oceanu Atlantyckiego, a zwłaszcza otaczających ten archipelag mórz: Arktycznego, Grenlandzkiego, Norweskiego i Barentsa. Powietrze to w porze letniej kształtuje się zazwyczaj nad chłodniejszą powierzchnią wód, a nawet polami lodowymi. Stąd też z natury znajduje się w stanie równowagi stałej, często też występują przyziemne inwersje temperatury powietrza. Inwersje te w porównaniu do chłodnej połowy roku, są mniej intensywne i występują rzadziej, a ich geneza, w odróżnieniu od uwarunkowanych radiacyjnie inwersji zimowych, związana jest najczęściej z czynnikami adwekcyjnymi (Vihma i in. 2014). Często tworzy się również inwersja wilgotności względnej powietrza (Pałm i in. 2010). W obrębie takiej masy powietrza dochodzi do osiągnięcia stanu nasycenia i powstania chmur warstwowych *Stratus* oraz mgieł. Powietrze napływające nad Spitsbergen podlega transformacji, oddziaływanie cieplne podłoża oraz orografia terenu modyfikują pionowy układ temperatury i wilgotności powietrza (Liberto i in. 2012). Jak wykazały badania sondażowe i sodarowe w rejonie Hornsundu warstwa mieszania latem sięga 250-350 m n.p.g., występuje przy tym znaczna turbulencja przy gruncie, a wyżej tworzą się wielowarstwowe struktury inwersyjne z systemami chmur warstwowych (Drzeniecka-Osiadacz i in. 2007).

W sezonie letnim 2014 r. kontynuowano badania topoklimatyczne w rejonie Stacji Polarnej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika na Kaffiøyrze (NW Spitsbergen). Celem niniejszego opracowania jest analiza pionowych gradientów temperatury i wilgotności względnej powietrza w rejonie Kaffiøyry, ich zmienności z dnia na dzień oraz w cyklu dobowym. Temem dla tych badań były wyniki z pionowych sondaży atmosfery wykonywane w pobliskiej stacji Ny Ålesund.

## 2. Obszar i metody badań

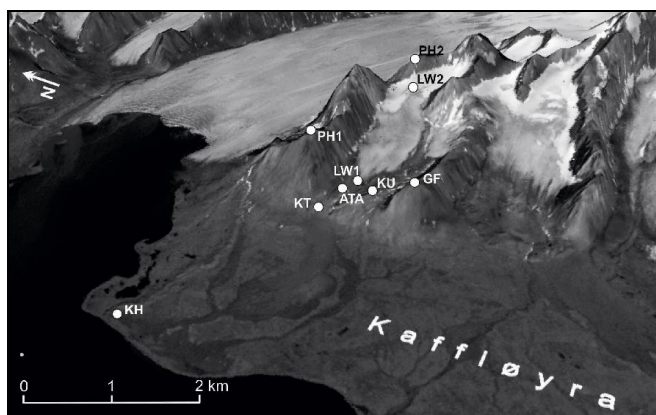
W rejonie Kaffiøyry (Ziemia Oskara II, NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2014 r. zainstalowano 9 punktów pomiarowych wyposażonych w automatyczne stacje meteorologiczne Vantage Pro+ oraz rejestratory temperatury i wilgotności HOBO (tab. 1, ryc. 1).

Tab. 1. Stanowiska pomiarowe w rejonie Kaffiøyry w sezonie letnim 2014 roku

Table 1. Measurement stands in the Kaffiøyra region in summer season 2014

Stanowiska Stands	$\varphi$	$\lambda$	h (m n.p.m.) h (m asl)	Przyrządy Instruments
KH Kaffiøyra-Heggodden	78°41'34"N	11°51'39"E	11,5	Vantage Pro+, Hobo
KT Terasa	78°40'39"N	11°58'03"E	90,0	Hobo
ATA ATA	78°40'31"N	11°59'30"E	137,0	Vantage Pro+, Hobo
KU Kuven	78°40'53"N	12°00'53"E	193,0	Vantage Pro+, Hobo
GF Gråfjellet	78°39'59"N	12°00'33"E	345,0	Vantage Pro+, Hobo
LW1 Lod. Waldemara-czoło	78°40'31"N	12°00'01"E	130,0	Vantage Pro+, Hobo
LW2 Lod. Waldemara-pole firnowe	78°40'59"N	12°05'15"E	375,0	Vantage Pro+, Hobo
PH1 Prins Heinrichfjella-1	78°40'51"N	11°59'28"E	500,0	Hobo
PH2 Prins Heinrichfjella-2	78°41'01"N	12°06'25"E	590,0	Vantage Pro+, Hobo

Stacja bazowa mieściła się na nizinie nadmorskiej u przylądka Heggodden (KH) – ryc. 1. Pozostałe punkty umieszczono w dwóch profilach: górskim (KT, KU, GF, PH1 i PH2) z najwyższym punktem na wysokości 590 m n.p.m. w paśmie Prins Heinrichfjella oraz lodowcowym od moren czołowych (ATA), poprzez czoło (LW1) i pole firnowe (LW2, 375 m n.p.m.) Lodowca Waldemara. Szczegółowy opis stanowisk znajduje się w monografii pod red. R. Przybyłaka i in. (2012).



Ryc. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych w rejonie Kaffiøyry w sezonie letnim 2014 roku

Fig. 1. Localisation of measurements stands in the Kaffiøyra region in summer season 2014.

Rejestracja temperatury i wilgotności powietrza odbywała się na wysokości 2 m n.p.g. w osłonach radiacyjnych w interwale co 10 minut. Na podstawie tych danych obliczono wartości godzinne i dobowe, a następnie pionowe gradienty, wyrażone dla temperatury powietrza w °C/100 m, a dla wilgotności względnej powietrza w %/100 m.

W opracowaniu wykorzystano również dane z pionowych sondażu atmosfery wykonywanych o godz. 12 GMT w pobliskiej stacji w Ny Ålesund (ok. 30 km na północ od Kaffiøyry), udostępnione w bazie danych University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) z okresu 22.07-32.08.2014 r. (dla 21 lipca brak danych). W analizie uwzględniono warstwę powietrza do wysokości 600-700 m, dla której obliczono pionowe gradienty temperatury i wilgotności powietrza.

### 3. Warunki meteorologiczne w sezonie letnim 2014 roku

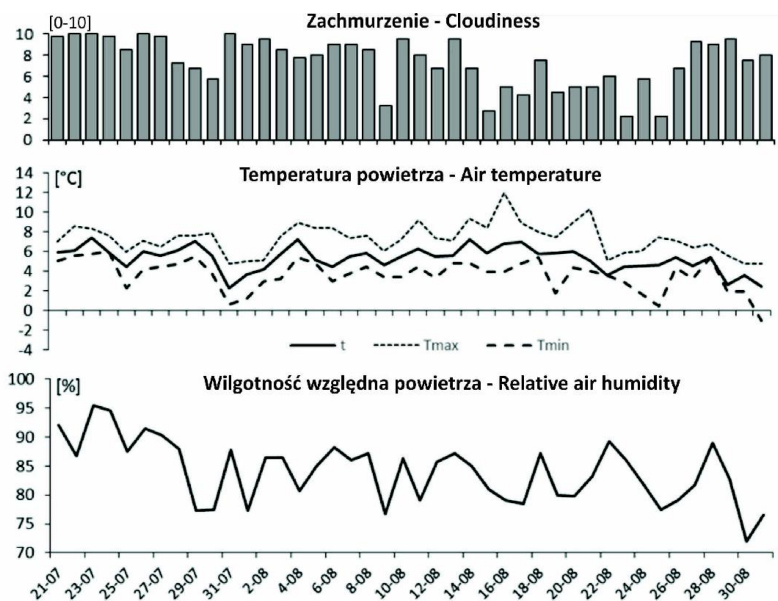
Sezon letni (21 lipca-31 sierpnia) 2014 r. na tle średnich wartości z wypraw w latach 1975-2014 charakteryzował się specyficznymi warunkami pogodowymi (tab. 2). Na podstawie pomiarów w głównych terminach synoptycznych stwierdzono, że wystąpiła tego lata większa dynamika atmosfery (średnia prędkość wiatru wyniosła  $5,0 \text{ ms}^{-1}$ ). Mniejsze było zachmurzenie (7,4 w skali 0-10), a większe zarejestrowano usłonecznienie (260,9 godz.). Temperatura powietrza była wyższa od średniej wieloletniej i wyniosła  $5,3^\circ\text{C}$ . Najwyższa zmierzona temperatura sięgnęła  $12,0^\circ\text{C}$ , a najniższa  $-1,0^\circ\text{C}$ . Również parametry wilgotności powietrza odbiegały od normy. Średnie ciśnienie pary wodnej było niższe i osiągnęło 7,5 hPa, a wilgotność względna wyniosła 84%, czyli była o 4% niższa od średniej z wielolecia. Niedośyt ciśnienia pary wodnej wyniósł 1,4 hPa. Sezon ten należał do suchych, spadło zaledwie 12,1 mm opadów atmosferycznych, przy średniej sumie wieloletniej 43,6 mm.

W sezonie letnim 2014 r. wystąpiła znaczna zmienność warunków pogodowych. Występowały okresy pochmurne z opadami deszczu oraz pogodniejsze z wyższą temperaturą i mniejszą wilgotnością powietrza (ryc. 2).

Tab. 2. Średnie wartości elementów meteorologicznych na Kaffiøyrze w sezonie letnim (21.07-31.08) 2014 roku na tle średnich z lat 1975-2014

Table 2. Mean values of meteorological elements on Kaffiøyra in summer season (21.07-31.08) 2014 against the averages of the years 1975-2014.

Parametr – Parameter		2014	1975-2014
Prędkość wiatru – Wind velocity [m/s]		5,0	4,6
Zachmurzenie – Cloudiness [0-10]		7,4	8,4
Usłonecznienie – Sunshine duration [h]		260,9	168,3
Usłonecznienie względne – Relative sunshine [%]		25,3	17,1
Temperatura powietrza – Air temperature [°C]	Maksymalna – Maximum	12,0	18,9
	Średnia z maksimów – Mean of maximum	7,4	6,7
	Średnia – Mean	5,3	4,9
	Średnia z minimów – Mean of minimum	3,7	3,3
	Minimalna – Minimum	-1,0	-4,2
	Amplituda dobowa – DTR	3,6	3,3
Ciśnienie pary wodnej – Water vapour [hPa]		7,5	7,7
Wilgotność względna powietrza – Relative humidity [%]		87,0	88,1
Niedosyt wilgotności – Humidity deficit [hPa]		1,4	1,0
Opady atmosferyczne – Precipitation [mm]		12,1	43,6

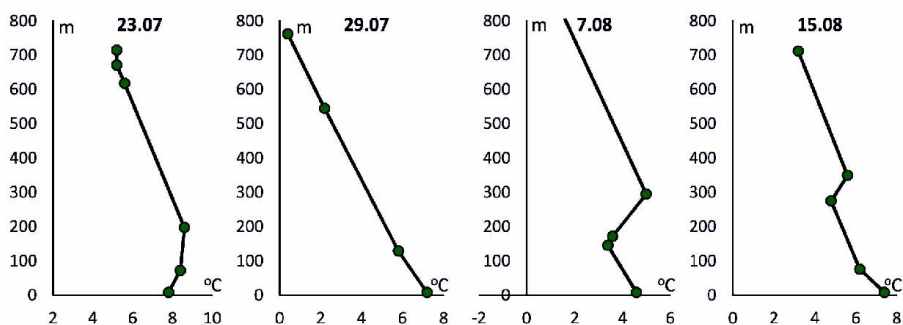


Ryc. 2. Przebieg zachmurzenia, temperatury i wilgotności względnej powietrza na Kaffiøyrze w okresie od 21.07. do 31.08.2014 roku

Fig. 2. Course of cloudiness, air temperature and relative air humidity on Kaffiøyra in the period 21.07-31.08.2014.

#### 4. Pionowe gradienty temperatury i wilgotności powietrza w Ny Ålesund

W okresie od 22 lipca do 31 sierpnia 2014 roku średni pionowy gradient temperatury powietrza w Ny Ålesund o godz. 12 GMT do wysokości 600-700 m wyniósł  $0,61^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . W poszczególnych dniach wartości tego gradientu wahały się od  $0,03^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (13 sierpnia) do  $1,05^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (22 lipca). Dla większości sondowań (29 dni) występował normalny pionowy rozkład temperatury z obniżaniem temperatury powietrza wraz z wysokością. W trzech dniach (23 lipca, 17 i 19 sierpnia) wystąpiła przyziemna inwersja temperatury obejmująca warstwę do 197 m (23 lipca). Zjawisko takie tworzy się przy zaleganiu cieplejszego powietrza nad wychłodzonym podłożem. Natomiast w 9 dniach utworzyła się warstwa inwersyjna w swobodnej troposferze, jej dolna granica znajdowała się na wysokości od 45 m nad podłożem (13 sierpnia) do 408 m (22 sierpnia), górna granica inwersji sięgała 1112 m (22 sierpnia). Miąższość warstwy inwersyjnej wahała się od 75 m (13 sierpnia) do ponad 700 m (22 sierpnia). Sytuacja taka powstaje na przykład na skutek osiadania mas powietrza lub jego ogrzania od podłoża i zachowania na pewnej wysokości układu inwersyjnego. Przykładowe rozkłady temperatury powietrza w Ny Ålesund w sezonie letnim 2014 r. zaprezentowano na ryc. 3.



Ryc. 3. Zmiany temperatury powietrza na podstawie sondażu w Ny Ålesund w wybranych dniach w sezonie letnim 2014 r. Źródło danych: University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

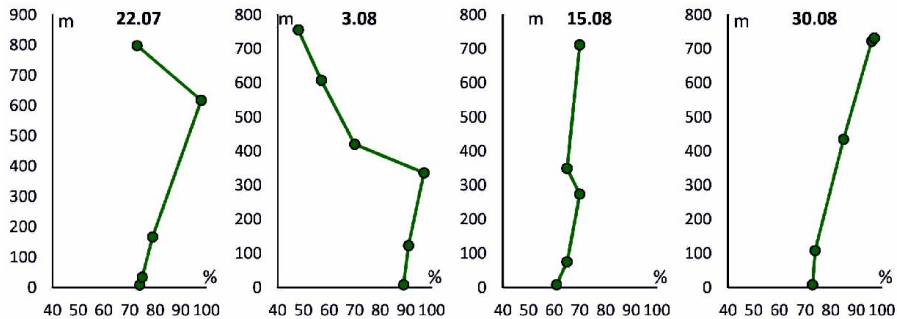
Fig. 3. Changes of air temperature based on sounding in Ny Ålesund on selected days in the summer season of 2014. Source: University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

Zmiany wilgotności względnej powietrza w pionie były bardziej złożone (ryc. 4). Generalnie wraz z obniżaniem temperatury powietrza z wysokością powinno wzrastać nasycenie powietrza parą wodną. Na 41 sondażu w 28 dniach występował wzrost wilgotności względnej wraz z wysokością. W 13 przypadkach wilgotność była duża przy powierzchni i zmniejszała się z wysokością (inwersja wilgotności). Jest to typowe przy przemieszczaniu się ciepłych mas powietrza nad wychłodzonym podłożem, a taka sytuacja często występuje w Arktyce. W Ny Ålesund średnio wilgotność względna w analizowanej warstwie wzrastała o  $0,3\%$  na  $100\text{ m}$ . Największy wzrost sięgający  $3,9\%/100\text{ m}$  wystąpił w dniu 22 lipca, a największy spadek wilgotności (o  $5,3\%/100\text{ m}$ ) stwierdzono w dniu 3 sierpnia 2014 r.

#### 5. Zróżnicowanie temperatury powietrza w rejonie Kaffiøyry

Temperatura powietrza w rejonie Kaffiøyry wykazuje znaczne zróżnicowanie przestrzenne. Wynika ono z różnej wysokości nad poziomem morza, oddziaływania zróżnicowanego podłoża, ekspozycji,

zacienienia, odległości od morza, a także lokalnej cyrkulacji mas powietrza. W okresie od 21.07 do 31.08. 2014 r. najwyższa średnia temperatura powietrza wystąpiła na wybrzeżu KH (5,5°C). W miarę wzrostu wysokości następował jej spadek do 5,0°C na wysokości 90 m n.p.m. (KT), 4,8°C na 193 m n.p.m. (KU), 3,1°C na 345 m n.p.m. (GF), 2,9°C na 501 m n.p.m. (PH1) i 2,5°C na 590 m n.p.m. (PH2) – tabela 3. Przy różnicy wysokości ok. 580 m temperatura powietrza obniżyła się średnio o 3,0°C. Natomiast w rejonie Lodowca Waldemara różnica temperatury sięgała 1,4°C, od 5,0°C na morenach czołowych (ATA, 137 m n.p.m.) do 3,6°C na polu firnowym (LW2, 375 m n.p.m.).



Ryc. 4. Zmiany wilgotności względnej powietrza według sondaży w Ny Ålesund w wybranych dniach w sezonie letnim 2014 r. Źródło danych: University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

Fig. 4. Changes of relative air humidity based on sounding in Ny Ålesund on selected days in the summer season of 2014. Source: University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).

Tab. 3. Średnie dekadowe wartości temperatury powietrza w rejonie Kaffiøyry w okresie od 21.07. do 31.08.2014 roku

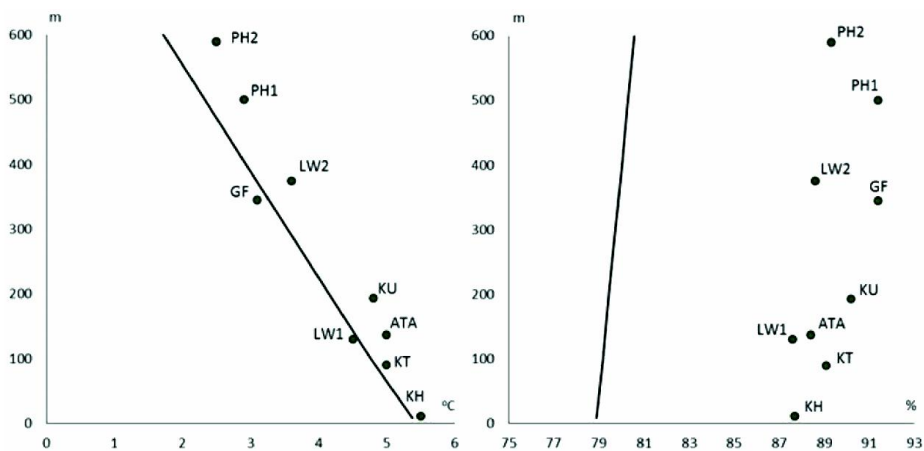
Table 3. Mean decade values of air temperature on the Kaffiøyra region in the period 21.07-31.08.2014

Okres – Period	KH	KT	ATA	LW1	LW2	PH1	PH2	KU	GF
21-31.07	5,8	5,2	4,8	4,4	3,1	2,5	2,0	4,7	2,9
1-10.08	5,7	5,2	5,3	4,8	3,9	3,0	2,7	5,1	3,1
11-20.08	6,4	6,2	6,6	5,6	5,2	5,3	4,9	6,2	5,1
21-31.08	4,3	3,6	3,5	3,5	2,2	0,9	0,6	3,4	1,6
21.07-31.08	5,5	5,0	5,0	4,5	3,6	2,9	2,5	4,8	3,1

Na tle pionowego rozkładu temperatury powietrza w Ny Ålesund z godziny 12 UTC (gradient 0,61°C/100 m) większość stanowisk w rejonie Kaffiøyry odznaczała się wyższą temperaturą niż to wynika z pionowego gradientu (ryc. 5). O około 0,5°C były cieplejsze szczyty wzniesień PH1 i PH2 oraz KU. Ciepłej było również na morenie Lodowca Waldemara (ATA). Jest to efekt nagrzewania skał w wyniku intensywnej insolacji oraz lokalnej cyrkulacji powietrza (wiatry górskie). Ewenementem jest pole firnowe Lodowca Waldemara (LW2). Pomimo śnieżno-lodowcowego podłoża temperatura powietrza była tu wyższa, niż to wskazuje gradient z Ny Ålesund. Wynika to m.in. z osłonięcia tego pola przez masywy górskie oraz intensywną insolację (często nie ma tam chmur w porównaniu do niziny nadmorskiej). Tylko dwa stanowiska (LW1 i GF) charakteryzowały się niższą temperaturą w porównaniu do sondaży z Ny Ålesund. U czoła Lodowca Waldemara (LW1) zaznacza się katabatyczny

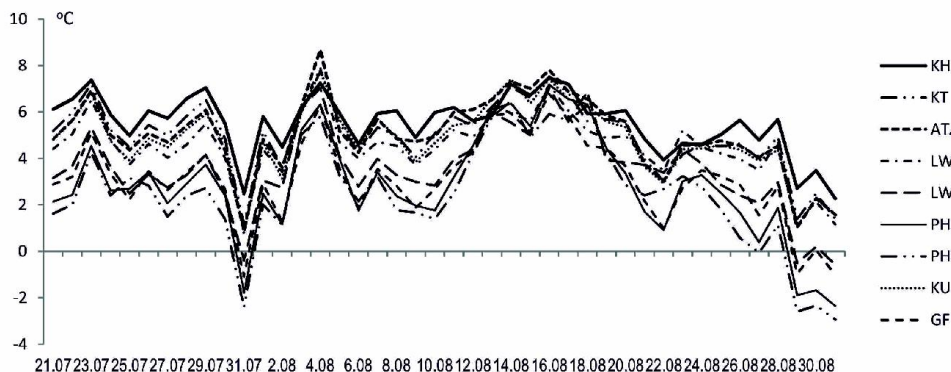
splyw powietrza znad lodowca, powodując obniżenie temperatury. Stanowisko na Gråfjellet (GF) często znajduje się w obrębie chmur przemieszczających się wzdłuż Cieśniny Forland, które ograniczają nagrzewanie się podłoża i zalegających na tym płaskim wzniesieniu mas powietrza.

Relacje termiczne pomiędzy stanowiskami zmieniają się w poszczególnych dniach (ryc. 6). W niektórych dniach najwyższa średnia dobowa temperatura występowała na stanowisku ATA, a najchłodniejszymi stanowiskami były: GF, PH1 lub LW2. Oznacza to, że oprócz naturalnego obniżania temperatury powietrza z wysokością na stan atmosfery silnie oddziałują czynniki miejscowe (charakter powierzchni czynnej, ekspozycja, zacienienie, lokalna cyrkulacja).



Ryc. 5. Średnia temperatura powietrza (po lewej) oraz wilgotność względna powietrza (po prawej) w rejonie Kaffiøyry na tle pionowego rozkładu temperatury i wilgotności względnej powietrza w Ny Ålesund (linia) z godz. 12 UCT w okresie 21-07-31.08.2014 roku

Fig. 5. The average of air temperature (left) and relative air humidity (right) in the Kaffiøyra region against the vertical distribution of air temperature and relative air humidity in Ny Ålesund (line) at 12 UTC in the period 21-07-31.08.2014.



Ryc. 6. Przebieg temperatury powietrza w rejonie Kaffiøyry w okresie od 21.07. do 31.08.2014 roku

Fig. 6. Course of air temperature in the Kaffiøyra region in the period 21.07- 31.08.2014.

Po obliczeniu pionowych gradientów temperatury powietrza w stosunku do wybrzeża (KH) stwierdzono, iż są one zróżnicowane. Największy spadek temperatury wystąpił między LW1-KH (średni gradient 0,84°C/100 m). Również grzbiet Gråfjellet charakteryzuje znacznym pionowym gradientem temperatury (0,72°C/100 m). Najmniejsze pionowe gradienty temperatury stwierdzono dla stanowisk KU (0,39°C/100 m) i ATA (0,40°C/100 m). Również szczyty górskie PH1 i PH2 (odpowiednio 0,53 i 0,52°C/100 m) wyróżniają się mniejszym gradientem niż wilgotnoadiabatyyczny. Także w stosunku do pola firnowego Lodowca Waldemara (LW2) gradient wyniósł 0,52°C/100 m.

Analiza codziennych pionowych gradientów temperatury powietrza wykazała, że mogą one występować w szerokim zakresie (tab. 4). Najczęściej gradienty występują w przedziale od 0,60 do 0,79°C/100 m (dla stanowisk KT, ATA i PH1) oraz 0,80 do 0,99°C/100 m (stanowiska LW1, LW2, KU). Natomiast dla stanowiska GF najczęściej gradienty mieszczą się w przedziale 1,00 do 1,19°C/100 m, a dla PH2 między 0,40 a 0,59°C/100 m.

Tab. 4. Częstość (%) pionowych gradientów temperatury powietrza (wartości godzinne) w rejonie Kaffiøyra w okresie 21.07-31.08.2014 roku

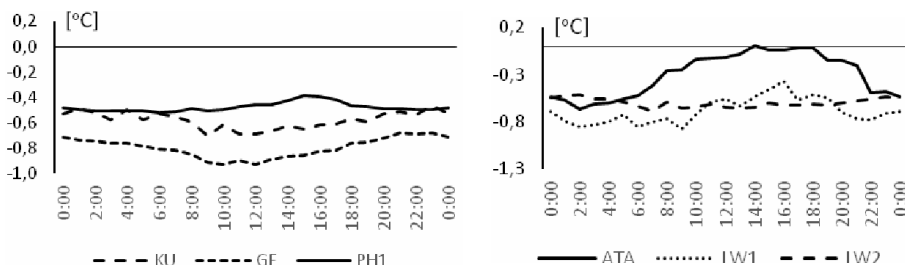
Table 4. Frequency (%) of the lapse rate of air temperature (hourly values) in the Kaffiøyra region in the period 21.07-31.08.2014.

°C/100 m	KH-KT	KH-ATA	KH-LW1	KH-LW2	KH-PH1	KH-PH2	KH-KU	KH-GF
≥1,60	2,0	1,1	6,8	.	.	.	0,1	.
1,59-1,40	2,4	1,1	7,2	.	.	.	0,2	1,1
1,39-1,20	3,1	2,7	8,8	0,5	.	.	2,3	9,9
1,19-1,00	6,9	5,7	13,2	7,4	2,2	0,5	11,5	<b>25,5</b>
0,99-0,80	9,3	11,2	<b>14,8</b>	<b>29,1</b>	14,4	6,1	<b>24,3</b>	22,1
0,79-0,60	<b>12,2</b>	<b>16,8</b>	11,5	22,0	<b>27,9</b>	22,3	20,5	15,4
0,59-0,40	11,6	12,3	8,9	15,3	19,0	<b>22,6</b>	12,7	11,0
0,39-0,20	9,3	12,1	6,7	10,2	14,2	17,9	9,9	5,4
0,19-0,00	9,4	8,5	5,8	6,7	12,1	12,7	7,0	4,8
-0,01-(-0,20)	8,4	7,1	4,1	5,4	5,3	8,5	4,5	2,7
-0,21-(-0,40)	5,9	5,9	3,1	2,3	3,6	5,8	2,7	1,9
-0,41-(-0,60)	4,9	4,0	2,5	1,1	0,8	2,4	1,8	0,3
-0,61-(-0,80)	4,5	2,5	2,0	.	0,5	1,0	1,3	.
-0,81-(-1,00)	2,8	3,8	1,4	.	.	0,3	0,6	.
-1,01-(-1,20)	2,1	2,3	1,2	.	.	.	0,3	.
-1,21-(-1,40)	1,4	1,3	0,4	.	.	.	.	.
-1,41-(-1,60)	1,4	0,5	0,6	.	.	.	.	.
≤-1,61	2,5	1,3	1,0	.	.	.	.	.

Częstym zjawiskiem w pionowym rozkładzie temperatury powietrza na Spitsbergenie jest jej inwersja. Wzrost temperatury powietrza w stosunku do KH (ujemne wartości gradientu) występował z częstością 33,9% godzin na stanowisku KT (tab. 4). Wynika z tego, że im dalej od morza tym temperatura pomimo większej wysokości wzrasta. Dość często (28,7%) cieplej było na stanowisku ATA. W tym przypadku zaznaczało się silne nagrzewanie podłoża - moren Lodowca Waldemara. W stosunku do stanowisk lodowcowych częściej inwersje pojawiały się u czoła lodowca (LW1 16,3%), niż na jego polu firnowym (LW2 8,8%). Również szczyty górskie w niektórych godzinach są cieplejsze niż KH, np. w 18,0% sytuacji cieplej było na PH2 i w 10,2% na PH1 mimo znacznej różnicy wysokości. Najrzadziej sytuacje inwersyjne (4,9%) występowały w stosunku do szczytu Gråfjellet.



Pionowe gradienty temperatury powietrza zmieniają się w ciągu doby, co wynika z silnego nagrzewania podłoża w godzinach okołopołudniowych i tworzenia się chwiejnej stratyfikacji powietrza. Przeprowadzona analiza wykazała, że na stanowiskach górskich, np. PH1 w godzinach popołudniowych następuje zmniejszenie gradientów temperatury. Podobnie na stanowisku ATA oraz LW1, które są położone na terenie morenowym. Natomiast nad podłożem lodowcowym (LW2) gradient utrzymuje się na wyrównanym poziomie, a na stanowiskach KU i GF w godzinach okołopołudniowych następuje nawet wzrost gradientów (ryc. 7).



Ryc. 7. Przebieg dobowy pionowych gradientów temperatury powietrza w rejonie Kaffiøyry w okresie od 21.07. do 31.08.2014 roku

Fig. 7. Daily course of lapse rate of air temperature in the Kaffiøyra region in the period 21.07 - 31.08.2014.

## 6. Zróźnicowanie wilgotności względnej powietrza

Stopień nasycenia powietrza parą wodną w rejonie Spitsbergenu jest wysoki ze względu na dominację morskich mas powietrza. Średnia wilgotność względna na KH wyniosła 87,7% i wykazywała wzrost wraz z wysokością nad poziomem morza, ale tylko do pewnej wysokości na GF (340 m n.p.m.) i PH1 (500 m n.p.m.) gdzie wyniosła 91,4% (tab. 5). Wyżej na PH2 (590 m n.p.m.) stwierdzono jej niewielki spadek (89,3%). Obserwacje zachmurzenia w tym rejonie wykazały częste występowanie chmur *Stratus*, w tym czasie wyższe szczyty pozostawały w powietrzu nienasyconym parą wodną. W rejonie Lodowca Waldemara najmniejsza wilgotność względna wystąpiła u jego czoła (LW1 – 87,6%), by wzrosnąć na polu firnowym (LW2) do 88,6%.

Na tle pionowego rozkładu wilgotności względnej powietrza w Ny Ålesund wszystkie punkty pomiarowe w rejonie Kaffiøyry charakteryzowały się wyższymi wartościami (nawet o 10%) tego parametru (ryc. 5).

Tab. 5. Średnie wartości wilgotności względnej powietrza w rejonie Kaffiøyry w okresie od 21.07. do 31.08.2014 roku

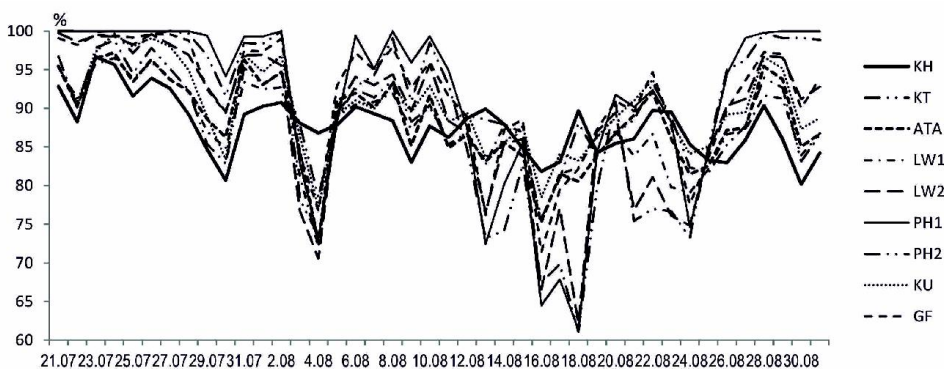
Table 5. Mean values of relative air humidity in the Kaffiøyra region in the period 21.07- 31.08.2014.

Okres	KH	KT	ATA	LW1	LW2	PH1	PH2	KU	GF
21-31.07	90,5	93,3	93,3	92,7	97,2	99,3	98,5	94,8	97,5
1-10.08	88,2	89,9	88,8	87,8	89,6	93,3	91,4	90,0	92,9
11-20.08	86,2	85,2	83,2	84,2	80,5	79,0	77,6	85,5	84,3
21-31.08	85,8	87,6	87,9	85,3	86,5	93,0	88,7	89,8	90,4
21.07-31.08	87,7	89,1	88,4	87,6	88,6	91,4	89,3	90,2	91,4

W przebiegu wilgotności względnej występowały dni ze znacznymi jej spadkami, np. 4, 18 sierpnia 2014 r. (ryc. 8). W tym czasie dominował wschodni sływ powietrza. Powietrze po pokonaniu górzystego wnętrza Spitsbergenu, po jego zawietrznej stronie, podlegało podgrzaniu suchoadiabatyicznemu, co skutkowało obniżeniem nasycenia powietrza. W czasie fenu obniżenie wilgotności nie zawsze występowało na całym analizowanym obszarze. W niektórych dniach tylko na LW2, PH2 i PH1 zaznaczały się spadki wilgotności, na niżej położonych stanowiskach wilgotność była nadal wysoka. Procesy adiabaticzne objęły więc tylko wyżej położone stacje. Zwraca uwagę w miarę stabilny przebieg wilgotności na KH, co wiąże się z nadmorskim położeniem tej stacji.

Pionowe gradienty wilgotności względnej powietrza są zróżnicowane. Dla większości stanowisk wilgotność wzrasta z wysokością, np. dla PH1 gradient wynosi 3,12%/100 m. Jedynie dla stanowiska LW1 gradient ten jest ujemny (-0,06%/100 m).

Analiza częstości codziennych pionowych gradientów wilgotności względnej powietrza wykazała znaczne ich zróżnicowanie (tab. 6). Na stanowiskach KT i ATA w stosunku do KH najczęściej występują one w przedziale od 0 do -2,5%. Natomiast na pozostałych stanowiskach od 0 do +2,5%, np. dla PH1, aż 58,5% wszystkich przypadków zawierało się w tym przedziale.



Ryc. 8. Przebieg wilgotności względnej powietrza w rejonie Kaffiøyry w okresie od 21.07. do 31.08.2014 r.

Fig. 8. Course of relative air humidity in the Kaffiøyra region in the period 21.07- 31.08.2014.

Tab. 6. Częstość (%) pionowych gradientów wilgotności względnej powietrza (wartości codzienne) w rejonie Kaffiøyry w okresie od 21.07. do 31.08.2014 roku

Table 6. Frequency (%) of the lapse rate of relative air humidity gradients (hourly values) in the Kaffiøyra region in the period 21.07 - 31.08.2014.

%/100 m	KH-KT	KH-ATA	KH-LW1	KH-LW2	KH-PH1	KH-PH2	KH-KU	KH-GF
<-10,00	6,0	8,8	9,5	1,3	0,0	0,0	1,9	0,6
-9,99-(-7,50)	6,1	7,2	6,2	3,7	1,0	0,8	1,3	2,3
-7,49-(-5,00)	8,8	10,3	7,1	8,5	2,9	2,2	5,3	6,3
-4,99-(-2,50)	14,4	15,9	11,8	9,9	13,6	20,0	9,2	5,6
-2,49-(-0,00)	23,4	<b>30,3</b>	21,4	14,3	11,3	15,4	18,4	11,8
0,01-2,50	<b>24,1</b>	21,3	<b>28,7</b>	<b>51,8</b>	<b>58,5</b>	<b>55,0</b>	<b>43,3</b>	<b>54,8</b>
2,51-5,00	11,8	5,6	13,5	10,5	12,7	6,6	19,4	18,1
>5,01	5,5	0,6	1,8	0,0	0,0	0,0	1,3	0,7

Na terenie górskim największe różnice w stosunku do stanowiska KH oraz największe pionowe gradienty wilgotności względnej powietrza występują w godzinach popołudniowych. Natomiast na Lodowcu Waldemara (LW1 i LW2) i jego przedpolu (ATA) pionowe gradienty wykazują bardziej złożony charakter w ciągu doby. Na polu firnowym (LW2) większe pionowe gradienty wilgotności występują w godzinach „nocnych”.

## 7. Podsumowanie i dyskusja wyników

Przeprowadzona na przykładzie sezonu letniego 2014 r. analiza wykazała, że temperatura oraz wilgotność względna powietrza w rejonie Kaffiøyry wykazuje znaczne zróżnicowanie przestrzenne. Różnice te są spowodowane wpływem wysokości nad poziomem morza, odległością od morza, cyrkulacją atmosferyczną oraz czynnikami lokalnymi: oddziaływaniem podłoża, ekspozycją i zacienieniem.

Jak wykazały pionowe sondáže w Ny Ålesund powietrze nad NW Spitsbergenem w warstwie do 600-700 m charakteryzowało się w analizowanym okresie średnim pionowym gradientem temperatury wynoszącym  $0,61^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . W większości dni występowała stratyfikacja normalna, z obniżaniem temperatury z wysokością. Na 41 sondáže w 3 dniach występowała przyziemna inwersja temperatury, a w 9 dniach inwersja utworzyła się w swobodnej troposferze. Sytuacje inwersyjne oraz stała stratyfikacja przyziemnej warstwy troposfery jest zjawiskiem częstym w Arktyce, gdzie powietrze przemieszcza się nad wychłodzonym podłożem (morskim, lodami morskimi, lodowcami). Jak wykazały sondáže sodarowe w Ny Ålesund podstawowe znaczenie w kształtowaniu stratyfikacji termicznej atmosfery w tym rejonie odgrywa kierunek napływu mas powietrza oraz prędkość wiatru (Argentini i in. 2003). Stratyfikacja stała występuje najczęściej przy adwekcji z SE, a jej formowaniu sprzyjają niewielkie prędkości wiatru. Natomiast stratyfikacja chwiejna w Ny Ålesund najczęściej pojawia się przy adwekcji z sektora zachodniego, przy której powietrze przepływające nad pobliskimi górami podlega wymuszonej konwekcji i mechanicznemu mieszananiu.

W rejonie Kaffiøyry stwierdzono obniżanie temperatury z wysokością, jednak na większości stanowisk wystąpiła wyższa temperatura niż to wskazywał pionowy gradient z sondáže w Ny Ålesund. Oddziaływanie cieplne podłoża, ekspozycja zboczy spowodowała, że temperatura była wysoka, od  $5,5^{\circ}\text{C}$  na wybrzeżu (KH) do  $2,5^{\circ}\text{C}$  na 590 m n.p.m. (PH2). W rejonie Lodowca Waldemara średnia temperatura powietrza zmieniała się od  $5,0^{\circ}\text{C}$  na morenach (ATA) do  $3,6^{\circ}\text{C}$  na polu firnowym (LW2). Niższa temperatura w porównaniu do sondáže z Ny Ålesund wystąpiła u czoła Lodowca Waldemara (LW1), gdzie dominuje katabatyczny spływ chłodnego powietrza znad lodowca oraz na szczycie Gråfjellet. Relacje między stanowiskami zmieniają się z dnia na dzień w zależności od zachmurzenia i insolacji oraz lokalnej cyrkulacji (np. związanej z zasięgiem fenu). Pionowe gradienty temperatury powietrza w stosunku do wybrzeża (KH) osiągnęły średnie wartości od  $0,84^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (LW1-KH) do  $0,39^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (KU-KH) i  $0,40^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (ATA-KH). Również szczyty górskie (PH1 i PH2) wyróżniają się mniejszym gradientem. Częstym zjawiskiem była inwersja w pionowym rozkładzie temperatury powietrza, np. dla KT wystąpiła ona w 33,9% godzin, a dla ATA w 28,7%. Na Lodowcu Waldemara sytuacje inwersyjne występowały z częstością od 16,3% na jego czole (LW1) do 8,8% na polu firnowym (LW2). Są to częstości zbliżone do uzyskanych przez Wójcika i in. (1993), którzy w latach 1979-1989 (4 sezony letnie) stwierdzili że dla LW1 udział inwersji sięga 12,4%. Również na szczytach górskich temperatura bywa wyższa niż na wybrzeżu, np. dla PH2 inwersje wystąpiły z częstością 18%. Na znaczne ogrzanie szczytów górskich w tym rejonie zwracają uwagę Przybylak i Maszewski

(2012) na podstawie badań z sezonów letnich 2010 i 2011 r. Podobnie na szczycie Ariekammen w stosunku do Hornsundu częstość inwersji sięgnęła w lecie 2005 r. 21% (Drzeniecka-Osiadacz i in. 2007). Pionowe gradienty temperatury powietrza wznoszą się w godzinach okołopołudniowych (PH1, ATA, LW2). Najbardziej stabilne relacje występują na polu firnowym Lodowca Waldemara.

Uzyskane w rejonie Kaffiøyry wyniki nawiązują do innych badań w rejonie Spitsbergenu (tab. 7). Jak podają Araźny i współautorzy (2009), w sezonie letnim w rejonie Hornsundu pionowe gradienty w stosunku do szczytu Fugleberget wyniosły 0,45°C/100 m (2007 r.) i 0,64°C/100 m (2008 r.). Natomiast w rejonie Petuniabukta w stosunku do szczytu Wordiekammen gradient był większy (0,76°C na 100 m). Na terenach zlodowaconych pionowe gradienty temperatury są zróżnicowane, np. dla Hansbreen od 0,52 do 0,76°C/100 m (Araźny i in. 2009), Warenskiöld 0,94°C/100 m (Migala i in. 2008), Ebbabreen od 1,27 (Małecki 2015) do nawet 2,04°C/100 m (Bednorz i Kolendowicz 2010). Zaznacza się tu wpływ lodowcowego podłoża.

Tab. 7. Średnie pionowe gradienty temperatury powietrza w wybranych rejonach Spitsbergenu

Table 7. Mean lapse rate of air temperature in selected region of Spitsbergen.

Rejon Region	Okres badań Study area	Gradient (°C/100 m)	Uwagi Remarks	Źródło Source
Obszar niezlodowacony				
Hornsund	6.07- 30.09.2005	+0,80	Między Stacją Baranowskiego (26 m n.p.m.) a Hornsund (10 m n.p.m.)	Nasiółkowski, Pereyma 2007
Hornsund	1.07- 31.08.2007	-0,64	Między Fugleberget (568 m n.p.m.) a Hornsund (10 m n.p.m.)	Araźny i in. 2009
Hornsund	1.07- 31.08.2008	-0,45	Między Fugleberget (568 m n.p.m.) a Hornsund (10 m n.p.m.)	Araźny i in. 2009
Petuniabukta	1-31.07.2009	-0,76	Między Wordiekammen (Site 7 – 500 m n.p.m.) a Site 1 (2 m n.p.m.)	Bednorz, Kolendowicz 2010
Obszar zlodowacony				
Hornsund	1.07- 31.08.2007	-0,76	Między HT9 na Hansbreen (421 m n.p.m.) a Hornsund (10 m n.p.m.)	Araźny i in. 2009
Hornsund	1.07- 31.08.2008	-0,52	Między HT9 na Hansbreen (421 m n.p.m.) a Hornsund (10 m n.p.m.)	Araźny i in. 2009
Werenskiöld	11.07- 30.09.2005	-0,94	Między Lodowcem Wrenenskiölda (WRD 260 m n.p.m.) a Stacją Baranowskiego (26 m n.p.m.)	Migala i in. 2008
Petuniabukta	1-31.07.2009	-2,04	Między Ebbabreen (Site 8 – 300 m n.p.m.) a Site 4 (36 m n.p.m.)	Bednorz, Kolendowicz 2010
Petuniabukta	131 dni w sezonach letnich 2008- 2010	-1,27	Między Ebbabreen (550 m n.p.m.) a Petuniabukta (5 m n.p.m.)	Małecki 2015

Wilgotność względna powietrza nad Spitsbergenem jest wysoka ze względu na dominację morskich mas powietrza. Jak wykazały sondáže w Ny Ålesund wilgotność względna powietrza wznosi się z wysokością średnio o 0,3% na 100 m. Jednak na 41 sondáže w 13 przypadkach wystąpiła pionowa inwersja wilgotności, bardziej nasycone parą wodną były przyziemne warstwy powietrza. Na Kaffiøyrze średnia wilgotność względna wyniosła 87,7% i zwiększała się do wysokości ok. 500 m, powyżej nastąpił jej niewielki spadek. Układ taki wynika z dużej częstości chmur *Stratus*, które nie

obejmują wyższych szczytów. Podobne zjawisko wystąpiło we wcześniejszych sezonach, np. w 2010 i 2011 roku (Araźny 2012). W przebiegu wilgotności względnej występowały dni ze znacznymi jej spadkami, kiedy to dominował wschodni spływ powietrza powodujący efekty fenowe. Fen nie zawsze obejmował wszystkie stanowiska. Pionowe gradienty wilgotności względnej powietrza są zróżnicowane. Dla większości stanowisk wilgotność wzrasta z wysokością, np. dla PH1 gradient wynosi 3,12%/100 m. Jedynie dla stanowiska LW1 gradient ten jest ujemny (-0,06%/100 m). Większe zróżnicowanie tego parametru było charakterystyczne dla godzin okołopołudniowych.

## Literatura

- Argentini S., Viola A.P., Mastrantonio G., Maurizi A., Georgiadis T., Nardino M., 2003. Characteristics of the boundary layer at Ny-Ålesund in the Arctic during the ARTIST field experiment. *Annals of Geophysics*, 46, 2: 185-196.
- Araźny A., 1999. Warunki meteorologiczne na Równinie Kaffiöyra (NW Spitsbergen) w okresie 20.07-2.09.1998. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 9: 103-116.
- Araźny A., 2012. Higric conditions. [w:] R. Przybylak, A. Araźny, M. Kejna (red.), *Topoclimatic diversity in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in global Warming conditions*. Oficyna Wydawnicza „Turpress” Toruń: 115-138.
- Araźny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., Puczko D., 2009. Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w cieplej 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.
- Bednorz E., Kolendowicz L., 2010. Summer 2009 thermal and bioclimatic conditions in the Ebba Valey region. *Polish Polar Research*, 31 (4): 327-348, DOI: 10.2478/v10183-010-0009-x.
- Braždil 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kejna M., 2001. Warunki meteorologiczne na Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 1999 roku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 55-65.
- Kejna M., Araźny A, Siwek K., 2000. Spatial differentiation of weather conditions on Spitsbergen in summer season 1999. *Polish Polar Studies*, Toruń: 191-202.
- 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.
- Kejna M., Przybylak R., Araźny A., Jankowska J., Maszewski R., Wyszynski P., 2010. Warunki topoklimatyczne w sezonach letnich w rejonie Kaffiöyry (NW Spitsbergen) w latach 2005-2009. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20: 63-81.

- Láska K., Witoszová D., Prošek P., 2012. Weather patterns of the coastal zone of Petuniabukta, central Spitsbergen in the period 2008–2010. *Polish Polar Research*, 33 (4): 297-318.
- Liberto L. Di, Angelini F., Pietroni I., Cairo F., Donfrancesco G. Di, Viola A., Argentini S., Fierli F., Gobbi G., Maturilli M., Neuber R., Snels M., 2012. Estimate of the Arctic Convective Boundary Layer Height from Lidar Observations: A Case Study. *Advances in Meteorology*, Article ID 851927, 9 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2012/851927>.
- Malecki 2015. Glacio-meteorology of Ebbabreen, Dickson Land, central Svalbard, during 2008–2010 melt seasons, *Polish Polar Research* 36 (2): 145-161.
- 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.
- Migała K., Nasiółkowski T., Pereyma J., 2008. Topoclimatic conditions in the Hornsund area (SW Spitsbergen) during the ablation season 2005. *Polish Polar Research*, 29 (1): 73-91.
- Nordli Ø., Przybylak R., Oglivie A.E.J. Isaksen K., 2014. Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898-2012. *Polar Research*, 33, 21349, <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349>.
- Nasiółkowski T., Pereyma J., 2007. Warunki topoklimatyczne w otoczeniu Fiordu Horsund (SW Spitsbergen) w sezonie ablacyjnym 2005 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 89-112.
- Palm M., Melsheimer C., Noel S., Heise S., Notholt J., Burrows J., Schrems O., 2010. Integrated water vapor above Ny Alesund, Spitsbergen: a multi-sensor intercomparison. *Atmos. Chem. Phys.*: 10, 1215–1226.
- 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., 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., 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.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 51-65.
- Przybylak R., Arażny A., Kejna M.(red.), 2012. Topoclimatic diversity in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in global Warming conditions, *Oficyna Wydawnicza „Turpress”*. Toruń, ss. 174.
- 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.
- Przybylak R., Kejna M., Marciniak K., 1993. Termiczno-wilgotnościowa stratyfikacja w przyziemnej warstwie powietrza nad moreną i lodowcem w regionie Ziemi Oskara II (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 1989 r. *Wyniki badań VIII Toruńskiej Wyprawy Polarnej "Spitsbergen' 89"*: 65-82.
- Przybylak R., Maszewski, 2012. Air temperature. [w:] R. Przybylak, A. Arażny, M. Kejna (red.), *Topoclimatic diversity in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in global Warming conditions*, *Oficyna Wydawnicza „Turpress”*. Toruń: 89-114.

- 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.
- Styszyńska A., 2005. Przyczyny i mechanizmy współczesnego (1982-2002) ocieplenia atlantyckiej Arktyki. Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia: 109 s.
- Vihma T., Pirazzini R., Fer I., Renfrew I. A., Sedlar J., Tjernström M., Lüpkes C., Nygård T., Notz D., Weiss J., Marsan D., Cheng B., Birnbaum G., Gerland S., Chechin D., Gascard J. C., 2014. Advances in understanding and parameterization of small-scale physical processes in the marine Arctic climate system: a review. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 9403-9450, doi:10.5194/acp-14-9403-2014.
- Wójcik G., 1982. Meteorological conditions at the Kaffiøyra Plain - Spitsbergen from 21<sup>st</sup> July to 28<sup>th</sup> August 1977. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia XVI*: 151-166.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1998. Częstość i intensywność inwersji temperatury w sezonie letnim w rejonie Kaffiøyry (NW Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 3: 49-68.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1992. Temperatura i opady a cyrkulacja atmosferyczna w rejonie 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.

### Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach projektu „Współczesne zmiany klimatu i topoklimatów Svalbardu” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (DEC-2011/03/B/ST10/05007).

Wpłynęło: 3 września 2015 r., poprawiono: 6 października 2015 r., zaakceptowano: 10 listopada 2015 r.

### Summary

This article presents the spatial diversity of temperature and relative humidity of the air in the area of Kaffiøyra (NW Spitsbergen). In the summer season of 2014 (21 July – 31 August), observations were carried out at 9 measurement points equipped with temperature and humidity recorders. The points were located in two terrain profiles: the mountains where the highest point was situated at 590 m a.s.l. in the Prins Heinrichfjella range and from the terminal moraines to the firm field (375 m a.s.l.) of the Waldemar Glacier. On the basis of the measurements taken at the sites situated at different absolute heights vertical changes in air temperature and humidity were analysed and lapse rate of air temperature gradients were determined. The results were referenced to vertical atmospheric soundings carried out at the nearby station in Ny Ålesund. The air over NW Spitsbergen (Ny Ålesund) demonstrated a mean vertical lapse rate of 0.61 °C/100 m at the atmospheric layer up to six or seven hundred metres. On most days normal stratification was observed, where temperature fell with height, on 3 days a ground-level air temperature inversion occurred and on 9 days a temperature inversion occurred in the free troposphere. In the area of Kaffiøyra, air temperature decreased with height from

5.5°C on the coast (KH) to 2.5°C at 590 m a.s.l. (PH2). On the Waldemar Glacier, the mean air temperature ranged from 5.0°C on the moraines (ATA) to 3.6°C on the firn field (LW2). The relationship between the sites changed on a daily basis, depending on the cloud amount, insolation and local circulation (e.g. connected with the influence of foenic wind). Averaged lapse rate in relation to the coast (KH) reached between 0.84°C/100 m (LW1-KH) and 0.39°C/100 m (KU-KH) or 0.40°C/100 m (ATA-KH). The mountain tops (PH1 and PH2) are also distinguished by their smaller lapse rate. An inversion in the vertical distribution of air temperature was also frequent and, for example, at the KT site it occurred at 33.9% of the hours and at 28.7% at ATA. On the Waldemar Glacier, inversion occurred at a frequency of 16.3% at its front (LW1) to 8.8% at its firn field (LW2). On the mountain tops, the inversion occurred at a frequency of 18% (PH2). The relative humidity of the air over Spitsbergen is high due to the prevalence of maritime air masses. According to the soundings conducted at Ny Ålesund, the humidity increased with the height, however in 13 cases a vertical inversion of relative humidity occurred – the overground air layers proved more saturated with water vapour. On Kaffiøyra, the average relative humidity of the air was 87.7% and increased up to approx. 500 m, above which it slightly dropped. This results from a high frequency of occurrence of Stratus clouds which do not reach the higher tops. The vertical gradients of relative humidity were diverse: at most sites, the relative humidity increased with the height, for example at the PH1 site, the gradient was 3.12%/100 m. A greater diversity of the relative humidity was typical of the hours around midday.

**Key words:** lapse rate of air temperature and relative humidity, the thermodynamic equilibrium state, topoclimate, Kaffiøyra, Spitsbergen.