

ZRÓŻNICOWANIE PRZESTRZENNE WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ POWIETRZA W PÓŁNOCNEJ CZĘŚCI RÓWNINY KAFFIØYRA I NA LODOWCU WALDEMARA (NW SPITSBERGEN) W OKRESIE OD WRZEŚNIA 2010 DO SIERPNI 2013

SPATIAL DIVERSITY OF AIR RELATIVE HUMIDITY IN THE NORTHERN PART OF THE KAFFIØYRA PLAIN AND ON THE WALDEMAR GLACIER (NW SPITSBERGEN) FROM SEPTEMBER 2010 TO AUGUST 2013

Rajmund Przybylak¹, Andrzej Arażny, Patrycja Ulandowska-Monarcha

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

¹ – rp11@umk.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono zróżnicowanie przestrzenne wilgotności względnej powietrza w północnej części rejonu Kaffiøry i na Lodowcu Waldemara w okresie IX 2010 – VIII 2013. W okresie od września 2010 do sierpnia 2011, dla którego istnieją najpełniejsze dane dla wszystkich stanowisk pomiarowych, najwyższe wartości wilgotności względnej zostały zanotowane na szczytach górskich (89%) i na polu firnowym Lodowca Waldemara (86%). Najniższa wartość tego parametru wystąpiła natomiast na tundrze (79%). W całym okresie badawczym, na podstawie zredukowanej liczby stacji, stwierdzono, iż najsuchszy był punkt Kaffiøry-Heggodden (KH, 83%) zlokalizowany na morenie czołowo-bocznej Lodowca Aavatsmarka, a najbardziej wilgotno było na polu firnowym Lodowca Waldemara (LW2, 85%). Wilgotność względna na badanym obszarze wykazała przeważnie wzrost wartości wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza. Najwilgotniejsze powietrze w rejonie badań towarzyszyło typom cyrkulacji Sc+SWc+Wc i Sa+SWa+Wa (anomalia dodatnie od 7 do 9%), a najsuchsze (anomalia ujemne wahające się od 6% do 9%) podczas napływu mas powietrza z sektora wschodniego, niezależnie od rodzaju układu barycznego. Najmniejsze różnice (do ok. 1-2%) wystąpiły w sytuacjach bezadwekcyjnych reprezentowanych przez typ Ka+Ca.

Słowa kluczowe: Arktyka, Spitsbergen, klimat, wilgotność względna powietrza, cyrkulacja atmosferyczna.

1. Wstęp

Woda w stanie gazowym w postaci pary wodnej odgrywa kluczową rolę w powietrzu atmosferycznym, w tym przede wszystkim w krążeniu wody na ziemi. Opisując warunki wilgotnościowe w Arktyce należy zwrócić uwagę na specyfikę jej podłoża, głównie na pokrycie znacznych obszarów śniegiem i lodem oraz wodą. Cyrkulacja atmosferyczna pełni bardzo dużą rolę w kształtowaniu klimatu obszarów arktycznych, szczególnie w chłodnym okresie roku. Jej wpływ na podstawowe elementy meteorologiczne jest wciąż nie do końca rozpoznany (Przybylak i in. 2012).

Analizowany obszar NW Spitsbergenu położony jest nieco na północ od głównego szlaku wędrówek cyklonów Bruzdą Islandzko-Karską oraz w sąsiedztwie oceanów. W rezultacie tutaj, jak również na całym obszarze Svalbardu, panują odmienne stosunki wilgotnościowe w porównaniu do innych

obszarów arktycznych, szczególnie kontynentalnych. Ciepłe i wilgotne masy powietrza często napływające z południa powodują, że na Spitsbergenie wilgotność powietrza w ciągu całego roku jest podwyższona (Przybylak 1992a, b).

Wilgotność względna jest jednym z najczęściej używanych parametrów w analizie wilgotności powietrza w obszarach arktycznych. Na jej wielkość wpływa wiele czynników, w tym m. in. wilgotność podłoża, wysokość nad poziomem morza, rzeźba terenu czy wreszcie szata roślinna. W okresie zimowym wilgotność względna liczona względem lodu osiąga najwyższe wartości (względem wody natomiast – najniższe), ponieważ mniej pary wodnej potrzeba do nasycenia powietrza nad lodem niż nad wodą (Przybylak 2003).

Do tej pory ukazało się niezbyt dużo publikacji dotyczących zróżnicowania przestrzennego wilgotności powietrza na obszarze Arktyki (w tym Svalbardu), przede wszystkim z powodu małej liczby dostępnych wiarygodnych danych (Przybylak 2003). Pierwsze polskie pomiary zróżnicowania wilgotności powietrza w skali topoklimatycznej na Spitsbergenie zostały wykonane w ramach wypraw organizowanych w ciągu Międzynarodowego Roku Geofizycznego 1957-1959. Rozpoczęto wówczas pod kierunkiem prof. A. Kosiby obserwacje meteorologiczne na Lodowcu Werenskiolda (m. in. Kosiba 1960, Baranowski 1968). Były one kontynuowane w cyklu wypraw wrocławskich w latach 1970-74 (Baranowski i Głowicki 1974, Baranowski i Głowicki 1975, Pereyma 1983) oraz w latach późniejszych (Brázdil i in. 1988, Pereyma i Piasecki 1988, Nasiótkowski i Pereyma 2007, Migala i in. 2008, Araźny i in. 2009, 2010). Drugim obszarem na Spitsbergenie, gdzie prowadzi się badania topoklimatyczne (w tym pomiary wilgotności powietrza) od wielu lat (od 1975 r.), najpierw w sposób nieregularny, a od 2005 r. w sposób ciągły jest rejon działania Toruńskich Wypraw Polarnych – Kaffiøyra i jej otoczenie (Przybylak 2012). Do ważniejszych prac omawiających zróżnicowanie stosunków wilgotnościowych na tym obszarze należy zaliczyć m.in. opracowania Przybylaka (1980), Wójcika 1982, Wójcika i in. 1983, Araźnego i in. (2011), Araźnego (2012) oraz Przybylaka i Maszewskiego (2012). Jeszcze dwa obszary na Spitsbergenie należy wymienić (okolice Bellsundu i Petunibukty), gdzie polscy badacze prowadzili badania topoklimatyczne (Gluza i Piasecki 1989, Brázdil i in. 1991, Rachlewicz 2003, Gluza i Siwek 2006, 2007, 2009), jednak w wymiarze dużo mniejszym niż w dotychczas omówionych obszarach. Należy tutaj dodać, iż większość z wymienionych opracowań dotyczy jedynie sezonu letniego. Oprócz opracowań topoklimatycznych istnieje także dość spora liczba publikacji omawiających stosunki wilgotnościowe w jednej lub kilku stacjach nadmorskich leżących na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu (np. Niedźwiedź i Ustrnul 1989, Przybylak 1992a, b; Araźny 2003, Marsz 2007, 2013).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie głównych cech zróżnicowania przestrzennego wilgotności względnej w rejonie Kaffiøry w okresie IX 2010 – VIII 2013, jego przyczyn oraz zbadanie roli cyrkulacji atmosferycznej w tym procesie. Do tej pory te zagadnienia były wstępnie przez nas zbadane jedynie na podstawie serii rocznej, w okresie IX 2010 – VIII 2011 (Araźny 2012, Przybylak i Maszewski 2012). Bogatszy zbiór danych użytych do niniejszego opracowania (3 pełne lata) pozwala na uzyskanie bardziej wiarygodnych wyników.

2. Dane i metody

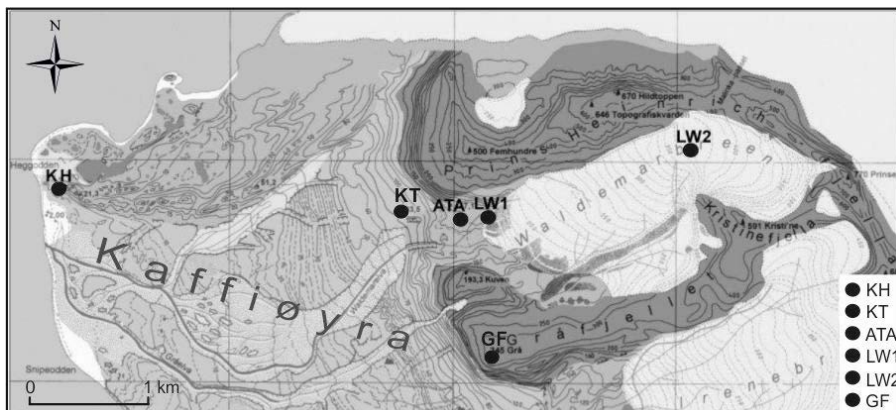
Pomiary wilgotności powietrza na obszarze Forlandsundet rozpoczęte na początku lipca 2010 roku są wykonywane do chwili obecnej. Należy dodać, iż tego typu badania w tak szerokiej skali nie

były dotychczas prowadzone na Spitsbergenie. Do pomiarów wilgotności powietrza zastosowano termiczno-wilgotnościowe czujniki MadgeTech oraz Hobo Pro v2 umieszczone na wysokości 2 m n.p.t. w antyradiacyjnych osłonach Onset RS1 (tab. 1 i ryc. 1). Do celów niniejszego artykułu dane wzięto z okresu IX 2010 – VIII 2013 i ograniczono je do rejonu Kaffiøyry, obszaru tradycyjnych badań toruńskich, dla którego były one najpełniejsze. Mimo to zawierały także znaczące luki, które zostały wypełnione stosując metodę różnic. Na przykład brak danych z punktu KH z okresu IX 2010 – VIII 2011 r. został uzupełniony na podstawie wartości wilgotności względnej z punktu ATA. Podobny zabieg wykonano dla punktu LW2 dla okresu II – VII 2012 r. Punkt ATA został wybrany ponieważ dysponował dla podanych okresów pełnym zakresem danych, a ich wartości są ściśle skorelowane z wilgotnością względną na stanowiskach KH i LW2 (współczynniki korelacji we wszystkich porach roku przekraczają najczęściej znacznie wartość 0,85; ich wartości dla lata podaje też tab. 3 w pracy Araźnego i innych (2011).

Tab. 1. Stacje pomiarowe względnej wilgotności powietrza w rejonie Kaffiøyry pracujące w okresie IX 2010 – VIII 2013

Table 1. Measurement sites of air relative humidity in the Kaffiøyra region in the period from September 2010 to August 2013.

Lp. No.	Stanowiska – Sites		φ	λ	h (m n.p.m.) h (m a.s.l.)
	Skrót Abbreviation	Nazwa – Name			
1	KH	Kaffiøyra-Heggodden	78°40'34"N	11°49'38"E	11
2	KT	Terasa – Terrace	78°40'34"N	11°58'04"E	90
3	ATA	ATA	78°40'31"N	11°59'30"E	137
4	GF	Gråfjellet	78°39'59"N	12°00'33"E	345
5	LW1	Lodowiec Waldemara – czoło Waldemar Glacier – front	78°40'31"N	12°00'01"E	130
6	LW2	Lodowiec Waldemar – pole firnowe Waldemar Glacier – firn field	78°40'54"N	12°05'16"E	375



Ryc. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych w rejonie Kaffiøyry w okresie IX 2010 – VIII 2013

Fig. 1. Location of measurement sites in the Kaffiøyra region in the period from September 2010 to August 2013.

Obszar, w którym zostały rozlokowane czujniki termiczno-wilgotnościowe, był zróżnicowany – szczyt górski, lodowiec, strefa marginalna, morena, terasa oraz plaża. Taki układ pozwolił na analizę zróżnicowania przestrzennego tych elementów meteorologicznych na obszarze Kaffiøyry oraz zbadanie wpływu nań cyrkulacji atmosferycznej. Dla okresu IX 2011 – VIII 2013 z powodu uszkodzeń czujników dostępne były dane dla 3 stacji (Kaffiøyra-Heggodden (KH), ATA oraz Lodowiec Waldemara – pole firnowe (LW2)), które reprezentują odpowiednio środowiska moreny, strefy marginalnej lodowca i pola firnowego lodowca.

W celu określenia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wartości wilgotności względnej wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji dla obszaru Spitsbergenu sporządzony dla Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie przez Niedźwiedzia (2013), który jest dostępny na stronie internetowej Katedry Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego. Krótki okres badawczy nie pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników dla 21 typów zaproponowanych w kalendarzu, dlatego też zostały one połączone, wg propozycji Przybyłaka (1992b), w następujący sposób:

- NWa+Na+NEa, NWc+Nc+NEc – adwekcja mas powietrza z północy, północnego zachodu i północnego wschodu;
- Ea+SEa, Ec+SEc – adwekcja mas powietrza ze wschodu i południowego wschodu;
- Sa+SWa+Wa, Se+SWc+Wc – adwekcja mas powietrza z południa, południowego zachodu i zachodu;
- Ka+Ca – klin antycyklonalny oraz centrum wyżu;
- Bc+Cc – bruzda cyklonalna oraz centrum niżu.

Indeks „a” w nazwie oznacza układ baryczny antycyklonalny, natomiast „c” – cyklonalny. Sytuacje baryczne trudne do określenia oraz siodła baryczne oznaczono jako „X”.

W opracowaniu wykorzystano podział na sezony zaproponowany przez Putninsa i in. (1959) oraz Gavrilovą i Sokolova (1969): jesień (wrzesień-październik), zima (listopad-marzec), wiosna (kwiecień-maj) oraz lato (czerwiec-sierpień).

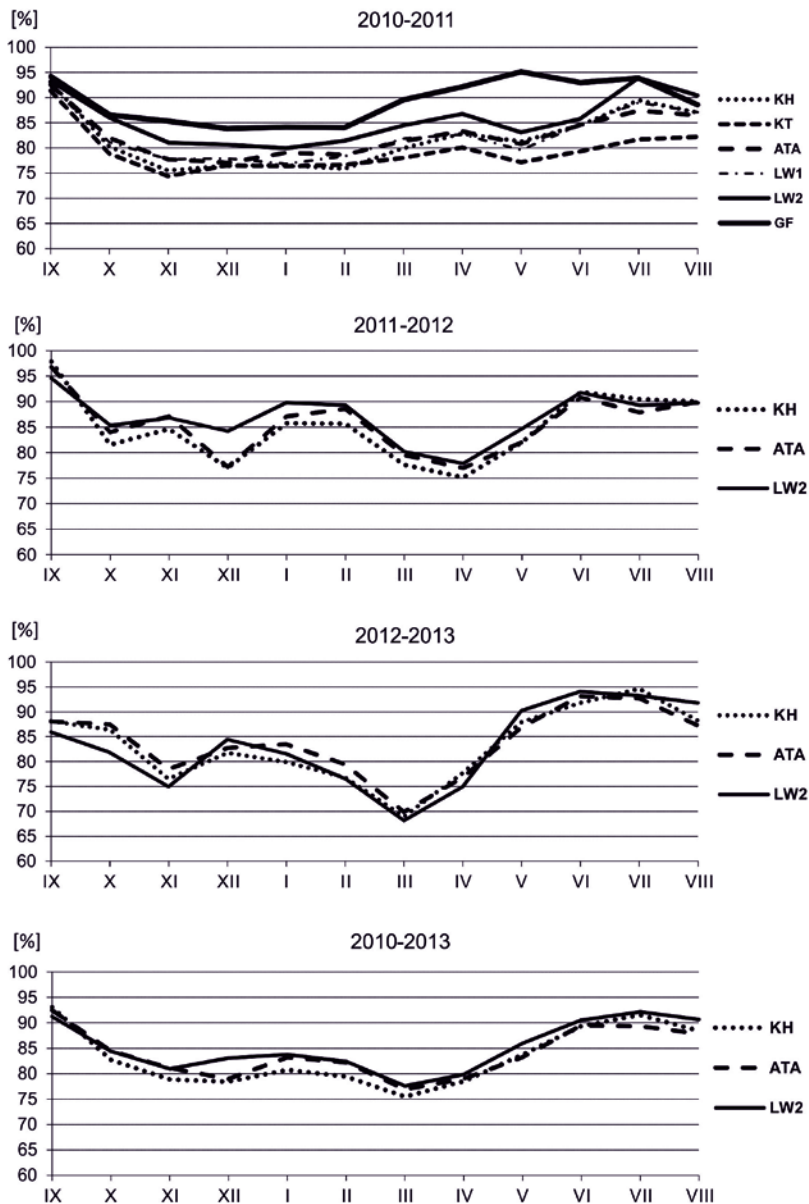
3. Zróżnicowanie przestrzenne wilgotności względnej

Przebieg roczny wilgotności względnej powietrza wykazuje znaczące zróżnicowanie w zależności od położenia stanowiska. Najwyższa średnia miesięczna wilgotność względna wystąpiła na większości stacji we wrześniu, jednak jej najwyższą wartość (95%) odnotowano w maju w punkcie pomiarowym Gråfjellet (GF) – ryc. 2. Na stacjach, które posiadają komplet danych dla wszystkich lat najniższa wilgotność wystąpiła w pierwszej połowie zimy, co związane zazwyczaj jest z adwekcją suchych mas powietrza (Araźny 2003). Najsuchsze powietrze stwierdzono na stacji Terasa (KT) w listopadzie (74%).

W przebiegu rocznym z okresu od września 2010 do sierpnia 2011 (ryc. 2) najwilgotniej było od czerwca do września, z wyjątkiem obszaru górskiego (GF), gdzie okres ten rozpoczął się już w kwietniu. Tutaj też we wszystkich miesiącach odnotowano największą wilgotność względną z maksimum w maju i wrześniu (95%). Na wszystkich stacjach minimum wilgotności powietrza wystąpiło w okresie od listopada do stycznia, a w GF także w lutym, wahając się od 75 do 80%.

W latach 2011-2012 przebieg roczny w badanych trzech stacjach jest zbliżony do obserwowanego w poprzednim roku, najwyższe wartości wilgotności względnej wystąpiły w tym samym okresie, tj. od czerwca do września, z maksimum w ostatnim wymienionym miesiącu wahającym się od 95%

w punkcie LW2 do 97% w punkcie KH (ryc. 2). Natomiast w omawianym roku we wszystkich punktach pomiarowych minimum wystąpiło w kwietniu, w którym wilgotność względna wahała się od około 75% w punkcie KH do 78% w punkcie LW2. Na stanowiskach usytuowanych na morenie oraz w strefie marginalnej lodowca wystąpiło również drugie minimum w grudniu (77%).



Ryc. 2 Średnie miesięczne wartości wilgotności względnej (%) na obszarze Kaffiøyry w okresie od IX 2010 do VIII 2013

Fig. 2. Mean monthly values of air relative humidity (%) in the Kaffiøyra region in the period from September 2010 to August 2013.

W ostatnim badanym roku (IX 2012-VIII 2013) przebieg roczny był podobny jak w poprzednich dwóch latach, wykazując jednak maksima i minima w nieco innych miesiącach (ryc. 2). Na wszystkich stacjach wystąpiły dwa minima, pierwszorzędne w marcu (70%) i drugorzędne w listopadzie, w którym wilgotność względna spadła do 75% (LW2). Natomiast najwilgotniejsze okazały się czerwiec i lipiec (ok. 94%) oraz całe lato z miesiącami sąsiadującymi, tj. majem i wrześniem (> 90%). Drugorzędne maksimum wystąpiło w grudniu i styczniu (ok. 85%).

Średni przebieg roczny wilgotności względnej wykazuje wyraźne jej maksimum w miesiącach letnich oraz wczesną jesienią (ryc. 2). Od lipca do sierpnia wilgotność względna wahała się na wszystkich stacjach od 88 do 92%, jednak najwyższa była we wrześniu, od 91% w punkcie LW2 do 93% na stacji KH. Najniższą wilgotność względną powietrza (od 75% w KH do 78% w LW2) odnotowano w marcu. Niska była ona także w całym półroczu chłodnym. Generalnie opisany powyżej przebieg roczny wilgotności względnej powietrza w rejonie Kaffiøyry jest podobny do wieloletnich przebiegów tego parametru w Hornsundzie (Przybylak 1992b; Araźny 2003; Marsz 2007, 2013) czy w stacji Ny Ålesund (Hanssen-Bauer i in. 1990, Araźny 2003). Jednak warto zauważyć, iż do tej pory maksimum wilgotności względnej w stacjach spitsbergeńskich występowało w lipcu bądź w sierpniu. W rejonie Kaffiøyry przesunęło się ono na wrzesień, co najprawdopodobniej wiązać należy ze znacznym zmniejszeniem się powierzchni lodu morskiego w badanych latach (2010-2013) w porównaniu do lat wcześniejszych, na co wskazuje analiza map pokrycia lodem morskim wokół Spitsbergenu w okresie 1998-2014 (<http://157.249.32.242/archive/>), co powinno skutkować częstszym napływem wilgotniejszych mas powietrza (zobacz ryc. 7 w Araźny i in. 2011). Przesunięcie się natomiast minimum w zimie (z grudnia i stycznia) na marzec było bezpośrednio związane z występowaniem w tym miesiącu najniższej temperatury powietrza w cyklu rocznym na badanym obszarze (zwiększony napływ suchych i chłodnych mas powietrza).

Średnie sezonowe i roczne wartości wilgotności względnej przedstawione zostały w tabeli 2. Wynika z niej, że największa wilgotność względna była na grzbiecie górskim Gråfjellet (89%) i na polu firnowym Lodowca Waldemara (86%). Najsuchsze powietrze (79%) stwierdzono natomiast na wysoko wyniesionej (ok. 100 m n.p.m.) terasie morskiej.

Tab.2. Średnie sezonowe wartości wilgotności względnej (%) na obszarze Kaffiøyry w okresie od IX 2010 do VIII 2013

Table 2. Mean seasonal values of relative humidity (%) in the Kaffiøyra region in the period from September 2010 to August 2013.

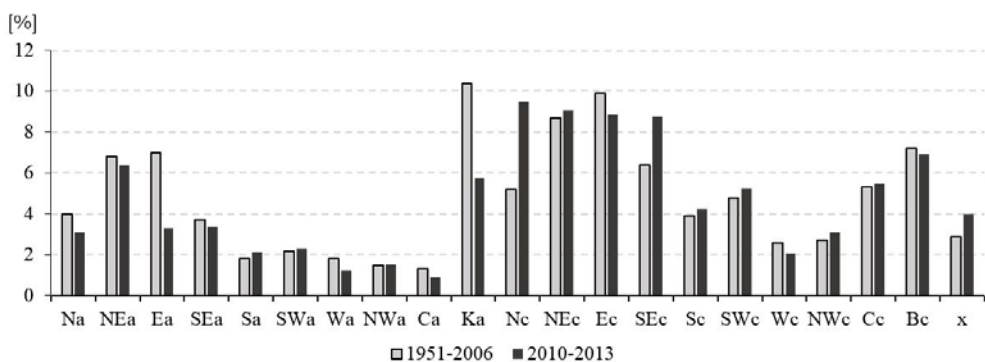
Stanowiska Sites	IX-X	XI-III	IV-V	VI-VIII	IX-VIII
	2010-2011				
KH	87	77	82	87	82
KT	85	76	79	81	79
ATA	87	79	82	86	83
LW1	87	79	81	87	82
LW2	90	82	85	90	86
GF	90	85	94	92	89
2010-2013					
KH	88	79	81	90	83
ATA	88	80	81	89	84
LW2	88	82	83	91	85

Analiza średnich sezonowych wartości wilgotności względnej (tab. 2) potwierdza poprawność wniosków wcześniej wyciągniętych na podstawie średnich wartości miesięcznych. Powietrze zdecydowanie największą wilgotność względną wykazuje w lecie i jesieni. W tym czasie zmienia się ona przeważnie od 86 do 90%. Od tego schematu odbiega jedynie stanowisko GF, gdzie maksimum wystąpiło wiosną i było większe (94%). Wyraźnie najsuchsze powietrze na wszystkich stanowiskach odnotowano w zimie (< 80%), z wyjątkiem najwyższej położonych stanowisk GF i LW2 (tab. 2). Wyniki z 3 stanowisk uśrednione dla 3 lat potwierdzają przedstawione wyżej spostrzeżenia. Z małymi wyjątkami daje się zauważyć regułę, iż wilgotność względna rośnie wraz ze wzrostem wysokości (tab. 2).

4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zróżnicowanie przestrzenne wilgotności względnej

Nad Spitsbergen najczęściej (43%) napływają masy powietrza z sektora wschodniego (kierunek północno-wschodni, wschodni oraz południowo-wschodni). Adwekcja mas powietrza z przeciwnego sektora (zachodniego) jest niemal 3-krotnie rzadsza (15,5%). Biorąc pod uwagę południkowe przemieszczanie się mas powietrza (Niedźwiedź 2003) nieco częstsza jest cyrkulacja północna (29,0%) niż południowa (22,7%).

Cyrkulacja atmosferyczna dla rejonu Kaffiøry została scharakteryzowana na podstawie porównania częstości występowania typów cyrkulacji w wieloletniach 1951-2006 i 2010-2013 (ryc. 3). W ciągu roku w okresie 2010-2013 najczęściej występowała cyrkulacja północna cyklonalna (9,5%). Z nieco mniejszą frekwencją (ok. 9%) zdarzały się następujące typy cyrkulacji: NEc, Ec oraz SEc. Najrzadziej (poniżej 2%) występowały typy antycyklonalnej cyrkulacji z sektora zachodniego (Wa) i północno-zachodniego (NWA) oraz typ związany z centrum wyżowym (Ca). W porównaniu do wielolecia 1951-2006 w badanym okresie spadła częstość występowania typów cyrkulacji antycyklonalnych o ponad 10%, natomiast wzrosła częstość występowania typów cyrkulacji cyklonalnych o 6,8%. W latach 2010-2013 odnotowano też dużo mniej przypadków sytuacji Ka (tylko 5,8% wobec 10,4% w wieloleciu 1951-2006), natomiast zdecydowanie więcej typów cyrkulacji północnej cyklonalnej (9,5% versus 5,2%), która była najczęściej obserwowanym typem cyrkulacji w badanym okresie (ryc. 3).



Ryc. 3. Porównanie częstości występowania poszczególnych typów cyrkulacji na Spitsbergenie w wieloletniach 1951-2006 (Niedźwiedź 2007, 2013) oraz 2010-2013

Fig. 3. Comparison of the frequency of occurrence of synoptic types over Spitsbergen in the periods 1951-2006 (after Niedźwiedź 2007) and 2010-2013.

W latach 2010-2013 przeważały układy niżowe (63,3%), których występowanie było dwa razy większe (tab. 3) niż układów wyżowych (30,0%). W tym okresie nad Spitsbergen najczęściej napływały masy powietrza z kierunku północnego (21,1%). Szczególnie często masy powietrza z tego kierunku napływały w ramach sytuacji cyklonalnych (ryc. 3). Nieco rzadziej (17,7%) występowała adwekcja mas powietrza z sektora wschodniego i południowo-wschodniego. Najrzadziej wystąpiły sytuacje nieokreślone oraz siodła barycznego (4,0%).

Najwyższa średnia wilgotność względna powietrza towarzyszyła cyrkulacji cyklonalnej z sektora południowo-zachodniego (KH, ATA – 93%, LW2 – 96%), która przynosiła nad rejon Kaffiøyry ciepłe oraz wilgotne masy powietrza. Ten sam kierunek adwekcji podczas cyrkulacji antycyklonalnej charakteryzował się nieco niższą wilgotnością względną powietrza (92-95%). Najmniej wilgotne powietrze napływało z kierunku wschodniego oraz południowo-wschodniego podczas cyrkulacji antycyklonalnej (77-78%) oraz cyklonalnej (79%). W całym analizowanym okresie wilgotność względna powietrza była o ok. 2-3% niższa podczas układów antycyklonalnych niż cyklonalnych (tab. 3).

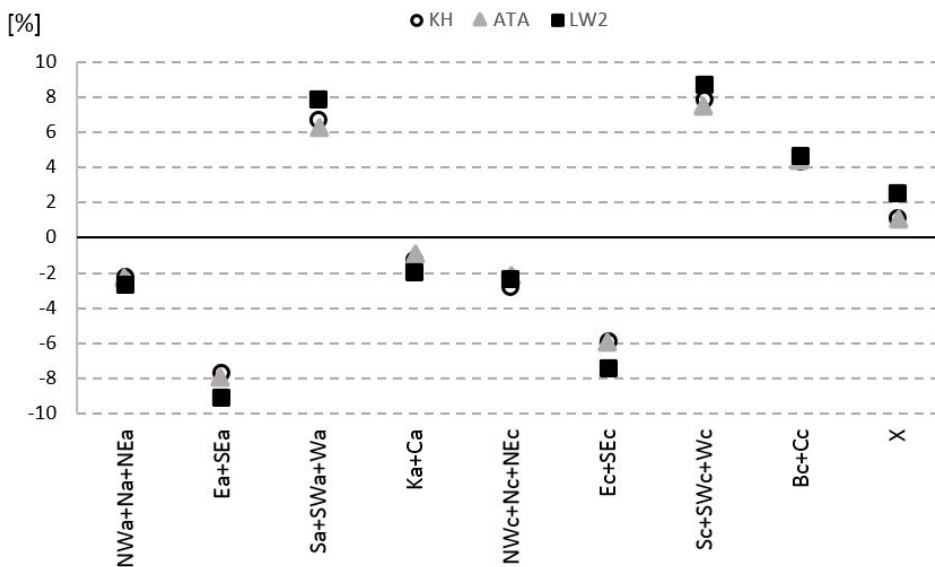
Tab. 3. Częstość występowania łączonych typów cyrkulacji nad Spitsbergenem (N, %), oraz średnie (m), największe (max) i najmniejsze (min) wartości wilgotności względnej (%) na stanowisku KH przy określonych typach cyrkulacji w okresie od września 2010 do sierpnia 2013

Table 3. Frequency of occurrence of combined circulation types over Spitsbergen (n, %), as well as mean (m), highest (max) and lowest (min) values of relative humidity (%) at the KH site during particular circulation types in the period from September 2010 to August 2013.

Typ cyrkulacji Type of circulation	Częstość Frequency		m			max			min		
	N	%	KH	ATA	LW2	KH	ATA	LW2	KH	ATA	LW2
NWa+Na+NEa	124	11,3	83	83	84	99	99	100	54	55	49
Ea+SEa	75	6,8	77	78	78	99	99	100	46	45	44
Sa+SWa+Wa	64	5,8	92	92	95	100	100	100	64	67	75
Ka+Ca	75	6,8	84	85	85	100	100	100	62	63	52
NWc+Nc+NEc	244	22,3	82	83	84	100	100	100	49	50	39
Ec+SEc	199	18,2	79	79	79	100	100	100	54	55	48
Sc+SWc+Wc	130	11,9	93	93	96	100	100	100	66	63	69
Bc+Cc	140	12,8	89	90	91	100	100	100	66	66	66
X	45	4,1	86	87	89	100	100	100	60	68	70
ANTYC – ANTIC	338	30,8	84	84	85	100	100	100	46	45	44
CYKL – CYCL	713	65,1	86	86	88	100	100	100	49	50	39
Suma – Total	1096	100,0	85	85	87	100	100	100	46	45	39

Stan nasycenia powietrza parą wodną (100%) na stacji LW2 wystąpił podczas wszystkich typów cyrkulacji. Na pozostałych dwóch analizowanych stanowiskach jedynie przy typie Ea+SEa oraz NWA+Na+NEa nie był on odnotowany, a maksymalna wilgotność względna osiągnęła 99%. Najniższe średnie dobowe wartości wilgotności względnej w punktach KH oraz ATA wystąpiły podczas cyrkulacji wyżowej z sektorów północno-wschodniego i południowo-wschodniego (45-50%). Na stacji LW2 najniższa średnia dobowa wartość wilgotności przypadła podczas adwekcji powietrza z północy w ramach układu niskiego ciśnienia (39%).

Największą anomalię dodatnią średniej wilgotności względnej powietrza (od 8% do 9%) względem średniej obliczonej ze wszystkich dni charakteryzował się typ cyrkulacji Sc+SWc+Wc (ryc. 4). Najsuchsze powietrze napływało natomiast podczas adwekcji mas powietrza ze wschodu oraz południowo-wschodu w warunkach układów wyżowych (anomalie ujemne od 9% w LW2 do 8% w KH). Najmniejsze różnice wystąpiły podczas sytuacji bezadwekcyjnych (Ka+Ca), kiedy wilgotność względna powietrza była średnio o 1-2% niższa od jej średniej wartości wieloletniej (ryc. 4). Przybylak (1992b) dla Hornsundu dla lat 1979-1983 otrzymał podobne zależności do wyżej opisanych dla rejonu Kaffiøyry, z wyjątkiem typów przynoszących najsuchsze powietrze. W Hornsundzie bowiem powietrze napływające ze wschodu i południowo-wschodu najsuchsze było jedynie w lecie, w sytuacji cyklonalnej. W pozostałym okresie roku masy powietrza napływające z sektora północnego charakteryzowały się wyraźnie największymi anomaliami ujemnymi wilgotności względnej powietrza.



Ryc. 4. Średnie anomalie wilgotności względnej powietrza przy poszczególnych łączonych typach cyrkulacji na stacjach KH, ATA i LW2 w okresie 2010-2013

Fig. 4. Mean anomalies of air relative humidity in the study area during particular combined types of atmospheric circulation in the period from September 2010 to August 2013.

5. Wnioski i uwagi końcowe

Wilgotność względna na badanym obszarze w okresie IX 2010-VIII 2013 wykazała z małymi wyjątkami wzrost wartości wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza.

W przebiegu rocznym wyraźnie wyższe wartości wilgotności względnej powietrza odnotowano w lecie i jesienią (> 85% z wyjątkiem KT – 81% w lecie), a najniższe w zimie (<80% na stacjach położonych na równinie oraz 82-85% w partiach górskich).

Grzbiety górskie cechują się znacznie podwyższonymi wartościami wilgotności względnej oraz odmiennym przebiegiem rocznym w porównaniu z pozostałymi analizowanymi obszarami.

Największe zróżnicowanie przestrzenne wilgotności względnej na badanym obszarze, bez uwzględnienia obszarów górskich, występuje w zimie (do 9%), a najmniejsze jesienią (do 5%).

Zdecydowanie najwilgotniejsze powietrze w rejon badań napływało w ramach typów cyrkulacji SEc+Sc+SWc i SEa+Sa+SWa (anomalie dodatnie od 7% do 9%), a najsuchsze (anomalie ujemne wahające się od 6% do 9%) podczas napływu mas powietrza z sektora wschodniego, niezależnie od rodzaju układu barycznego. Najmniejsze różnice (do ok. 1-2%) wystąpiły w sytuacjach bezadwekcyjnych reprezentowanych przez typ Ka+Ca.

Podziękowania

Opracowanie wykonano w ramach projektu badawczego sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/B/ST10/05007.

Literatura

- Arażny A., 2003. Przebieg roczny wilgotności względnej w Arktyce Norweskiej w okresie 1971-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 107-115.
- Arażny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., Puczek D., 2009. Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w cieplej porze roku 2007 i 2008. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 203-222.
- Arażny A., Migala K., Sikora S., Budzik T., 2010. Meteorological and biometeorological conditions in the Hornsund area (Spitsbergen) during the warm season. *Polish Polar Research*, 31: 217-238.
- Arażny A., Przybylak R., Kejna M., 2011. Zróżnicowanie wilgotności względnej i opadów atmosferycznych w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 21: 155-172.
- Baranowski S., 1968. Termika tundry peryglacjalnej SW Spitsbergen. Państwowe Wydawnictwo Naukowe – Oddział Wrocławski, Wrocław: 73 s.
- Baranowski S., Głowicki B., 1974. Przebieg wybranych elementów meteorologicznych w miesiącach letnich 1970 r. na Spitsbergenie. *Biuletyn Meteorologiczny* no 26 (1) cz. A. Artykuły. *Acta Univ. Wratislaviensis*, 206: 69-73.
- Baranowski S., Głowicki B., 1975. Przebieg wybranych elementów meteorologicznych w ciągu lata 1971 r. na Spitsbergenie. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 287: 95-99.
- Brázdil R., Piasecki J., Prošek P., Szczepankiewicz-Szmyrka A., 1988. The topoclimatic differentiation of the Werenskiöld Glacier and Brattegaldalen regions. [w:] Brázdil R. et al. (red.) *Results of investigations of the Geographical Research Expedition Spitsbergen 1985*. Univerzita J/E/ Purkyne v Brne: 187-210.
- Brázdil 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.
- Gavrilowa L. A., Sokolov S.I., 1969. Vremennaya izmennyivost temperatury vozdukh v Arktike. *Trudy Arktičeskogo i Antarktičeskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta*, 287, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Gluz 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.
- Gluz A., Siwek K., 2006. Przebieg warunków pogodowych na stacji w Calypsobyen w sezonie letnim 2005. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 16: 139-146.
- Gluz A., Siwek K., 2007. Struktura typów pogody w rejonie Bellsundu (W Spitsbergen) w sezonach letnich. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 17: 113-120.
- Gluz A., Siwek K., 2009. Odczuwalność cieplna w sezonach letnich 2007 i 2008 w Calypsobyen (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 223-231.

- Hanssen-Bauer I., Kristensen Solás M, Steffensen E.L., 1990. The climate of Spitsbergen, DNMI-Rapport 39/90, Oslo: ss. 40.
- Kosiba A., 1960. Some of results of glaciological investigations in SW-Spitsbergen carried out during the Polish IGY Spitsbergen Expeditions in 1957, 1958 and 1959. Państwowe Wydawnictwo Naukowe: 30 s.
- Marsz A.A., 2007. Wilgotność względna. [w:] Marsz A.A. Styszyńska A. (red.) Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 175-183.
- Marsz A.A., 2013. Humidity. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (red.) Climate and Climate Change at Hornsund, Svalbard, Gdynia: 189-198.
- Migała K., Nasiółkowski T., Pereyma J., 2008. Topoclimatic conditions in the Hornsund area (SW Spitsbergen) during the ablation season 2005. Polish Polar Research, 29 (1): 73-91.
- Nasiółkowski T., Pereyma J., 2007. Warunki topoklimatyczne w otoczeniu fiordu Hornsund [w:] Przybylak R., Kejna M., Araźny A., Głowacki P.(red.), Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia. Toruń: 89-112.
- Niedźwiedz T., 2003. Współczesna zmienność cyrkulacji atmosfery, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na Spitsbergenie. Problemy Klimatologii Polarnej, 13: 79-92.
- Niedźwiedz T., 2007. Cyrkulacja atmosferyczna. [w:] Marsz A.A. i Styszyńska A. (red.), Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 45-63.
- Niedźwiedz T., 2013. Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie. Komputerowa baza danych, Katedra Klimatologii. Uniwersytet Śląski, <http://klimat.wnoz.us.edu.pl/#!/podstrony/kalendarztn>.
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1989. Wpływ sytuacji synoptycznych na wilgotność powietrza w Hornsundzie (Spitsbergen). Maszynopis w IMGW, Oddział w Krakowie.
- Pereyma J., 1983. Climatological problems of the Hornsund area – Spitsbergen. Acta Univ. Wratisl., 714: 134 s.
- Pereyma J., Piasecki J., 1988. Warunki topoklimatyczne i hydrologiczne w rejonie Lodowca Werenskiolda na Spitsbergenie w sezonie letnio-jesiennym 1983 r. Wyprawy Polarne Uniw. Śląskiego, Katowice: 107-122.
- Przybylak R., 1980. Warunki klimatyczne Lodowca Waldemara (Spitsbergen) i ich pionowe zróżnicowanie w porównaniu z warunkami klimatycznymi na równinie Kaffiory w lecie 1979 r. (maszynopis pracy magisterskiej wykonanej w Zakł. Klim. Inst. Geogr. Uniw. M. Kopernika w Toruniu).
- Przybylak R., 1992a. Spatial differentiation of air temperature and relative humidity on western coast of Spitsbergen in 1979-1983. Polish Polar Research, 13 (2): 113-130.
- Przybylak R., 1992b. Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983. Dokumentacja Geograficzna 2, Wyd. PAN: 1-105.
- Przybylak R., 2003. Air humidity. [w:] The Climate of the Arctic. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library 26. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/Boston/London: 109-116.
- Przybylak R., 2012. Introduction. [w:] R. Przybylak. A. Araźny. M. Kejna (red.), Topoclimatic diversity in Forlandsundet Region (NW Spitsbergen) in global warming conditions. Nicolaus Copernicus University, Toruń: 7-8.
- Przybylak R., Araźny A., Kejna M., 2012a. Topoclimatic diversity in Forlandsundet Region (NW Spitsbergen) in global warming conditions, Nicolaus Copernicus University, Toruń: 115-137.
- Przybylak R., Maszewski R., 2012. The influence of atmospheric circulation on temperature and humidity conditions. [w:] R. Przybylak. A. Araźny. M. Kejna (red.), Topoclimatic diversity in Forlandsundet Region (NW Spitsbergen) in global warming conditions. Nicolaus Copernicus University, Toruń: 139-145.
- Putnins P., Schallert W., 1959. Some meteorological and climatological problems of the Grennland Area. United States, Weather Bureau, Washington D.C.: 1-262.
- Rachlewicz G., 2003. Warunki meteorologiczne w zatoce Petunia (Spitsbergen środkowy) w sezonach letnich 2000 i 2001. Problemy Klimatologii Polarnej, 13: 127-138.

Wójcik G., 1982. Meteorological conditions at the Kaffiøyra Plain–Spitsbergen from 21st July to 28th August 1977. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia*, 16: 151-166.

Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1983. Wilgotność powietrza w sezonie letnim na nizinie nadmorskiej Kaffiøyra i Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen), [w:] *Polskie Badania Polarne. 1970-1982. Rozprawy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń*: 187-199.

Wpłynęło: 5 listopada 2014 r., poprawiono: 21 grudnia 2014 r., zaakceptowano: 27 grudnia 2014 r.

Summary

This paper presents the spatial diversity of air relative humidity (2 m a.g.l.) in the northern part of the Kaffiøyra Plain and on the Waldemar Glacier (NW Spitsbergen), from September 2010 to August 2013, based on measurements taken at six sites located in different environments (Table 1, Figure 1). Results are described for years and seasons, defined as: autumn (Sep-Oct), winter (Nov-Mar), spring (Apr-May) and summer (Jun-Aug). In the period from September 2010 to August 2011, the highest relative humidity was noted on mountain ridges (89%) and in upper part of the Waldemar Glacier (86%). The lowest value of humidity (79%) occurred at a tundra site called 'Terrace', located about two kilometres from the coast (Table 2, Figure 2). In the entire period of observations, for which a reduced number (3) of observation sites exists, drier air (83%) was observed at the Kaffiøyra-Heggodden (KH) site, located in the terminal-lateral moraine of the Aavatsmark Glacier, whereas the wettest air (85%) was measured at the firn part of the Waldemar Glacier (LW2). Relative humidity generally shows an increase as altitude increases above sea level. The marked influence of atmospheric circulation on relative humidity was also noted. In the study period, as compared to long-term values from 1951 to 2006, a decrease in the frequency of occurrence of anticyclonic types and an increase in the frequency of cyclonic types (by 10% and 6.8%, respectively) was also noted (Figure 3). Most humid air in the study area occurred within the circulation types Sc+SWc+Wc and Sa+SWa+Wa (positive anomalies varied from 7% to 9%), and the driest (negative anomalies from 6% to 9%) during air advection from the eastern sector within both anticyclonic and cyclonic weather patterns (Table 3 and Figure 4). The smallest differences (up to 2%) were connected with non-advectional weather type Ka+Ca.

Keywords: Arctic, Spitsbergen, climate, relative air humidity, atmospheric circulation.