

## **WSPÓŁCZESNA ZMIENNOŚĆ CYRKULACJI ATMOSFERY, TEMPERATURY POWIETRZA I OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA SPITSBERGENIE**

Tadeusz Niedźwiedź

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Klimatologii, Sosnowiec  
niedzwie@ultra.cto.us.edu.pl

### **1. Wstęp**

Zmiany klimatu zachodzące w Arktyce budziły zawsze duże zainteresowanie klimatologów z tego względu, że przypisywano im rolę czulego sygnalizatora zmian globalnych. Najwięcej uwagi zwracano na atlantycki sektor Arktyki, gdzie znaczne ocieplenie w latach trzydziestych XX wieku przyczyniło się do wzmożonej ablacji lodowców. Wiele modeli ogólnej cyrkulacji atmosfery wskazywało, że największego ocieplenia na przełomie XX i XXI wieku należy spodziewać się właśnie na obszarze Spitsbergenu. Jednak przed rokiem 1990 ocieplenie było mniejsze niż tego oczekiwano (Brázdil 1988, Kahl i in. 1993, Førland, Hanssen-Bauer i Nordli 1997, Przybylak 2000). Istotny wzrost temperatury odnotowany został dopiero w ostatniej dekadzie XX wieku (Tuomenwirta i in. 2000, Przybylak 2002). Jednocześnie w północnej Skandynawii i na obszarze Svalbardu stwierdzono tendencję wzrostową opadów (Hanssen-Bauer i Førland 1998, Łupikasza 2001). Zmiany temperatury i opadów mogą mieć kluczowe znaczenie przy kształtowaniu zlodowacenia Spitsbergenu.

Najwięcej trudności sprawia określenie przyczyn obserwowanej zmienności klimatu. Najczęściej za istotny czynnik kształtujący zmienność temperatury i opadów uważa się warunki cyrkulacyjne. Dla obszaru Spitsbergenu możliwe jest dość dokładne prześledzenie tej charakterystyki (Niedźwiedź 1992, 1992-1993, 1993, 1997a, b, 2001, Hanssen-Bauer i Førland 1998). Dlatego też celem niniejszego artykułu jest zwięzłe przedstawienie najbardziej istotnych zmian jakie nastąpiły w cyrkulacji atmosfery, temperaturze powietrza i opadach atmosferycznych na Spitsbergenie i w przyległych obszarach Svalbardu w latach 1951-2002.

W opracowaniu wykorzystano średnie miesięczne i roczne wartości temperatury powietrza oraz sumy miesięczne i roczne opadów ze stacji norweskich Longyearbyen oraz Isfjord Radio położonych bezpośrednio na Spitsbergenie (tab. 1). Dla porównania posłużono się także materiałami z dwóch innych stacji Svalbardu, a mianowicie z Wyspy Niedźwiedziej (Bjørnøya) położonej około 300 km na SSE od Spitsbergenu oraz stacji Jan Mayen leżącej w SW części Morza Grenlandzkiego. Dane z tych stacji za lata 1951-1979 pochodzą z norweskich roczników meteorologicznych, za lata

późniejsze zaś z bazy danych GHCN – Global Historical Climate Network (Vose et al. 1992) oraz z biuletynów „Monthly Climate Data for the World”.

Tabela 1 – Table 1

Spis stacji meteorologicznych  
List of meteorological stations

Numer WMO WMO number	Nazwa stacji Station name	Współrzędne Coordinates	Wysokość m Altitude m
01 008	Longyearbyen (Svalbard Lufthavn)	78°15' N 15°28' E	29
01 005	Isfjord Radio (do 1976)	78°04' N 13°38' E	9
01 003	Hornsund	77°00' N 15°33' E	11
01 028	Bjørnøya (Wyspa Niedźwiedzia)	74°31' N 19°01' E	14
01 001	Jan Mayen	70°56' N 08°40' W	9

Dane z polskiej Stacji Naukowej Instytutu Geofizyki PAN w Hornsundzie (Głowacki i Niedźwiedź 1997) uzyskano z publikacji rocznikowych (Roczniki Meteorologiczne, Hornsund 1978/1979 – 1999/2000) wykonanych w Oddziale Morskim IMGW w Gdyni pod kierunkiem M. Miętusa oraz od lipca 2000 roku w Instytucie Geofizyki PAN (Kwaczyński i Nowosielski 2001). Dane za okres lipiec 1981 – lipiec 1982 r. uzyskano od M. Sobika z Uniwersytetu Wrocławskiego. Wartości średniej temperatury w Hornsundzie za lata 1951-1978 zrekonstruowano na podstawie danych z Isfjord Radio, dzięki wysokiej korelacji osiągającej  $r = 0.98$  w zimie i w jesieni,  $r = 0.94$  na wiosnę i  $r = 0.79$  w lecie. Kalendarz typów cyrkulacji dla Spitsbergenu jest systematycznie uaktualniany przez autora (Niedźwiedź 2002b).

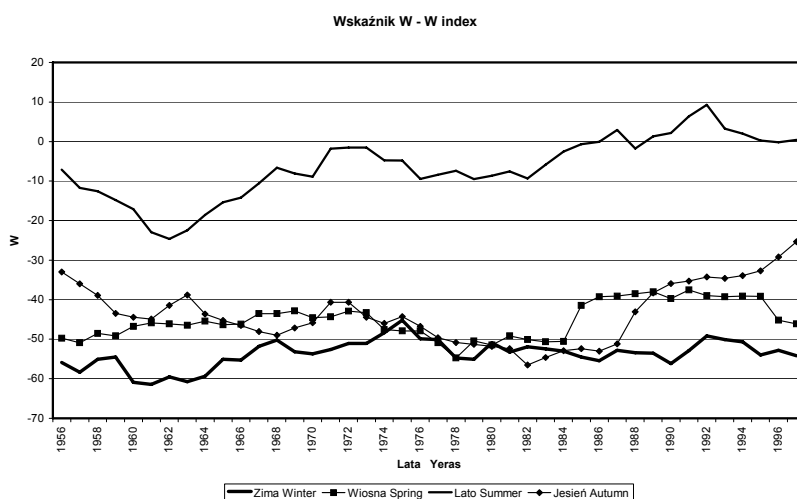
## 2. Zmienność cyrkulacji atmosfery

Dla Spitsbergenu charakterystyczny jest napływ powietrza z sektora wschodniego. Adwekcja mas powietrza z kierunków NE+E+SE (43.0%) zdarza się niemal trzykrotnie częściej niż z kierunków przeciwnych NW+W+NW (15.5%). Częstość napływu powietrza z sektora północnego NW+N+NE (29.0%) jest nieco większa niż z południowego SW+S+SE (22.7%). Rozpatrując wyłącznie kierunki adwekcji mas powietrznych (Niedźwiedź 2001) bez uwzględnienia rodzaju układu barycznego, w skali rocznej widzimy zdecydowaną przewagę występowania tylko dwóch kierunków: E (17.1%) i NE (15.8%). Najrzadziej w ciągu roku zdarza się napływ powietrza z kierunków: NW (4.1%), W (4.3%) i S (5.6%). Stosunkowo częste (11.8%) jest pojawianie się wyżowych sytuacji bezadwekcyjnych, centrum wyżu (Ca) i klina lub wału wysokiego ciśnienia (Ka).

W sposób syntetyczny zmienność cyrkulacji najbardziej oddają 3 proste wskaźniki: W – cyrkulacji zachodniej, S – cyrkulacji południowej i C – cykloniczności. Wzorowane one są na wskaźnikach P, M, S i C, które zaproponowali R. Murray i R.P.W. Lewis (1966), przy czym autor artykułu wprowadził drobne modyfikacje (rezygnacja z wskaźnika cyrkulacji południkowej M – „meridional index” na rzecz wskaźnika S, oraz zamiana wskaźnika progresji P na wskaźnik cyrkulacji zachodniej W). Omawiane wskaźniki wyrażone są za pomocą niemianowanych liczb, będących sumą punktów

wagowych przypisanych poszczególnym typom cyrkulacji, jakie występowały w danym okresie. Służą do łatwej oceny cyrkulacji atmosfery całego miesiąca, sezonu czy roku. Nie nadają się do opisu cyrkulacji przedziałów czasowych krótszych od miesiąca. Sposób obliczania powyższych wskaźników opisano wcześniej (Niedźwiedz 2001).

Wskaźnik W określa natężenie cyrkulacji strefowej zachodniej (wartości dodatnie) lub wschodniej (wartości ujemne). W przebiegu rocznym wskaźników cyrkulacji zaznacza się znaczne zróżnicowanie (Niedźwiedz 2001). Dla Spitsbergenu charakterystyczna jest strefowa forma cyrkulacji o składowej wschodniej (wskaźnik  $W = -146.7$ ), dominująca przede wszystkim od października do kwietnia (w marcu  $W$  obniża się do  $-20.9$ ). Ulega ona osłabieniu latem kiedy wskaźnik  $W$  zbliża się do zera, przyjmując w lipcu nawet wartość dodatnią  $(+0.7)$ .



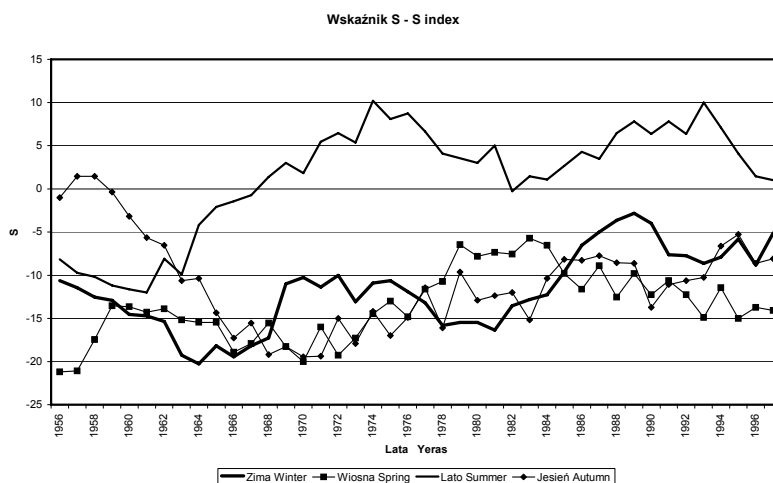
Rys. 1. Przebieg wieloletni wskaźnika cyrkulacji strefowej zachodniej – W nad Spitsbergenem w poszczególnych porach roku. Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwentnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Fig. 1. Long term variability of the zonal western circulation index – W above the Spitsbergen in particular seasons. Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

W przebiegu wieloletnim, wygładzonym przez średnie konsekwentne 11-letnie, największe zmiany tego wskaźnika zaznaczyły się latem, a od 1984 roku istotny wzrost tego wskaźnika widoczny jest także jesienią (rys. 1). W zimie wahania były nieznaczne od minimum  $-61$  w okresie 1956-1968 do  $-45$  w latach 1970-1980. Intensywność cyrkulacji wschodniej na wiosnę i w jesieni była tylko nieco słabsza niż w zimie i do roku 1984 w jesieni a do 1987 na wiosnę miała dość wyrównany przebieg. Od roku 1987 w jesieni nastąpił nieprzerwany wzrost wartości wskaźnika  $W$  osiągając  $-25$  w latach 1992-2002. Na wiosnę ustalił się on również dość wysoko bo na poziomie  $-38$  w latach 1984-1996. Natomiast najbardziej znaczące zmiany w cyrkulacji strefowej nastąpiły w lecie. Jeszcze niskie wartości wskaźnika  $W$  rzędu  $-25$  obserwowano w latach 1957-1967, natomiast od roku 1986 średnie

11-letnie wartości były już dodatnie, co świadczy o przewadze częstości cyrkulacji zachodniej nad wschodnią. Najwyższa intensywność cyrkulacji zachodniej przypadła na lata 1987-1997 (+9).

Wskaźnik S (cyrkulacji południowej) jest miarą natężenia cyrkulacji południkowej, przy czym dodatnie jego wartości świadczą o przewadze napływu powietrza z sektora południowego, a ujemne – z sektora północnego. Formy cyrkulacji południkowej mimo stosunkowo małej częstości ich występowania wywierają znaczny wpływ na zmienność temperatury (Niedźwiedź 2001). Nad Spitsbergenem przeważa wyraźnie składowa północna (wskaźnik S = -35.7 dla roku) nad południową, z największym natężeniem w maju (S = -6.3). Tylko w lipcu (S = 2.4) i sierpniu (S = 2.2) obserwuje się sytuację odwrotną.



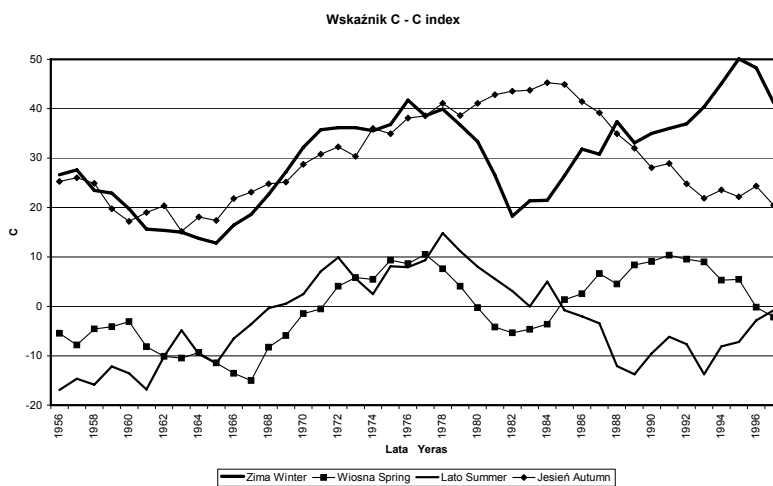
Rys. 2. Przebieg wieloletni wskaźnika cyrkulacji południkowej południowej – S nad Spitsbergenem w poszczególnych porach roku. Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwentnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Fig. 2. Long term variability of the meridional southerly circulation index – S above the Spitsbergen in particular seasons. Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Współczesne zmiany wskaźnika S (rys. 2) są bardziej wyraźne we wszystkich porach roku niż w przypadku wskaźnika W. Dla zimy charakterystyczny jest znaczący wzrost tego wskaźnika po roku 1981, do maksimum +3 w okresie 1984-1994 i następnie utrzymywanie się wysokich wartości do roku 2002. Minimum zimowe wynosiło -20 w czasie zim 1959-1969. Dla lat 1966-1977 było charakterystyczne występowanie najniższych wartości wskaźnika S poniżej -15 na wiosnę i w jesieni. W latach 1951-1963 w jesieni wystąpiły najwyższe w stosunku do innych pór roku wartości wskaźnika S, sięgające średnią wartość +1. Sytuacja taka nie powtórzyła się ponownie do czasów współczesnych. Ostatnio najwyższy poziom wskaźnika S (-5) przypadł na jesień z lat 1990-2000. Najbardziej znaczące zmiany nastąpiły w lecie. Do roku 1968 letnie wartości wskaźnika S w lecie były ujemne co świadczy o częstszym napływie mas powietrza z północy niż z południa. Minimum wskaźnika (-12) przypadło na lata 1955-1966. Dwa maksima sięgające wartości +10 przypadły na lata 1969-1979

oraz 1988-1998. Przedzelał je okres zmniejszonej intensywności cyrkulacji południowej w lecie, z minimum (0) w latach 1977-1987, co zaznaczyło się wyraźnym ochłodzeniem w tym czasie.

Wskaźnik C (cykloniczności) informuje o dużej aktywności niżowej (wartości dodatnie) bądź wyżowej (wartości ujemne). Cechą charakterystyczną dla Spitsbergenu jest dominacja układów niżowych (wskaźnik C = 56.0 dla roku), szczególnie w okresie od września do marca (listopad 12.8). W okresie od maja do sierpnia następuje równowaga w występowaniu form cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej. Jedynie w maju widoczna jest już przewaga występowania form wyżowych nad niżowymi i wskaźnik cykloniczności obniża się do -9.4 (Niedźwiedz 2001).



Rys. 3. Przebieg wieloletni wskaźnika cykloniczności – C nad Spitsbergenem w poszczególnych porach roku. Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwentnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002). Wartości w zimie są wyższe niż w lecie

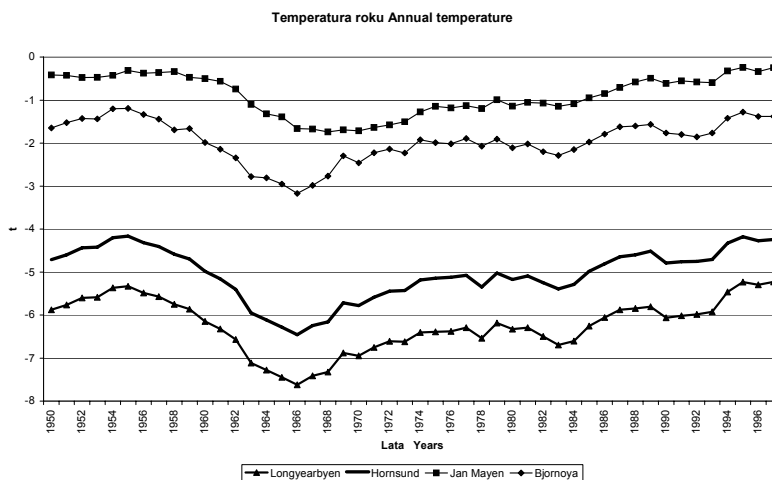
Fig. 3. Long term variability of the cyclonicity index – C above the Spitsbergen in particular seasons. Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002). Values in winter are higher than in summer

W przebiegu wieloletnim w pierwszej połowie ostatniego półwiecza podobny przebieg miały z jednej strony wartości wskaźnika C latem i wiosną, z drugiej zaś zimą i jesienią, przy czym te dwie ostatnie pory roku odznaczały się największą cyklonicznością (rys. 3). Dla lata wyraźnie można wydzielić 3 okresy: wyżowy w latach 1951-1968, niżowy w latach 1969-1984 i ponownie wyżowy w latach 1985-2002. Ten ostatni okres odznacza się jednocześnie wzmożoną cyklonicznością w okresie wiosennym. W pierwszym z wymienionych okresów charakterystyczna jest też stosunkowo niska wartość wskaźnika C (15-25) zimą i jesienią. Następnie do roku 1979 następował nieprzerwany i niemal równoległy wzrost wskaźnika C w obu tych porach roku do wartości około 40. Od roku 1980 nastąpiła rozbieżność w przebiegu wskaźnika cykloniczności, a mianowicie dalszemu wzrostowi wskaźnika na wiosnę (do wartości 45 w okresie 1979-1990) towarzyszył jego spadek w zimie (do 18 w okresie 1977-1987). Następnie sytuacja uległa odwróceniu. W latach 1990-2000 w zimie

aktywność niżowa osiągnęła największe natężenie ( $C = 50$ ), przy jednoczesnym nieprzerwanym zmniejszaniu się wskaźnika  $C$  na wiosnę do wartości 20 w latach 1992-2002.

### 3. Zmienność temperatury powietrza

W przebiegu wieloletnim temperatury powietrza na Spitsbergenie charakterystyczne było znaczne ocieplenie w latach 1930-1940. W Longyearbyen w tym czasie średnia roczna temperatura wynosiła  $-4.9^{\circ}\text{C}$  (o  $1.4\text{K}$  wyżej od średniej wieloletniej wynoszącej  $-6.3^{\circ}\text{C}$ ), a w roku 1938 podniosła się nawet do  $-3.4^{\circ}\text{C}$ . W okresie 1939-1952 zaznaczyło się ochłodzenie do  $-6.2^{\circ}\text{C}$ , a później ponowne ocieplenie do  $-5.3^{\circ}\text{C}$  w latach 1950-1960. Jednak najbardziej zaskakujące było duże ochłodzenie do  $-7.6^{\circ}\text{C}$  w latach 1961-1971 (rys. 4), po którym dopiero nastąpił powolny wzrost średniej rocznej temperatury do  $-5.2^{\circ}\text{C}$  w latach 1990-2002. Ocieplenie współczesne nie przekroczyło jeszcze poziomu ocieplenia z lat trzydziestych, mimo że najwyższą średnią roczną temperaturę w Longyearbyen w XX wieku zanotowano w roku 1984 ( $-3.1^{\circ}\text{C}$ ). Jedynie na wyspie Jan Mayen najcieplejszy okazał się rok 2002. Następne wysoka średnia roczna temperatura ( $-3.9^{\circ}\text{C}$ ) zaznaczyła się w roku 1990 i 1999. Natomiast najchłodniejszy w drugiej połowie XX wieku był rok 1968 ( $-10.1^{\circ}\text{C}$ ). W okresie wzrostu temperatury zaznaczyło się jeszcze niewielkie ochłodzenie w latach 1978-1988 ( $-6.7^{\circ}\text{C}$ ). Podobny przebieg temperatury zanotowano w Hornsundzie i na Wyspie Niedźwiedziej. Natomiast na wyspie Jan Mayen zmiany były łagodniejsze z ochłodzeniem opóźnionym o około 4 lata w stosunku do zmian jakie obserwowano na Spitsbergenie.

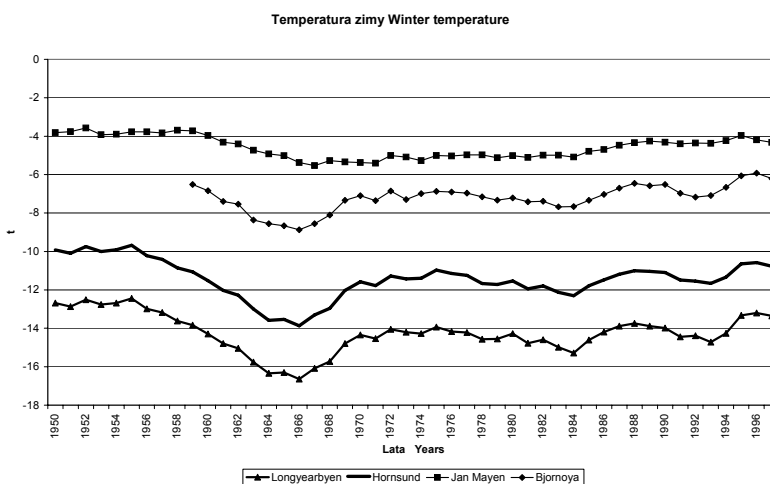


Rys. 4. Przebieg wieloletni średniej rocznej temperatury powietrza. Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwtywnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Fig. 4. Long term variability of the mean annual temperature. Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002).

Ocieplenie lat trzydziestych na Spitsbergenie najsilniej zaznaczyło się w zimie. Średnia temperatura trzech miesięcy zimowych (XII-II) w latach 1929-1940 wynosiła w Longyearbyen tylko  $-10.6^{\circ}\text{C}$ , to jest o  $3.3\text{K}$  powyżej średniej wieloletniej ( $-13.9^{\circ}\text{C}$ ). W XX wieku najcieplejszą była zima 1932/1933 o średniej temperaturze  $-7.8^{\circ}\text{C}$ , najchłodniejszą natomiast zima 1916/1917 z temperaturą  $-23.1^{\circ}\text{C}$ .

W drugiej połowie XX wieku początkowo pojawiały się zimy łagodne, a najcieplejszy okres ze średnią temperaturą zimy w Longyearbyen wynoszącą  $-12.4^{\circ}\text{C}$  przypadł na lata 1950-1960 (rys. 5). Najcieplejsze były zimy 1953/1954 ( $-8.5^{\circ}\text{C}$ ) oraz 1984/1985 ( $-8.3^{\circ}\text{C}$ ). Do wyjątkowo surowych należy zaliczyć zimy 1962/1963 ( $-21.5^{\circ}\text{C}$ ) i 1988/1989 ( $-20.1^{\circ}\text{C}$ ). Po ciepłych zimach lat pięćdziesiątych w okresie 1961-1971 temperatura zimy obniżyła się do  $-16.6^{\circ}\text{C}$ . Od roku 1970 nastąpiło względna stabilizacja temperatury zimy na poziomie od  $-14$  do  $-16^{\circ}\text{C}$ . Dopiero w latach 1991-2000 średnia temperatura zimy podniosła się do  $-13.2^{\circ}\text{C}$ , ale nie osiągnęła nawet stanu ocieplenia z lat 1950-1960. Taki przebieg temperatury zimy na Spitsbergenie był zaskoczeniem dla wielu klimatologów, którzy spodziewali się głównie najsilniejszej reakcji temperatury zimy w procesie globalnego ocieplenia. Temperatura zimy na innych stacjach Spitsbergenu i Svalbardu odznacza się podobnym przebiegiem jak w Longyearbyen.

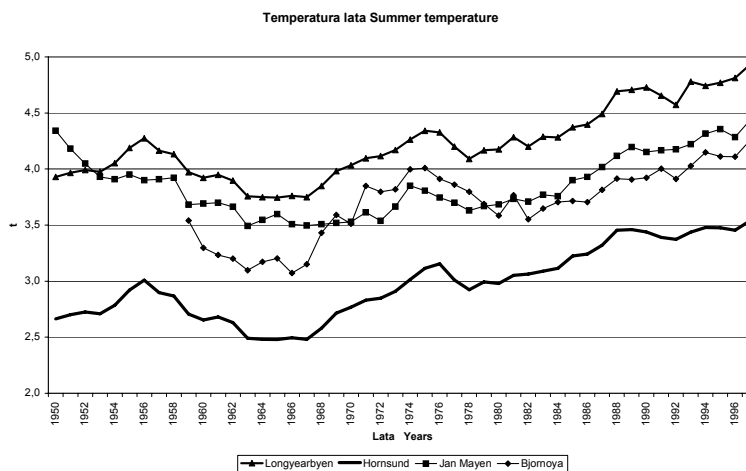


Rys. 5. Przebieg wieloletni średniej temperatury powietrza w zimie (XII-II). Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwentnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Fig. 5. Long term variability of the mean temperature in winter (December-February). Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Współczesne ocieplenie klimatu na Spitsbergenie najsilniej zaznaczyło się latem (VI-VIII). W Longyearbyen najchłodniejsze sezony letnie ( $3.7^{\circ}\text{C}$ , przy średniej wieloletniej  $4.2^{\circ}\text{C}$ ) przypadły na lata 1939-1949 i 1959-1972. Po tym długim okresie chłodnym rozpoczęło się ocieplenie do  $4.9^{\circ}\text{C}$  w latach 1992-2002 (rys. 6). Tak więc w okresie 1972-2002 średnia temperatura lata wzrosła o  $1.2\text{K}$ . Lato roku 2002 ( $6.1^{\circ}\text{C}$ ) okazało się najcieplejsze w całej serii pomiarowej. Najcieplejszymi w XX

wieku były sezony letnie 1922 i 1998 (5.9°C). Bardzo ciepłe było też lato 1993 roku (5.6°C). Najchłodniejszym w XX wieku było lato roku 1917 (2.2°C). Następane chłodne lata o temperaturze 2.9°C zanotowano w roku 1948, 1962 i 1968. Przebieg wieloletni temperatury lata był podobny na obszarze całego Svalbardu.



Rys. 6. Przebieg wieloletni średniej temperatury powietrza w lecie (VI-VIII). Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwentnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Fig. 6. Long term variability of the mean temperature in summer (June-August). Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Tabela 2 – Table 2

Współczynniki korelacji między średnią sezonową temperaturą powietrza w Longyearbyen a wskaźnikami cyrkulacji (pogrubiono wartości istotne na poziomie 0.1%)

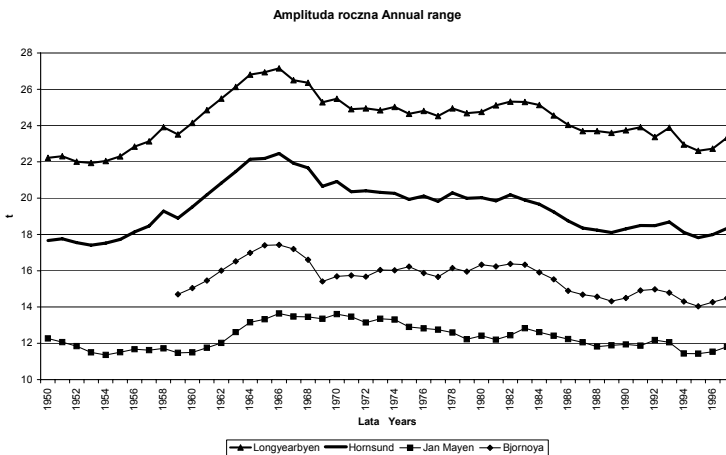
Coefficients of correlation between seasonal temperatures in Longyearbyen and circulation indices (values significant on the 0.1% level are printed in bold)

Wskaźnik cyrkulacji Circulation index	Zima XII-II Winter	Wiosna III-V Spring	Lato VI-VIII Summer	Jesień IX-XI Autumn
W	0.12	0.28	-0.12	0.07
S	<b>0.68</b>	<b>0.57</b>	0.39	<b>0.82</b>
C	0.38	0.34	-0.38	0.08

Cyrkulacja atmosfery odegrała niewątpliwie znaczną rolę w kształtowaniu temperatury powietrza na Spitsbergenie (Niedźwiedz 2001). Wśród trzech rozpatrywanych wskaźników cyrkulacji najistotniejszy wpływ na temperaturę powietrza w poszczególnych porach roku wywiera wskaźnik cyrkulacji południowej (tab. 2). Najbardziej oddziaływanie tego wskaźnika na temperaturę powietrza widoczne



jest w jesieni, natomiast najmniej w lecie. W lecie wzrost wskaźnika cykloniczności prowadzi do obniżenia temperatury powietrza, natomiast w zimie i na wiosnę do podniesienia temperatury. Korelacja ta jest jednak istotna dopiero na poziomie 1%. Zaskakujący jest brak istotnych zależności między wskaźnikiem W a temperaturą.



Rys. 7. Przebieg wieloletni średniej amplitudy rocznej temperatury powietrza. Linie wygładzone przy zastosowaniu średnich konsekwentnych 11-letnich (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Fig. 7. Long term variability of the mean annual range of temperature. Lines smoothed by 11-years moving averages (1956 = 1951-1961; 1997 = 1992-2002)

Amplituda roczna temperatury najbardziej uzależniona jest od temperatury zimy. Dlatego też największe jej wartości przypadają w okresach ochłodzeń zimowych. W drugiej połowie XX wieku na Spitsbergenie można wyróżnić trzy okresy: 1 – o względnie małych wahaniami rocznych temperatury w latach 1950-1960, 2 – zwiększonej amplitudy w latach 1961-1985 i 3 – współczesny okres mniejszych wahań od roku 1986. W Longyearbyen ostatnie minimum z lat 1990-2000 (22.6K) jest jednak nieco wyższe od niskich wartości amplitudy rocznej temperatury (21.9K) w okresie 1948-1958. Największe wahaniami rocznych temperatury (27.2K) przypadły na lata 1961-1971 (rys. 7). W pojedynczych latach wskaźnik ten podlegał w Longyearbyen znacznym wahaniami od 18.5K w roku 1972 do 31.8K w roku 1963. Przebieg rozpatrywanych wartości na innych stacjach Svalbardu jest podobny, natomiast istnieją znaczne różnice między poszczególnymi stacjami, zależnie od położenia w stosunku do obszarów lądowych i morskich. Największy kontrast zaznacza się między stacjami Longyearbyen (w głębi Spitsbergenu) i Jan Mayen (mała wyspa na morzu).

#### 4. Zmienność opadów atmosferycznych

Obszary polarne odznaczają się stosunkowo małymi opadami atmosferycznymi. Jednak na Spitsbergenie, a zwłaszcza na stacji w Hornsundzie znajdującej się pod silnym wpływem cyrkulacji

atmosfery nad mórz Grenlandzkiego i Norweskiego opady są większe. Ich średnia suma roczna wynosi około 419 mm z wahaniami w poszczególnych latach od 230 w roku 1987 do 636 mm w roku 1996 (Łupikasa 2002, Łupikasa i Niedźwiedź 2002). Maksimum opadów przypada na wrzesień i sierpień (tab. 3).

Opady dobowe rzadko przekraczają wartość 20 mm (Łupikasa i Niedźwiedź 2002, Niedźwiedź 2002a). Jednak niekiedy zdarzają się sumy dobowe przekraczające nawet 50 mm. W okresie badań sytuacja taka wystąpiła dwukrotnie (tab. 3): 1 sierpnia 1994 roku (58.3 mm) oraz 6 września 1996 roku (52.6 mm).

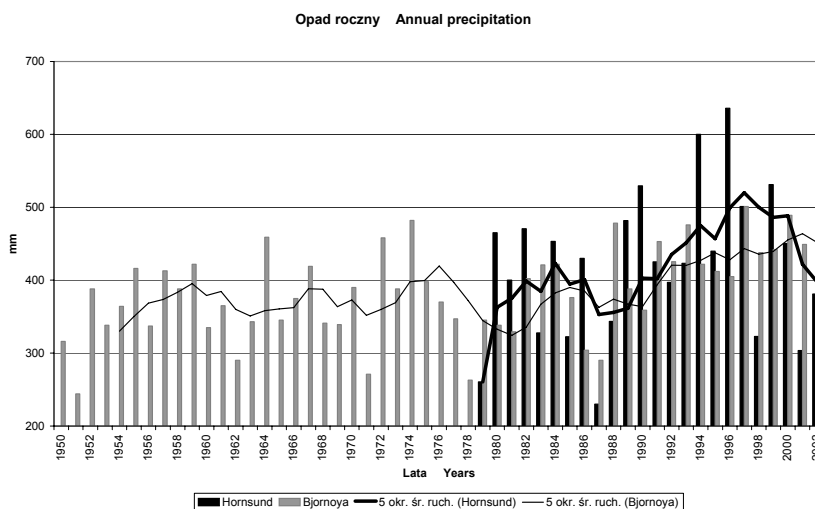
Tabela 3 – Table 3

Opady atmosferyczne w Hornsundzie (mm) w okresie lipiec 1978 – czerwiec 2002  
Atmospheric precipitation in Hornsund (mm) during the period 1978 July – 2002 December

Miesiąc Month	Średnia suma Average total	Maksimum miesięczne Monthly Maximum	Minimum Miesięczne Monthly minimum	Maksimum dobowe Daily Maximum	Typ cyrkulacji Circulation type	Data wystąpienia Date of occurrence
I	29.2	83.7	4.7	14.0	SWc	19.01.1992
II	26.2	61.5	<b>0.3</b>	15.2	SWa	12.02.1994
III	27.9	72.6	7.6	20.6	SWc	1.03.1983
IV	23.1	89.1	2.1	34.5	Ec	6.04.1982
V	19.7	48.1	5.2	19.9	Sc	10.05.1985
VI	30.4	107.1	1.4	26.0	SWc	13.06.1992
VII	39.3	136.5	1.5	40.5	Sc	28.07.1986
VIII	50.3	121.5	4.7	<b>58.3</b>	SWc	1.08.1994
IX	<b>62.2</b>	<b>230.0</b>	2.6	52.6	SWc	6.09.1996
X	42.5	133.6	6.2	27.1	SWc	6.10.1998
XI	36.1	111.7	7.0	28.1	Sc	8.11.1978
XII	32.1	125.4	3.5	43.4	SWc	3.12.1995
<b>Rok Year</b>	<b>419.0</b>	<b>635.9</b> (1996)	<b>230.2</b> (1987)	<b>58.3</b>	<b>SWc</b>	<b>1.08.1994</b>

Okazuje się, że duże opady są ściśle związane z występowaniem dwóch sytuacji synoptycznych: południowo-zachodniej (SWc) i południowej (Sc) cyklonalnej. W tabeli 3 zestawiono najwyższe opady dobowe zanotowane w poszczególnych miesiącach: w okresie od stycznia do maja średnia z maksimum dobowych nie przekracza 10 mm, a najwyższe opady mieszczą się zazwyczaj w granicach od 15 do 20 mm. Do wyjątkowych należał opad 34.5 mm w dniu 6 kwietnia 1982 roku, który wystąpił przy sytuacji wschodniej cyklonalnej (Ec), ale poprzedzonej typem SWc (Niedźwiedź i Ustrnul 1988).

W przebiegu wieloletnim opadów na Svalbardzie najniższe sumy roczne przypadły na lata 1978-1987 (rys. 8). Po roku 1988 zaznaczył się wyraźny wzrost opadów, zwłaszcza w Hornsundzie. Kulminacja przypadła na lata 1994-1998, kiedy średni pięcioletni opad przekroczył 500 mm. Najwyższe sumy roczne zanotowano w latach 1994 (600 mm) i 1996 (636 mm). Przyczyniły się do tego duże opady lipca 1994 roku (136 mm) oraz sierpnia 1996 roku (122 mm) i września 1996 roku (145 mm).



Rys. 8. Zmienność rocznej sumy opadu w Hornsundzie (1978-2002) oraz na Wyspie Niedźwiedziej (Bjørnøya 1950-2002); linie przedstawiają wartości wygładzone 5-letnimi średnimi konsekwentnymi

Fig. 8. Variability of the annual totals of precipitation in Hornsund (1978-2002) and at Bjørnøya (1950-2002); smoothed lines are the 5-years moving averages

Także w innych miesiącach zaznaczył się pod koniec XX wieku wyraźny wzrost opadów. Najwyższym opadem miesięcznym w Hornsundzie sięgającym aż 230 mm odznaczył się wrzesień 1999 roku. Ten wzrost opadów pod koniec XX wieku można wiązać ze wzrostem częstości układów niskiego ciśnienia (wskaźnik C) oraz bardziej intensywnym napływem powietrza z sektorów południowego i zachodniego.

## 5. Podsumowanie

Główną cechą zmienności cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku jest wzrost wskaźnika cyrkulacji zachodniej, zwłaszcza w lecie i w jesieni, wzrost wskaźnika cyrkulacji południowej w zimie i w lecie oraz wzrost aktywności niżów w zimie i w jesieni. Dla lata natomiast charakterystyczny był wzrost pod koniec XX wieku częstości układów wyżowych.

W wahaniach temperatury powietrza zaobserwowano nieco inne tendencje niż oczekiwano we wcześniejszych badaniach modelowych. Okazało się, że największy wzrost temperatury powietrza pod koniec XX wieku nastąpił w lecie, a nie w zimie. Najcieplejsze lato na Spitsbergenie wystąpiło w roku 2002. Cechą współczesnych zmian temperatury na Spitsbergenie było wystąpienie chłodnego okresu w latach 1961-1971.

W ostatniej dekadzie XX wieku, a szczególnie od roku 1994, zaobserwowano istotny wzrost częstości występowania dużych opadów w Hornsundzie, który wiąże się ze wzmożeniem wskaźników cyrkulacji zachodniej i południowej oraz wskaźnika cykloniczności. Sumy roczne opadów w Hornsundzie dwukrotnie przekroczyły wartość 600 mm.

## Literatura

- Brázdil R., 1988, Variation of air temperature and atmospheric precipitation in the region of Svalbard, In: Results of Investigations of the Geographical Research Expedition Spitsbergen 1985, University J.E. Purkyne, Brno: 285-323.
- Førland 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, 21/97, Norwegian Meteor. Inst., Oslo: 72 s.
- Głowacki P., Niedźwiedź T., 1997, Climatological conditions in Hornsund (Spitsbergen) during succeeding Polish Polar Expeditions. In: Głowacki P. (ed.), Polish Polar Studies. 24th Polar Symposium, Warszawa, 1997, Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa: 81-94.
- 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.
- Kahl J.D., Charlevoix D.J., Zaitseva N.A., Schnell R.C., Serreze M.C., 1993, Absence of evidence of or greenhouse warming over the Arctic Ocean in the past 40 years, *Nature*, 361: 335-337.
- Kwaczyński J., Nowosielski L., 2001, Meteorological Yearbook Hornsund 2000/2001, Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences, D-57 (341), Warszawa: 5-75.
- Łupikasza E., 2001, Wieloletnia zmienność opadów w atlantyckim sektorze Arktyki. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11, Gdynia: 27-40.
- Łupikasza E., 2002, Zmienność opadów atmosferycznych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2000, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12, Gdynia: 77-88.
- Łupikasza E., Niedźwiedź T., 2002, Wpływ cyrkulacji na opady atmosferyczne w Hornsundzie, w: Kostrzewski A., Rachlewicz G. (red.), *Funkcjonowanie i Monitoring Geоекосystemów obszarów Polarnych*, Polish Polar Studies, Poznań: 203-216.
- Murray R., Lewis R.P., 1966, Some aspects of the synoptic climatology of the British Isles as measured by simple indices, *Meteorological Magazine*, 95: 193-203.
- Niedźwiedź T., Ustrnul Z., 1988, Wpływ sytuacji synoptycznych na stosunki opadowe w Hornsundzie (Spitsbergen), XV Sympozjum Polarne, Wydawnictwa Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław: 196-202.
- Niedźwiedź T., 1992, Wybrane problemy klimatologii synoptycznej Spitsbergenu, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2, Wyższa Szkoła Morska, Gdynia: 77-84.
- Niedźwiedź T., 1992-1993, Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem, *Folia Geographica*, series *Geographica Physica*, vol. XXIV-XXV, Kraków: 85-97.
- Niedźwiedź T., 1993, The main factors forming the climate of the Hornsund (Spitsbergen), *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, z. 94, Kraków: 49-63.
- Niedźwiedź T., 1997a, Częstość występowania typów cyrkulacji nad Spitsbergenem (1951-1995), *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7, Gdynia: 9-18.
- Niedźwiedź T., 1997b, Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem i ich rola w kształtowaniu temperatury powietrza, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7, Gdynia: 19-40.
- Niedźwiedź T., 2001, Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11, Gdynia: 7-26.
- Niedźwiedź T., 2002a, Wpływ cyrkulacji atmosfery na wysokie opady w Hornsundzie (Spitsbergen), *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12, Gdynia: 65-75.
- Niedźwiedź T., 2002b, Kalendarz typów cyrkulacji nad Spitsbergenem: grudzień 1950 – grudzień 2002 (zbiór komputerowy w Katedrze Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec).
- Przybylak R., 2000, Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic, *International Journal of Climatology*, Vol. 20, No 6: 587-614.

- Przybylak R., 2002, Variability of Air Temperature and Atmospheric Precipitation in the Arctic, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 330 s.
- Roczniki Meteorologiczne, Hornsund, 1978/1979 – 1999/2000, M. Miętus (red.), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział Morski, Gdynia.
- Tuomenvirta H., Alexandersson H., Drebs A., Frich P., Nordli P.Ø., 2000, Trends in Nordic and Arctic temperature extremes and ranges, *Journal of Climate*, 13, 3: 977-990.
- Vose R.S., Schmoyer R.L., Steurer P.M., Peterson T.C., Heim R., Karl T.R., Eischeid J., 1992, The Global Historical Climatology Network: Long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. Report ORNL/CDIAC-53, NDP-041.

## **CONTEMPORARY VARIABILITY OF ATMOSPHERIC CIRCULATION, TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN SPITSBERGEN**

### **Summary**

The study presents variability of simple circulation indices above Spitsbergen for the period 1951-2002, based on original calendar of synoptic divided from the synoptic maps. After calculation of synoptic types frequencies the further results have been obtained using the simple circulation indices: W – westerly, zonal index, S – southerly – meridional index, C – cyclonicity index, as proposed by R. Murray and R. Lewis (1966) with some modifications. The negative value of W index is typical for Spitsbergen, according to great frequency of eastern airflow. Some complicated relations between above indices, NAO, temperature and precipitation were noticed in Spitsbergen.

Variability of temperature and precipitation based on the data from Isfjord Radio and Svalbard Lufthavn stations, as well as from Polish Polar Station in Hornsund Fiord on SW part of Spitsbergen. They were compared with Bjornoya (Bear Island) – about 300 km SSE from Hornsund. For the temperature the main feature is period of cooling in the years 1961-1971 and around 1988, after the great warming during the decade of 1930th. During that coolest years also large annual temperature range was typical. The coldest was year 1968, and the warmest one – 1984 (from -2 to -3°C). Next warm years were observed in 1990 and 1999, but in Jan Mayen the warmest was year 2002. The coolest winter (December-February) with average temperature below -20°C in Longyearbyen was in 1962/1963 (-21.5°C) and 1988/1989 (-20.1°C), and the warmest one on 1984/1985 (-8.3°C). Significant warming was noticed only in the warm half-year (V-X) about 1.2K since 1972 up to 2002. The warmest period V-X was in 1990, and coolest – in 1968. In summer (June-August) the temperature varied between 2°C in 1982 and 4.5°C (Hornsund) or 6.1°C (Longyearbyen) in 2002 (the warmest summer).

Temperature changes in Spitsbergen depend on a great extend of circulation factors, mainly from the southern (S) and zonal circulation indices (W). The lowest temperatures were observed round the 1965. During the last decade of 1980 the period of little warming is observed again.

For precipitation relative large increase of summer and September precipitation were noticed in the last years of the 20<sup>th</sup> century, mainly in 1994-1997. May be the part of its fallen in the form of snow in the upper parts of archipelago and supplied glaciers. The highest precipitation is typical for August and September. The largest diurnal precipitation totals – 58.3 mm was observed on August 1,

1994. The second high value 52.6 mm was noticed on September 6, 1996. During the observed period since 1978, only 5 time the daily precipitation in Hornsund exceeded 40 mm and 14 time were higher than 30 mm. In Hornsund annual total of precipitation twice exceeded 600 mm, in 1994 and 1996. This increase of precipitation was connected with greater frequency in the intensity of westerly and southerly atmospheric circulation expressed by the zonal and meridional circulation indices and the more intense cyclonic activity in autumn and winter seasons.