

## ZRÓŻNICOWANIE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W REJONIE KAFFIØYRY (NW SPITSBERGEN) W SEZONIE LETNIM W LATACH 1980-2008

ATMOSPHERIC PRECIPITATION DIFFERENTIATION IN THE KAFFIØYRA REGION  
(NW SPITSBERGEN) IN SUMMER SEASON, 1980-2008

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

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Ul. Gagarina 9, 87–100 Toruń  
e-mail: rp11@umk.pl

**Zarys treści.** W opracowaniu przedstawiono zróżnicowanie warunków opadowych w rejonie Kaffiøyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim na podstawie danych z lat 1980-2008. Zbadano wpływ cyrkulacji atmosferycznej i warunków lokalnych na opady atmosferyczne. Uzyskane wyniki porównano ze stacją Ny-Ålesund.

**Słowa kluczowe:** Spitsbergen, Kaffiøyra, sezon letni, opady atmosferyczne, cyrkulacja atmosferyczna.

### 1. Wstęp

Opady atmosferyczne w obszarach polarnych, oprócz ważnej roli jaką pełnią m.in. dla rozwoju biosfery, są także istotnym elementem bilansu masy lodowców (szczególnie opady śniegu w półroczu zimowym). W Arktyce, w tym na Spitsbergenie, niemal wszystkie stacje meteorologiczne są zlokalizowane na wybrzeżu. Natomiast przy ocenie wpływu opadów na bilans masy lodowców potrzebne są dane z wnętrza wyspy, gdzie znajdują się ich pola firmowe. Wiadomo od dawna, iż w obszarach górskich i lodowcowych są one znacząco wyższe niż na terenach nadmorskich.

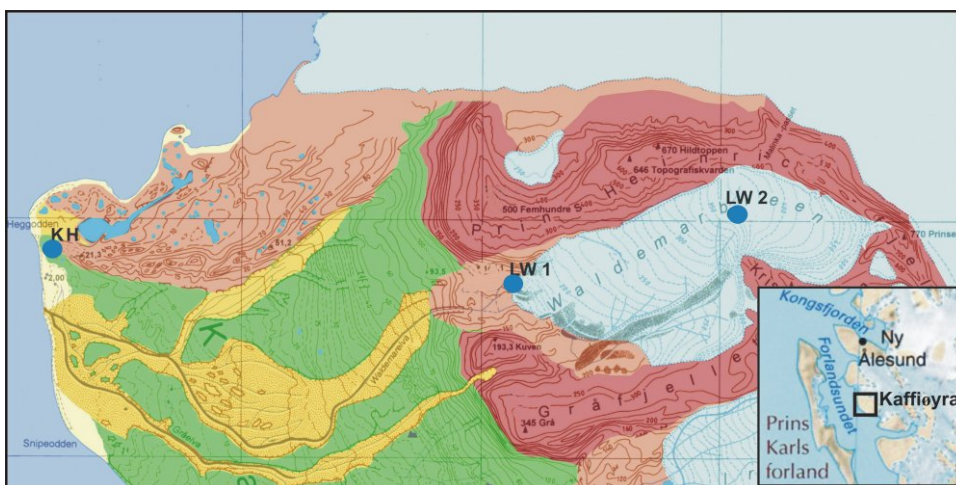
W rejonie Kaffiøyry problem zróżnicowania przestrzennego opadów atmosferycznych rozpoczęto badać w sezonie letnim 1980 r. Wyniki pomiarów z tego sezonu zostały zaprezentowane w publikacji Marciniaka i Przybylaka (1985). W kolejnych Toruńskich Wyprawach Polarnych (TWP) pomiary opadów atmosferycznych w rejonie Kaffiøyry były kontynuowane w latach 1982, 1985, 1989, 1997-2000 oraz 2005-2008, a wyniki w bardzo skrótowy sposób publikowane w licznych sprawozdaniach i artykułach naukowych, m.in.: Wójcik i Przybylak 1991, Wójcik i in. 1992, 1993; Marciniak i in. 1993, Kejna i Dzieniszewski 1994, Arażny 1998, Kejna 2001, Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007, Maszewski i Wyszyński 2008. Obszerne ogólne opracowania na temat opadów atmosferycznych w Arktyce możemy znaleźć w publikacjach Przybylaka (1996, 1997, 2003). Istnieje również szereg opracowań opisujących ten element meteorologiczny w Arktyce Norweskiej (Hanssen-Bauer i Førland 1998, 2000; Førland i Hanssen-Bauer 2000, 2001, 2002), szczególnie zaś na Spitsbergenie (Marci-

niak i Przybylak 1985, Przybylak i Marciniak 1992, Førland i in. 1997, Hanssen-Bauer 2002, Łupikasza 2002, 2003, 2007, 2008; Łupikasza i Niedźwiedz 2002).

Głównym celem niniejszego opracowania jest ustalenie wielkości zmian opadów atmosferycznych wraz ze wzrostem wysokości, oddaleniem od wybrzeża i zmianą rodzaju podłoża. Analizę przeprowadzono na podstawie wieloletnich danych uzyskanych w trakcie trwania 12 TWP. Ta liczba danych pozwala już na osiągnięcie wiarygodnych informacji o zróżnicowaniu opadów w rejonie Kaffiøyry. Umożliwia także zbadanie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na występowanie i wysokość opadów.

## 2. Dane i metody badań

Do opracowania wykorzystano dane dotyczące wielkości opadów atmosferycznych zmierzone w ciągu 12 TWP w latach 1980-2008 na wybranych stacjach pomiarowych w rejonie Kaffiøyry (ryc. 1). Dla celów porównawczych wybrano wspólny dla wszystkich wypraw okres pomiarowy od 21 VII do 31 VIII, zwanym dalej „sezonem letnim”. Uzyskane wyniki porównano ze stacją meteorologiczną Ny-Ålesund (NA, tab. 1, ryc. 1), z pominięciem sezonu letniego 2000, dla którego brak jest kompletnych danych.



Ryc. 1. Położenie stacji pomiarowych w rejonie Kaffiøyry

Fig. 1. Location of meteorological stations in the Kaffiøyra region

Tabela 1 – Table 1

Stacje pomiarowe wykorzystane w opracowaniu  
Measurement stations used in the study

Skrót Abbr.	Pełna nazwa – Full name	h (m n.p.m.) h (m a.s.l.)	$\varphi$	$\lambda$
KH	Kaffiøyra – Heggodden	11,5	78°40'33"N	11°49'38"E
LW1	Lodowiec Waldemara (czoło)	130,0	78°40'31"N	12°49'06"E
LW2	Lodowiec Waldemara (pole firnowe)	375,0	78°40'59"N	12°05'15"E
NA	Ny Ålesund	42,0	78°55'00"N	11°56'00"E

Stacja bazowa KH położona jest na wybrzeżu Cieśniny Forland. Kolejne dwie stacje pomiarowe zlokalizowane są na Lodowcu Waldemara (LW1, LW2). Dla tych stacji dostępne były dane dla 9 sezonów letnich (1980, 1989, 1997-1999, 2005-2008). Stacja NA znajduje się w odległości 28 km w kierunku północnym od wyżej wymienionych stacji (tab. 1, ryc. 1).

Opady atmosferyczne mierzono tradycyjnymi deszczomierzami Hellmanna na standardowej wysokości 1 m n.p.t. Na stacji KH pomiar był wykonywany raz na dobę o godzinie 6 UTC. Natomiast na stacjach pomiarowych na Lodowcu Waldemara (LW1 i LW2) pomiary wykonywano co 1-2 dni (nie rzadziej jednak niż raz na 5 dni). Dobowe sumy opadów atmosferycznych ze stacji Ny-Ålesund uzyskano od Norweskiego Instytutu Meteorologicznego w Oslo.

Dane dotyczące typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie otrzymano dzięki uprzejmości T. Niedźwiedzia (2009). Były one już wielokrotnie opisywane w wielu publikacjach (np. Niedźwiedź 2001, 2007), dlatego też nie ma potrzeby czynić tego ponownie w niniejszym artykule. Do realizacji celów artykułu wykorzystano proste metody statystyczne stosowane powszechnie w klimatologii.

### 3. Wyniki

#### 3. 1. Opady atmosferyczne oraz ich częstość na stacji Kaffiøyra-Heggodden (KH)

Średnia suma opadów atmosferycznych w „sezonie letnim” w okresie 1980-2008 na stacji KH wyniosła 44,9 mm (tab. 2). W analizowanym okresie wystąpiły „sezony letnie” z sumami opadów znacznie wyższymi od wartości średniej. Przykładem mogą być lata: 1997 (122,5 mm) i 1980 (108,0 mm). Najsuchszy „sezon letni” (zaledwie 12,3 mm) wystąpił w 2007 roku. Niewiele większą sumę opadów (13,9 mm) zanotowano w 1985 roku (tab. 2).

Tabela 2 – Table 2

Sumy pentadowe opadów atmosferycznych (mm) na stacji KH w sezonach letnich 1980-2008

Atmospheric 5-day precipitation sums (mm) at KH in the summer seasons 1980-2008

Okres Period	1980	1982	1985	1989	1997	1998	1999	2000	2005	2006	2007	2008	1980- 2008
21.07-25.07	6,0	12,3	0,0	0,4	6,9	0,0	2,8	9,9	1,1	1,7	1,3	0,5	3,6
26.07-31.07	9,2	11,3	5,7	0,1	5,8	0,6	8,2	3,4	6,8	1,7	0,0	.	4,4
01.08-05.08	1,1	0,8	0,0	8,8	40,2	1,8	0,0	7,0	0,8	1,3	3,2	.	5,4
06.08-10.08	8,9	15,3	0,0	2,6	14,3	0,0	2,9	4,2	5,3	5,2	1,4	8,6	5,7
11.08-15.08	37,0	0,0	5,1	0,7	2,0	0,7	9,5	0,0	6,8	0,4	.	11,5	6,1
16.08-20.08	41,8	0,9	3,1	3,6	19,2	0,8	5,3	0,8	5,1	6,4	1,2	0,7	7,4
21.08-25.08	0,9	4,5	0,0	0,8	0,0	7,6	3,4	3,7	9,1	1,1	0,0	0,9	2,7
26.08-31.08	3,1	9,4	0,0	10,0	34,1	4,5	26,3	0,1	14,9	7,3	5,2	.	9,6
01.08-31.08	92,8	30,9	8,2	26,5	109,8	15,4	47,4	15,8	42,0	21,7	11,0	21,7	36,9
21.07-31.08	108,0	54,5	13,9	27,0	122,5	16,0	58,4	29,1	49,9	25,1	12,3	22,2	44,9

Średnie sumy pentadowe opadów atmosferycznych, od końca lipca do końca sierpnia, charakteryzowały się systematycznym wzrostem. Wyjątek stanowiła pentada 21-25 VIII, kiedy to przeciętna suma opadów sięgała zaledwie 2,7 mm (tab. 2). Największe średnie sumy opadów występowały w ostatniej pentadzie sierpnia (9,6 mm). Największa suma pentadowa opadów atmosferycznych

wystąpiła w pentadzie 16-20 VIII w 1980 r. (41,8 mm) oraz w dniach 1-5 VIII 1997 r. (40,2 mm) – tab. 2. Natomiast brak opadów zanotowano w pentadach: 11-15 VIII w 2007 r., 26-31 VII; 1-5 VIII; 26-31 VIII w 2008 roku.

Na Kaffiøryrze w „sezonie letnim” tylko przez 37,1% dni nie występuje opad. Na stacji KH dni z opadem śladowym (0,0 mm) stanowiły 20,4%, a dni z opadem mierzalnym ( $\geq 0,1$  mm) występowały z częstością 42,5% (tab. 3). Dni z opadem  $\geq 10,0$  mm występują bardzo rzadko, średnio stanowiły tylko 1,8% ogólnej liczby dni pomiarowych. W najwilgotniejszym „sezonie letnim”, w 1997 roku, dni z opadem mierzalnym stanowiły 61,9%, w tym 4,8% dni z opadem  $\geq 10,0$  mm (tab. 3). Odwrotna sytuacja wystąpiła w 2007 roku, podczas którego aż w 66,7% dni nie wystąpił opad oraz nie stwierdzono dni z opadem  $\geq 10,0$  mm (tab. 3). Również dwa ostatnie „sezony letnie”, tj. 2007 i 2008 r. charakteryzowały się dużym udziałem dni bez opadu. Dni z opadami  $\geq 10,0$  mm najczęściej występowały w wilgotnym „sezonie letnim” 1980 roku (11,9%) – tab. 3.

Tabela 3 – Table 3

Częstość względna (%) występowania dni z opadami atmosferycznymi wg klas opadowych oraz dni bez opadów na stacji KH w sezonach letnich 1980-2008

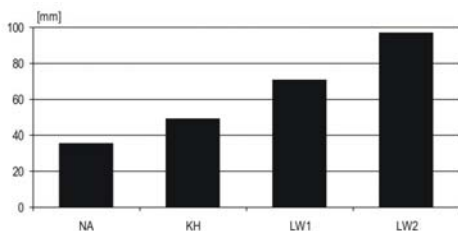
Relative frequency (%) of occurrence of days with (and without) atmospheric precipitation totals according to intervals at KH in the summer seasons of the period 1980-2008

Lata Years	Brak – Without		0,0 mm		$\geq 0,1$ mm		$\geq 1,0$ mm		$\geq 10,0$ mm	
	n	%	n	%	n	%	N	%	n	%
1980	12,0	28,6	9,0	21,4	21,0	50,0	14,0	33,3	5,0	11,9
1982	8,0	19,0	11,0	26,2	23,0	54,8	12,0	28,6	.	.
1985	18,0	42,9	16,0	38,1	8,0	19,0	4,0	9,5	.	.
1989	9,0	21,4	14,0	33,3	19,0	45,2	9,0	21,4	.	.
1997	8,0	19,0	8,0	19,0	26,0	61,9	19,0	45,2	2,0	4,8
1998	15,0	35,7	10,0	23,8	17,0	40,5	5,0	11,9	0,0	0,0
1999	14,0	33,3	9,0	21,4	19,0	45,2	14,0	33,3	1,0	2,4
2000	19,0	45,2	6,0	14,3	17,0	40,5	10,0	23,8	.	.
2005	9,0	21,4	11,0	26,2	22,0	52,4	13,0	31,0	1,0	2,4
2006	14,0	33,3	7,0	16,7	21,0	50,0	8,0	19,0	.	.
2007	28,0	66,7	2,0	4,8	12,0	28,6	3,0	7,1	.	.
2008	33,0	78,6	.	.	9,0	21,4	4,0	9,5	.	.
1980-2008	15,6	37,1	8,6	20,4	17,8	42,5	9,6	22,8	0,8	1,8

### 3.2. Zróznicowanie opadów atmosferycznych w rejonie Kaffiøryry

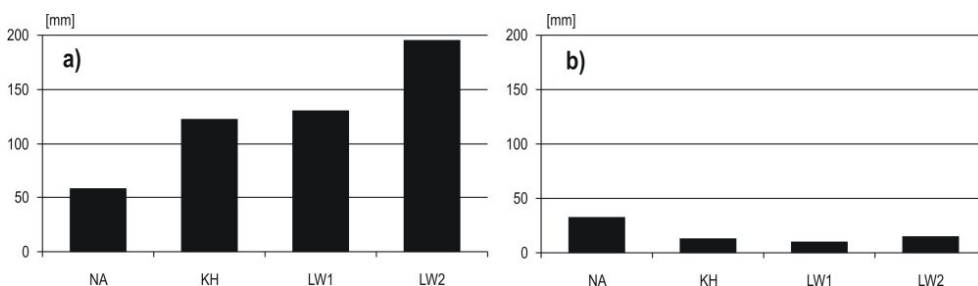
W rejonie Kaffiøryry, na wybrzeżu (KH), średnia suma opadów w „sezonie letnim” (9 sezonów) wyniosła 59,0 mm, podczas gdy na czole Lodowca Waldemara (LW1) – 70,5 mm, a na jego polu firnowym (LW2) – 96,7 mm (ryc. 2). Podczas najwilgotniejszego „sezonu letniego”, w 1997 r., sumy opadów atmosferycznych kształtowały się od 122,5 mm na KH do 195,5 mm na LW2 (ryc. 3a). Jeszcze większe opady na Lodowcu Waldemara wystąpiły w 1980 roku, kiedy to suma opadów na stacji LW2 wyniosła 256,5 mm. Podczas suchego lata w 2007 roku różnice sum opadów atmosferycznych pomiędzy analizowanymi stacjami były niewielkie i sięgały kilku milimetrów, przy sumach nie przekraczających 40 mm (ryc. 3b). Relacje pomiędzy stanowiskami pomiarowymi utrzymywały się w poszczególnych pentadach, jedynie pierwsza i ostatnia pentada sierpnia charakteryzowały się większymi

sumami opadów atmosferycznych na stacji KH w stosunku do Lodowca Waldemara, co wynika m.in. z dużo większej sumy opadów w wymienionych pentadach na Kaffiørzrze (stacja KH) w „sezonie letnim” 1997 roku (tab. 4).



Ryc. 2. Średnie sumy opadów atmosferycznych na stacjach pomiarowych w okresie 21 VII – 31 VIII, 1980-2008

Fig. 2. Mean precipitation totals at measurement stations in period 21 VII – 31 VIII, 1980-2008



Ryc. 3. Sumy opadów atmosferycznych na stacjach pomiarowych w: a) najwilgotniejszym (1997 r.) i b) najsuchszym (2007 r.) okresie 21 VII – 31 VIII na stacji KH

Fig. 3. Precipitation totals at measurement stations in the period 21.07-31.08 in a) most humid (1997) and b) most dry (2007) summers in KH

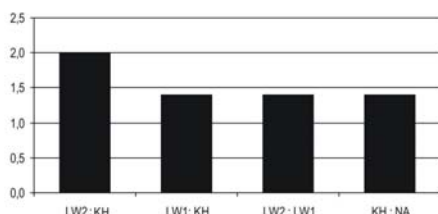
Tabela 4 – Table 4

Różnice pentadowych sum opadów atmosferycznych (mm) pomiędzy KH a NA (KH-NA) w okresie 1980-2008

Differences of 5-day atmospheric precipitation totals (mm) between KH and NA stations (KH-NA) in the summer seasons, 1980-2008

Okres Period	1980	1982	1985	1989	1997	1998	1999	2005	2006	2007	2008	1980-2008
21.07-25.07	4,7	1,5	-1,4	-1,5	2,9	0,0	-0,7	-2,0	0,5	0,0	0,1	0,4
26.07-31.07	-17,9	2,7	0,1	-0,6	2,4	0,6	-3,7	3,1	0,1	-0,1	0,0	-1,2
01.08-05.08	0,5	-0,8	0,0	-4,7	32,4	0,8	-0,4	-0,2	-0,6	0,8	0,0	2,5
06.08-10.08	-18,4	10,8	-2,0	1,9	-2,3	-1,0	-1,3	1,9	2,8	-1,8	2,9	-0,6
11.08-15.08	-13,0	0,0	-1,6	0,6	-0,7	0,2	-1,7	4,3	-0,7	-0,1	-0,4	-1,2
16.08-20.08	-6,8	-2,6	-0,2	-2,4	7,8	0,8	1,8	2,7	-0,3	-8,4	-0,1	-0,7
21.08-25.08	-3,8	-2,5	-1,0	-6,2	-3,0	1,1	1,2	-7,0	-0,3	-1,2	-1,0	-2,2
26.08-31.08	3,1	-9,2	0,0	-10,5	25,2	4,1	20,4	13,5	-0,5	-9,1	0,0	3,4
01.08-31.08	-38,4	-4,3	-4,8	-21,3	59,4	6,0	20,0	15,2	0,4	-19,8	1,4	1,3
21.07-31.08	-51,6	-0,1	-6,1	-23,4	64,7	6,6	15,6	16,3	1,0	-19,9	1,5	0,4

Szczegółowy wgląd w rozkład przestrzenny opadów w rejonie Kaffiøryry można uzyskać analizując zawartość tabel 5-7 i ryc. 4. Przedstawione w tabelach 5 i 6 sumy dekadowe opadów są niemal zawsze wyższe na lodowcu niż na Kaffiøryrze. Największą ich różnicę między LW1 i KH oraz LW2 i KH stwierdzono w drugiej dekadzie sierpnia 1980 roku, który był najwilgotniejszym sezonem ze wszystkich badanych na lodowcu, a drugim (po 1997 r.) najwilgotniejszym sezonem na KH. Opady na stanowiskach lodowcowych były wyższe odpowiednio o 56,3 i 123,6 mm. W latach „suchych” relacje często bywają odwrotne, tj. większe opady są na wybrzeżu niż na lodowcu. Dobrze widoczne jest to w 2007 r., najsuchszym do tej pory na Kaffiøryrze, w którym nawet średnia wartość sezonowa była niższa na czole lodowca (LW1) niż na KH – tab. 5.



Ryc. 4. Średni stosunek letnich opadów atmosferycznych pomiędzy analizowanymi stacjami, 1980-2008

Fig. 4. Mean summer precipitation ratio between measurement stations, 1980-2008

Tabela 5 – Table 5

Różnice dekadowych sum opadów atmosferycznych (mm) pomiędzy LW1 a KH (LW1-KH) w wybranych sezonach letnich okresu 1980-2008  
Differences of 10-days atmospheric precipitation totals (mm) between LW1 and KH stations (LW1-KH) in the selected summer seasons, 1980-2008

Okres Period	1980	1989	1997	1998	1999	2005	2006	2007	2008	1980-2008
21.07-31.07	15,9	4,3	3,4	0,3	1,8	-0,6	4,8	-0,2	0,5	3,4
01.08-10.08	16,0	3,0	5,1	3,2	9,5	-0,9	-0,2	-2,2	-7,9	2,8
11.08-20.08	56,3	1,2	1,5	-0,1	5,6	9,2	6,9	0,8	21,8	11,5
21.08-31.08	6,2	8,7	-2,7	3,7	10,0	3,2	3,3	-1,2	2,9	3,8
01.08-31.08	78,5	12,9	3,9	6,8	25,1	11,5	10,0	-2,6	16,8	18,1
21.07-31.08	94,4	17,2	7,3	7,1	26,9	10,9	14,8	-2,8	17,3	21,5

Tabela 6 – Table 6

Różnice dekadowych sum opadów atmosferycznych (mm) pomiędzy LW2 a KH (LW2-KH) w wybranych sezonach letnich okresu 1980-2008  
Difference of 10-days atmospheric precipitation sums (mm) between at LW2 and KH (LW2-KH) in the summer seasons 1980-2008

Okres Period	1980	1989	1997	1998	1999	2005	2006	2007	2008	1980-2008
21.07-31.07	-	8,2	20,8	3,3	10,1	-0,4	8,7	0,2	-0,5	6,3
01.08-10.08	29,4	7,8	42,7	9,6	7,8	2,7	-0,3	-0,3	3,6	11,4
11.08-20.08	123,6	4,3	13,7	4,2	8,3	11,0	11,8	3,0	29,2	23,2
21.08-31.08	9,7	21,7	-4,2	10,7	24,3	8,5	11,0	-0,1	-0,9	9,0
01.08-31.08	163,7	33,8	52,2	24,5	40,4	22,2	22,5	2,6	31,9	43,8
21.07-31.08	-	42,0	73,0	27,8	50,5	21,8	31,2	2,8	31,4	35,1

Wzrost opadów wraz z wysokością zmienia się w zależności od charakteru podłoża. Znacznie większy jest między wybrzeżem a lodowcem, niż między czołem a polem firnowym Lodowca Waldemara. W pierwszym przypadku (pomiędzy LW1 a KH) wynosi on 18,5 mm na 100 m, podczas gdy w drugim przypadku (LW2-LW1) tylko 10,7 mm na 100 m (tab. 7). Rzeczywisty przyrost opadów wraz z wysokością z pewnością jest nieco mniejszy z uwagi na większe błędy pomiaru opadów w stacji KH w stosunku do stanowisk lodowcowych związane z większymi prędkościami wiatru na wybrzeżu. Na podstawie pomiarów prędkości wiatru wykonanych w latach 2005-2008 stwierdzono, że na KH ich średnia wartość wynosi  $4,0 \text{ ms}^{-1}$ , a na LW2 tylko  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ .

Tabela 7 – Table 7

Gradients sum opadów atmosferycznych (mm/100 m) w rejonie Kaffiøyry  
w wybranych sezonach letnich okresu 1980-2008

Lapse rates of atmospheric precipitation (mm/100 m) in the Kaffiøyra region  
in selected summer seasons, 1980-2008

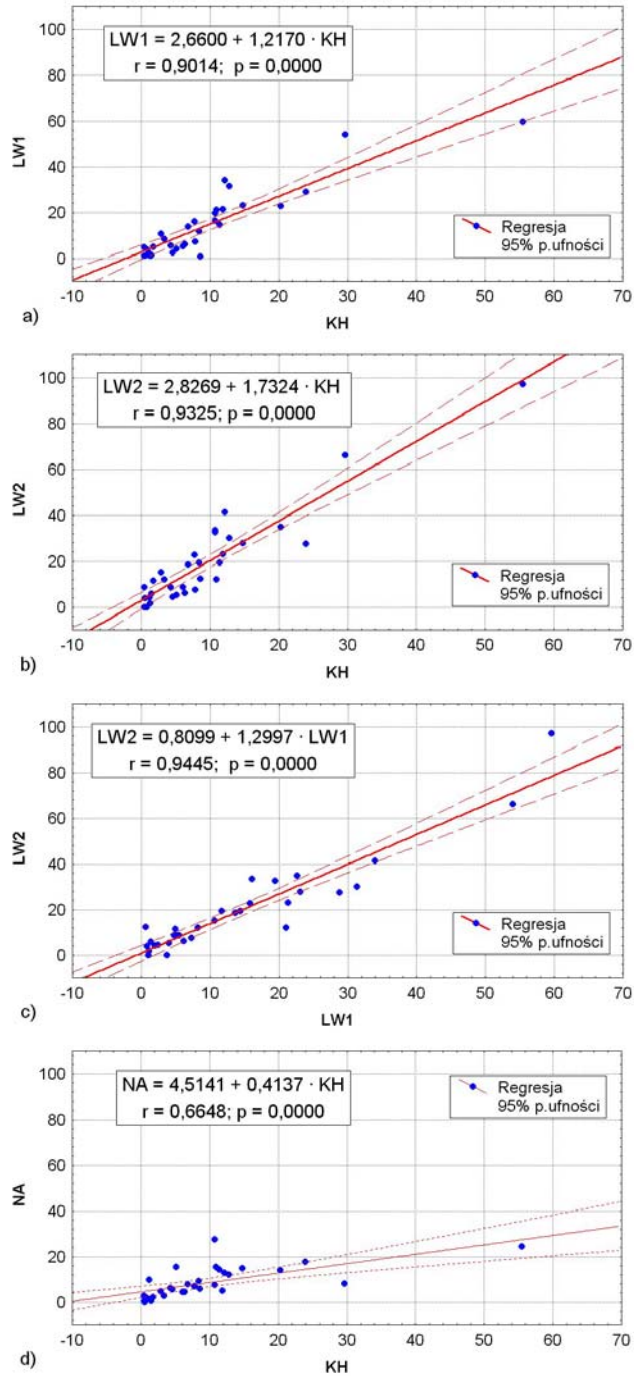
Stacje Stations	1980	1989	1997	1998	1999	2005	2006	2007	2008	1980-2008
LW2-KH	40,9	11,6	20,1	8,8	13,9	6,0	8,6	0,8	8,6	13,2
LW1-KH	79,7	14,5	6,2	9,6	22,7	9,2	12,5	-2,4	14,6	18,5
LW2-LW1	22,1	10,1	26,8	8,4	9,6	4,4	6,7	2,3	5,8	10,7

### 3.3. Korelacje opadów atmosferycznych pomiędzy analizowanymi stacjami

Marciniak i Przybylak (1985), korzystając z małej próby kilkudniowych serii obserwacyjnych, stwierdzili istnienie wyraźnej korelacji między opadami w rejonie Kaffiøyry. Uzyskali logarytmiczną zależność między stanowiskami KH i LW1 oraz KH i LW2, a liniową zależność między LW1 i LW2. Obecnie dysponując znacznie rozszerzoną bazą danych stwierdzono, iż zależność ta rzeczywiście istnieje, jednak jest we wszystkich przypadkach liniowa.

Wszystkie obliczone wartości korelacji pomiędzy dekadowymi sumami opadów atmosferycznych w analizowanych stacjach w rejonie Kaffiøyry (tj. KH i LW1, KH i LW2 oraz LW1 i LW2) były istotne statystycznie na poziomie  $p < 0,01$ . Z uwagi na niewielkie odległości między nimi stwierdzono tu bardzo wysokie wartości korelacji ( $r > 0,9$ ) – ryc. 5 a-c. Najwyższą wartość ( $r = 0,94$ ) uzyskano dla stanowisk lodowcowych. Warto przypomnieć, iż przyczyną tego, wg Marciniaka i Przybylaka (1985), jest ten sam rodzaj podłoża, mniejsza prędkość wiatru w porównaniu ze stacją KH oraz większa częstość występowania tego samego rodzaju zachmurzenia.

W stosunku do położonej około 28 km na północ stacji Ny-Ålesund, w rejonie Kaffiøyry występują zbliżone sumy opadów atmosferycznych (na KH opad jest przeciętnie wyższy o 0,4 mm). Zaznaczają się jednak znaczne różnice w poszczególnych sezonach. W niektórych latach suma opadów była wyższa na KH, np. w 1997 r. o 64,7 mm, czy też w 2005 r. o 16,3 mm, w innych zaś występują odwrotne relacje, wyższe opady na NA, np. 1980 o 51,6 mm, 1989 r. o 23,4 mm. Stąd też korelacja liniowa sum opadów atmosferycznych pomiędzy stacjami KH i NA jest znacznie słabsza  $r = 0,665$ , ale istotna statystycznie na poziomie  $p < 0,05$  – ryc. 1 i 5 d. Mniejsza zgodność występowania opadów w rejonie Kaffiøyry i Ny-Ålesund wynika z różnic w położeniu analizowanych stacji (orografia), rozkładu zachmurzenia oraz ze specyfiki lokalnej cyrkulacji atmosferycznej (zjawisk fenowych).



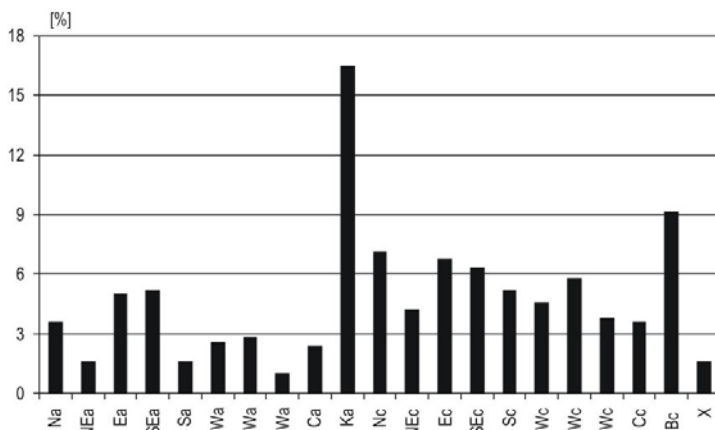
Ryc. 5. Korelacje dekadowych sum opadów atmosferycznych pomiędzy wybranymi stacjami pomiarowymi: a) KH-LW1; b) KH-LW2; c) LW1-LW2; d) KH-NA w sezonach letnich 1980-2008

Fig. 5. Correlation of 10-day precipitation totals taken from summer seasons (1980-2008) between measurement stations: a) KH-LW1; b) KH-LW2; c) LW1-LW2; d) KH-NA



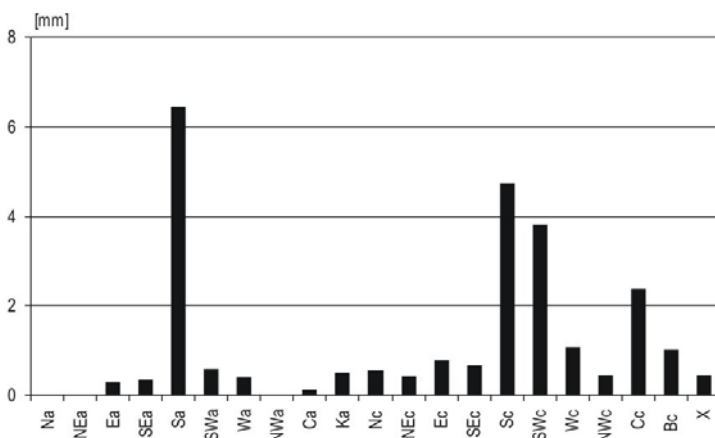
### 3.4. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na opady atmosferyczne

Nad Spitsbergenem podczas „sezonu letniego”, w okresie 1980-2008, dominowały sytuacje Ka (16,5%) oraz Bc (9,1%) – wg kalendarza typów sytuacji synoptycznych prof. T. Niedźwiedzia. Udział pozostałych typów nie przekroczył częstości 8,0%. Z najmniejszą częstością występowały sytuacje NEa (1,6%), Sa (1,6%) i NWa (1,0%) – ryc. 6.



Ryc. 6. Częstość względną (%) występowania sytuacji synoptycznych na Spitsbergenie w sezonach letnich, 1980-2008

Fig. 6. Relative frequency (%) of occurrence of synoptic situations in Spitsbergen in summer seasons, 1980-2008



Ryc. 7. Średnie sumy dobowe opadów atmosferycznych (w mm) podczas poszczególnych sytuacji synoptycznych na stacji KH w sezonach letnich 1980-2008

Fig. 7. Mean daily precipitation totals (in mm) occurring in particular synoptic situations at KH in summer seasons, 1980-2008

Największe średnie sumy dobowe opadów atmosferycznych w KH występowały przy adwekcji z południa i południowego-zachodu podczas sytuacji antycyklonalnej: Sa (6,4 mm) oraz sytuacji cyklonalnych: Sc (4,7 mm), SWc (3,8 mm). Najmniejszymi sumami opadów charakteryzowały się głównie sytuacje antycyklonalne, podczas sytuacji Na, NEa i NWa opady nie wystąpiły w ogóle (ryc. 7). Zbliżone wartości sum opadów atmosferycznych w sezonie letnim przy wymienionych typach cyrkulacji są charakterystyczne dla całego zachodniego wybrzeża Spitsbergenu, w tym w Hornsundzie (Przybylak i Marciniak 1992, Łupikasa 2007).

W rejonie Kaffiøyry występowaniu dni bez opadu i z opadem śladowym sprzyjały sytuacje antycyklonalne, a zwłaszcza Ka. Dni z opadem  $\geq 0,1$  mm i  $\geq 1,0$  mm występowały zwłaszcza przy sytuacjach cyklonalnych, np. Sc (10,3%; 15,8%), SWc (8,9%; 14,9%) i Bc (12,1%; 11,4%), a najrzadziej przy sytuacjach antycyklonalnych - poniżej 4%, (z wyjątkiem sytuacji Ka) – tab. 8. Dni z największymi sumami opadów ( $\geq 10,0$  mm) wystąpiły tylko przy czterech typach sytuacji synoptycznych: Sa (22,2%), Sc (44,4%), SWc (22,2%) i Cc (11,1%).

Tabela 8 – Table 8

Częstość względna (%) występowania poszczególnych sytuacji synoptycznych podczas dni z opadami atmosferycznymi wg klas opadowych oraz dni bezopadowych na stacji KH w sezonach letnich 1980-2008

Relative frequency (%) of occurrence of synoptic situations during days with (and without) atmospheric precipitation totals according to intervals at KH in the summer seasons of the period 1980-2008

Cyrkulacja Circulation	brak/without		0,0 mm		$\geq 0,1$ mm		$\geq 1,0$ mm		$\geq 10,0$ mm	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Na	11,0	5,9	5,0	4,9	.	.	.	.	.	.
NEa	6,0	3,2	1,0	1,0	.	.	.	.	.	.
Ea	10,0	5,3	7,0	6,8	6,0	2,8	3,0	2,6	.	.
SEa	15,0	8,0	5,0	4,9	7,0	3,3	2,0	1,8	.	.
Sa	2,0	1,1	1,0	1,0	6,0	2,8	3,0	2,6	2,0	22,2
SWa	1,0	0,5	2,0	1,9	7,0	3,3	2,0	1,8	.	.
Wa	5,0	2,7	4,0	3,9	7,0	3,3	1,0	0,9	.	.
NWa	3,0	1,6	1,0	1,0	.	.	.	.	.	.
Ca	3,0	1,6	2,0	1,9	5,0	2,3	.	.	.	.
Ka	34,0	18,2	23,0	22,3	27,0	12,6	11,0	9,6	.	.
Nc	17,0	9,1	9,0	8,7	11,0	5,1	5,0	4,4	.	.
NEc	15,0	8,0	2,0	1,9	6,0	2,8	3,0	2,6	.	.
Ec	18,0	9,6	6,0	5,8	11,0	5,1	7,0	6,1	.	.
SEc	11,0	5,9	5,0	4,9	16,0	7,5	8,0	7,0	.	.
Sc	3,0	1,6	2,0	1,9	22,0	10,3	18,0	15,8	4,0	44,4
SWc	3,0	1,6	1,0	1,0	19,0	8,9	17,0	14,9	2,0	22,2
Wc	6,0	3,2	6,0	5,8	15,0	7,0	10,0	8,8	.	.
NWc	5,0	2,7	4,0	3,9	10,0	4,7	2,0	1,8	.	.
Cc	4,0	2,1	6,0	5,8	11,0	5,1	8,0	7,0	1,0	11,1
Bc	11,0	5,9	10,0	9,7	26,0	12,1	13,0	11,4	.	.
X	4,0	2,1	1,0	1,0	2,0	0,9	1,0	0,9	.	.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Na stacji KH w „sezonie letnim” (21.07-31.08) średni opad atmosferyczny wyniósł 44,9 mm. Wystąpiła przy tym bardzo duża zmienność opadów z roku na rok, od 12,3 mm w 2007 r. do 122,5 mm

w 1997 r. Dni bezopadowe stanowią 37,1%, dni z opadem śladowym 20,4% i dni z opadem mierzalnym ( $\geq 0,1$  mm) 42,5%. Są to opady o małej wydajności, dni z opadem  $\geq 10$  mm stanowiły zaledwie 1,8%. W „sezonie letnim” 1997 r. (z największą sumą opadów) dni z opadem mierzalnym  $\geq 0,1$  mm stanowiły 61,9%, natomiast w sezonie z najmniejszą sumą opadów (2007 r.) dominowały dni bezopadowe (66,7%).

W rejonie Kaffiøyry sumy opadów atmosferycznych wzrastają wraz z wysokością od 59,0 mm na wybrzeżu (KH), do 70,5 mm na czole Lodowca Waldemara (LW1) i 96,7 mm na jego polu firmowym (LW2). W najwilgotniejszym „sezonie letnim” (1980 r.) na stacji LW2 suma opadów wyniosła aż 256,5 mm. Pomiędzy LW1 a KH średni gradient opadowy wynosi 18,5 mm/100 m, a między LW2-LW1 tylko 10,7 mm/100 m. Opady atmosferyczne na stacjach KH, LW1 i LW2 charakteryzowały się silną wzajemną korelacją liniową, istotną statystycznie na poziomie 0,01.

W porównaniu do stacji Ny-Ålesund opady atmosferyczne w rejonie Kaffiøyry są zbliżone co do średniej sumy. Jednak w poszczególnych latach występują znaczne różnice sięgające od -51,6 mm do 64,7 mm.

Na występowanie i wielkość opadów atmosferycznych silny wpływ wywiera cyrkulacja atmosferyczna. Średnio największe sumy opadów atmosferycznych w „sezonie letnim” wystąpiły podczas napływu powietrza z sektora południowego i południowo-zachodniego (Sa – 6,4 mm, Sc – 4,7 mm, SWc – 3,8 mm), a najmniejsze przy napływie mas powietrza z sektora północnego (brak opadów przy typach Na, NEa i NWA) i w mniejszym nieco stopniu – wschodniego (efekty fenowe). Występowaniu dni bezopadowych sprzyjały sytuacje antycyklonalne (zwłaszcza Ka), natomiast dni z opadem  $\geq 1,0$  mm i  $\geq 10,0$  mm występowały najczęściej przy sytuacjach Sc (odpowiednio 15,8% i 44,4%) oraz SWc (14,9% i 22,2%).

### Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego specjalnego 113/IPY/2007/01 pt.: "Struktura przestrzenna pola temperatury powietrza jako podstawa do rozpoznania mechanizmów funkcjonowania ekosystemów na obszarze zachodniego Spitsbergenu (TOPOCLIM)".

### Literatura

- Arażny A., 1998. The connection of air temperature and precipitation with the atmospheric circulation in the summer season in 1997 in the Kaffiøyra Plain region (Spitsbergen). [w:] P. Głowacki i J. Bednarek (red.), Polish Polar Studies, 25<sup>th</sup> International Polar Symposium, Warszawa: 43-50.
- 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.
- Førland E. J., Hanssen-Bauer I., 2000. Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false?. Climatic Change, 46: 485-509.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., 2001. Changes in Temperature and precipitation in the Norwegian Arctic during the 20th Century. [w:] M.B. India, D.L. Bonillo (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.
- Hanssen-Bauer I., 2002. Temperature and precipitation in Svalbard 1912-2050: measurements and scenarios. Polar Record, 38 (206): 225-232.

- 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.
- Kejna M., 2001. Warunki meteorologiczne na Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 1999 roku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 55-65.
- Kejna M., Dzieniszewski M., 1994. Warunki meteorologiczne na Kaffiøyra (NW Spitsbergen) w okresie 26.06 – 31.08.1985 r. *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia* 24, UMK, Toruń: 43-54.
- Kejna M., Maszewski R., 2007. Warunki meteorologiczne w rejonie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2006 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki (red.). *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 165-178.
- Łupikasza E., 2002. Zmienność opadów atmosferycznych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12: 77-88.
- Łupikasza E., Niedźwiedź T., 2002. Wpływ cyrkulacji na opady atmosferyczne w Hornsundzie. [w:] A. Kostrzewski, G. Rachlewicz (red.), *Polish Polar Studies, Funkcjonowanie i monitoring Geoekosystemów obszarów polarnych*, Poznań 2002: 203-216.
- Łupikasza E., 2003. Zmienność występowania opadów deszczu i śniegu w Hornsundzie w okresie lipiec 1978 – grudzień 2002. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 93-105.
- Łupikasza E., 2007. Opady atmosferyczne. [w:] A.A. Marsz i A. Styszyńska (red.), *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, i ich przyczyny*. Wyd. Akademii Morskiej, Gdynia: 185-196.
- Łupikasza E., 2008. Zależność występowania rodzajów opadów od temperatury powietrza w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2007. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 18: 99-112.
- Marciniak K., Przybylak R., 1985. Atmospheric precipitation of the summer season in the Kaffiøyra region (North-West Spitsbergen). *Polish Polar Research*, 6 (4): 543-559.
- 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., Wyszyński P., 2008. Warunki meteorologiczne na Kaffiøyrze (NW Spitsbergen) w okresie od 5 lipca do 31 sierpnia 2007. [w:] A. Kowalska (red.), *IV Międzynarodowy Rok Polarny, skrypt XXXII, Międzynarodowe Sympozjum Polarne*, Wrocław: 54-58.
- Niedźwiedź T., 2001. Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 7-26.
- Niedźwiedź T., 2007. Atmospheric circulation conditions in 2005-2006 above Spitsbergen. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 17-32.
- Niedźwiedź T., 2009. Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie. Komputerowa baza danych, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski.
- Przybylak R., Marciniak K., 1992. Opady a cyrkulacja atmosferyczna na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w okresie 1979-1985. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 84-95.
- Przybylak R., 1996. Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce, Toruń: 1-279.
- Przybylak R., 1997. Związki przestrzenne opadów atmosferycznych w Arktyce w okresie 1951-1990. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 41-54.
- Przybylak R., 2003. *The Climate of the Arctic. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 1-288.

- Przybylak R., Arażny A., Ówiklińska K., 2007. Warunki meteorologiczne w rejonie 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.
- 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*, UMK, Toruń: 83-111.
- Wójcik G., Przybylak R., 1991. Warunki meteorologiczne na Równinie Kaffiøyra (NW Spitsbergen) w okresie 14.07-9.09.1982. *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia 22*, Toruń: 109-124.

Wpłynęło: 15 lipca 2009; poprawiono: 17 września 2009

## Summary

Precipitation in the Arctic, including Spitsbergen, is very important for both the biosphere and for the mass balance of glaciers. Our knowledge about its values inside Arctic islands is limited because almost all meteorological stations are located on tundra below 200 m a.s.l. Therefore any information about precipitation conditions occurring on glaciated and non-glaciated areas lying in the inner parts of Spitsbergen is very valuable. In this paper we present results of precipitation measurements carried out in north-western Spitsbergen (the Kaffiøyra region and the Ny Ålesund station) in selected summer seasons during the period 1980-2008. Precipitation measurements in the Kaffiøyra region have been done during Toruń Polar Expeditions in three stations (base station – Kaffiøyra-Heggodden (KH) and two glacier stations located in the lower part (LW1) and upper part (LW2) (see Figure 1 and Table 1). Data for the Ny Ålesund (NA) station were obtained from the Norwegian Meteorological Institute. In the KH and NA stations measurements were recorded every day, while in LW1 and LW2 they were generally taken every 1-2 days. Results of precipitation conditions are presented for a common period of observations, i. e. for 21<sup>st</sup> July-31<sup>st</sup> August. The influence of atmospheric circulation on precipitation was investigated using the catalogue of circulation types constructed by Niedźwiedz (2009).

In the summer season precipitation is greater at the end of the study period, than at the beginning. Year-to-year variability of summer precipitation totals is very large. For example, in KH, the highest precipitation (122.5 mm) occurred in 1997, while the lowest (12.3 mm) was in 2007 (Table 2). Also, the frequency of daily precipitation ( $\geq 0.1$  mm) is significantly greater in most wet summer (61.9%) than in most dry summer (28.6%) (see Table 3). Daily precipitation of  $\geq 10$  mm is rare in the KH station and occurred in only 4 out of the 12 summer seasons.

It is well known that precipitation is greater in the inner parts of Spitsbergen than in tundra areas. Less is known, however, about the magnitudes of these differences. For the Kaffiøyra region precipitation observations are available for 9 summer seasons (Tables 5 and 6). From these Tables and Figure 2 it is clear that precipitation on glaciers is almost always greater than in tundra. On average, summer precipitation totals are greater in LW1 and LW2 than in KH by 21.5 and 35.1 mm, respectively. The greatest differences occurred in 1980, while the lowest were in 2007, when even in LW1 preci-

precipitation was lower than in KH (Table 5, Figure 3). Lapse rates of precipitation in the Kaffiøyra region are greatest between tundra and glaciated areas (oscillating between 13.2mm/100m and 18.5mm/100m between KH and LW2 and KH and LW1, respectively (Table 7)). On the other hand, this lapse rate between stations LW1 and LW2 is the lowest (only 10.7 mm/100 m).

Correlation coefficients of 10-day precipitation totals between the meteorological stations in the Kaffiøyra region are very high and exceed 0.9. The greatest precipitation in the Kaffiøyra region occurred during the inflow of air masses from the southern sector (Table 8, Fig. 7).

**Key words:** Spitsbergen, Kaffiøyra, summer season, precipitation, atmospheric circulation.