

## CYRKULACYJNE WARUNKI WYSTĘPOWANIA EKSTREMALNYCH OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA SPITSBERGENIE

EWA BEDNORZ, MARTA JAKIELCZYK

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,  
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań

**Abstract:** Circulation conditions of extreme precipitation at Spitsbergen were analyzed in this study at the basis of daily data from 1981–2010 from the Svalbard Lufthavn station. The mean annual precipitation in Svalbard Lufthavn amounts to 189.1 mm. The most of extreme daily precipitation cases appear in autumn and winter. It is related to high frequency of deep polar cyclones in the cold part of the year, which bring snow and rain to the Svalbard Archipelago. The highest daily precipitation at Spitsbergen is observed during cyclonal circulation from south-western or western direction. In summer and autumn abundant precipitation is caused by local cyclones appearing right over or northwest to the island. In winter and spring the pressure pattern typical for the days with abundant precipitation characterizes with a thorough of low pressure spreading from the Icelandic Low through the Fram Strait to the Arctic. These circulation patterns are usually accompanied with higher-than-normal pressure over Scandinavia and northern Europe and high pressure gradients over the North Atlantic.

**Keywords:** Spitsbergen, precipitation extremes, atmospheric circulation

### WSTĘP

Cyrkulacja atmosferyczna odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu pogody w klimatach polarnych, gdzie ustabilizowane przez większą część roku czynniki radiacyjne pozostają na dalszym planie (Łupikasza 2002; Niedźwiedź 2003, 2002). Niedźwiedź (2002) wykazał znaczący wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zmienność opadów na Spitsbergenie, a Łupikasza (2007) określiła wieloletnie zmiany występowania ekstremów opadowych w powiązaniu z cyrkulacją atmosferyczną. Wieloletnia zmienność opadów atmosferycznych na Spitsbergenie była analizowana w pracach Forland i in. (1997), Hanssen, Bauer i Forland (1998), Łupikasy (2002) oraz Przybyłaka (2000, 2007), a wszechstronne opracowanie warunków klimatycznych panujących na NW Spitsbergenie przedstawili Steffensen (1982), Przybylak (2003), Marsz i Styszyńska (2007) oraz Nowosielski (2004).

Opady atmosferyczne w Arktyce są przeważnie małe, ponieważ masy powietrza zwykle mają stałą stratyfikację i zawierają niewielkie ilości pary wodnej, na Spitsbergenie natomiast występują wyraźnie większe opady atmosferyczne

(Araźny i in. 2011). Wynikają one z dużego wpływu cyrkulacji atmosferycznej na badany obszar, związanej z przemieszczaniem się niżów bruzdą islandzko-karską, które powodują uprzywilejowanie tego obszaru pod względem termiczno-wilgotnościowym (Araźny 2008; Przybylak i in. 2009). Na Spitsbergenie opady ekstremalne najczęściej pojawiają się podczas napływu powietrza z południowego-zachodu, kiedy archipeląg znajduje się pod wpływem układu niżowego (Łupikasa 2007).

Zachodnie wybrzeże Spitsbergenu charakteryzuje się większymi sumami opadów ze względu na bardziej morski charakter klimatu i napływ wilgotnych mas powietrza z nad basenu morskiego. Centralna część wyspy natomiast ma klimat o charakterze bardziej kontynentalnym, dlatego sumy opadów w tym rejonie są mniejsze. Opady na Spitsbergenie są elementem bardzo zmiennym zarówno w skali rocznej, jak i wieloletniej (Łupikasa 2002; Przybylak 2003). Wielkość opadu atmosferycznego ma związek z frontami atmosferycznymi, napływem ciepłych i wilgotnych mas powietrza oraz z orografią. Na Spitsbergenie maksimum opadów występuje jesienią i zimą. Spowodowane jest to dużym udziałem sytuacji cyklonalnych w półroczu zimowym, które przyczyniają się do znacznego wzrostu sum opadów. Pomimo dużego zachmurzenia opady na Spitsbergenie nie są obfite. Mała zawartość pary wodnej w powietrzu, stabilność mas atmosferycznych i związana z tym przewaga chmur *Stratus* i *Stratocumulus* nie sprzyjają obfitym opadom atmosferycznym (Araźny i in. 2011).

Celem niniejszej pracy jest zbadanie sezonowej zmienności sum opadów atmosferycznych na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu, na przykładzie stacji Svalbard Lufthavn, oraz określenie związku pomiędzy cyrkulacją atmosferyczną a średnimi i ekstremalnymi dobowymi sumami opadów.

## MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODY OPRACOWANIA

Spitsbergen (Spitsbergen Zachodni) jest największą z wysp Archipelagu Svalbard, położoną w północno-zachodniej części Morza Barentsa. Na północy ograniczony Morzem Arktycznym, natomiast od zachodu Morzem Grenlandzkim. Około 60% powierzchni wyspy pokrywają lodowce, głównie w zimniejszej wschodniej części. Stacja polarna Svalbard Lufthavn (78°14'46"N, 15°27'56"E) położona jest w centralnej części Spitsbergenu Zachodniego, na południowym brzegu fiordu Adventfjorden, który jest odgałęzieniem wielkiego fiordu Isfjorden i uchodzi do Morza Grenlandzkiego. Oś fiordu w przybliżeniu ma kierunek SE–NW, a jego szerokość wynosi od 3 do 5 km, długość około 7,5 km. Stacja znajduje się około 3 km na północny wschód od miejscowości Longyerabyen.

Podstawą niniejszego opracowania były dobowe sumy opadów atmosferycznych na stacji Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010, dostępne na stronie Norweskiego Instytutu Meteorologicznego (<[www.eklima.met.no](http://www.eklima.met.no)>). Na podstawie

uzyskanych danych wyliczono sumy opadów i przeanalizowano ich sezonową zmienność oraz obliczono częstość występowania dni z opadem. Wskazano wartości ekstremalne dobowe, miesięczne oraz roczne.

W celu zbadania związku wielkości sum opadów z cyrkulacją atmosferyczną skorzystano z kalendarza typów cyrkulacji dla Spitsbergenu (Niedźwiedź 2013), dostępnego na stronie internetowej Katedry Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego. Niedźwiedź (2013??) wydzielił 20 typów cyrkulacji, uwzględniając rodzaj układu barycznego i kierunek adwekcji powietrza oraz jeden typ oznaczony „X”, reprezentujący siodło baryczne oraz inne sytuacje niedające się sklasyfikować. W katalogu cyrkulacji Na i Nc oznaczają sytuacje z adwekcją powietrza z północy; NEa, NEc – sytuacje z adwekcją powietrza z północnego wschodu; Ea, Ec – sytuacje z adwekcją powietrza ze wschodu; SEa, SEc – sytuacje z adwekcją z południowego wschodu; Sa, Sc – sytuacje z adwekcją z południa; SWa, SWc – sytuacje z adwekcją powietrza z południowego zachodu; Wa, Wc – sytuacje z adwekcją powietrza z zachodu; NWa, NWc – sytuacje z adwekcją z północnego zachodu; Ca – sytuacja centralna antycyklonalna, brak adwekcji, centrum wyżu; Ka – klin antycyklonalny; Cc – sytuacja centralna cyklonalna, Bc – bruzda cyklonalna; X – sytuacje niedające się zaklasyfikować i siodła baryczne (Araźny i in. 2011). Szesnaście z powyższych typów sytuacji synoptycznych cechuje wyraźny kierunek napływu mas powietrza, a cztery nie wykazują adwekcji lub bardzo zmienne kierunki. Indeksami „a” oznaczone są układy baryczne antycyklonalne (wyżowe), a indeksami „c” układy cyklonalne (niżowe) (Araźny i in. 2011). Na podstawie kalendarza wyznaczono procentowy udział poszczególnych typów cyrkulacji nad Spitsbergenem oraz średnie dobowe sumy opadów w Svalbard Lufthavn w poszczególnych typach cyrkulacji.

Dodatkowo wykonano mapy przedstawiające średnie pole ciśnienia na poziomie morza nad sektorem Arktyki określonym współrzędnymi geograficznymi 60–90°N i 60°W–60°E podczas wystąpienia ekstremalnych opadów. Za ekstremalny opad uznano dobową sumę opadów przekraczającą wartość progową zdefiniowaną jako wartość 90 percentyla (IPCC, 2007; Ustrnul, Czekierda 2009). Celem wyznaczenia podanych sytuacji barycznych skorzystano z danych dobowych dotyczących ciśnienia atmosferycznego. Pochodzą one ze zbiorów NCEP/NCAR Reanalysis (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) (Kalnay i in. 1996). Mapy sytuacji barycznych sprzyjających występowaniu ekstremalnie dużych opadów atmosferycznych wykonano oddzielnie dla każdej pory roku.

## WYNIKI

## Średnie wieloletnie, sezonowe i ekstremalne wartości sum opadowych

Średnia roczna suma opadów na stacji Svalbard Lufthavn w wieloleciu 1981–2010 wynosiła 189,2 mm, maksymalną sumę opadów zanotowano w roku 1993 (265,0 mm), a najmniejszą w roku 1998 (91,9 mm; tab. 1). Zakres zmian rocznej sumy opadów w badanym wieloleciu wyniósł 173,1 mm.

Największa część opadów w roku na stacji Svalbard Lufthavn (53,3 mm) przypada na okres jesienny (IX–XI) i stanowi około 28% rocznej sumy opadów (tab. 1). Drugim najobfitszym w opady sezonem jest zima (XII–II) ze średnią sumą 51,2 mm (27% rocznej sumy opadu). Najmniejszą ilość opadów zwykle notuje się wiosną (VI–VIII), średnio 36,0 mm (19%).

Tabela 1. Średnie, najwyższe oraz najniższe sezonowe i roczne sumy opadów [mm] wraz z rokiem wystąpienia w Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010

Table 1. Mean, maximum and minimum seasonal and annual precipitation totals [mm] with a year of occurrence in Svalbard Lufthavn in years 1981–2010

	Rok/Year	III–V	VI–VIII	IX–XI	XII–II
Średnia/ <i>Mean</i>	189,2	36,0	48,6	53,3	51,3
%R	100,0	19,0	25,7	28,2	27,1
Maksimum/ <i>Maximum</i>	26,0 1993	102,8 1993	72 1994	114,3 1980	109,2 1996
Minimum/ <i>Minimum</i>	91,9 1998	9,6 1998	8,9 1998	22,1 1995	16,6 1987
Zakres zmian/ <i>Range</i>	173,1	93,2	63,1	92,2	92,6

%R – procentowy udział w średniej sumie rocznej  
%R – percentage of the mean annual total

Średnie sumy miesięczne opadów w stacji Svalbard Lufthavn rozkładają się nierównomiernie w ciągu roku (tab. 2). Maksimum występuje w sierpniu (23,2 mm), a minimum w maju (6,5 mm). Przez pierwsze trzy miesiące roku średnie opady kształtują się na wyrównanym poziomie, przekraczając 15 mm. Od marca obserwuje się spadek miesięcznych sum opadów aż do majowego minimum. Następnie średnie sumy opadów stopniowo wzrastają, osiągając w sierpniu roczne maksimum (23,2 mm). We wrześniu opady atmosferyczne utrzymują się na podobnym, wysokim poziomie (21,8 mm). W październiku średnia suma opadów spada do wartości 14,4 mm. Od listopada następuje ponowny wzrost średnich sum miesięcznych opadów.

Maksymalna miesięczna suma opadów w Svalbard Lufthavn wystąpiła w grudniu 1995 roku i wyniosła 70,0 mm. Opady o zbliżonej wartości

Tabela 2. Średnie, najwyższe oraz najniższe miesięczne sumy opadów [mm] z rokiem wystąpienia w Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010

Table 2. Mean, maximum and minimum monthly precipitation totals [mm] with a year of occurrence in Svalbard Lufthavn in years 1981–2010

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Średnia/ Mean	17,1	15,5	18,4	11,1	6,5	9,2	16,2	23,2	21,8	14,4	17,1	18,7
%R	9,0	8,2	9,7	5,9	3,4	4,9	8,6	12,2	11,5	7,6	9,1	9,9
Maksimum/ Maximum	68,7	56,3	56,4	31,8	22,8	32,8	51,1	69,2	50,6	40,6	46,1	70,0
	2010	1991	1986	1990	1992	1992	1994	1981	1999	2000	2002	1995
Minimum/ Minimum	4,1	1,2	3,5	1,1	1,5	0,9	0,7	4,8	3,8	2,7	5,3	2,6
	2003	1998	2001	1998	2004	1995	1998	1995	1986	1996	1983	1980
Zakres zmian/ Range	64,6	55,1	52,9	30,7	21,3	31,9	50,4	64,4	46,8	37,9	40,8	67,0

%R – procentowy udział w średniej sumie rocznej

%R – percentage of the mean annual total

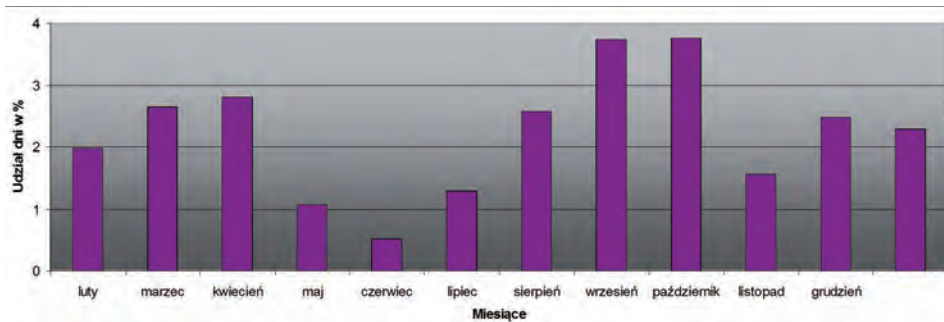
odnotowano również w sierpniu 1981 r. (69,2 mm) oraz styczniu 2010 r. (68,2 mm). Natomiast maksymalna suma opadów dla najbardziej suchego miesiąca – maja wynosiła 22,8 mm. Absolutne minimum odnotowano w lipcu 1998 r. oraz czerwcu 1994 r., suma opadów nie przekroczyła wtedy 1 mm (tab. 2). Przebieg roczny opadów atmosferycznych w Svalbard Lufthavn w kolejnych latach może znacząco różnić się od przebiegu średniego. W okresie obserwacji maksima miesięczne opadów dla kolejnych lat notowane były w każdym miesiącu w roku z wyjątkiem kwietnia i maja. Najwyższa w roku miesięczna suma opadów wystąpiła sześć razy we wrześniu i w grudniu, pięć razy w sierpniu, cztery razy maksimum odnotowano w marcu. Minima miesięczne najczęściej występowały w maju (10 razy) oraz czerwcu (8 razy). W żadnym roku nie odnotowano rocznego minimum opadu w styczniu, marcu, sierpniu, wrześniu oraz listopadzie. W analizowanym wieloleciu największym zakresem zmian miesięcznej sumy opadów charakteryzował się grudzień (67,4 mm) oraz sierpień i styczeń (ok. 65 mm). Najmniejszym zakresem zmian cechował się natomiast maj (21,3 mm) i jest to równocześnie miesiąc najbardziej ubogi w opady. Najbardziej suchy był rok 1998. Odnotowano wówczas najmniejsze w 30-leciu średnie sumy opadów dla lutego, kwietnia oraz lipca.

### Liczba dni z opadem

Liczba dni z opadem w badanej stacji wahała się od 199 w roku 1985 i 1998 do 270 w roku 1984. Opady przekraczające 5 mm wystąpiły maksymalnie podczas 14 dni w roku. W każdym miesiącu przynajmniej raz odnotowano opady,

które trwały przez ponad 25 dni. Najsuchszym miesiącem był lipiec 1998 r., kiedy opady (wliczając opady śladowe) odnotowano tylko podczas 6 dni.

Maksymalny udział dni z obfitym opadem (dobowa suma  $\geq 5$  mm) przypada na październik (3,8% dni) oraz wrzesień (3,7%) i są to około 2 dni w miesiącu (ryc. 1). Najmniej dni z obfitym opadem można zaobserwować w czerwcu. Opady w tym miesiącu przekraczają próg 5 mm z częstością średnio 0,5%. Niewiele takich dni przypada też na maj, czerwiec oraz listopad.



Ryc. 1. Procentowy udział dni z opadem  $\geq 5$  mm w ogólnej liczbie dni w miesiącu w Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010

Fig.1. Percentage of precipitation days in a total monthly number of days in Svalbard Lufthavn in years 1981–2010

Opady w Svalbard Lufthavn najrzadziej pojawiają się wiosną i latem. W tych porach roku dni z opadem notuje się najrzadziej, to jest z częstością odpowiednio 39,1 i 38,5%. Największą częstością dni z opadem charakteryzuje się sezon jesienny i zimowy (ok. 50%; tab. 3).

Tabela 3. Średnie częstości [%] występowania dni z opadem o podanej wielkości w Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010

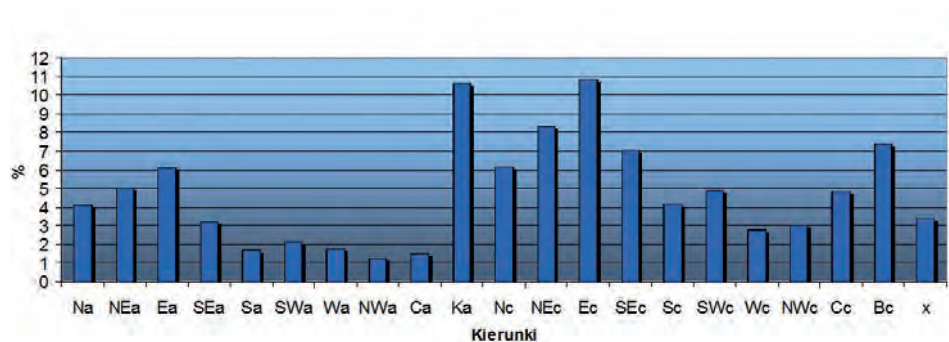
Table 3. Mean frequency [%] of the occurrence of days with given precipitation totals in Svalbard Lufthavn in years 1981–2010

	Dni z opadem <i>Days with precipitation</i> $\geq 0,1$ mm	Dni z opadem <i>Days with precipitation</i> $\geq 1$ mm	Dni z opadem <i>Days with precipitation</i> $\geq 5$ mm
Wiosna/ <i>Spring</i>	39,1	11	1,5
Lato/ <i>Summer</i>	38,5	14,2	2,5
Jesień/ <i>Autumn</i>	50,4	16,3	2,6
Zima/ <i>Winter</i>	49,7	15,2	2,3
Rok/ <i>Year</i>	44,4	14,2	2,2



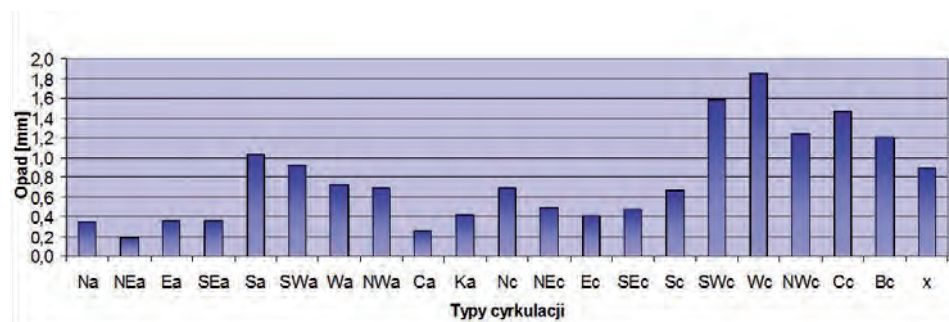
## Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie opadów atmosferycznych

Dużą rolę w kształtowaniu pogody na Spitsbergenie odgrywa cyrkulacja atmosferyczna. W znaczącym stopniu wpływa ona na wielkość i częstość występowania opadów. Typami cyrkulacji najczęściej pojawiającymi się na Spitsbergenie są Ec (10,8%) oraz Ka (10,6%) (ryc. 2). Nie są to sytuacje baryczne sprzyjające pojawianiu się obfitych opadów. Zaleganie nad Spitsbergenem klina wysokiego ciśnienia oraz adwekcji powietrza z kierunku wschodniego przyczynia się do napływu chłodnego powietrza i zmniejszenia ilości opadów. Średnie sumy dobowego opadu na stacji Svalbard Lufthavn podczas sytuacji, gdy nad Spitsbergenem zalegał klin wysokiego ciśnienia wyniosły zaledwie 0,4 mm (ryc. 3).



Ryc. 2. Częstość [%] typów cyrkulacji atmosferycznej nad Spitsbergenem w latach 1981–2010 według klasyfikacji Niedźwiedzia (2013)

Fig. 2. Frequency of circulation types over Spitsbergen in years 1981–2010 according to Niedźwiedź's (2013) classification



Ryc. 3. Średnie dobowe sumy opadów [mm] przy poszczególnych typach cyrkulacji w Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010

Fig. 3. Mean daily precipitation totals [mm] in particular circulation types in Svalbard Lufthavn in years 1981–2010

Największa ilość opadów na obszarze Spitsbergenu występuje przy adwekcji powietrza z sektora zachodniego i południowego o charakterze cyklonalnym. Najwyższe sumy opadów występują podczas sytuacji synoptycznej Wc (średnio 1,9 mm na dobę) oraz SWc (średnio 1,6 mm na dobę) (ryc. 3.). Stosunkowo duże opady atmosferyczne można zaobserwować także podczas zalegania centrum niżu nad Spitsbergenem (Cc) oraz bruzdy niskiego ciśnienia (Bc). Najmniejsze opady występują przy sytuacjach antycyklonalnych NEa oraz Ca.

### Cyrkulacyjne warunki występowania opadów ekstremalnych

Celem lepszego zobrazowania sytuacji barycznych powodujących obfite opady w Svalbard Lufthavn wykonano mapy pola ciśnienia na poziomie morza dla dni z ekstremalnymi opadami. Za ekstremalny opad uznano dobową sumę opadów przekraczającą wartość progową zdefiniowaną jako wartość 90 percentyla, czyli 9,0 mm. Mapy sytuacji barycznych sprzyjających występowaniu ekstremalnie dużych opadów atmosferycznych wykonano oddzielnie dla każdej pory roku.

Najwięcej przypadków sum opadów dobowych przekraczających przyjętą wartość progową zanotowano zimą (22 dni; tab. 4), niewiele mniej latem i jesienią (po 21 dni). Zdecydowanie mniej takich przypadków wystąpiło wiosną (10 dni). Maksymalna suma dobowych opadów o wartości 43,2 mm została odnotowana latem.

Tabela 4. Liczba dni z sumą opadów przekraczającą wartość 9,0 mm (90 percentyl) w Svalbard Lufthavn w latach 1981–2010

Table 4. Number of days with precipitation exceeding 9.0 mm (90 percentile) in Svalbard Lufthavn in years 1981–2010

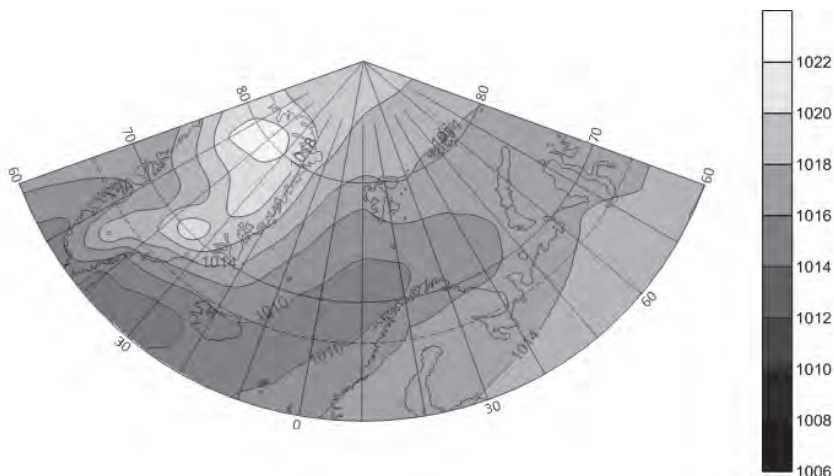
	Wiosna/Spring	Lato/Summer	Jesień/Autumn	Zima/Winter
Liczba przypadków/ Number of cases	10	21	21	22

Średnie pole ciśnienia dla sezonu **wiosennego** (marzec–maj) przedstawiono na rycinie 4. Spitsbergen znajduje się pod wpływem bruzdy niskiego ciśnienia sięgającej od centrum niskiego ciśnienia ulokowanego na południowy zachód od Islandii.

Inne pole ciśnienia panowało w dniach, kiedy opady wiosenne na Spitsbergenie przekraczały wartość 9,0 mm. Wyspa znajdowała się między dwoma ośrodkami wysokiego ciśnienia. Nad Skandynawią rozciągał się głęboki i rozległy ośrodek antycyklonalny; jednocześnie Niż Islandzki był głębszy niż zazwyczaj. Nad północnym Atlantykiem występowały bardzo duże gradienty baryczne (ryc. 5). Wyż Grenlandzki pozostawał w swoim normalnym położeniu. Między

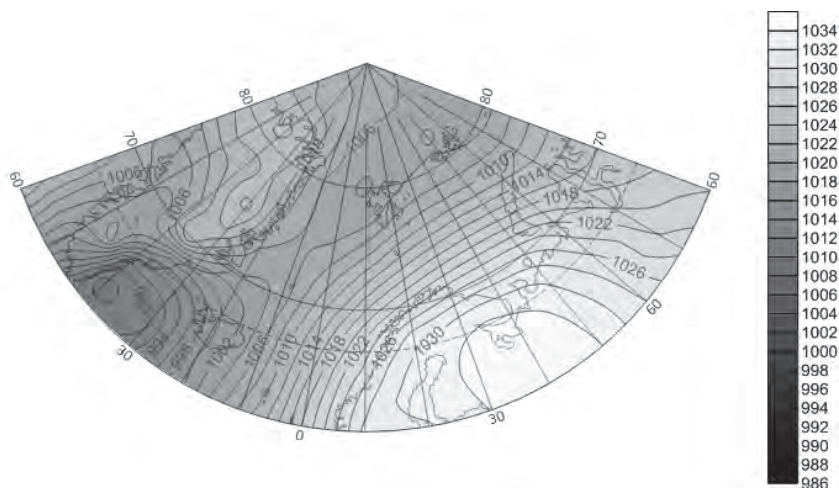


Grenlandią a Spitsbergenem utworzył się wąski pas niskiego ciśnienia, co powodowało intensywny – z powodu dużego gradientu barycznego – przepływ mas powietrza z południowego zachodu i zwiększone sumy opadów atmosferycznych. Do wystąpienia obfitych padów mogło przyczynić się także lokalne centrum niskiego ciśnienia u północno-zachodnich wybrzeży wyspy.



Ryc. 4. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] wiosną (marzec–maj) w atlantyckim sektorze Arktyki w latach 1981–2010

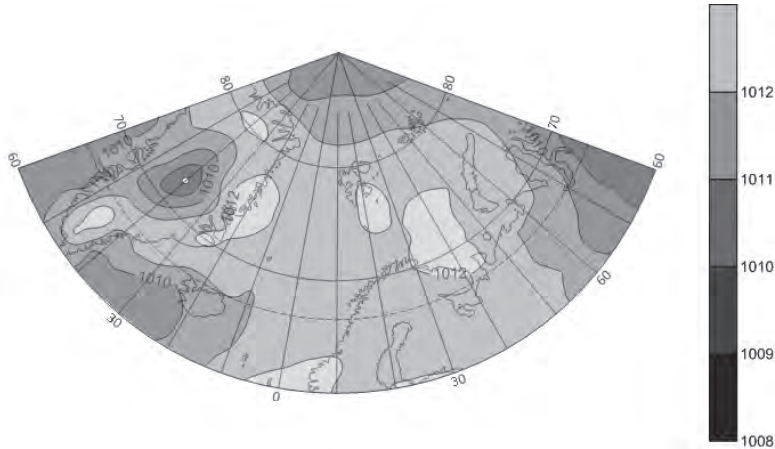
Fig. 4. Mean sea level pressure [hPa] in spring (March–May) in the Atlantic sector of the Arctic in years 1981–2010



Ryc. 5. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] wiosną (marzec–maj) w dniach wystąpienia ekstremalnych opadów w Svalbard Lufthavn (1981–2010)

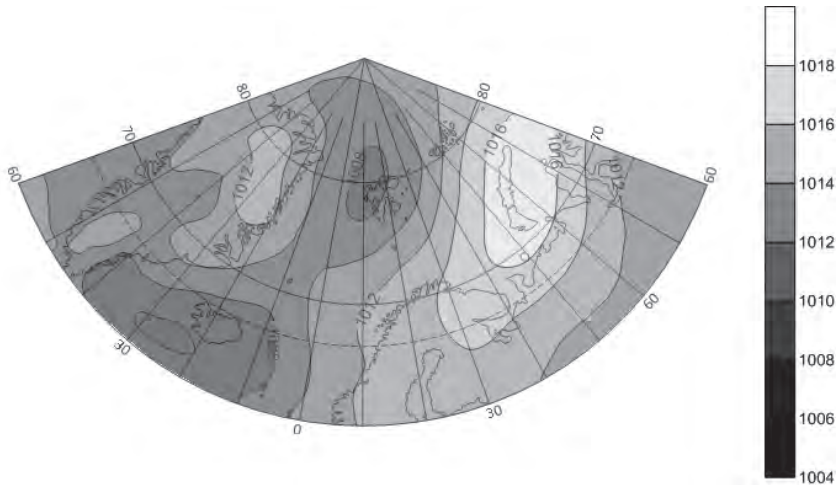
Fig. 5. Mean sea level pressure [hPa] in spring (March–May) in the days of extreme precipitation in Svalbard Lufthavn (1981–2010)

**Latem** (czerwiec–sierpień) pole ciśnienia jest rozmyte, bez wyraźnych centrów, a gradienty ciśnienia są bardzo małe (ryc. 6). W sytuacji wystąpienia ekstremów opadowych nad Spitsbergenem zalega bruzda niskiego ciśnienia rozciągająca się od strony Islandii z wyraźnym centrum nad Spitsbergenem (ryc. 7). Centrum wyżu natomiast utrzymuje się na wschód od archipelagu Svalbard. Nad Grenlandią utrzymuje się słabo rozbudowany wyż.



Ryc. 6. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] latem (czerwiec–sierpień) w atlantyckim sektorze Arktyki w latach 1981–2010

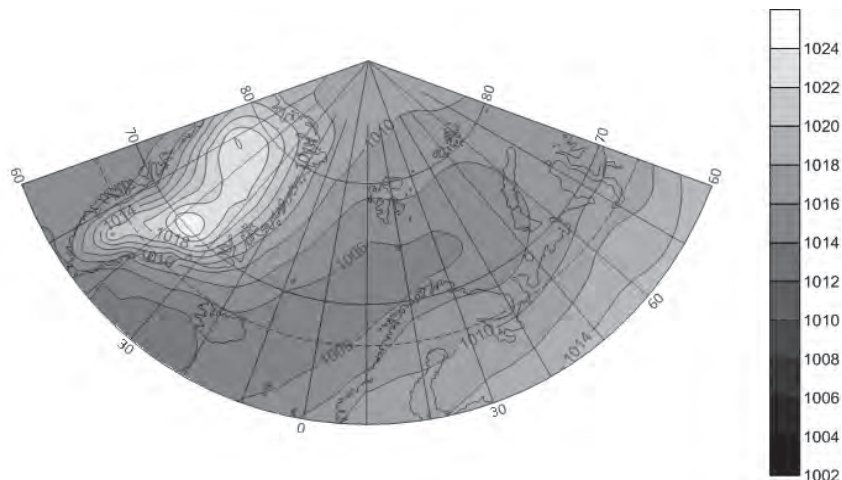
Fig. 6. Mean sea level pressure [hPa] in summer (June–August) in the Atlantic sector of the Arctic in years 1981–2010



Ryc. 7. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] latem (czerwiec–sierpień) w dniach wystąpienia ekstremalnych opadów w Svalbard Lufthavn (1981–2010)

Fig. 7. Mean sea level pressure [hPa] in summer (June–August) in the days of extreme precipitation in Svalbard Lufthavn (1981–2010)

**Jesienią** (wrzesień–listopad) w atlantyckim obszarze Arktyki pole baryczne zaczyna się zmieniać, a gradienty baryczne zwiększają się. Spitsbergen jest pod wpływem bruzdy niskiego ciśnienia znad Islandii (ryc. 8). Nad Grenlandią tworzy się wyż.



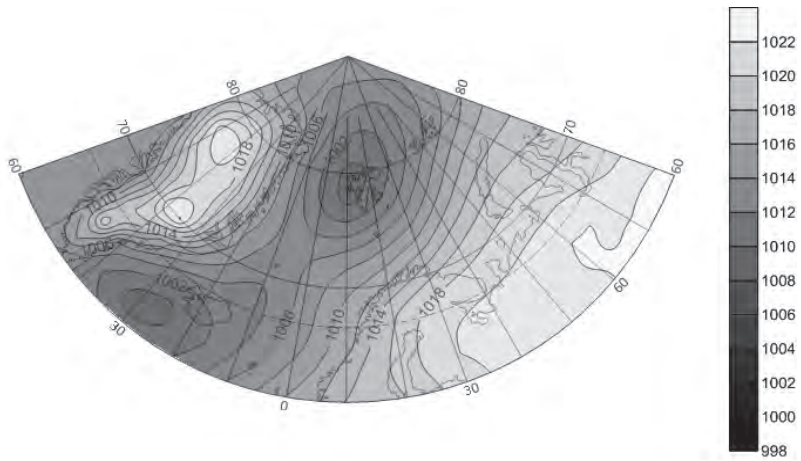
Ryc. 8. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] jesienią (wrzesień–listopad) w atlantyckim sektorze Arktyki w latach 1981–2010

Fig. 8. Mean sea level pressure [hPa] in autumn (September–November) in the Atlantic sector of the Arctic in years 1981–2010

Występowanie obfitych jesiennych opadów nad Spitsbergenem związane jest z ośrodkami niskiego ciśnienia tworzącymi się nad północno-zachodnią częścią wyspy (średnie ciśnienie w centrum < 1000 hPa). Nad Skandynawią rozciąga się pas podwyższonego ciśnienia, natomiast nad Grenlandią rozbudowuje się wyż (ryc. 9).

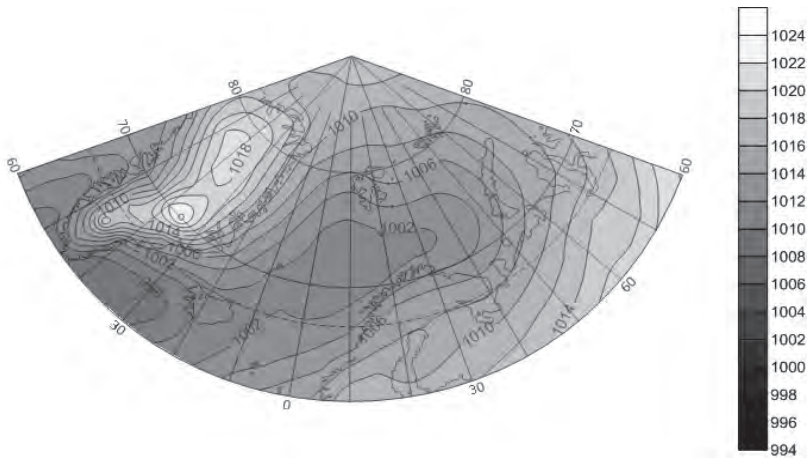
Główną cechą północnoatlantyckiego układu barycznego w **zimie** jest rozległa bruzda niskiego ciśnienia przebiegająca od Niżu Islandzkiego przez Morze Norweskie i Morze Barentsa w kierunku Nowej Ziemi. Spitsbergen położony jest w północnej części tego układu (ryc. 10). W takim układzie barycznym nad Spitsbergenem dominują wiatry wschodnie.

Sytuacja baryczna w czasie dni z ekstremalnymi opadami znacząco się zmienia. Nad północnym Atlantykiem rozciąga się pas obniżonego ciśnienia, który łączy Niż Islandzki z niżem arktycznym. Nad kontynentem europejskim zalega umocniony i silnie rozbudowany wyż (ryc. 11). Spitsbergen znajduje się na skraju niżu znad Arktyki, w obszarze dużych gradientów barycznych. Taka sytuacja powoduje intensywny przepływ mas powietrza z kierunku zachodniego i południowo-zachodniego.



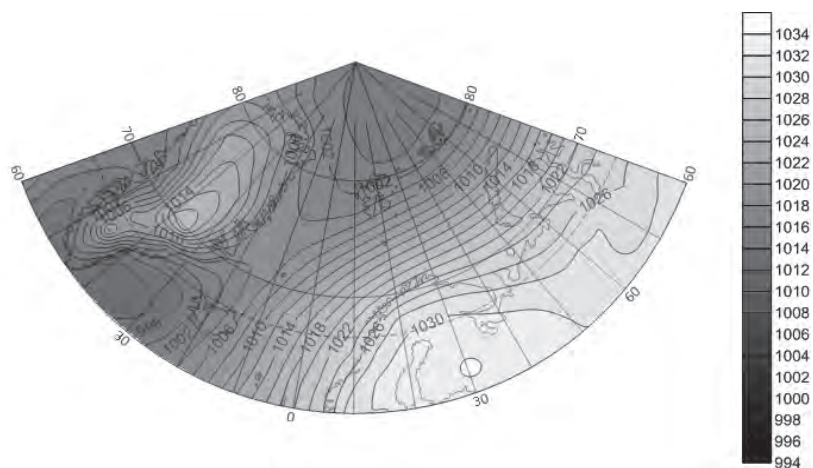
Ryc. 9. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] jesienią (wrzesień–listopad) w dniach wystąpienia ekstremalnych opadów w Svalbard Lufthavn (1981–2010)

Fig. 9. Mean sea level pressure [hPa] in autumn (September–November) in the days of extreme precipitation in Svalbard Lufthavn (1981–2010)



Ryc. 10. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] zimą (grudzień–luty) w atlantyckim sektorze Arktyki w latach 1981–2010

Fig. 10. Mean sea level pressure [hPa] in winter (December–February) in the Atlantic sector of the Arctic in years 1981–2010



Ryc. 11. Średni rozkład ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza [hPa] zimą (grudzień–luty) w dniach wystąpienia ekstremalnych opadów w Svalbard Lufthavn (1981–2010)

Fig. 11. Mean sea level pressure [hPa] in winter (December–February) in the days of extreme precipitation in Svalbard Lufthavn (1981–2010)

## PODSUMOWANIE

Klimat obszarów polarnych charakteryzuje się stosunkowo małymi i nieregularnymi opadami atmosferycznymi, z maksimum występującym na przełomie lata i jesieni (Przybylak 2003). Średnia roczna suma opadów w Svalbard Lufthavn dla 30-lecia 1981–2010 wynosiła 189,1 mm, a zakres zmian mieścił się w przedziale od 92 mm w roku 1998 do 265 mm w 1993. Niska – nawet jak na obszary polarne – suma opadów wskazuje na kontynentalne pod względem pluwialnym cechy klimatu stacji Svalbard Lufthavn położonej w centralnej części Spitsbergenu. Większość opadów przypada na okres jesienny, co jest spowodowane częstym występowaniem sytuacji cyklonalnych w półroczu zimowym (Serreze i in. 1993; Serreze, Barry 1988; Zhang i in. 2004; Rogers i in. 2005), które przyczyniają się do znacznego wzrostu sum opadów.

Oprócz wartości średnich istotną cechą analizy warunków klimatycznych konkretnego miejsca są wartości ekstremalne danych elementów meteorologicznych. Pomimo małych opadów w obszarach polarnych mogą tu sporadycznie występować wysokie sumy dobowe opadu. Obfite opady są zwykle spowodowane układami cyklonalnymi, które przemieszczają się nad Północnym Atlantykiem i nad Basenem Arktycznym. Najwięcej przypadków ekstremalnych opadów atmosferycznych w Svalbard Lufthavn (przekraczających wartość 99 percentyla, tj. 9,0 mm) zaobserwowano zimą (22 przypadki), natomiast najmniej wiosną (10). Obfite opady nad Spitsbergenem związane są z niżami



przemieszczającymi się z rejonu Islandii na północ i północny wschód poprzez Cieśninę Fram (Serreze, Barry 1988; Serreze, in. 1993) lub lokującymi się nad północno-zachodnią częścią Archipelagu Svalbard. Towarzyszą im najczęściej duże gradienty baryczne i cyrkulacja z sektora południowo-zachodniego lub zachodniego (sytuacje synoptycznych SWc oraz Wc wg kalendarza cyrkulacji Niedźwiedzia (2013)).

## LITERATURA

- Araźny A. 2008: *Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971–2000*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń.
- Araźny A., Przybylak R., Kejna M. 2011: *Zróźnicowanie wilgotności względnej i opadów atmosferycznych w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010*, Problemy Klimatologii Polarnej, 21, 155–172.
- Forland E.J., Hanssen-Bauer I., Nordli P.Ø. 1997: *Climate statistics and long term series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen*, DNMI – Rapport, 21, Norwegian Meteorological Institute, Oslo.
- Hanssen-Bauer I., Forland E.J. 1998: *Long-term trends in precipitation and temperature in the Norwegian Arctic: can there be explained by changes in atmospheric circulation patterns?*, Climate Research, 10, 143–153.
- IPCC Fourth Assessment Report, 2007: Working Group I Report The Physical Science Basis. Chapter 10. Global Climate Projections, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. 1996: *The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project*, B. Am. Meteorol. Soc., 77, 437–471.
- Łupikasza E. 2002: *Zmienność opadów atmosferycznych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978–2000*, Problemy Klimatologii Polarnej, 12, 77–88.
- Łupikasza E. 2007: *Wieloletnia zmienność występowania ekstremów opadowych w Hornsundzie (Spitsbergen) i ich związek z cyrkulacją atmosfery*, Problemy Klimatologii Polarnej, 17, 87–103.
- Marsz A.A., Styszyńska A. 2007: *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia.
- Niedźwiedź T. 2002: *Wpływ cyrkulacji atmosfery na wysokie opady w Hornsundzie (Spitsbergen)*, Problemy Klimatologii Polarnej, 12, 65–75.
- Niedźwiedź T. 2003: *Współczesna zmienność cyrkulacji atmosfery, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na Spitsbergenie*, Problemy Klimatologii Polarnej, 13, 79–92.
- Niedźwiedź T. 2013: *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Spitsbergenu – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Norwegian Meteorological Institute, <<http://eklima.met.no/>>.
- Nowosielski L. 2004: *Klimat Spitsbergenu*, Gazeta Obserwatora IMGW, 2, 14–17.
- Przybylak R. 2000: *Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic*, International Journal of Climatology, 20, 587–614.
- Przybylak R. 2003: *The climate of the Arctic*, Dordrecht, etc., Kluwer Academic Publishers.
- Przybylak R. 2007: *Recent air-temperature changes in the Arctic*, Annals of Glaciology, 46, 316–324.
- Przybylak R., Araźny A., Kejna M., Maszewski M., Wszyński P. 2009: *Zróźnicowanie opadów atmosferycznych w rejonie Kaffioryr (NW Spitsbergen) w sezonie letnim latach 1980–2008*, Problemy Klimatologii Polarnej, 19, 189–202.



- Rogers J.C., Yang L., Li L. 2005: *The role of Fram Strait winter cyclones on sea ice flux and on Spitsbergen air temperatures*, Geophysical Research Letters, 32, L06709.
- Serreze M.C., Barry R.G. 1988: *Synoptic activity in the Arctic Basin, 1979–85*, Journal of Climate, 1, 1276–1295.
- Serreze M.C., Box R.G., Barry R.G., Walsh J.E. 1993: *Characteristics of Arctic Synoptic Activity*, Meteorology and Atmospheric Physics, 51, 147–164.
- Steffensen E.L. 1982: *The climate at Norwegian Arctic stations*, Det Norske Meteorologiske Institutt, Klima 5, Oslo.
- Ustrnul Z., Czekerda D. 2009: *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Zhang X., Walsh J.E., Zhang J., Bhatt U.S., Ikeda M. 2004: *Climatology and inter-annual variability of Arctic cyclone activity: 1948–2002*, Journal of Climate, 17, 2300–2317.