

## WYSTĘPOWANIE WYSOKIEGO CIŚNIENIA NAD OBSZAREM SVALBARDU W LATACH 1971-2015

HIGH PRESSURE VALUES OCCURRENCE OVER SVALBARD IN THE PERIOD 1971-2015

Zuzanna Bielec-Bąkowska

Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach  
ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec  
zuzanna.bielec-bakowska@us.edu.pl

**Zarys treści.** W opracowaniu przedstawiono przestrzenną i czasową zmienność występowania wysokich wartości ciśnienia nad obszarem Svalbardu w latach 1971-2015. W tym celu wykorzystano średnie dobowe wartości ciśnienia na poziomie morza dla 12 punktów gridowych uzyskane z reanaliz NCEP/NCAR. Podstawowym wskaźnikiem był dzień ze średnim ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa. Na tej podstawie stwierdzono, że liczba rozpatrywanych dni jest niewielka (średnio 49-72 dni w roku), a dni z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa notowane są sporadycznie. W przebiegu rocznym analizowane dni występują głównie wiosną, stanowiąc w zależności od położenia punktu gridowego około 37-45% wszystkich dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa i 43-55% dni ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa. W badanym wieloleciu nie stwierdzono tendencji zmian liczby opisywanych dni. Wyróżniono jednak dwa okresy zwiększonej częstości występowania dni z wysokim ciśnieniem (1977-1988 oraz 1995-2010) podzielone kilkuletnim bardzo silnym spadkiem ich liczby. Pomimo niewielkiej powierzchni analizowanego obszaru, przestrzenne zróżnicowanie rocznej i wieloletniej zmienności występowania badanych dni wskazuje na ścieranie się cech cyrkulacji: strefy dominującej działalności cyklonalnej północnego Atlantyku, obszaru częstych i silnych wiał z nad Grenlandii i północnej Kanady oraz strefy układów wysokiego ciśnienia z nad centralnej Arktyki.

**Słowa kluczowe:** wysokie ciśnienie atmosferyczne, wyże, zmienność wieloletnia, Svalbard, Arktyka.

### 1. Wstęp

Obok czynników radiacyjnych cyrkulacja atmosfery jest najważniejszym elementem kształtującym bilans energetyczny i klimat danego regionu. Jest ona szczególnie ważna w obszarach polarnych, w których dopływ promieniowania jest silnie ograniczony. Szacuje się, że w Arktyce aż około 95% energii dopływa dzięki cyrkulacji atmosferycznej (Aleksiejew i in. 1991), a M.C. Serreze i J.A. Francis (2006) wskazują, że znaczny wpływ cyrkulacji na warunki atmosferyczne w Arktyce jest widoczny w ciągu całego roku. Zależność poszczególnych elementów pogody od warunków cyrkulacyjnych potwierdzają liczne prace dotyczące klimatu Arktyki. Znaczna ich część dotyczy zmian temperatury (Thompson i Wallace 1998, Przybylak 2000, Bednorz 2011, Niedźwiedz i in. 2012), ale także opadów atmosferycznych (Hanssen-Bauer i Førland 1998, 2000; Niedźwiedz 2002, Łupikasa 2010, Przybylak i in. 2011, Bednorz i Jakielczyk 2014), pokrywy śnieżnej i lodowej (Serreze i in. 2000, Rogers i in. 2005), często również w powiązaniu ze zmianami temperatury powierzchni oceanów (Porter i in. 2012). Z tego powodu wszelkie zmiany częstości występowania oraz tras przemieszczania się układów barycznych, a także zmiany kierunków adwekcji powietrza mogą być uważane za prognostyk związanych z nimi zmian warunków klimatycznych.

Badając zmiany cyrkulacji atmosfery nad danym obszarem najczęściej rozpatruje się zmiany występowania układów barycznych oraz związanych z nimi kierunków adwekcji mas powietrza, które w odmienny sposób oddziałują na pogodę, zwłaszcza jeżeli związane są z centrami działania atmosfery. W przypadku Arktyki największą uwagę poświęca się układom niskiego ciśnienia, które w znacznej mierze odpowiedzialne są za transport energii z niższych szerokości geograficznych ku obszarom podbiegunowym. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w świetle gwałtownego wzrostu temperatury w tym regionie (Przybylak 2007), który zaznacza się wyjątkowo silnie jesienią i zimą (Marsz i Styszyńska 2011). Mniej uwagi poświęca się układom wysokiego ciśnienia, które w Arktyce nie odznaczają się dużą trwałością i często zastępowane są przez dynamiczne niższe (Dziedziewicz 1975). I chociaż niektórzy autorzy zauważają niewielki wzrost liczby wyżów w sezonie ciepłym w drugiej połowie XX w. (Serreze 1993), to najczęściej stwierdza się i prognozuje dalszy spadek ciśnienia w Arktyce towarzyszący dużo częstszym i silniejszym niżom docierającym w głąb rozpatrywanego obszaru (Zhang i in. 2004, Cassano i in. 2006). Ze względu na swoje położenie i oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego opisywane zmiany najsilniej zaznaczają się w Arktyce Atlantyckiej (Polyakov i in. 2003).

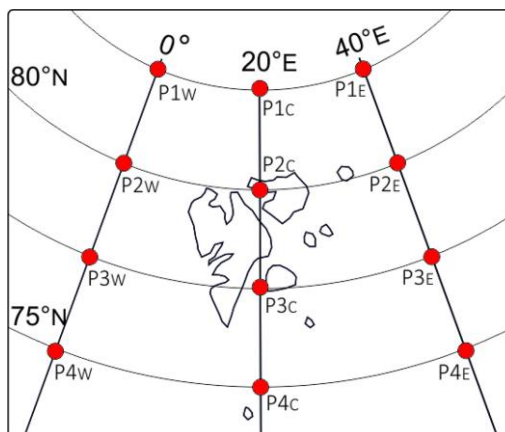
Rezultaty wspomnianych badań stały się inspiracją do podjęcia prac mających na celu zweryfikowanie naszej wiedzy dotyczącej zmian występowania układów antycyklonalnych w Arktyce Atlantyckiej. Niniejsze opracowanie stanowi pierwszy etap planowanych badań. Jego celem jest zbadanie przestrzennej i czasowej zmienności występowania wysokich wartości ciśnienia w latach 1971–2015 nad obszarem Svalbardu, który reprezentuje Arktykę Atlantycką. Szczególną uwagę zwrócono na występowanie ciśnienia równego lub wyższego od 1030 hPa. Pojawienie się tak wysokiego ciśnienia jest nierozdzielnie związane z występowaniem silnych i bardzo silnych układów wysokiego ciśnienia, które bardzo często przyjmują charakter układów blokujących i zazwyczaj odznaczają się znaczną trwałością. W badaniach uwzględniono zarówno roczny przebieg dni z ciśnieniem równym lub wyższym od 1020 hPa, jak i ich zmienność wieloletnią. Porównano także zmiany liczby badanych dni ze zmianami ciśnienia zachodzącymi w analizowanym okresie.

## 2. Materiały i metoda opracowania

W opracowaniu wykorzystano dane dotyczące średnich dobowych wartości ciśnienia atmosferycznego (zwanego dalej ciśnieniem) na poziomie morza określonych dla 12 punktów gridowych położonych nad obszarem Svalbardu ograniczonym południkami  $0^{\circ}$  –  $40^{\circ}$ E oraz równoleżnikami  $75^{\circ}$  –  $82^{\circ}30'N$  (ryc. 1). Materiały wykorzystane w badaniach pochodzą z reanaliz NCEP/NCAR udostępnionych przez NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado w Stanach Zjednoczonych (<http://www.cdc.noaa.gov/>) i obejmują lata 1971-2015.

Wybrane dane gridowe powszechnie uznawane są za homogeniczne (Kalnay i in. 1996) i należą do danych najbardziej wiarygodnej grupy A. Mimo dostępności danych od roku 1948, w niniejszym opracowaniu okres badawczy został skrócony i rozpoczyna się dopiero od roku 1971. Głównym powodem takiej decyzji była mniejsza ilość danych wejściowych, a także brak danych satelitarnych oraz danych z sondaży aerologicznych wykorzystywanych do stworzenia bazy danych gridowych dla lat 50. i 60 XX w. (Kistler i in. 2001). Drugim powodem były problemy z redukcją wartości ciśnienia przed rokiem 1971 (Pauley 1998), szczególnie nad wysoko położonymi obszarami o zróżnicowanej rzeźbie oraz pokrytymi lodem (van Loon i Williams 1976, Trenberth i Paolino 1980, Jones 1987, Trenberth i in. 2001, Gong i Ho 2002, Burt 2007).

Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów gridowych, z których dane wykorzystano w opracowaniu  
Fig. 1. Location of grid points from which data were used in the study



Niniejsze opracowanie stanowi pierwszy etap badań nad występowaniem silnych układów antycyklonalnych nad badanym obszarem. Z tego powodu w pracy nie rozpatrywano występowania poszczególnych układów antycyklonalnych, a jedynie występowanie wysokich wartości ciśnienia. Ze względu na sposób powstawania, powolne przemieszczanie się układów wysokiego ciśnienia oraz często ich stacjonarny charakter, podjęto decyzję o wykorzystaniu nie terminowych, a średnich dobowych wartości ciśnienia. Założenie to pozwoliło także wyeliminować przypadki kilkugodzinnych wzrostów wartości ciśnienia oznaczających bardzo krótkotrwałe oddziaływanie wyżów na pogodę rozpatrywanego obszaru.

Podstawowym wskaźnikiem wykorzystanym w niniejszym opracowaniu był dzień z ciśnieniem wyższym lub równym 1020 hPa. Wartość tę przyjęto arbitralnie jako taką, która wskazuje, iż rozpatrywany obszar znajduje się pod wpływem dość silnego układu wysokiego ciśnienia. Dodatkowo w analizie uwzględniono dni z ciśnieniem wyższym lub równym 1030 hPa, jako dni charakteryzujące występowanie silnych wyżów, które w wyjątkowy sposób kształtują pogodę danego rejonu (szczegółowe wyjaśnienia znajdzie czytelnik m.in. w pracach Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2011 i Bielec-Bąkowska 2014).

### 3. Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie występowania dni z wysokim ciśnieniem

Ze względu na niewielką powierzchnię jaką zajmuje rozpatrywany obszar, zróżnicowanie przestrzenne ciśnienia nad Svalbardem i otaczającymi go wodami nie jest duże. Współczynniki korelacji zmian średnich dobowych wartości ciśnienia pomiędzy poszczególnymi punktami są bardzo wysokie (sięgając 0,953) i istotne statystycznie ( $p < 0,01$ ). Najmniejsze podobieństwa widoczne są, gdy porównujemy zmiany ciśnienia w północno-zachodniej i południowo-wschodniej części badanego rejonu (współczynnik korelacji: 0,426;  $p < 0,01$ ).

Nad analizowanym obszarem przeważa działalność cyklonalna, która silnie oddziałuje na kształtowanie pogody i klimatu Svalbardu (Przybylak 2007, Semenov i Latif 2012, Bednorz i Jakielczyk 2014, Niedźwiedź i Łupikasz 2015). W rejonie tym sytuacje cyklonalne średnio występują przez około 56,5% dni w roku, przy czym w 12,5% dni nad omawianym rejonem występuje centrum niżu lub bruzda cyklonalna. Sytuacje antycyklonalne występują rzadziej – średnio przez 40,6% dni w roku, a centrum lub klin wysokiego ciśnienia kształtują pogodę przez 11,7% dni (Niedźwiedź 2007). Odzwierciedle-

niem takiej cyrkulacji były średnie roczne wartości ciśnienia, które w latach 1971-2015 wahały się od 1008,0 hPa w punkcie gridowym P4C do 1011,4 hPa w P1W (tab. 1). Wartości skrajne natomiast, wyniosły 945,9 hPa w południowej części analizowanego obszaru (P4C; 03.01.1975) oraz 1058,7 hPa na północnym wschodzie (P1E; 20.03.2013). W porównaniu do obszaru Europy oraz przeważającej części Arktyki (Bielec-Bąkowska 2014) liczba dni z wysokim ciśnieniem w rozpatrywanym rejonie jest bardzo niska i wzrasta z południowego zachodu na północny wschód. Nad Svalbardem średnio ciśnienie  $\geq 1020$  hPa notowane było przez około 49-72 dni w ciągu roku, a liczba dni z silnymi wyżami ( $\geq 1030$  hPa) wahała się od około 4 w punkcie P4W do 12 w P1E (tab. 1). Występowały oczywiście lata o wyjątkowo wzmoczonej aktywności antycyklonalnej, jak rok 1998, w którym zanotowano aż 121 dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz 36 dni z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa. Jednak lata, w których notowano już ponad 80 dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa należały do rzadkości i ich liczba wahała się od 1 roku w punkcie P4W do 16 lat w punkcie P1E.

Tab. 1. Wartości ciśnienia, liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz z silnymi wyżami ( $\geq 1030$  hPa) w latach 1971-2015

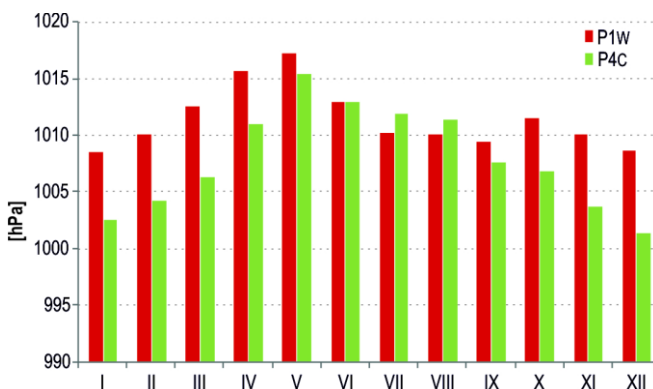
Table 1. Pressure values, number of days with high pressure  $\geq 1020$ hPa and strong highs ( $\geq 1030$ hPa) in the period 1971-2015.

Wskaźniki Indices	Wartości ciśnienia Pressure values [hPa]			Liczba dni Number of days $\geq 1020$ hPa			Liczba dni Number of days $\geq 1030$ hPa		
Punkty gridowe Grid points	Najniższe – Minimum								
	W	C	E	W	C	E	W	C	E
P1	949.8	953.9	959.7	23	26	28	0	0	1
P2	952.7	953.3	958.3	25	25	25	0	0	0
P3	953.6	948.0	955.0	21	24	24	0	0	0
P4	948.3	<b>945.9</b>	955.9	18	<b>16</b>	26	0	0	0
Punkty gridowe Grid points	Średnie – Average								
	W	C	E	W	C	E	W	C	E
P1	<b>1011.4</b>	1010.6	1010.9	66.9	65.0	<b>71.9</b>	9.8	9.4	<b>12.3</b>
P2	1010.5	1010.4	1010.2	61.3	66.4	67.7	8.0	8.8	10.7
P3	1009.3	1009.4	1009.1	54.6	61.0	61.8	6.3	8.0	8.6
P4	1008.1	<b>1008.0</b>	1008.5	<b>49.1</b>	52.0	61.2	<b>4.2</b>	5.5	8.0
Punkty gridowe Grid points	Najwyższe – Maximum								
	W	C	E	W	C	E	W	C	E
P1	1057.1	1055.7	<b>1058.7</b>	117	117	119	30	29	<b>36</b>
P2	1054.2	1055.3	1056.7	96	<b>121</b>	118	22	25	31
P3	1054.2	1053.9	1051.5	90	100	110	18	23	25
P4	1048.5	1049.4	1046.0	81	89	105	16	13	21

Sezonowe zmiany ciśnienia jakie zachodzą nad badanym obszarem odzwierciedlają silną zimową działalność cyklonalną oraz niewielkie zwiększenie częstości antycyklonów wiosną (Niedźwiedź 2001, 2004, 2007), które związane jest z osłabieniem w tym okresie gradientów termicznych wód oceanicznych i w konsekwencji słabszą cyklogenezą. Opisane prawidłowości widoczne są w rocznym przebiegu ciśnienia (ryc. 2) oraz w rocznej zmianie wartości wskaźników charakteryzujących cyrkulację atmosferyczną w rozpatrywanym rejonie (Niedźwiedź 2007). W analizowanym wieloleciu we wszystkich badanych punktach gridowych najwyższe średnie miesięczne wartości ciśnienia przypadają na maj (1015,2-1017,2 hPa), najniższe natomiast na grudzień lub styczeń (1001,4-1008,9 hPa). Różnice

ciśnienia między punktami były niewielkie i w okresie ciepłym (V–IX) wahały się od 1,5 hPa w czerwcu do 2,1 hPa w lipcu, w pozostałych miesiącach od 4,7 hPa w kwietniu do 7,3 hPa w grudniu.

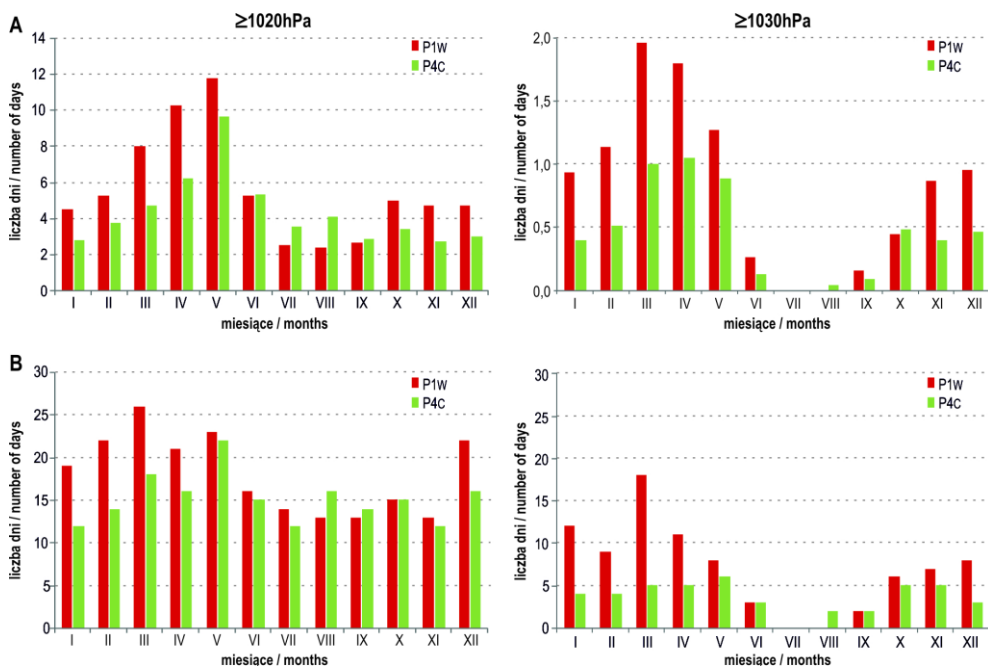
Wiosenne osłabienie cyrkulacji cyklonalnej oraz niewielki wzrost średnich wartości ciśnienia latem nie oznacza jednak większej częstości występowania układów wysokiego ciśnienia w obu porach roku. Wzrost liczby dni z wysokim ciśnieniem dotyczy jedynie okresu wiosennego, w którym wystąpiło około 37% (P4E) – 45% (P1W) wszystkich dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz 43% (P3E) – 55% (P3W i P4W) wszystkich dni z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa w danym punkcie gridowym. Najwięcej takich dni pojawiało się w maju, w którym średnio wystąpiło od 9,4 do 11,8 dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa (ryc. 3). Związane było to przede wszystkim z wyżami rozbudowującymi się nad Grenlandią, które często przesuwały się na wschód, klinem sięgając nawet Wysp Brytyjskich.



Ryc. 2. Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości ciśnienia [hPa] w punkcie gridowym P1W oraz P4C w latach 1971-2015

Fig. 2. Annual course of the average pressure values [hPa] at P1W and P4C grid points in particular months in the period 1971-2015.

Latem, pomimo słabszej cyrkulacji cyklonalnej, coraz bardziej nagrzewająca się powierzchnia oceanu nie sprzyja powstawaniu układów wysokiego ciśnienia. Znajduje to potwierdzenie w rocznym przebiegu liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa, która od czerwca do sierpnia wahała się średnio od około 2 do około 4 dni w miesiącu. W przypadku ciśnienia  $\geq 1030$  hPa analizowane dni występują sporadycznie, a w lipcu, w całym badanym wieloleciu, ani razu nie odnotowano tak wysokiego ciśnienia (ryc. 3). Warto jednak zauważyć, że roczne zmiany występowania wysokiego ciśnienia w rejonie Svalbardu wskazują na pewne zróżnicowanie przestrzenne. Jak już wcześniej wspomniano w północnej części tego rejonu liczba dni z wysokim i bardzo wysokim ciśnieniem była największa, w rejonach południowych nieco mniejsza. Jednak roczny przebieg liczby analizowanych dni wskazuje, że na północy, a szczególnie na północnym-zachodzie badanego obszaru, roczny zakres zmian częstości ich występowania był większy niż w części południowej (sięgając od 6,0 dnia w punkcie P4E do 9,4 dnia w P1W). W przypadku silnych układów wysokiego ciśnienia ( $\geq 1030$  hPa) różnica ta była nawet dwukrotnie większa (od 0,9 dnia w punkcie P4W do 2,0 dnia w P1W), a roczne maksimum występowania takich układów barycznych w badanym wieloleciu przypadło na marzec lub kwiecień, kiedy notowano średnio od 1,0 do 2,5 dnia z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa (ryc. 3).



Ryc. 3. Średnia (A) i najwyższa (B) liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa w punktach gridowych P1W oraz P4C w poszczególnych miesiącach w latach 1971-2015

Fig. 3. Average (A) and maximum (B) number of days with pressure  $\geq 1020$  hPa and  $\geq 1030$  hPa at P1W and P4C grid points in particular months in the period 1971-2015.

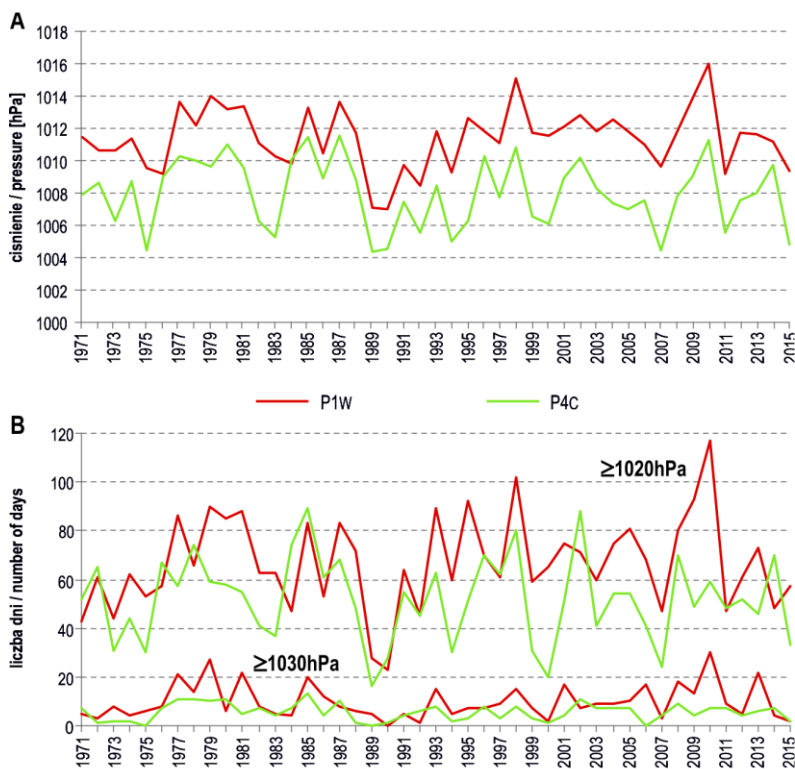
#### 4. Wieloletnie zmiany występowania układów wysokiego ciśnienia

Zarówno wieloletni przebieg średnich rocznych wartości ciśnienia, jak i zmienność rocznej liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa i  $\geq 1030$  hPa nie wskazują na istnienie wyraźnych tendencji ich zmian. Dużo łatwiej wskazać istnienie kilku okresów wyróżniających się wartości wspomnianych charakterystyk ciśnienia (ryc. 4A). Uogólniając zmiany ciśnienia zachodzące nad całym badanym obszarem zauważamy, że w ciągu kilku lat na początku oraz na końcu badanego wielolecia wartości ciśnienia były nieco niższe lub bardzo zbliżone do średniej wieloletniej. Najbardziej charakterystyczne były trzy okresy pomiędzy latami 1977 a 2010. Wśród nich pierwsze 12 lat (1977-1988), to okres wyraźnie wyższego ciśnienia, po którym we wszystkich punktach gridowych wartości ciśnienia znacząco zmalały (najbardziej w roku 1989 i 1990). W kolejnych latach wartości ciśnienia wzrosły ponownie, jednak wzrost ten nie był już tak znaczący jak poprzednio. W latach, w których notowano największe różnice od średniej zwykle wartości ciśnienia były wyższe (niższe) o około 2-4 hPa, a nawet 5 hPa.

Należy również zaznaczyć, że przebieg opisywanych zmian różnił się w zależności od położenia punktu gridowego. Pierwszą charakterystyczną różnicą były wartości ciśnienia występujące w latach 1977-1988 oraz 1995-2010. W północno-zachodniej części rozpatrywanego rejonu w pierwszym z tych okresów wartości ciśnienia były niższe niż po roku 1995. Przesuwając się na południowy wschód wartości ciśnienia w latach 1977-1988 stawały się wyższe niż w okresie późniejszym, a wartości ciśnienia w latach 90. i na początku XXI wieku częściej były zbliżone do średniej (ryc. 4A). Drugą

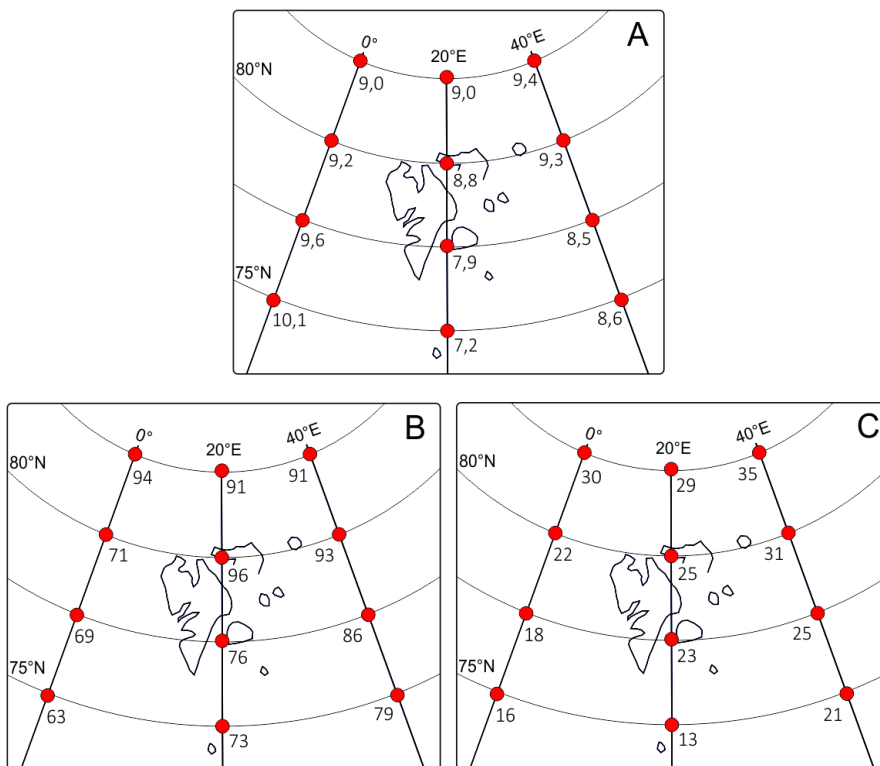
charakterystyczną cechą był wzrost zmienności średnich rocznych wartości ciśnienia w obszarach położonych na południu i w południowo-wschodniej części rejonu w porównaniu do reszty obszaru. Potwierdza to współczynnik zmienności, który wahał się od 0,186% w punkcie gridowym P1W do 0,212% w P4W. Warto również zaznaczyć, że wieloletni zakres zmian ciśnienia największy był na północy i zachodzie rozpatrywanego obszaru (9,0-10,1 hPa), najmniejszy natomiast na południu (7,2 hPa w P4C; ryc. 5). Jednocześnie wieloletnie maksimum średnich rocznych wartości ciśnienia na zachodzie analizowanego rejonu przypadało na rok 2010, podczas gdy na wschodzie był to rok 1998, a na południu 1985.

Wieloletni przebieg liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa był bardzo zbliżony do opisanych zmian ciśnienia (ryc. 4B). Wartości współczynnika korelacji wahały się od 0,79 do 0,91 w przypadku liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz 0,57-0,85 rozpatrując dni z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa ( $p < 0,01$ ). Pewną różnicą były znacznie większe zmiany rocznej liczby badanych dni w wieloletnim (współczynnik zmienności przyjmował wartości odpowiednio: 27,4-33,3% oraz 60,9-91,8%) oraz przestrzenny rozkład wieloletniego zakresu ich zmian (ryc. 5). Podczas gdy największy zakres zmian ciśnienia występował na północy i zachodzie badanego obszaru (podobnie jak jego najwyższe wartości średnie), największe zmiany rocznej liczby analizowanych dni występowały na północy i wschodzie.



Ryc. 4. Średnie roczne wartości ciśnienia (A) oraz roczna liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa i  $\geq 1030$  hPa (B) w punktach gridowych P1W oraz P4C, w latach 1971-2015

Fig. 4. Average annual pressure values (A) and annual number of days with pressure  $\geq 1020$ hPa and  $\geq 1030$ hPa (B) at P1W and P4C grid points in the period 1971-2015.

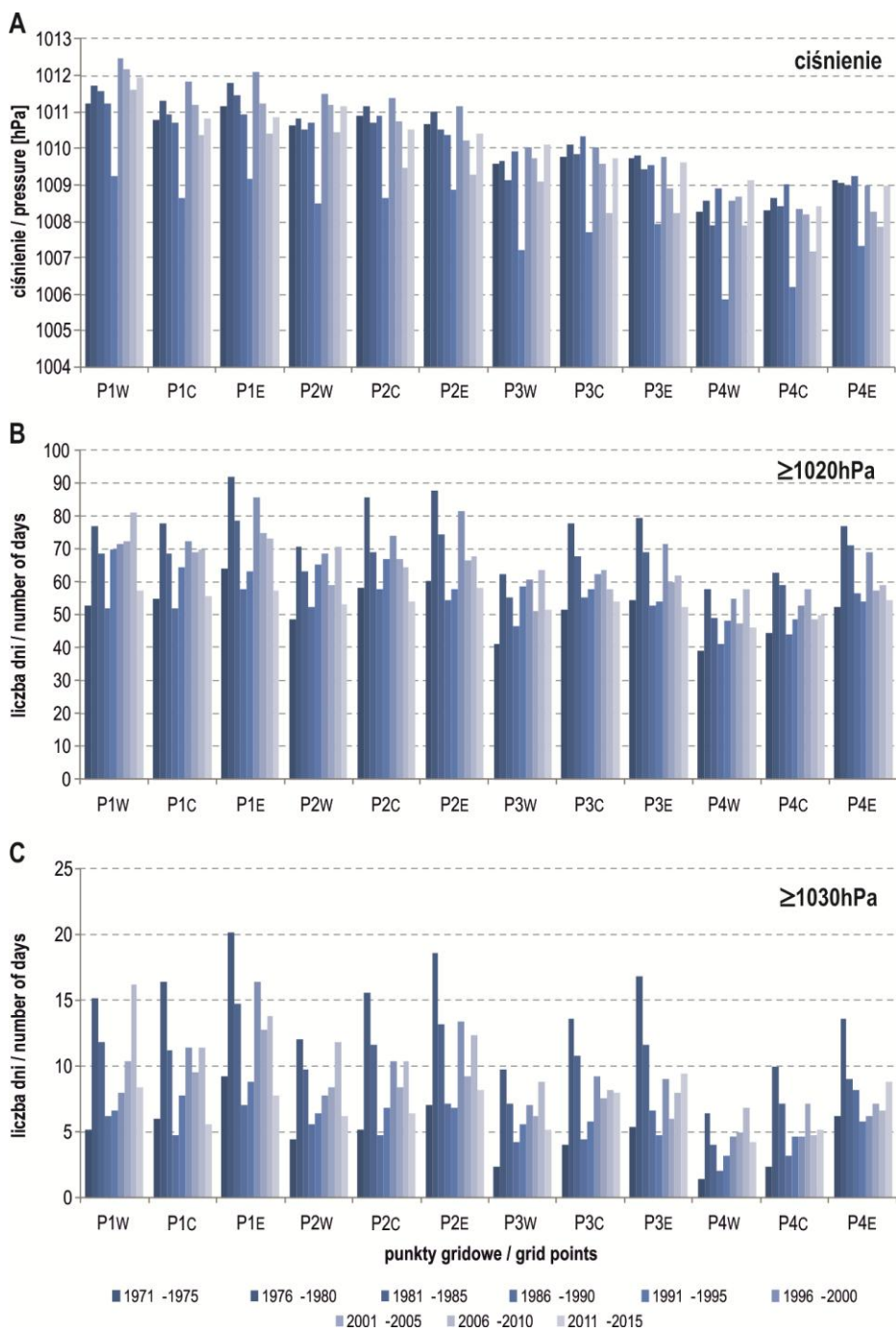


Ryc. 5. Wieloletni zakres zmian średnich rocznych wartości ciśnienia [hPa] – (A) oraz rocznej liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa (B) i  $\geq 1030$  hPa (C) w latach 1971-2015

Fig. 5. Long-term range of the average annual pressure values [hPa] – (A) and annual number of days with pressure  $\geq 1020$ hPa (B) and  $\geq 1030$ hPa (C) in the period 1971-2015.

Porównanie kolejnych 5-letnich średnich wartości omawianych charakterystyk pozwoliło wskazać również inne cechy zmian rocznej liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa (ryc. 6). W obu przypadkach znacznie wyraźniej niż w przebiegu wartości ciśnienia wyróżniają się okresy wyjątkowo dużej lub małej liczby badanych dni. Szczególnie dobrze jest to widoczne w mniejszej liczbie dni z rozpatrywanymi wartościami ciśnienia na początku i końcu wielolecia, jak również w latach 1976-1980, w których notowano ich najwięcej. Znacznie wyraźniejsze staje się także regionalne zróżnicowanie wieloletniej zmienności opisywanych wskaźników ciśnienia, przede wszystkim w drugiej połowie wielolecia. Można ponadto zauważyć, że gwałtowny spadek częstości występowania dni z wysokimi wartościami ciśnienia w latach 1986-1990 niejako poprzedzał obniżenie ciśnienia przypadające głównie na lata 1991-1995. Natomiast wspomniany spadek ciśnienia znalazł swoje odzwierciedlenie głównie w zmniejszonej liczbie dni z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa. Na koniec warto także wspomnieć o wieloleciu 2006-2010. W okresie tym na większości obszaru odnotowano dość wyraźne obniżenie wartości ciśnienia, na które wpływ miał głównie rok 2007. Jednocześnie liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa nie zmieniła się znacząco, a w niektórych punktach gridowych nawet nieco wzrosła.





Ryc. 6. Średnie wartości ciśnienia (A) oraz średnia liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020 \text{ hPa}$  (B) i  $\geq 1030 \text{ hPa}$  (C) w poszczególnych punktach w kolejnych pięcioleciach wielolecia 1971-2015

Fig. 6. Average pressure values (A) and average number of days with pressure  $\geq 1020 \text{ hPa}$  (B) and  $\geq 1030 \text{ hPa}$  (C) at particular grid points in consequent 5-year periods in the years 1971-2015.

## 5. Podsumowanie

Cyrkulacja atmosferyczna nad obszarem Svalbardu podlega silnym wpływom cyrkulacji znad północnego Atlantyku, czego wynikiem jest dominacja układów cyklonalnych często przemieszczających się nad rozpatrywanym rejonem. Znajduje to odzwierciedlenie w niskich wartościach ciśnienia, które w wieloleciu 1971-2015 w poszczególnych punktach gridowych średnio wynosiły od około 1008 hPa do około 1011 hPa. Układy antycyklonalne w mniejszym stopniu wpływają na pogodę badanego obszaru (Niedźwiedź 2007). Dotyczy to w szczególności układów charakteryzujących się wysokimi i bardzo wysokimi wartościami ciśnienia. Potwierdzeniem jest liczba dni z ciśnieniem równym lub wyższym niż 1020 hPa. W rozpatrywanym okresie średnio w roku wahała się ona od zaledwie 49 do 72 dni (w zależności od położenia danego punktu gridowego). Natomiast liczba dni, w których rozpatrywany rejon swoim zasięgiem obejmowały silne układy wysokiego ciśnienia ( $\geq 1030$  hPa) średnio wynosiła 4-12 dni. Najczęściej wysokie ciśnienie występowało w północno-wschodniej części badanego obszaru, a liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa malała wraz z przesuwaniem się na południowy zachód.

Roczny przebieg ciśnienia oraz liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa w badanym rejonie potwierdza dotychczas znane prawidłowości (Przybylak i Jankowska 2009, Maturilli i in. 2013). Niskie wartości ciśnienia (około 1001-1008 hPa) występują przede wszystkim w chłodnej połowie roku, szczególnie w trakcie nocy polarnej. W okresie tym ponad 70% typów sytuacji synoptycznych związanych jest z dynamicznymi układami cyklonalnymi, a klin i centrum wysokiego ciśnienia występują nad Svalbardem zaledwie podczas 8,2% wszystkich dni tej części roku (Malik 2005). W trakcie dnia polarnego częstość sytuacji antycyklonalnych jest znacznie większa i sięga około 49%, w tym 18,8% sytuacji stanowi klin wysokiego ciśnienia i centrum wyżu (Malik 2005). Jednak największy wzrost wartości ciśnienia (do powyżej 1017 hPa) oraz zwiększona częstość dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa (dochodząca odpowiednio do 45 i 55% wszystkich przypadków) zaznacza się wiosną, co związane jest przede wszystkim z rozbudową wyżów znad Grenlandii. Latem natomiast, układy antycyklonalne charakteryzują się niższym ciśnieniem niż zimą (Niedźwiedź 2007), a dni z wysokim ciśnieniem pojawiają się bardzo rzadko.

Rozpatrując wieloletni przebieg liczby dni z wysokim ciśnieniem nie stwierdzono istnienia wyraźnych tendencji ich zmian. Ponieważ zdecydowana większość badanych dni występuje w okresie wiosennym, zmiany te w pewnym stopniu są zgodne z wieloletnimi zmianami wiosennego wskaźnika cykloniczności wyznaczonego dla badanego obszaru (Niedźwiedź 2007, Niedźwiedź i Łupikasa 2015). Opisywane podobieństwo (większa częstość dni z wysokim ciśnieniem/spadek wartości wskaźnika cykloniczności) dotyczy zarówno samego przebiegu wartości wskaźników, jak i braku trendu. Inną charakterystyczną cechą wieloletniej zmienności wspomnianych dni, jak również zmian ciśnienia nad badanym obszarem, jest występowanie dwóch okresów zwiększonej liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa, a także wyższych wartości ciśnienia, przypadających na lata 1977-1988 i 1995-2010. Dzieli je kilkuletni okres wyjątkowo niskiego ciśnienia oraz bardzo małej liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa, a szczególnie dni z ciśnieniem  $\geq 1030$  hPa. W roku 1989 oraz 1990 w niektórych punktach gridowych tak wysokie wartości ciśnienia ( $\geq 1030$  hPa) w ogóle nie były notowane. Opisywany spadek ciśnienia, związany ze wzmożonym przepływem zachodnim (Zhang i in. 2004, Niedźwiedź i Łupikasa 2015) i bardzo silną cyrkulacją cyklonalną, był charakterystyczny dla całego obszaru Arktyki i był najniższym od 1880 roku (Walsh i in. 1996, Polyakov i in. 2003).

Należy w tym miejscu przypomnieć, że obszar Arktyki charakteryzuje się bardzo dużymi zmianami ciśnienia w czasie i w przestrzeni. Dotyczy to zarówno występowania obszarów zwiększonej częstości układów barycznych, liczby niżów i wyżów, jak również samych wartości ciśnienia (Przybylak 1996, 2016). Mimo, iż analizowany w niniejszym opracowaniu rejon zajmuje stosunkowo niewielką powierzchnię, uzyskane rezultaty potwierdzają tę prawidłowość.

Szczegółowa analiza zmian występowania dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa wykazała iż najczęściej układy antycyklonalne o tak wysokim ciśnieniu wpływają na pogodę w północno-wschodniej części rozpatrywanego obszaru, chociaż największe roczne zmiany liczby analizowanych dni występują na północnym zachodzie i północy. Ponadto, w północno-zachodniej i północnej części badanego rejonu liczba dni z wysokim i bardzo wysokim ciśnieniem w latach 1977-1988 była niższa niż po roku 1995. Natomiast wraz z przesuwaniem się ku południowemu wschodowi wartości ciśnienia w pierwszym ze wspomnianych okresów stawały się wyższe, a liczba dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa oraz  $\geq 1030$  hPa w latach 1995-2010 była bardziej zbliżona do średniej wieloletniej. Jednocześnie mniejsza liczba badanych dni na południu rozpatrywanego obszaru odznaczała się większą zmiennością średnich rocznych wartości ciśnienia, jak i liczby dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa. Opisane cechy przestrzennych i czasowych zmian ciśnienia, ze szczególnym uwzględnieniem dni z ciśnieniem  $\geq 1020$  hPa potwierdzają, iż badany obszar leży na styku regionów o odmiennych cechach cyrkulacji. Zaliczyć do nich należy: strefę działalności głębokich i dynamicznych niżów na północnym Atlantyku, a także obszary częstego występowania wysokiego ciśnienia nad Grenlandią i Archipelagiem Kanaadyjskim oraz nad centralną częścią Arktyki wraz z przesuwającymi się nad Arktykę klinami Wyżu Syberyjskiego.

## Literatura

- Aleksiejew G.W., Podgornoj I.A., Swiaszczennikow P.N., Hrol W.P., 1991. *Osobiennosti formirowanija klimata i jego izmieničivosti w polarnoj klimaczeskoj sistemie atmosfera – morskij led – okiean*. [w:] Krutskich B.A., Klimaczeskij reżym Arktiki na rubieże XX i XXI w. Gidromietieoizdat, St. Petersburg: 4-29.
- Bednorz E., 2011. *Occurrence of winter air temperature extremes in Central Spitsbergen*. Theoretical and Applied Climatology, 106 (3-4): 547-556.
- Bednorz E., Jakielczyk M., 2014. *Cyrkulacyjne warunki występowania ekstremalnych opadów atmosferycznych na Spitsbergenie*. Badania Fizjograficzne, Seria A – Geografia Fizyczna, 65: 39-53.
- Bielec-Bąkowska Z., 2014. *Silne wyże nad Europą (1951-2010)*. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr 3135, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, ss. 220.
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K., 2011. *Weather types accompanying very high pressure in Krakow in the period 1901-2000*. International Journal of Climatology, 31: 2183-2193.
- Burt S., 2007. *The Highest of the Highs... Extremes of barometric pressure in the British Isles, Part 2 – the most intense anticyclones*. Weather, 62 (2): 31-41.
- Cassano J., Lynch P., Lynch A., 2006. *Changes in synoptic weather patterns in the polar regions in the twentieth and twenty-first centuries, Part 1: Arctic*. International Journal of Climatology, 26: 1027-1049.
- Dzerdzeewskii, B.L., 1975. *Cirkulacjonnyje schemy v troposferie centralnoj Arktyki*. Izbrannyje Trudy, Izd. Nauka Moskwa.
- Gong D.-Y., Ho C.-H., 2002. *The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia*. Theoretical and Applied Climatology, 72: 1-9.

- 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.
- Hanssen-Bauer I., Forland E.J., 2000. *Temperature and precipitation variation in Norway 1900–1994 and their links to atmospheric circulation*. *International Journal of Climatology*, 20: 1693-1708.
- Jones P.D., 1987. *The early twentieth century Arctic High – fact or fiction?* *Climate Dynamics*, 1: 63-75.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996. *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437-471.
- Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M., 2001. *The NCEP–NCAR 50–Year Reanalysis: Monthly Means CD–ROM and Documentation*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82: 247-268.
- Łupikasza E., 2010. *Long-term variability of precipitation form in Hornsund (Spitsbergen) in relation to atmospheric circulation (1979–2009)*. *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, 22: 65-86.
- Maik P., 2005. *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania typów pogody w Hornsundzie w latach 1991-2000*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 15: 91-102.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2011. *Rozkład przestrzenny oraz skala ocieplenia ArktykiAtlantyckiej w 30-leciu 1980-2009 i jej porównanie z "Wielkim ociepleniem Arktyki" lat 30. XX wieku*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 21: 91-114.
- Maturilli M., Herber A., König-Langlo G., 2013. *Climatology and time series of surface meteorology in Ny-Alesund, Svalbard*. *Earth System Science Data*, 5: 155-163.
- Niedźwiedz T., 2001. *Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 7-26.
- Niedźwiedz T., 2002. *Wpływ cyrkulacji atmosfery na wysokie opady w Hornsundzie (Spitsbergen)*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12: 65-75.
- Niedźwiedz T., 2004. *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu temperatury powietrza w styczniu na Spitsbergenie*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 14: 59-68.
- Niedźwiedz T., 2007. *Cyrkulacja atmosferyczna*. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*, Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia: 45-64.
- Niedźwiedz T., Łupikasza E., 2015. *Dynamika wskaźników cyrkulacji nad Spitsbergenem*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 25: 153-167.
- Niedźwiedz T., Łupikasza E., Malarzewski Ł., 2012. *Wpływ cyrkulacji atmosfery na występowanie dni mroźnych w Hornsundzie (Spitsbergen)*. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 22: 17-26.
- Pauley P.M., 1998. *An example of uncertainty in sea level pressure reduction*. *Weather Forecasting*, 13: 833-850.
- Polyakov I.V., Bekryaev R.V., Alekseev G.V., Bhatt U.S., Colony R.L., Johnson M.A., Maskhtas A.P., Walsh D., 2003. *Variability and trends of air temperature and pressure in the maritime Arctic, 1875-2000*. *Journal of Climate*, 16: 2067-2077.
- Porter D.F., Cassano J.J., Serreze M.C., 2012. *Local and large-scale atmospheric responses to reduced Arctic sea ice and ocean warming in the WRF model*. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 117: D11115.
- Przybylak R., 1996. *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń: 280 s.
- Przybylak R., 2016. *The Climate of the Arctic*. Second Edition. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 52, Springer, Switzerland: 287 s.

- Przybylak R., Jankowska J., 2009. *Ciśnienie atmosferyczne w euroazjatyckim sektorze Arktyki w okresie 1841-1920*. Problemy Klimatologii Polarnej, 19: 81-98.
- Przybylak R., 2000. *Diurnal temperature range in the Arctic and its relation to hemispheric and Arctic circulation patterns*. International Journal of Climatology, 20 (3): 231-253.
- Przybylak R., 2007. *Recent air-temperature changes in the Arctic*. Annales of Glaciology, 46: 316-324.
- Przybylak R., Kejna M., Arażny A., 2011. *Air temperature and precipitation changes in the Kaffiøyra region (NW Spitsbergen) from 1975-2010*. Papers on Global Change, 18: 7-22.
- 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.
- Semenov V.A., Latif M., 2012. *The early twentieth century warming and winter Arctic sea ice*. The Cryosphere, 6: 1231-1237.
- Serreze M.C., Francis J.A., 2006. *The Arctic amplification debate*. Climatic Change, 76: 241-264.
- Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin III F.S., Osterkamp T., Dyurgerov M., Romanovsky V., Oechel W.C., Morison J., Zhang T., Barry R.G., 2000. *Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment*. Climatic Change 46 (1-2): 159-207.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M., 1998. *The Arctic Oscillation signature in the winter time geopotential height and temperature fields*. Geophysical Research Letters, 25 (9): 1297-1300.
- Trenberth K.E., Paolino D., 1980. *The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: trends, Errors and discontinuities*. Monthly Weather Review, 108: 855-872.
- Trenberth K.E., Stepaniak D.P., Hurrell J.W., Fiorino M., 2001. *Quality of Reanalyses in the Tropics*. Journal of Climate, 14: 1499-1510.
- van Loon H, Williams J., 1976. *The Connection Between Trends of Mean Temperature and Circulation at the Surface: Part I. Winter*. Monthly Weather Review, 104: 365-380.
- Walsh J.E., Chapman W.L., Shy T.L., 1996. *Recent Decrease of Sea Level Pressure in the Central Arctic*. Journal of Climate, 9: 480-486.
- Zhang X., Walsh J., Zhang J., Bhatt U., Ikeda M., 2004. *Climatology and interannual variability of Arctic cyclone activity:1948-2002*. Journal of Climate, 17: 2300-2317.

Wpłynęło: 20 listopada 2016 r., poprawiono: 28 grudnia 2016 r., zaakceptowano: 31 grudnia 2016 r.

## Summary

The article discusses the spatial and temporal variability of the highs occurrence over Svalbard region in the period 1971–2015. The analysis was based on the average daily sea-level air pressure values obtained from NCEP/NCAR Reanalyses for 12 grid points. The day with pressure values  $\geq 1020\text{hPa}$  and  $\geq 1030\text{hPa}$  became a basic index that shows highs occurrence. As a result, it was determined that number of days when a high pressure system affected weather of the study area is low (49–72 days/year on average) and strong highs were noted sporadically. Annual course of examined days shows that a majority of highs occurrence were recorded during the spring and it was 37–45% and 47–55% of all cases respectively. No specific trends in long-term variability of the anticyclones frequency have been identified during the study period. However, two periods of distinct

increased of high pressure systems occurrence were distinguished (1977–1988 and 1995–2010) and they were separated by several years of very strong decline in numbers of examined days. Despite the fact that the analyzed region is not large, the spatial variation of annual and long-term variability of highs occurrence indicates that circulation features of: the zone with dominant cyclonic activity in the North Atlantic, an area of frequent and severe highs from the Greenland and northern Canada, and the zone of high pressure systems from the central Arctic struggle in this region.

**Key words:** atmospheric pressure, highs, long-term variability, Svalbard, Arctic.