

PRZEBIEG ROCZNY WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ W ARKTYCE NORWESKIEJ W OKRESIE 1971-2000

Andrzej Araźny

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Geografii, Zakład Klimatologii
andy@geo.uni.torun.pl

1. Wstęp

Poznanie zmienności wilgotności względnej powietrza (f), zarówno w czasie jak i w przestrzeni, jest bardzo przydatne w badaniach makroklimatycznych, a także w wielu innych dziedzinach, np. w badaniach bioklimatycznych (Michna 1972). Zarówno zbyt niska, jak i zbyt wysoka wilgotność powietrza powoduje zakłócenia w procesie oddawania ciepła z organizmu człowieka (Kozłowska-Szczęśna i in. 1997). Parczewski (1976) stwierdził, iż element ten może odgrywać dość dużą rolę w powietrzu zanieczyszczonym, szczególnie gdy średnie dobowe wartości wilgotności względnej przekraczają 70%. W takich sytuacjach zwiększa się konwersja zanieczyszczeń (zwłaszcza SO₂) w związki szkodliwe.

Informacje o tym elemencie znaleźć można w pracach kompleksowych o klimacie Arktyki (m.in. Vowinckel i Orvig 1970, Przybylak 2003). W norweskim rejonie Arktyki, wilgotność względna jako podstawowy problem analizy była rzadko opracowywana (np. Niedźwiedź i Ustrnul 1989, Przybylak 1992a, 1992b). Ukazywały się jedynie prace prezentujące wyniki badań dotyczące wilgotności w poszczególnych stacjach przy okazji przedstawiania innych elementów klimatycznych (np. Steffensen 1969, 1982, Markin 1975, Pereyma 1983, Rodzik i Stepko 1985, Hanssen-Bauer i in. 1990, Kierzkowski 1996, Forland i in. 1997). Dodatkowe informacje znaleźć można w różnego rodzaju publikacjach w formie sprawozdań po wyprawach polarnych (m.in.: Petelski 1980, Wójcik i in. 1983, Stepko i Rodzik 1985, Brazdil 1988, Araźny 2002, Przybylak i Szczepilewska 2002).

Celem niniejszego opracowania jest analiza zmienności przestrzennej wilgotności względnej powietrza w Arktyce Norweskiej w ciągu roku, określenie częstości według przedziałów i poznanie związków z cyrkulacją atmosferyczną.

2. Obszar badań i materiał

W opracowaniu wykorzystano średnie dobowe wartości wilgotności względnej z 6 stacji meteorologicznych: Ny-Ålesund (NYA), Svalbard Lufthavn (SVA), Hornsund (HOR), Hopen (HOP),

Bjørnøya (BJO) i Jan Mayen (JMA). Dane ze stacji norweskich zostały udostępnione z Norweskiego Instytutu Meteorologicznego, natomiast dane dla Hornsundu pochodzą z Roczników Meteorologicznych „Hornsund” wykonanych w Oddziale Morskim IMGW w Gdyni pod kierunkiem D. Wielbińskiej i M. Miętusa. Luki w materiale liczbowym uzupełniono tylko dla średnich miesięcznych stosując metodę korelacji. Zebrany materiał statystyczny obejmuje okres 1971–2000, przy czym długość analizowanych serii dla 3 stacji jest krótsza ze względu na późniejsze ich uruchomienie (tab. 1)

Tabela 1 – Table 1

Wykaz stacji meteorologicznych wraz z okresami obserwacji
The list of meteorological stations and observation periods

Stacja Station name	φ	λ	Okres obserwacji Observation period
Ny-Ålesund	78°55'N	11°56'E	1975–2000
Svalbard Lufthavn	78°15'N	15°28'E	1976–2000
Hornsund	77°00'N	15°34'E	1979–2000
Hopen	76°30'N	25°04'E	1971–2000
Bjørnøya	74°31'N	19°01'E	1971–2000
Jan Mayen	71°01'N	8°40' W	1971–2000

3. Przebieg roczny wilgotności względnej

Średnie przebiegi roczne wilgotności względnej w analizowanych stacjach w Arktyce Norweskiej różnią się wartościami oraz ich amplitudami. Według średnich miesięcznych największe wartości wilgotności względnej występują latem (tab. 2). Wiąże się to z napływem ciepłych i wilgotnych mas powietrza znad morza nad chłodny ląd z kierunku południowo-zachodniego. Maksymalne wartości obserwuje się w lipcu (Bjørnøya 92%, Hopen 91%, Jan Mayen 89%, Hornsund i Ny-Ålesund 86%), tylko w Svalbard Lufthavn są one przesunięte na sierpień i wrzesień (75%).

Najniższe wartości wystąpiły wiosną (szczególnie w kwietniu), gdy masy powietrza znad chłodnego morza głównie z sektora wschodniego przemieszczają się nad cieplejszy ląd (rys. 1). Drugorzędne minimum występuje w przebiegu rocznym w październiku.

W ciągu całego roku średnie dobowe wartości wilgotności względnej dochodzą do 100%, ale nie w każdym miesiącu i nie na wszystkich stacjach (tab. 2). Tylko w Svalbard Lufthavn w czasie całego badanego okresu nie wystąpił ani jeden dzień z $f = 100\%$. Największa bezwzględna amplituda (różnica między najwyższą a najniższą średnią dobową) wynosiła aż 74% w Ny-Ålesundzie, natomiast najmniejsza w Bjørnøya 58% (tab. 2). Największą zmiennością wilgotność względna powietrza charakteryzowała się w okresie wiosny i jesieni. Odchylenie standardowe obliczone ze średnich dobowych w ciągu roku największe wielkości osiąga na stacji Ny-Ålesund (13%), natomiast najbardziej stabilne środowisko wilgotnościowe występuje na Bjørnøya (8%) i Hopen (9%). W przebiegu rocznym w Arktyce Norweskiej największa zmienność f występuje w miesiącach zimowych. Jest to spowodowane dużą zmiennością układów barycznych, które powodują często naprzemienne napływy suchych lub wilgotnych mas powietrza.

Tabela 2 – Table 2

Średnie miesięczne i roczne (m), najwyższe (max) i najniższe (min) wartości średnie dobowe wilgotności względnej (%) w Arktyce Norweskiej w okresie 1971–2000

Mean monthly and annual (m), highest (max) and lowest (min) values mean daily relative humidity (%) in Norwegian Arctic in the period 1971–2000

Stacja Station		I Jan	II Feb	III Mar	IV Apr	V May	VI Jun	VII Jul	VIII Aug	IX Sep	X Oct	XI Nov	XII Dec	I-XII Year
NYA*	m	73	77	77	75	78	83	86	84	81	74	72	72	78
	max	98	99	99	99	99	100	99	100	99	99	100	99	100
	min	26	39	34	38	49	43	53	56	48	37	36	32	26
SVA**	m	73	74	74	72	73	72	74	75	75	72	72	72	73
	max	99	98	97	99	99	99	98	99	99	99	99	97	99
	min	41	44	35	41	36	35	39	40	39	43	37	44	35
HOR***	m	77	78	78	77	79	83	86	85	83	76	76	75	79
	max	97	98	97	97	99	100	100	100	100	100	100	97	100
	min	39	42	47	43	53	50	54	58	51	40	47	44	39
HOP	m	86	86	86	84	85	89	91	91	87	85	87	86	87
	max	99	100	100	99	100	100	100	100	100	99	100	99	100
	min	59	55	56	54	54	40	48	65	56	53	53	51	40
BJO	m	87	88	88	86	87	90	92	90	89	84	85	86	88
	max	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	min	61	64	60	62	61	61	42	53	56	54	57	58	42
JMA	m	82	83	83	81	84	86	89	86	83	81	80	81	83
	max	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	min	45	45	49	46	41	48	40	36	40	50	49	39	36

Objaśnienia – Explanations: *1975–2000, **1976–2000, ***1979–2000

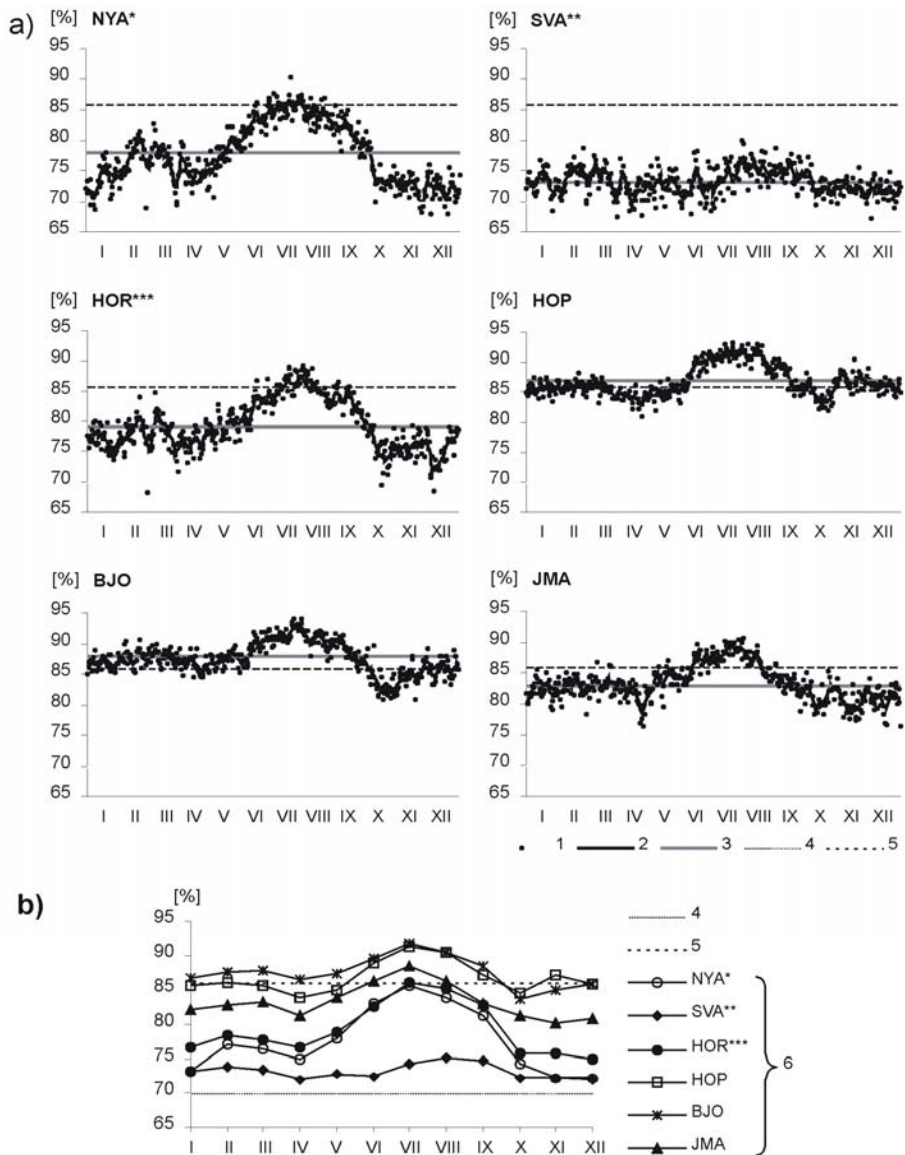
4. Częstość występowania wilgotności względnej w przedziałach

Pełniejszą analizą zróżnicowania dobowych wielkości wilgotności względnej jest ich frekwencja w przedziałach. W bioklimatologii przyjmuje się, że wilgotność względna poniżej 56% to powietrze suche, od 56 do 70% umiarkowanie suche, od 71 do 85% wilgotne, a powyżej 85% to bardzo wilgotne (Kozłowska-Szczęsna i in. 1985). W świetle tej klasyfikacji średnio w roku przeważa powietrze bardzo wilgotne (w stacjach Bjørnøya, Hopen i Jan Mayen odpowiednio 65, 60 i 48% częstości występowania) oraz powietrze wilgotne (w Hornsundzie, Svalbard Lufthavn i Ny-Ålesund odpowiednio 50, 47 i 39% dni).

Powietrze suche w Arktyce Norweskiej występowało bardzo rzadko, od 0.1 dnia w Bjørnøya do 20 dni w Ny-Ålesundzie w ciągu roku. W niektórych miesiącach, głównie w sierpniu, dni z powietrzem suchym nie występowały np. w Ny-Ålesundzie, Hornsundzie, Hopen i Bjørnøya (rys. 2).

Dni z powietrzem umiarkowanie suchym występowały częściej: od 14 na Bjørnøya do 135 w Svalbard Lufthavn. W przebiegu rocznym na analizowanych stacjach obserwujemy bimodalny rozkład częstości tej klasy wilgotności. Występują dwa wyraźne maksima: wiosenne i jesienne oraz minimum letnie.

Powietrze wilgotne średnio w całej Arktyce Norweskiej występowało w ciągu 40% dni w roku. Najczęściej w skali roku było obserwowane w Hornsundzie (181 dni), a najrzadziej w Bjørnøya (115 dni). Przebieg roczny występowania dni wilgotnych na wszystkich stacjach jest wyrównany (rys. 2).



Rys. 1. Średni przebieg roczny wilgotności względnej powietrza w Arktyce Norweskiej, 1971–2000

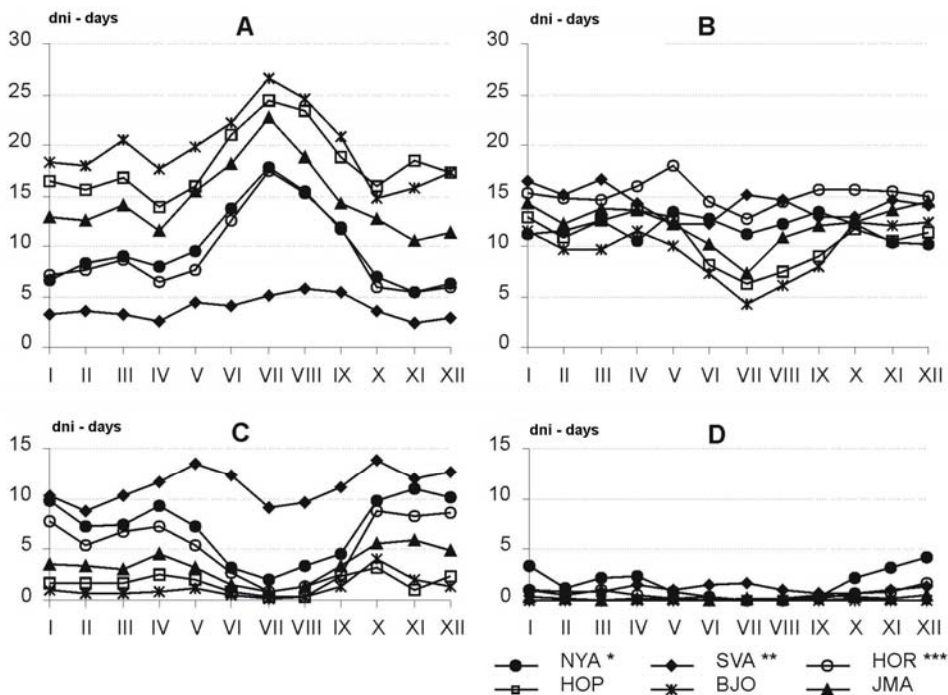
a) według średnich dobowych, b) według średnich miesięcznych

Objaśnienia: 1 – średnia dobowa; 2 – średnia dobowa ruchoma 7-dniowa; 3 – średnia roczna z całego okresu; 4 – próg (70%) między powietrzem umiarkowanie suchym a wilgotnym; 5 – próg (86%) między powietrzem wilgotnym a bardzo wilgotnym; 6 – średnie miesięczne; *1975–2000, **1976–2000, ***1979–2000

Fig. 1. Mean annual course of relative humidity in the Norwegian Arctic, 1971–2000

a) according to daily mean, b) according to monthly mean

Explanations: 1 – daily mean; 2 – 7-days moving average; 3 – annual mean from the whole period; 4 – threshold (70%) between moderately dry and wet air; 5 – threshold (86%) between wet and very wet air; 6 – monthly mean, *1975–2000, **1976–2000, ***1979–2000



Rys. 2. Liczba dni z powietrzem bardzo wilgotnym (A), wilgotnym (B), umiarkowanie suchym (C) i suchym (D) w Arktyce Norweskiej, 1971–2000

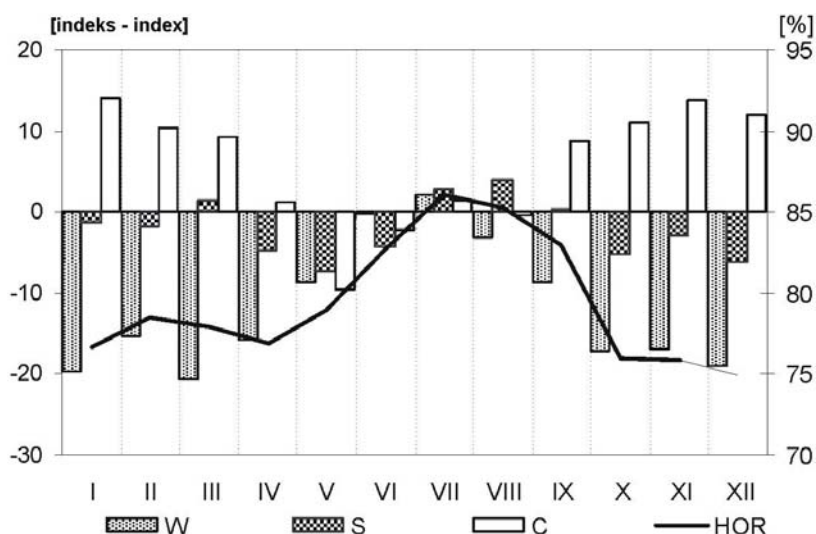
Fig. 2. Number of days with very wet (A), wet (B), moderately dry (C) and dry (D) air in the Norwegian Arctic, 1971–2000

W omawianym okresie bardzo często występowało powietrze bardzo wilgotne. Wyraźnie dominowało ono w stacjach: Bjørnøya, Hopen i Jan Mayen (odpowiednio 236, 218 i 175 dni w ciągu roku). Dużo rzadziej występowało ono w Ny-Ålesundzie i Hornsundzie (ok. 30% dni w roku). Zdecydowanie z najmniejszą frekwencją (46 dni w roku) powietrze bardzo wilgotne było notowane w Svalbard Lufthavn co należy wiązać z największym stopniem kontynentalizmu tej stacji spośród wszystkich analizowanych. W przebiegu rocznym powietrze bardzo wilgotne występowało z największą częstością w cieplej porze roku i było efektem częstych adwekcji ciepłych i wilgotnych mas powietrza napływających z Morza Norweskiego.

Jak wcześniej wspomniano wysokie zawartości wilgotności powietrza (powyżej 70%) mogą odgrywać dużą rolę dla konwersji wielu zanieczyszczeń atmosfery w związki szkodliwe. Występowanie zanieczyszczeń w Arktyce Norweskiej jest opisane w licznych opracowaniach (m.in.: Jaworowski 1989, AMAP 1998, Przybylak 2003). Średnio w roku dni spełniających to kryterium było 60% w Svalbard Lufthavn, 71% w Ny-Ålesund, 80% w Hornsundzie, 88% w Jan Mayen i aż około 95% w Hopen i Bjørnøya. Utrzymujące się długo stany dużej wilgotności względnej, ze względu na wspomnianą konwersję możliwych zanieczyszczeń w atmosferze są szczególnie niekorzystne; pogarszają m.in. warunki bioklimatyczne zwłaszcza przy niskich temperaturach i dużych prędkościach wiatru w Arktyce Norweskiej.

5. Związek wilgotności względnej ze wskaźnikami cyrkulacji atmosferycznej

W kształtowaniu zmienności klimatu Arktyki Norweskiej dominującą rolę odgrywa cyrkulacja atmosferyczna. W tym celu zbadano zależności między wilgotnością względną powietrza a cyrkulacją atmosferyczną za pomocą 3 syntetycznych wskaźników: W – cyrkulacji zachodniej, S – południowej i C – wskaźnika cykloniczności, zaproponowanych dla tego obszaru przez Niedźwiedzia (2001). W przebiegu rocznym wskaźników cyrkulacji występuje znaczne ich zróżnicowanie. Dla Spitsbergenu charakterystyczna jest strefowa forma cyrkulacji o składowej wschodniej, głównie w okresie od października do kwietnia (rys. 3). Cyrkulacja północna dominuje też wyraźnie nad południową, szczególnie w maju. Charakterystyczną cechą regionu Arktyki Norweskiej jest dominacja układów niżowych, głównie w okresie od września do marca. Jedynie w maju przeważają układy wyżowe nad niżowymi (Niedźwiedź 2001).



Rys. 3. Średni przebieg roczny wskaźników cyrkulacji (W – cyrkulacji strefowej zachodniej, S – cyrkulacji południkowej południowej i C – cykloniczności) na tle wilgotności względnej powietrza w Hornsundzie (HOR) w okresie 1979–2000

Fig. 3. Mean annual course of circulation indices (W – zonal westerly circulation index, S – meridional southerly circulation index and C – cyclonicity index) on the background of relative humidity of the air at Hornsund (HOR) in the period 1979–2000

Związek między wskaźnikami cyrkulacji a wilgotnością względną powietrza ustalono dla Hornsundu na podstawie danych z okresu 1979–2000. Współczynniki korelacji prostej między średnimi miesięcznymi wartościami wilgotności względnej powietrza a wskaźnikami cyrkulacji przedstawia tabela 3. Z jej analizy wynika, że średnio w roku największy wpływ na wilgotność powietrza odgrywa wskaźnik cyrkulacji południowej i zachodniej (po 0.42). Pierwszy z nich (S) w ciągu roku posiada w ośmiu miesiącach istotne współczynniki korelacji, z których największe wartości obserwowano w

październiku (0.77), listopadzie (0.67) i wrześniu (0.65). Natomiast drugi analizowany wskaźnik (W) istotne współczynniki korelacji miał w listopadzie (0.58), grudniu (0.50) i sierpniu (0.42). Wpływ wskaźnika cykliczności (C) istotny statystycznie stwierdzono jedynie w marcu (0.43), kwietniu (0.42) i grudniu (0.40).

Tabela 3 – Table 3

Współczynniki korelacji między wartościami wskaźników cyrkulacji a wilgotnością względną w Hornsundzie w okresie 1979–2000

Correlation coefficients between the values of circulation indices and relative humidity in Hornsund in the period 1979–2000

Miesiące Months	Wskaźniki cyrkulacji – Circulation indices		
	W	S	C
I – January	-0.03	0.57	0.31
II – February	0.19	0.17	0.20
III – March	0.09	0.30	0.43
IV – April	-0.01	0.49	0.42
V – May	-0.25	0.62	-0.05
VI – June	0.22	0.27	0.11
VII – July	0.33	0.50	0.18
VIII – August	0.42	0.34	-0.02
IX – September	0.23	0.65	-0.10
X – October	0.14	0.77	0.29
XI – November	0.58	0.67	-0.02
XII – December	0.50	0.64	0.40
Rok – Year	0.42	0.42	0.08

Objaśnienia: Współczynniki korelacji istotne na poziomie $p < 0,05$ zaznaczono pogrubieniem
 Explanations: Correlation coefficients significant on the level $p < 0.05$ are printed in bold

6. Podsumowanie

Arktyka Norweska w odróżnieniu od innych obszarów arktycznych, charakteryzuje się wysokimi wartościami wilgotności względnej. Według Atlasu Arktiki (1985) niższe wartości wilgotności względnej niż na omawianym obszarze, występowały w południowych częściach kontynentalnej Arktyki (zarówno kanadyjskiej jak i rosyjskiej) i w środkowej części Grenlandii. Wyższe wartości wilgotności względnej niż w Arktyce Norweskiej notowano przeważnie na obszarze Oceanu Arktycznego. W przebiegu rocznym w Arktyce Norweskiej maksimum występuje w okresie letnim i jest spowodowane napływem wilgotnych mas powietrza pochodzenia atlantyckiego. Minimum występuje natomiast na wiosnę i zimą, najczęściej przy adwekcji chłodnych i suchych mas powietrza z sektora wschodniego. W Arktyce Norweskiej na podstawie wartości średnich miesięcznych, amplitud rocznych oraz częstości według klas wyróżniono 3 typy przebiegów rocznych wilgotności względnej:

- 1) bardzo wilgotny – charakteryzuje się wartościami średnimi miesięcznymi i rocznymi wilgotności względnej powyżej 80%, z małą amplitudą roczną do 10%. Typ ten obejmuje stacje w Bjørnøy, Hopen i Jan Mayen. W wymienionych stacjach w ciągu roku przeważa powietrze bardzo wilgotne (odpowiednio: 236. 218 i 175 dni).
- 2) wilgotny – odznacza się dużymi amplitudami rocznymi powyżej 10%. Wartości średnie miesięczne powyżej 80% występują jedynie latem i wczesną jesienią. Typ wilgotny występuje w Hornsundzie i Ny-Ålesundzie, gdzie dominuje powietrze wilgotne: odpowiednio w ciągu 181 i 141 dni w roku.
- 3) umiarkowanie wilgotny – z wyrównanymi wartościami we wszystkich miesiącach poniżej 80%, z bardzo małą amplitudą roczną do 5%. Typ ten występuje w Svalbard Lufthavn, gdzie najczęściej obserwujemy w ciągu roku powietrze wilgotne (171 dni) i umiarkowanie suche (135 dni).

Literatura

- AMAP, 1998, AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo.
- Arażny A., 2002, Zmienność warunków meteorologicznych w Hornsundzie (SW Spitsbergen) w okresie 01.07.1999–30.06.2000 r. Problemy Klimatologii Polarnej, 10: 55-72.
- Atlas Arktiki, 1985, Głównoje Uprawlenije Geodezji i Kartografii pri Sowietie Ministrow SSSR, Moskwa.
- Brázdil R., 1988, Results of Investigations of the Geographical Research Expedition Spitsbergen 1985, Brno.
- 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 Nr. 21/97 Klima, Oslo.
- Hanssen-Bauer I., Solas M. K., Steffenson E. L., 1990, The climate of Spitsbergen, DNMI-Rapport Nr. 39/90, Klima.
- Jaworowski Z., 1989, Pollution of the Norwegian Arctic: A review, Rapportserie, Nr. 55, Norsk Polarinstitut, Oslo.
- Kierzkowski T., 1996, Cechy klimatu lokalnego stacji w Hornsundzie w oparciu o materiał z lat 1978-1995, Problemy Klimatologii Polarnej, 6: 67-81.
- Markin W. A., 1975, Klimat oblasti sowremennogo oledenienija, [w:] Oledenienije Špicbergena (Svalbarda), Izd. Nauka, Moskwa: 42-105.
- Michna E., 1972, O wilgotności powietrza w Polsce, Przegląd Geofiz., z. 1, Warszawa: 3-14.
- Niedźwiedz T., 2001, Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku, Problemy Klimatologii Polarnej, 11: 7-26.
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1989, Wpływ sytuacji synoptycznych na wilgotność powietrza w Hornsundzie (Spitsbergen), Maszynopis w IMGW, Oddział w Krakowie.
- Nordli P. Ø., 1990, Temperature and precipitation series at Norwegian Arctic meteorological stations, DNMI Report Nr. 40/90 Klima, Oslo.
- Parczewski W., 1976, Wilgotność względna w Polsce i jej wpływ na związki siarki, Arch. Ochr. Środ., nr. 2.
- Pereyma J., 1983, Climatologic problems of the Hornsund area, Spitsbergen. Acta Univ. Wratislav., 714: 134 s.
- Petelski T., 1980, Przebieg pogody w Hornsundzie podczas wyprawy polarnej „Spitsbergen 1978/79”. Gazeta Obserwatora IMGW, 6 (390): 13-15.

- Przybylak R., 1992a, Spatial differentiation of air temperature and relative humidity on western coast of Spitsbergen in 1979 - 1983, *Polish Polar Res.*, 13, 2: 113-130.
- Przybylak R., 1992b, Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983, *Dokumentacja Geograficzna 2*, Wyd. PAN.
- Przybylak R., 2003, *The climate of the Arctic*, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- Przybylak R., Szczepilewska E., 2002, Warunki meteorologiczne na Kaffiöyrze (NW Spitsbergen) w czasie trwania Toruńskich Wypraw Polarnych, 1975-2000, *Polish Polar Studies*: 217-237.
- Rodzik J., Stepko W., 1985, Climatic conditions in Hornsund (1978-83). *Polish Polar Research*, 6 (4): 561-576.
- Steffensen E., 1969, The climate and its recent variations at the Norwegian arctic stations, *Met. Ann.*, 5, 8, Oslo.
- Steffensen E., 1982, The climate at Norwegian arctic station, *Klima*, 5, Oslo.
- Stepko W., Rodzik J., 1985, Przebieg pogody podczas wyprawy PAN „Spitsbergen 1982/83”. *Annales UMCS Lublin-Polonia*, vol. XL, 3: 33-53.
- Wovincel E., Orvig S., 1970, The climate of the North Polar Basin, [w:] *Climates of the polar regions*, *World Surv. Clim.*, 14, Elsevier: 129-252.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1983, Wilgotność powietrza w sezonie letnim na nizinie nadmorskiej Kaffiöyra i lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen), *X Sympozjum Polarne*, Toruń: 187-199.

ANNUAL COURSE OF RELATIVE AIR HUMIDITY IN THE NORWEGIAN ARCTIC FROM 1971 TO 2000

Summary

The paper presents the analysis of the spatial variability of relative humidity in the Norwegian Arctic during the year (Fig.1, Table 2) for 6 meteorological stations (Table 1). We determined the frequency of relative humidity according intervals (Fig.2) and examined its connection with atmospheric circulation indices (Table 3, Fig. 3)

In the Norwegian Arctic 3 types of courses of the relative humidity have been distinguished on the basis of mean monthly values, amplitudes and occurrence frequency in distinguished intervals:

- 1) very wet – characterised by monthly and annual mean values of the relative humidity higher than 80%, small annual amplitudes up to 10%. This type includes the stations Bjørnøya, Hopen i Jan Mayen. During the year at these stations very wet air dominates (236, 218 and 175 days, respectively).
- 2) wet – characterised by large annual amplitudes over 10%. Mean monthly values exceeding 80% occur only in summer and early autumn. This type occurs at the stations Hornsund and Ny-Ålesund. At these stations wet air is the most frequent: 181 and 141 days during the year, respectively.
- 3) moderately wet – characterised by even level in every month below 80%, very small annual amplitude up to 5%. This type occurs at Svalbard Lufthavn where wet (171 days) and moderately dry (135 days) air is the most frequent.