

CYRKULACYJNE UWARUNKOWANIA WYSTĘPOWANIA MGIEŁ I OGRANICZONEJ WIDZIALNOŚCI W HORNSUNDZIE (SPITSBERGEN)

CIRCULATION CONDITIONS FAVOURING FOG AND LOW VISIBILITY OCCURRENCE IN HORNSUND (SPITSBERGEN)

Ewa Łupikasza, Tadeusz Niedźwiedź

Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec
ewa.lupikasza@us.edu.pl; tadeusz.niedzwiedz@us.edu.pl

Zarys treści. W artykule omówiono przebieg roczny występowania mgieł i ograniczonej widzialności poziomej (<1km) w Hornsundzie. Wykorzystano w tym celu dane o zjawiskach meteorologicznych w okresie od lipca 1978 do połowy listopada 2016 roku. Zbiór danych poszerzono o wyniki bardzo dobrej jakości obserwacji zgromadzonych podczas Międzynarodowego Roku Geofizycznego (lipiec 1957 – sierpień 1958). W Hornsundzie mgły występowały średnio podczas 34 dni w roku. Częściej, bo przez 55 dni, widzialność pozioma była ograniczona poniżej 1 km. Zjawiska te najczęściej pojawiały się latem (średnio 21 dni), zwłaszcza w lipcu podczas dni z adwekcją powietrza z południowego zachodu. Dysproporcja pomiędzy częstością występowania dni z mgłą i ograniczoną widzialnością była niewielka latem i osiągała maksimum w zimie kiedy widzialność pozioma jest ograniczona głównie przez intensywne opady śniegu lub zawieje i zamiecie śnieżne. W zimie największym prawdopodobieństwem występowania mgły (8 %) wyróżniała się sytuacja synoptyczna z centrum wyżu nad Spitsbergenem (typ Ca), zaś prawdopodobieństwo wystąpienia ograniczonej widzialności w typach cyklonalnych było większe (18%) niż w typach antycyklonalnych (6%).

Słowa kluczowe: mgły, ograniczona widzialność, cyrkulacja atmosfery, Arktyka, Spitsbergen.

1. Wstęp

W obszarach polarnych o dużym zróżnicowaniu typów powierzchni czynnej (morze, lody pływające, tundra na wybrzeżach, lodowce) przy obniżeniu temperatury powietrza dość często dochodzi do stanu nasycenia pary wodnej znajdującej się w powietrzu. Zawiesina mikroskopijnych kropelek pary wodnej lub kryształków lodu w dolnych warstwach atmosfery jest obserwowana jako mgła, jeżeli ogranicza ona widzialność poziomą poniżej 1 km (Niedźwiedź 2003). Na obszarze Arktyki występują cztery główne typy mgieł: adwekcyjne, radiacyjne, z wyparowania i lodowe (Przybylak 2003, 2016). W obszarach morskich i na wybrzeżach Spitsbergenu najbardziej charakterystyczne są mgły adwekcyjne, tworzące się głównie w lecie przy napływie względnie ciepłego i wilgotnego powietrza nad chłodniejsze podłoże (Marsz 2013, Przybylak 2016). Mgły radiacyjne występują głównie w dolinach i nad lodowcami w porze nocnej w warunkach pogody o małym zachmurzeniu i słabym wietrze, wskutek silnego wychłodzenia podłoża. Mgły te zazwyczaj mają mniejszą miąższość niż mgły adwekcyjne, stąd często grzbiety i szczyty górskie znajdują się ponad warstwą mgły wypełniającej wklęsłe formy terenu. Rzadziej występują mgły z wyparowania, które tworzą się wyłącznie nad niezamarzniętymi częściami morza przy spadku temperatury powietrza o ponad 8-10°C poniżej temperatury powierzchni

wodnej (Marsz 2013). Mgły lodowe tworzą się przy temperaturze powietrza niższej od -30°C (Przybylak 2003, 2016, Ye 2009). Dodatkowo na Spitsbergenie i innych górzystych wyspach Arktyki na stokach górskich tworzą się mgły orograficzne (Marsz 2013) przy wstępującym ruchu powietrza po stoku (wychłodzenie adiabaticzne).

Mimo dużego znaczenia mgieł jako zjawiska utrudniającego żeglugę, komunikację morską i lotniczą, dla obszaru Arktyki nie ma zbyt wielu opracowań na ten temat. Podstawowe informacje na temat mgieł w regionie Arktyki zawiera książka R. Przybylaka (2003, 2016). Z zamieszczonej tam mapy E.V. Ukhanovej (1971) wynika, że nad Spitsbergenem średnia roczna liczba dni z mgłą jest mniejsza niż 60 dni, a w lipcu nie przekracza 10 dni. Natomiast nad Morzem Grenlandzkim rocznie notuje się od około 60 dni z mgłą w części południowej do ponad 120 dni w części północnej. W lipcu mgły występują podczas 10-25 dni. Najwięcej, bo ponad 140 dni z mgłą w roku notuje się w środkowej części Arktyki (ponad 25 dni w lipcu). Wzdłuż wschodnich wybrzeży Grenlandii roczna liczba dni z mgłą mieści się w granicach 20-60 dni. Największą średnią roczną liczbę 32 dni z mgłą S. Guyene (2014) stwierdziła w Danmarkshavn (za okres 1958-2008), najmniejszą zaś wynoszącą 19 dni na południowym krańcu Grenlandii w Prins Christian Sund (za okres 34 lat 1958-1980, 1993-2003). Mgły najczęściej występowały od maja do sierpnia z maksimum przeważnie w lipcu.

Informacje o mgłach na Spitsbergenie znajdują się w opracowaniach klimatu norweskich stacji meteorologicznych w Arktyce (Steffensen 1982, Hanssen-Bauer i in. 1990, Førland i in. 1997). W ostatniej z wymienionych publikacji zamieszczono tabele ze średnią miesięczną i roczną liczbą dni z mgłą oraz z widzialnością poziomą poniżej 1 km na trzech stacjach (Hopen, Jan Mayen i Bjornoya) za okres 41 lat (1956-1996) a dla innych stacji za mniejszą liczbę lat (m.in. Isfjord Radio za 20 lat 1956-1975, Svalbard Airport za 21 lat 1976-1996 i Ny Ålesund za 22 lata 1975-1996).

Pierwsze opracowanie częstości występowania mgieł na Stacji Naukowej PAN w Hornsundzie wykonał Z. Pietroń (1987). Uwzględnił on dane z Międzynarodowego Roku Geofizycznego (1957-1958) oraz za lata 1978-1980 i 1981-1985. Zależnie od sposobu liczenia średnia roczna liczba dni z mgłą w tym okresie została oszacowana na 24-26 dni z maksimum w sierpniu (7 dni). Autor ten jako pierwszy określił prawdopodobieństwo warunkowe występowania dni z mgłą przy różnych typach cyrkulacji atmosfery. W skali rocznej największe prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z mgłą (34%) zostało stwierdzone przy sytuacjach wyżowych z adwekcją powietrza z zachodu (Wa). Wśród sytuacji cyklonalnych największym prawdopodobieństwem występowania mgieł odznaczają się dwa typy z adwekcją powietrza z południowego zachodu (SWc 27%) oraz zachodu (Wc 21%). W opracowaniach monograficznych klimatu Hornsundu (Marsz i Styszyńska red. 2007, 2013) A.A. Marsz (2013) w rozdziale 12 przedstawił dokładną charakterystykę widzialności poziomej i mgieł. Stwierdził wzrost średniej liczby dni z mgłą do około 31 w latach 1978-2006 i do 32 w okresie 1978-2009.

Celem niniejszego artykułu jest określenie przebiegu rocznego występowania mgieł i ograniczonej widzialności poziomej poniżej 1 km w Hornsundzie na podstawie całej dostępnej serii obserwacji do roku 2016. W poszczególnych sezonach wyróżnione zostały typy cyrkulacji atmosfery sprzyjające i niesprzyjające występowaniu dni z wymienionymi warunkami pogodowymi.

2. Materiały i metody

Polska Stacja Naukowa PAN im. Stanisława Siedleckiego w Hornsundzie (nr WMO 01003, $77^{\circ}00'\text{N}$, $15^{\circ}33'\text{E}$, 10 m n.p.m.) leży w południowo-zachodniej części Spitsbergenu, mniej więcej

w środkowej części regionu atlantyckiego Arktyki. Reprezentuje ona dobrze warunki przyrodnicze tundry teras morskich południowo-zachodniej części Spitsbergenu przy wybrzeżu Morza Grenlandzkiego i fiordu Hornsund.

Dane meteorologiczne stacji synoptycznej w Hornsundzie zaczerpnięto z Biuletynów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Wielbińska 1982, Miętus 2000-2001) oraz Biuletynów Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (Institute of Geophysics 2001, 2003-2005, Instytut Geofizyki PAN 2009-2016). Charakterystyki widzialności i zjawisk meteorologicznych za okres od października 1999 do drugiej połowy listopada 2016 roku zostały porównane i uzupełnione informacjami pochodzącymi z depesz synoptycznych (SYNOP) zgromadzonych w bazie OGIMET (Valor i López 2016).

Większość wyników obserwacji jest dostępna z rozdzielczością czasową co 3 godziny (00-21 UTC). Uwzględniono najstarsze dane zebrane podczas Międzynarodowego Roku Geofizycznego (MRG) w okresie od lipca 1957 do sierpnia 1958 roku oraz wyniki obserwacji obejmujące okres od lipca 1978 do drugiej połowy listopada 2016 roku, z przerwą od sierpnia 1981 do września 1982 roku podczas stanu wojennego w Polsce. Po przeprowadzeniu wstępnej kontroli jakości obserwacji zjawisk meteorologicznych, wyselekcjonowano dni z mgłą na podstawie zbioru danych dobowych liczącego 13959 dni. Wykorzystano wyniki z ośmiu terminów obserwacji (godziny 00-21 UTC) w postaci kodowanych zjawisk atmosferycznych w terminie obserwacji „ww” oraz pogody ubiegłej między sąsiednimi obserwacjami „W1” i „W2” zgodnie z kluczem FM12 SYNOP (IMGW 1996). Za dzień z mgłą uznano taki, kiedy chociaż w jednym terminie wystąpiły liczby kodu ww=41-49 oznaczające mgłę, lub ww=28 wskazujące wystąpienie mgły na stacji w ciągu ostatniej godziny, albo wartości W1=4 lub W2=4 informujące o tym, że mgła występowała między ostatnią obserwacją i bieżącą. Nie brano pod uwagę wartości ww=40, co oznacza mgłę odległą, niepowodującą na stacji zmniejszenia widzialności poniżej 1 km.

Drugim z rozpatrywanych wskaźników była liczba dni z widzialnością poziomą poniżej 1km. Za dzień z ograniczoną widzialnością uważano taki, w którym co najmniej w jednym z ośmiu terminów obserwacji stwierdzono widzialność <1km, co jest oznaczone w kodzie synoptycznym jako „VV” równe 00-09 lub 90-93 (IMGW 1996). Tak ograniczona widzialność występuje nie tylko przy mgłach, ale może być powodowana przez gwałtowne opady śniegu oraz zawieje i zamiecie śnieżne, rzadziej przez silne opady deszczu. Trudno jest odtworzyć widzialność w okresie między obserwacjami. W przypadku, gdy w żadnym z 8 terminów nie stwierdzono ograniczonej widzialności, ale między obserwacjami występowała mgła (z definicji widzialność wtedy musiała być mniejsza od 1km) to taki dzień zaliczono również do dni z ograniczoną widzialnością. Zbiór danych dobowych posłużył do wyznaczenia miesięcznej, rocznej i sezonowej (III-V, VI-VIII, IX-XI, XII-II) liczby dni z mgłą i widzialnością <1 km, a następnie do obliczenia podstawowych charakterystyk statystycznych. Dane pochodzące z obserwacji wizualnych mogą zawierać pewne niejednorodności wynikające z subiektywizmu zmieniających się każdego roku obserwatorów.

W pracy wykorzystano typy cyrkulacji wyróżnione przez T. Niedźwiedzia (2001, 2016) nad Spitsbergenem na podstawie dolnych map synoptycznych dla każdego dnia roku. Ta klasyfikacja cyrkulacji obejmuje 21 typów (10 antycyklonalnych z indeksem „a”, oraz 10 cyklonalnych z indeksem „c” oraz typ nieokreślony lub siodło baryczne „x”). Zarówno przy sytuacjach antycyklonalnych jak i cyklonalnych wydzielono po 8 typów adwekcyjnych oznaczonych dużymi literami w zależności od kierunku adwekcji mas powietrznych: N, NE, E, SE, S, SW, W i NW. Tak więc symbol Wa oznacza sytuację zachodnią antycyklonalną a Wc – sytuację zachodnią cyklonalną. W typach antycyklonalnych wyróżniono dwie sytuacje bezadwekcyjne: Ca – centrum wyżu nad Spitsbergenem i Ka – klin wyżowy lub wał wyso-

kiego ciśnienia. W sytuacjach cyklonalnych wydzielono dwa typy o zróżnicowanej adwekcji: Cc – centrum niżu i Bc – bruzdę cyklonalną.

Aby ocenić rolę cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu występowania mgieł i ograniczonej widzialności w poszczególnych sezonach dla każdego typu cyrkulacji obliczono prawdopodobieństwo warunkowe (Pw %) wystąpienia tych charakterystyk pogodowych:

$$Pw = n_{ztc}/n_{tc} \cdot 100 [\%]$$

gdzie n_{ztc} oznacza liczbę dni z danym zjawiskiem (z) w danym typie cyrkulacji (tc) w rozpatrywanym sezonie, a n_{tc} – liczbę dni z danym typem cyrkulacji (tc) w tym sezonie.

Tak zdefiniowana wartość Pw określa w procentach dla każdej pory roku prawdopodobieństwo wystąpienia mgły lub ograniczonej widzialności pod warunkiem wystąpienia określonego typu cyrkulacji atmosfery. Ze względu na małą frekwencję mgieł, pominięto analizę relacji tego zjawiska z cyrkulacją atmosfery w ujęciu miesięcznym. Oddziaływanie cyrkulacji na występowanie mgieł i ograniczonej widzialności różni się sezonowo, dlatego pominięto analizę tych relacji w okresie rocznym.

3. Przebieg roczny częstości występowania mgieł i ograniczonej widzialności poziomej

W Hornsundzie, w każdym z rozpatrywanych okresów (miesiące, sezony, rok) liczba dni z mgłą była mniejsza od liczby dni z widzialnością poziomą poniżej 1 km. W ciągu roku notowano około 34 dni (błąd standardowy $\pm 2,1$ dni) z mgłą i 55 dni (błąd standardowy $\pm 2,7$ dni) z widzialnością poziomą < 1 km; zakres zmian omawianych wartości w rozpatrywanym wieloleciu wyniósł odpowiednio 51 i 67 dni (tab. 1). Najczęściej mgły występowały w 2011 roku (63 dni), natomiast najmniej mglisty był rok 2007 (12 dni). Większość dni z mgłą (21 dni $\pm 1,4$) notowano w sezonie letnim, natomiast najrzadziej pojawiały się one w zimie (średnio 1 dzień). W Hornsundzie jesienią obserwowano więcej dni z mgłą (7) niż na wiosnę (4 dni). W jesieni 2011 roku zanotowano aż 23 dni z mgłą. Najbardziej mgliste było lato 1993 roku (41 dni), zaś wyjątkowo małą liczbą mgieł wyróżniały się sezony letnie 1980 i 1987 roku (8 dni). Spośród 39 rozpatrywanych sezonów jesiennych mgły nie wystąpiły dwukrotnie – jesienią 2007 i 2013 roku. W okresie badawczym sezony wiosenne pozbawione mgieł wystąpiły trzykrotnie, to jest w 1958, 1983 i 2005 roku. Mgły nie były notowane także podczas 17 z 38 sezonów zimowych.

Ograniczona widzialność pozioma (< 1 km) w okresie letnim niemal w każdym przypadku spowodowana była przez mgły (tab. 1). W jesieni częstość tego zjawiska była o około 3 dni większa niż liczba dni z mgłą, a na wiosnę o 6 dni. Największa różnica pomiędzy częstością występowania mgieł i widzialności poziomej < 1 km występowała w zimie (średnio 1 dzień z mgłą i aż 13 dni z ograniczoną widzialnością). W sumie w okresie rocznym notowano średnio 21 dni z widzialnością ograniczoną, która była spowodowana przez inne zjawiska atmosferyczne niż mgła (głównie silne opady śnieżne oraz zawieje i zamiecie śnieżne).

Częstość występowania mgieł oraz ograniczonej widzialności w Hornsundzie odznaczała się wyraźnym przebiegiem rocznym (ryc. 1). Średnia liczba dni z mgłą od czerwca do września przekraczała 4 dni, osiągając maksimum w lipcu (9 dni) i sierpniu (8 dni), zaś w maju i we wrześniu wynosiła około 2 dni. Natomiast od listopada do kwietnia mgły zdarzały się rzadko, występując średnio w ciągu jednego dnia w miesiącu. Najwięcej mgieł zanotowano w lipcu 1994 roku (23 dni z mgłą). Zarówno maksimum czerwcowe przypadające na 1993 rok jak i maksimum sierpniowe odnotowane w 1996 roku osiągnęło 15 dni z mgłą.

Tab. 1. Wybrane statystyki opisowe liczby dni z mgłą oraz liczby dni z widzialnością poziomą <1 km w Hornsundzie w okresie VII.1957-VIII.1958 i VII.1978-XI.2016*

Table 1. Selected descriptive statistics for the number of days with fog and the number of days with horizontal visibility <1 km in Hornsund in the period July 1957-August 1958 and July 1978-November 2016*.

Wskaźnik Index	Statystyka Statistics	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Zima Winter	Rok Year
Liczba dni z mgłą Number of days with fog	Śr. (±BS)	4,1 (±0,5)	20,9 (±1,4)	7,3 (±0,9)	1,4 (±0,3)	33,8 (±2,1)
	δ	3,2	8,7	5,4	1,8	12,7
	V	79%	41%	74%	125%	38%
	Max	13	41	23	7	63
	Rok Year	2006, 2009	1993	2011	2009, 2010	2011
	Min	0	8	0	0	12
	Rok Year	1958, 1983, 2005	1980, 1987	2007, 2013	17 lat 17 years	2007
	ZZ	13	33	23	7	51
Liczba dni z widzialnością <1km Number of days with visibility <1km	Śr. (±BS)	9,9 (±0,8)	21,2 (±1,4)	10,5 (±1,0)	13,1 (±1,3)	54,7 (±2,7)
	δ	4,6	8,6	6,2	7,8	16,0
	V	47%	41%	59%	59%	29%
	Max	20	41	25	34	89
	Rok Year	2001	1993	2011	1957/58	2010
	Min	1	9	2	3	22
	Rok Year	2007	1980, 1987	2013	1986/87	2007
	ZZ	19	32	23	31	67

Śr. (±BS) – średnia (± błąd standardowy), δ – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności, Max – najwyższa liczba dni, Min – najniższa liczba dni, ZZ – zakres zmian (Max-Min), * – brak w danych w okresie od sierpnia 1981 do września 1982.

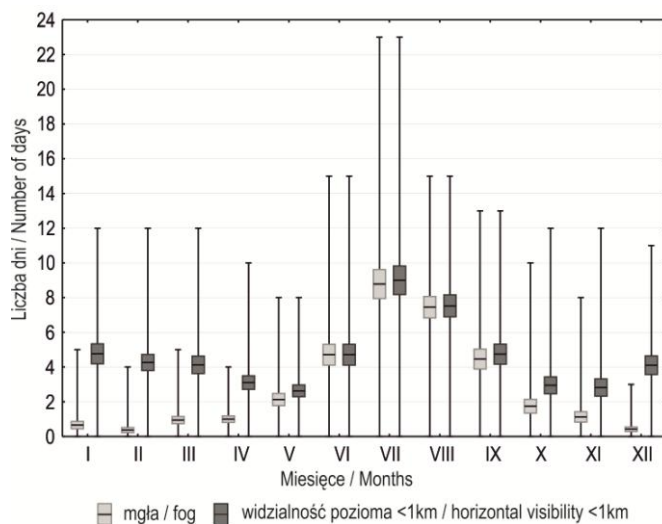
Śr. (±BS) – average (± standard error), δ – standard deviation, V – variability coefficient, Max – the highest number of days, Min – the lowest number of days, ZZ – range of variability (Max-Min), * – Lack of data from August 1981 to September 1982.

Liczba dni z ograniczoną widzialnością w okresie od maja do września była podobna jak liczba dni z mgłą. Największe różnice między nimi występowały od października do kwietnia. W tych miesiącach średnio zdarzało się 3-5 dni z ograniczoną widzialnością spowodowaną głównie gwałtownymi opadami śniegu oraz zawiejami i zamieciami śnieżnymi. W tym okresie maksymalna liczba tych dni może dochodzić do 10-12 w miesiącu (ryc. 1).

Średnia roczna liczba dni z mgłą w Hornsundzie (34 dni) w badanym okresie była o 10 dni wyższa niż w latach 1957-1958 i 1978-1985 (Pietroń 1987) i o 2 dni wyższa niż w okresie 1978-2009 (Marsz 2013). Natomiast przebieg roczny był podobny (tab. 2). W tabeli 2 porównano średnią miesięczną, roczną i sezonową liczbę dni z mgłą w Hornsundzie z danymi z innych stacji na Svalbardzie i na wyspie Jan Mayen zamieszczonymi w pracy E.J. Førlanda i in. (1997). We wnętrzu Spitsbergenu mgły występują bardzo rzadko (średnio 4-6 dni w roku) głównie w miesiącach letnich. Na Morzu Barentsa średnio występuje o ponad 20 dni z mgłą więcej (Hopen 55 dni) niż w Hornsundzie. W lipcu średnia liczba dni z mgłą na stacji Hopen dochodzi do 14 dni, zaś w miesiącach zimowych notuje się średnio jeden dzień z mgłą (tab. 2).

Na wyspie Jan Mayen na Morzu Grenlandzkim średnia roczna liczba dni z mgłą (50 dni) jest o 16 dni większa niż w Hornsundzie. Maksimum występowania mgieł także przypada na miesiące letnie

(11 dni w lipcu). W okresie od listopada do kwietnia notowano po około 2 dni z mgłą w miesiącu. W zimie liczba ta przekraczała 5 dni, natomiast na wiosnę (10 dni z mgłą) była ona większa niż jesienią (9 dni). Z kolei w Hornsundzie częstość dni z mgłą w jesieni (7 dni) była większa niż na wiosnę (4 dni), podobnie jak na Morzu Barentsa (Hopen: 8 dni wiosną i 11 w jesieni).



Ryc. 1. Przebieg roczny średniej liczby dni z mgłą oraz dni z widzialnością poziomą <1 km w Hornsundzie w okresie VII.1957-VIII.1958 i VII.1978-XI.2016* (błąd standardowy, maksimum-minimum)

* – brak w danych w okresie od sierpnia 1981 do września 1982

Fig. 1. Annual course of the number of days with fog and number of days with horizontal visibility <1 km in Hornsund in the period July 1957 – August 1958 and July 1978 – November 2016* (average, standard error, max-min). * – lack of data from August 1981 to September 1982.

Stosunkowo dużo dni z mgłą w ciągu roku (48 dni) notowano na wyspie Niedźwiedziej (Bjornoya) leżącej na granicy między Morzem Grenlandzkim i Morzem Barentsa. Przebieg roczny liczby dni z mgłą na tej wyspie (12 dni w lipcu i 10 dni w sierpniu) był podobny jak na innych stacjach.

4. Prawdopodobieństwo warunkowe występowania mgieł i ograniczonej widzialności w zależności od cyrkulacji atmosfery

Występowanie mgieł oraz widzialności poziomej <1km jest silnie związane z cyrkulacją atmosfery, a relacje te charakteryzuje wyraźna zmienność sezonowa (ryc. 2). W lecie, kiedy frekwencja mgieł jest największa ich występowanie związane było przede wszystkim z napływem powietrza z południowego zachodu. Prawdopodobieństwo wystąpienia mgły w typie SWa przekraczało 56% i było o 11% niższe w typie SWc (45%). Możliwość wystąpienia mgły w pozostałych typach antycyklonalnych osiągała najwyżej 33% (typ Wa) i była stosunkowo wysoka w bezadwekcyjnych typach Ka (29%) i Ca (27%) oraz w typie Sa (24%). Występowanie mgieł w analogicznych typach cyklonalnych było zbliżone, z tym że prawdopodobieństwo wystąpienia tego zjawiska osiągało lub przekraczało 30% w typach Sc (około 33%) i Wc (30%), zaś w typach bezadwekcyjnych osiągało 26% (Cc) i 23% (Bc). Wyjątkowo

niskim prawdopodobieństwem wystąpienia mgły charakteryzowały się typy NEc (5%), SEc (6%), Ea (6%), Ec (7%). W lecie relacje pomiędzy cyrkulacją atmosfery i występowaniem dni z widzialnością poziomą <1km były podobne jak w przypadku mgieł.

Tab. 2. Średnia liczba dni z mgłą na wybranych stacjach archipelagu Svalbard i na Jan Mayen

Table 2. Average number of days with fog at the selected stations of Svalbard and on Jan Mayen

Stacja Station	Hornsund	Hornsund	Hornsund	Hopen	Jan Mayen	Bjornoya	Isfjord Radio	Svalbard Airport	
Miesiąc Month	I	0,7	0,2	0,2	1,2	1,8	1,1	0,2	0,2
	II	0,4	0,0	0,3	1,2	1,9	1,1	0,3	0,3
	III	0,9	0,6	0,8	1,7	2,0	1,4	0,4	0,1
	IV	1,0	0,6	1,1	2,4	2,3	1,7	0,1	0,1
	V	2,1	0,9	1,8	3,4	5,9	3,4	0,4	0,5
	VI	4,7	4,8	4,7	7,7	7,4	7,0	1,2	1,1
	VII	8,8	5,4	8,8	14,0	10,6	12,2	1,6	0,8
	VIII	7,5	6,8	7,1	12,2	7,5	10,2	1,2	0,7
	IX	4,5	2,1	4,0	6,2	4,2	5,9	0,7	0,5
	X	1,7	2,0	1,2	2,9	3,2	2,7	0,3	0,1
	XI	1,1	0,3	1,1	1,5	1,9	1,2	0,1	0,1
	XII	0,4	0,0	0,4	0,9	1,5	0,7	0,1	0,0
Rok Year	33,8	23,7	31,5	55,2	50,3	48,5	6,4	4,3	
Wiosna Spring	4,1	2,1	3,7	7,5	10,2	6,5	0,9	0,6	
Lato Summer	20,9	17,0	20,6	33,8	25,5	29,3	3,9	2,5	
Jesień Autumn	7,3	4,4	6,3	10,5	9,3	9,8	1,1	0,6	
Zima Winter	1,4	0,2	0,9	3,3	5,3	2,9	0,5	0,6	
Okres Period n	1957-1958 1978-2016*	1957-1958 1978-1985*	1978-2009	1956-1996	1956-1996	1956-1996	1956-1975	1976-1996	
	38-41**	6	32	41	41	41	20	21	
Źródło Source	Niniejszy artykuł This paper	Pietroń (1987)	Marsz (2013)	Førland <i>et al.</i> (1997)					

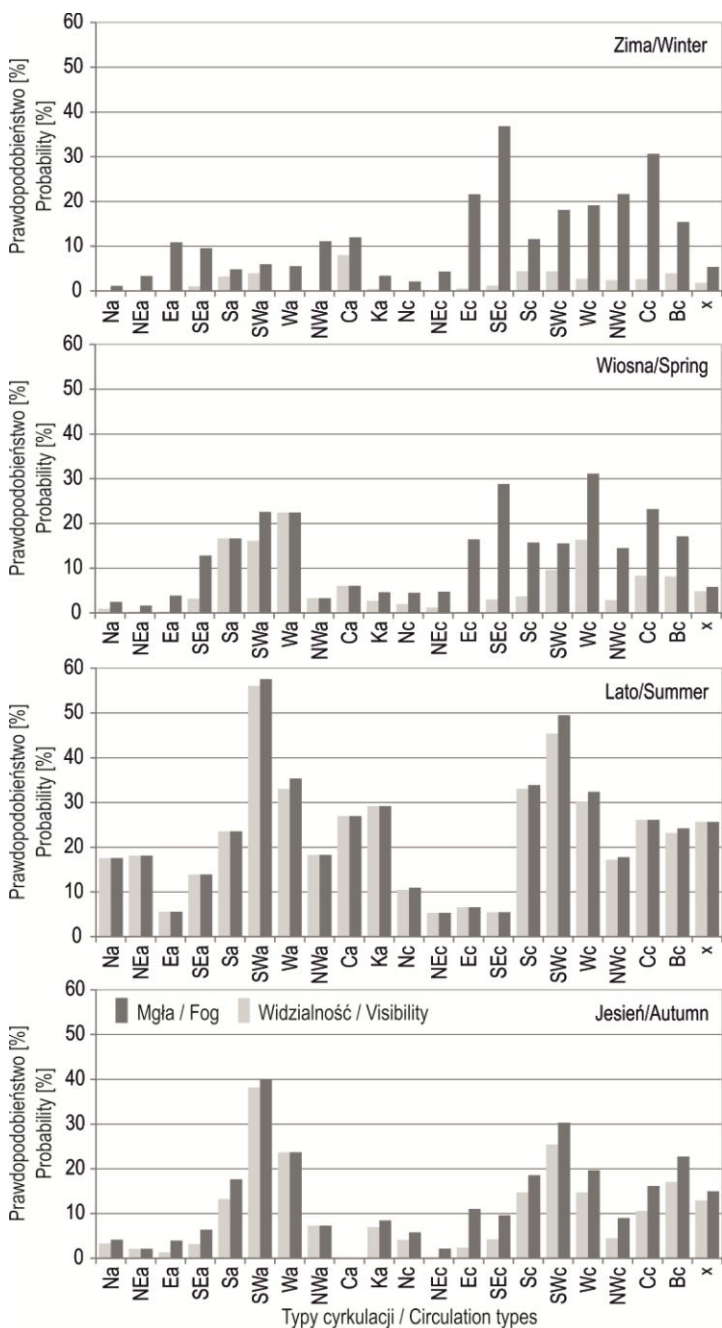
n – Liczba lat; * Brak w danych w okresie od sierpnia 1981 do września 1982; rok 2016 bez grudnia;

** Dane za XII-VI 38 lat, IX-XI 39 lat, VIII 40 lat, VII 41 lat.

n – Number of years; * Lack of data from August 1981 to September 1982; 2016 year without December;

** Data for December – July 38 years, September – November 39 years, August 40 years, July 41 years.

Jesienią, mimo iż frekwencja mgieł w Hornsundzie znacząco spada, ich zależność od cyrkulacji atmosfery kształtowała się podobnie jak w lecie (ryc. 2). Możliwość wystąpienia mgły była najwyższa podczas adwekcji powietrza z południowego zachodu, osiągając prawdopodobieństwo 38% w sytuacji antycyklonalnej (SWa) i 26% w sytuacji cyklonalnej (SWc). Ponadto, mgły stosunkowo często notowane były podczas dni z adwekcją z zachodu w sytuacji antycyklonalnej (24%). Prawdopodobieństwo wystąpienia mgły w analogicznym typie cyklonalnym było niemal o 10% niższe (15%). Podobną możliwością wystąpienia mgły odznaczał się typ Sc. Można dodać, że jesienią prawdopodobieństwo



Ryc. 2 Prawdopodobieństwo warunkowe występowania dni z mgłą i dni z widzialnością poziomą < 1 km w typach cyrkulacji w typach cyrkulacji atmosfery w Hornsundzie w okresie VII.1957-VIII.1958 i VII.1978-XI.2016 (brak w danych w okresie od sierpnia 1981 do września 1982)

Fig. 2 Conditional probability of the fog occurrence and days with horizontal visibility < 1 km in Hornsund in the period July 1957-August 1958 and July 1978-November 2016 (lack of data from August 1981 to September 1982).

wystąpienia mgły w typie Bc (17%) było większe niż w typach Sc, Wc i Wa. Jesienią mgły w ogóle nie wystąpiły w typach Ca i NEc. W sezonie tym dni z ograniczoną widzialnością poziomą były podobnie zależne od cyrkulacji atmosfery jak mgły, z tym że możliwość ich wystąpienia w poszczególnych typach była większa, osiągając na przykład 40% w typie SWa i 30% w typie SWc.

Wiosną relacje nieznacznie się zmieniały – mgły pojawiały się głównie podczas adwekcji powietrza z sektora zachodniego i południowo-zachodniego podczas sytuacji wyżowej (ryc. 2). Prawdopodobieństwo ich wystąpienia było największe w typie Wa (22%), zaś w pozostałych typach z tego sektora osiągało 17% (Sa) i 16% (SWa). Na wiosnę słabnie znaczenie typów cyklonalnych. Jedynie w typie Wc możliwość wystąpienia mgły przekraczała 16%. Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z ograniczoną widzialnością poziomą było wyraźnie większe, co oznacza, że w sezonie tym wrastała liczba przypadków ograniczenia widzialności przez inne zjawiska niż mgła (ryc. 2). Największą możliwością wystąpienia dni z widzialnością <1km wyróżniały się dwa typy cyklonalne – Wc (31%) oraz SEc (29%) oraz typ Cc (23%). Najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia ograniczonej widzialności w dniach, gdy Svalbard znajdował się pod wpływem układu wyżowego stwierdzono podczas adwekcji powietrza z południowego- zachodu (23% w typie SWa) lub zachodu (22% w typie Wa).

Zimą częstość mgieł była niewielka, stąd prawdopodobieństwo ich wystąpienia w poszczególnych typach cyrkulacji było również niewielkie, w większości typów nie przekraczało 5% (ryc. 2). Jedynie podczas zalegania układu wyżowego nad Svalbardem możliwość wystąpienia mgieł w zimie wzrastała do 8%. Zimą w wielu typach cyrkulacji mgły w ogóle nie były obserwowane w rozpatrywanym okresie badawczym (ryc. 2). Zimą dysproporcja pomiędzy częstością dni z mgłą i dni z ograniczoną widzialnością poziomą była największa, co oznacza, że większość sytuacji ograniczonej widzialności spowodowana była zjawiskami innymi niż mgła. Stąd wynikają także największe różnice w charakterze relacji pomiędzy omawianymi zjawiskami meteorologicznymi i cyrkulacją atmosfery. Prawdopodobieństwo wystąpienia dni z ograniczoną widzialnością było w sezonie tym wyraźnie wyższe w typach cyklonalnych niż antycyklonalnych. Wskazuje to, że w większości przypadków ograniczenie widzialności mogło być związane z intensywnymi opadami śniegu lub zamieciaми i zawiejami śnieżnymi (silny wiatr). Możliwość wystąpienia dni z $VV < 1\text{km}$ w typach antycyklonalnych zmieniało się od 1% w typie Na do ponad 10% w typach Ea (11%), NWa (11%) i Ca (12%), z kolei w typach cyklonalnych od 2% w typie Nc do ponad 30% w typach Cc (31%) i SEc (37%).

5. Podsumowanie i wnioski

Wykorzystując obserwacje zjawisk meteorologicznych z Polskiej Stacji Naukowej w Hornsundzie, w niniejszym artykule omówiono przebieg roczny występowania dni z mgłą i widzialnością poziomą <1km oraz ich związek z cyrkulacją atmosfery.

Mgły są zjawiskiem stosunkowo częstym w Arktyce – występowały podczas około 34 dni w roku. Jeszcze częściej zdarzały się dni z widzialnością poziomą poniżej 1km (55 dni). Największą częstością występowania tych zjawisk wyróżniało się lato (21 dni) z wyraźnym maksimum w lipcu (9 dni). Największym prawdopodobieństwem wystąpienia dni z mgłą i ograniczoną widzialnością poziomą charakteryzowały się dni z adwekcją powietrza z południowego zachodu. W takich dniach prawdopodobieństwo wystąpienia tych zjawisk w sytuacji wyżowej (56%) było o 11% wyższe niż w sytuacji niżowej (45%). W lecie częstość występowania mgieł i ograniczonej widzialności poziomej była zbliżona. W pozostałych sezonach dysproporcja w częstości tych zjawisk była większa, zwłaszcza zimą.

Wskazuje to, iż w lecie ograniczona widzialność była spowodowana głównie przez mgły, a w pozostałych sezonach także przez silne opady śniegu, czy zawieje i zamiecie śnieżne.

Napływ powietrza z południowego zachodu sprzyja również występowaniu mgieł i ograniczonej widzialności jesienią. Wiosną relacje te są nieco inne. Największe prawdopodobieństwo wystąpienia rozpatrywanych zjawisk związane jest z adwekcją powietrza z zachodu. W przypadku mgieł najwyższe prawdopodobieństwo przypadło na typ Wa (22%), zaś w przypadku ograniczonej widzialności na Wc (31%). W zimie występowaniu mgieł sprzyjały dni, w których nad Svalbardem zalegało centrum układu wyżowego (Ca 8%). W sezonie tym relacje pomiędzy występowaniem dni z ograniczoną widzialnością i cyrkulacją były zupełnie inne niż w przypadku mgieł. Przede wszystkim prawdopodobieństwo występowania ograniczonej widzialności w typach cyklonalnych (18%) było większe niż w typach antycyklonalnych (6%), z maksimum w typach SEc (37%) i Cc (31%). Wynika to z faktu, iż w zimie widzialność pozioma była najczęściej ograniczona przez intensywne opady śniegu oraz silne wiatry wywołujące zawieje i zamiecie śnieżne, które zwykle związane są z układami niżowymi.

Literatura

- Førlund E.J., Hanssen-Bauer I., Nordli P.Ø., 1997. *Climate characteristics & longterm series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen*. DNMI Klima, Report No. 21/97: 1-72.
- Guyene S., 2014. *Frequency, timing and temporal patterns of regional coast Arctic fog in East Greenland*, Msc Research Thesis, Msc EarthScience: Geo-ecological track (42EC). University of Amsterdam, Netherlands: 73 pp. (Available on-line: <https://esc.fnwi.uva.nl/thesis/centraal/files/f1561562580.pdf>).
- Hanssen-Bauer I., Solås M.K., Steffensen E.L., 1990. *The climate of Spitsbergen*. DNMI Klima, Report No. 39-90: 1-40.
- IMGW, 1996. *Klucze FM 12 – XII Ext. SYNOP do szyfrowania wyników przyziemnych obserwacji meteorologicznych dla celów synoptycznych oraz klucze STORM – AVIO*. Warszawa: 1-98 (dostępne na stronie internetowej: http://www.imgw.pl/attachments/1451_klucze_synop.pdf).
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2001. *Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2000/2001* (Kwaczyński J., Nowosielski L. (red.)). Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-57(341): 5-75.
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2003. *Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2001/2002* (Kwaczyński J. red.). Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-60(351): 3-81.
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2004. *Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2002/2003* (Kwaczyński J. red.). Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-66(373): 3-84.
- Institute of Geophysics Polish Academy of Science, 2005. *Meteorological conditions Hornsund, Spitsbergen 2003/2004* (Kwaczyński J. red.). Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Science, D-63(361): 3-84.
- Instytut Geofizyki PAN, 2009-2016. *Biuletyn meteorologiczny. Spitsbergen – Hornsund 2009.09-2016.10* (dostępny na stronie Internetowej: <http://hornsund.igf.edu.pl/Biuletyn/>; ostatni dostęp 20 listopada 2016 r.).
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 2007. *Klimat Rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny*. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 376 s.
- Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), 2013. *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. Maritime University, Gdynia: 402 s.

- Marsz A.A., 2013. *The horizontal visibility and fog*. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (eds), *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. Maritime University, Gdynia: 213-219.
- Miętus M. (red.) 2000-2001. *Roczniki Meteorologiczne Hornsund (1957/58, 1978/79-1980/81, 1982/83-1999/2000)*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział Morski, Gdynia.
- Niedźwiedz T., 2001. *Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku*. Problemy Klimatologii Polarej, 11: 7-26.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003. *Słownik meteorologiczny*. Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), Warszawa: 495 s.
- Niedźwiedz T., 2016. *Kalendarz typów cyrkulacji nad Spitsbergenem: grudzień 1950 – październik 2016* (zbiór komputerowy w Katedrze Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec). Dostępny u autora: tadeusz.niedzwiedz@us.edu.pl .
- Pietron Z., 1987. *Frequency and conditions of fog occurrence in Hornsund, Spitsbergen*. Polish Polar Research, 8(3): 277-291.
- Przybylak R., 2003. *The climate of the Arctic*. Atmospheric and Oceanographic Science Library v. 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Boston London: 288 s.
- Przybylak R., 2016. *Fog. Chapter 5.3*. [w:] *The climate of the Arctic*. Second Edition. Springer International Publishing Switzerland: 119-126.
- Steffensen E.L., 1982. *The climate at Norwegian Arctic stations*. DNMI Klima, Report No. 5: 3-44.
- Ukhanova E.V., 1971. *Fogs and visibility*. [w:] Dolgin I.M. (ed.) *Meteorological conditions of the non-Soviet Arctic*. Gidrometeoizdat, Leningrad: 142-151 (in Russian).
- Valor G.B., López J.M.G., 2016. *OGIMET – Professional information about meteorological conditions in the world* (SYNOP messages available on-line on the web site: <http://www.ogimet.com>). Ostatni dostęp: 27 listopada 2016.
- Wielbińska D. (red.), 1982. *Hornsund lipiec 1957 – sierpień 1958. Charakterystyki meteorologiczne i hydrologiczne wypraw polarnych*. IMGW Oddział Morski w Gdyni .
- Ye H., 2009. *The influence of air temperature and atmospheric circulation on winter fog frequency over Northern Eurasia*. International Journal of Climatology, 29: 729-734.

Wpłynęło: 5 grudnia 2016 r., poprawiono: 28 grudnia 2016 r., zaakceptowano: 31 grudnia 2016 r.

Summary

Data on meteorological phenomenon from Polish Polar Research Station in Hornsund were used to recognize the annual course of fog days and days with horizontal visibility <1km and their relation to atmospheric circulation. Fog occur relatively often in the Arctic being noticed on 34 days a year. Days with limited horizontal visibility are even more frequent (55 days). The highest frequency of the phenomenon falls in summer (21 days), with the clear maximum in July (9 days), mainly on days with south-western air advection. On such days probability of the phenomenon in anticyclonic situation (SWa 56%) is 11% higher than in analogous cyclonic situation (SWc 45%). In summer the frequencies of fog and horizontal visibility <1km are similar. In other season disproportion in the frequency of these phenomena is bigger, particularly in winter. This indicates that in summer the limited visibility is usually due to fog while in other seasons it is related to intense snow precipitation, blowing snow or

blizzards. South-western flow of air masses also favours the occurrence of fog and limited horizontal visibility in autumn. In spring these relations are slightly different. The highest probability of the phenomena is related to air advection from the west. Fog occurrence is favoured by Wa type (22%), while limited visibility is related to Wc type(31%). In winter fog probability increases on days with anticyclone centre located over Spitsbergen (Ca 8%). In these season the relation between fog occurrence and atmospheric circulation are quite different than between limited visibility and atmospheric circulation. Limited visibility probability in cyclonic situations (18%) is higher than in anti-cyclonic (6%), with the maximum in SEc (37%) and Cc (31%) types. In winter visibility is mainly limited by intense snow precipitation, blowing snow and blizzards, which are related to low pressure systems.

Key words: fogs, low visibility, atmospheric circulation, Arctic, Spitsbergen.