

**SATELITARNA CHARAKTERYSTYKA ZACHMURZENIA OGÓLNEGO  
NAD SVALBARDEM W ROKU 2007  
W POWIĄZANIU Z CYRKULACJĄ ATMOSFERY**

THE SATELLITE CLOUD CLIMATOLOGY IN 2007 ABOVE SVALBARD IN RELATION  
TO ATMOSPHERIC CIRCULATION CONDITIONS

Andrzej Kotarba<sup>1</sup>, Artur Widawski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji, IGI GP, Uniwersytet Jagielloński  
ul. Gronostajowa 7, 30–387 Kraków  
andrzej.kotarba@uj.edu.pl

<sup>2</sup> – Pracownia Odbioru i Interpretacji Zdjęć Satelitarnych, Katedra Klimatologii, WNoZ, Uniwersytet Śląski  
ul. Będzińska 60, 42–100 Sosnowiec  
artur.widawski@us.edu.pl

**Zarys treści.** W artykule przedstawiono rozkład czasowy i przestrzenny zachmurzenia ogólnego nad Svalbardem w 2007 r. Wszystkie prezentowane wielkości zachmurzenia wyliczono z maski chmur, będącej jednym z produktów powstałych w wyniku przetworzenia danych satelitarnych radiometru MODIS, umieszczonego na satelitach Terra i Aqua. Analizie poddano średnie miesięczne, średnią roczną oraz średnie zachmurzenie w poszczególnych 11 typach uproszczonej klasyfikacji Niedźwiedzia, tak dla całej powierzchni archipelagu, jak i jego poszczególnych części.

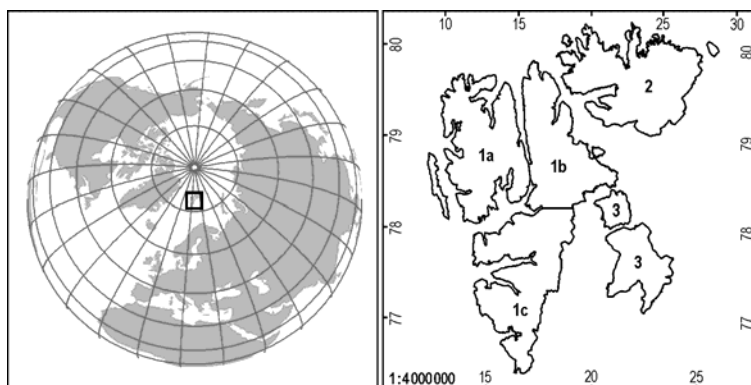
**Słowa kluczowe:** Svalbard, zachmurzenie ogólne, cyrkulacja atmosferyczna, MODIS, typy cyrkulacji.

## 1. Wstęp

Zasadniczym problemem w badaniach z zakresu klimatologii zachmurzenia jest brak wiarygodnych danych o zachmurzeniu, dostępnych z dużą rozdzielczością przestrzenną i czasową. Obserwacje zachmurzenia prowadzone przez nieliczne stacje synoptyczne lub meteorologiczne pozwalają na analizy tylko w bezpośredniej ich bliskości (promień ok. 30 km). Przy określaniu zależności stopnia zachmurzenia ogólnego z typem cyrkulacji atmosferycznej, jednym z największych problemów jest uzyskanie samej informacji o zachmurzeniu. Dane, zbierane w sposób tradycyjny (szacowanie wizualne), dostępne są tylko dla niewielu lokalizacji, co wynika z trudnych warunków organizacji i prowadzenia badań – skrajne warunki pogodowe i morski charakter Arktyki. Tego typu obserwacje dodatkowo obciążone są błędami wynikającymi m.in. z: subiektywizmu szacowania stopnia pokrycia nieba chmurami, wpływem orografii, wpływem warunków atmosferycznych.

Alternatywą dla danych naziemnych są dane satelitarne, otrzymywane w wyniku interpretacji wielkości promieniowania rejestrowanego w wybranych zakresach widma elektromagnetycznego. Podstawową zaletą danych satelitarnych jest uzyskiwanie ciągłej w przestrzeni informacji o zachmurzeniu, w odróżnieniu do informacji punktowej, otrzymywanej w wyniku obserwacji naziemnej. W przypadku regionów polarnych, znaczenie praktyczne mają wyłącznie obserwacje wykonywane za pomocą spektrometrów obrazujących, umieszczonych na pokładzie satelitów okołobiegunowych.

Zasadniczym celem opracowania jest przedstawienie rozkładu czasowego i przestrzennego średnich wielkości zachmurzenia ogólnego dla poszczególnych miesięcy i roku oraz ich zróżnicowania przestrzennego w wydzielonych przez autorów regionach archipelagu Svalbard (ryc. 1). Dodatkowo wyliczone zostaną średnie wielkości zachmurzenia ogólnego dla poszczególnych typów klasyfikacji T. Niedźwiedzia (2007). Uzyskane wyniki odniesione zostaną do warunków cyrkulacyjnych w roku 2007 w tym rejonie Arktyki.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań oraz jego podział na regiony – Spitsbergen:  
1a – część północno-zachodnia, 1b – część północno-wschodnia, 1c – część południowa;  
2 – Ziemia Północno-Wschodnia, 3 – Wyspy Barentsa i Edge'a

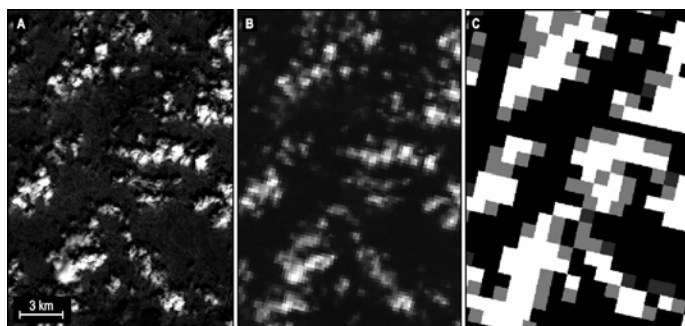
Fig. 1. Localization and division of the study area – Spitsbergen: 1a – north-western part, 1b – north-eastern part, 1c – southern part; 2 – Nordaustlandet, 3 – Barents Island and Edge Island

## 2. Dane i metody

### 2.1. Satelitarne obserwacje zachmurzenia

Podstawą wyznaczenia zachmurzenia ogólnego w niniejszej pracy były obserwacje satelitarne spektrometru MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). MODIS to dwa bliźniacze instrumenty zainstalowane na satelitach Terra i Aqua, umieszczone na heliosynchronicznych orbitach okołobiegunowych. W porównaniu z radiometrami AVHRR, powszechnie stosowanymi w operacyjnej służbie meteorologicznej, sensor MODIS charakteryzuje się większą rozdzielczością przestrzenną: od 250 m do 1000 m, zależnie od zakresu spektralnego (w stosunku do rozdzielczości 1100 m AVHRR) oraz zdolnością do jednoczesnego obrazowania atmosfery aż w 36 kanałach spektralnych, pokrywających przedział od 0,46  $\mu\text{m}$  do 14,39  $\mu\text{m}$  (w stosunku do 5 kanałów AVHRR). Szczegółową specyfikację sensora MODIS przedstawił Barnes i in. (1998).

W pracy wykorzystane zostały nie oryginalne wielkości promieniowania, zmierzone przez MODIS, ale efekt ich przetworzenia w postaci maski chmur (Cloud Mask) – ryc. 2. Maska chmur jest obrazem rastrowym, w którym każdemu pikselowi przypisana jest informacja o prawdopodobieństwie, z jakim stwierdzono obecność chmury w chwilowym polu widzenia sensora. Przypisanie prawdopodobieństwa jest ostatnim etapem złożonego algorytmu detekcji zachmurzenia, którego opis można znaleźć u Ackermana i in. (1998). Maska chmur MODIS charakteryzuje się rozdzielczością przestrzenną 1 km i jest udostępniana jako standardowy, nieodpłatny produkt MOD35 (Terra) i MYD35 (Aqua) projektu MODIS. Dane (w wersji MODIS Collection 005) zostały uzyskane z serwerów NASA Goddard Space Flight Center (<ftp://ladsftp.nascom.nasa.gov/>) i obejmują rok 2007.



Ryc. 2. Przykładowa maska chmur MODIS (c), w porównaniu z obrazem MODIS w zakresie 0.841-0.876  $\mu\text{m}$  – rozdzielczość przestrzenna 250 m (b) oraz obrazem sensora ASTER w zakresie 0.76-0.86  $\mu\text{m}$  – rozdzielczość przestrzenna 15 m (a). 18 czerwca 2006, 09:43 UTC

Fig. 2. An example of MODIS cloud mask (c), as compared to MODIS 0.841-0.876  $\mu\text{m}$  image – 250 m spatial resolution (b) and to ASTER 0.76-0.86  $\mu\text{m}$  image – 15 m spatial resolution (a). June 18th, 2006, 09:43 UTC

W masce chmur MODIS Ackerman i in. (1998) wyróżnili cztery klasy: "confident clear", "probably clear", "uncertain clear" oraz "certain cloudy". Pierwsza i ostatnia mówią odpowiednio o braku lub obecności chmury, stwierdzonej z ponad 95% pewnością. Przy przeliczaniu tych klas na wielkości zachmurzenia ogólnego, można przyjąć, iż "confident clear" oznacza 0% a "certain cloudy" 100% zachmurzenia ogólnego (Menzel i in. 2008). Ilościowa interpretacja dwóch pozostałych klas, mających charakter pośredni, jest trudna ze względu na brak empirycznej informacji o cząstkowym pokryciu nieba przez chmury w danym chwilowym polu widzenia sensora. Dla potrzeb tego opracowania zostały przyjęte subiektywnie wartości 33% dla "probably clear" oraz 66% dla "uncertain clear", wynikające z proporcjonalnego podzielenia zakresu wartości zachmurzenia ogólnego na trzy równe części.

Średnie dobowe zachmurzenie ogólne ( $Z$ ) nad danym regionem Svalbardu liczone było według wzoru:

$$Z(\%) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{0 \cdot N_{CCL\ i} + 33 \cdot N_{PCL\ i} + 66 \cdot N_{UCL\ i} + 100 \cdot N_{CCD\ i}}{N_{CCL\ i} + N_{PCL\ i} + N_{UCL\ i} + N_{CCD\ i}},$$

gdzie:

$N_{CCL}$  - liczba pikseli w klasie "confident clear", w danym regionie,

$N_{PCL}$  - liczba pikseli w klasie "probably clear", w danym regionie,

$N_{UCL}$  - liczba pikseli w klasie "uncertain clear", w danym regionie,  
 $N_{CCD}$  - liczba pikseli w klasie "certain cloudy", w danym regionie,  
 $n$  - łączna liczba obrazowań MODIS/Terra i MODIS/Aqua w ciągu dnia.

Szerokość pasa obrazowania MODIS, równa 2330 km, pozwala na obrazowanie Svalbardu 8 razy dziennie przez każdy z sensorów, co w skali miesiąca daje łączną liczbę około 480 obrazowań. W opracowaniu wykorzystano łącznie 5607 obrazowań MODIS. Ich ilość była mniejsza od teoretycznie możliwej ze względu na krótkotrwałe awarie sensora. Satelita Terra przelatuje nad Svalbardem w godzinach między 10 a 22 UTC, satelita Aqua między 00 a 12 UTC.

## 2.2. Kalendarz cyrkulacji atmosferycznej

Regularne prace prowadzone nad katalogiem typów cyrkulacji dla atlantyckiego sektora Arktyki przez Niedźwiedzia (2007) pozwalają na przedstawienie głównych cech cyrkulacji atmosferycznej i ich relacji z zachmurzeniem ogólnym nad Svalbardem w 2007 roku. Klasyfikacja 21 typów cyrkulacji nawiązująca do znanej typologii Lamba (1972) została opisana wcześniej (Niedźwiedź 1992). Sytuacje synoptyczne podzielono na dwie grupy: a – antycyklonalne oraz c – cyklonalne. Osobno wydzielono typ cyrkulacji oznaczony jako "x", w przypadku siodła barycznego lub gdy z powodu rozmytego pola barycznego nie dało się jednoznacznie określić sytuacji synoptycznej. Przy sytuacjach antycyklonalnych wydzielono osiem typów adwekcyjnych w zależności od kierunku napływu mas powietrza nad archipelag Svalbard: Na, NEa, Ea, SEa, Sa, SWa, Wa i Nwa. Dwie sytuacje stagnacyjne oznaczono jako Ca – centrum wyżu nad Svalbardem oraz Ka – klin antycyklonalny lub wał wysokiego ciśnienia rozciągający się nad badanym obszarem. Podobnie osiem sytuacji adwekcyjnych dotyczy typów cyklonalnych: Nc, NEc, Ec, SEc, Sc, SWc, Wc i NWc. Pozostałe dwie sytuacje dotyczą niezwykle zmiennej adwekcji w przypadku pojawienia się centrum niżu nad Svalbardem – Cc, oraz przy występowaniu bruzdy cyklonalnej – Bc (Niedźwiedź 2007)

Ze względu na zbyt małą liczbę analizowanych dni (365) autorzy zdecydowali się wykorzystać uproszczony kalendarz cyrkulacji składający się z 11 typów (5 antycyklonalnych – Ca+Ka, N+NEa, E+SEa, S+SWa, W+Nwa oraz 5 cyklonalnych – Cc+Bc, N+NEc, E+SEc, S+SWc, W+Nwc oraz "x"). Pozwoliło to na bardziej wiarygodne wyliczenie średniego zachmurzenia dla poszczególnych typów cyrkulacji za wyjątkiem sytuacji S+SWa (2 dni) oraz W+Nwa (5 dni). Wyliczone wartości zachmurzenia w wymienionych powyżej dwóch typach należy uznać za orientacyjne.

## 3. Stan badań

Cyrkulacja atmosfery nad Svalbardem i w jego najbliższym otoczeniu jest urozmaicona i kształtuje się głównie pod wpływem procesów atmosferycznych zachodzących w atlantyckim sektorze Arktyki. Była ona przedmiotem wielu opracowań (Przybylak 1996, Niedźwiedź 1992, 2001). Związki zachmurzenia ogólnego z cyrkulacją atmosferyczną opisał Niedźwiedź (1992-1993, 1997), Marsz (2007) czy Niedźwiedź i Ustrnul (1989). Z badań tych wynika, iż czynnik cyrkulacyjny odgrywa zasadniczą rolę w kształtowaniu wielkości zachmurzenia ogólnego, którego zmienność jest silnie powiązana z usłonecznieniem, temperaturą powietrza czy opadami atmosferycznymi. Wielkość zachmurzenia warunkuje także dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi i jego udział w kształtowaniu się bilansu cieplnego w poszczególnych częściach archipelagu Svalbard.

Podstawowym źródłem satelitarnej informacji o zachmurzeniu, tak nad Arktyką, jak i Antarktydą, były przez lata obserwacje sensorów AVHRR (Advanced Very High-Resolution Radiometer), umieszczanych na satelitach serii NOAA i MetOp. Algorytmy detekcji zachmurzenia na danych AVHRR były przygotowywane zarówno pod kątem analiz lokalnych w środowisku polarnym i subpolarnym (Welch i in. 1992, Berger 1995, Karlsson 1997, Lubin i Morrow 1998, Turner i in. 2001, Spangenberg i in. 2002, Minnis i in. 2003) jak i pod kątem analiz globalnych, obejmujących siłą rzeczy strefy okołobiegunowe (Schiffer i Rossow 1983, Hatzianastassiou i in. 2001, Vemury i in. 2001, Key i in. 2004). Ocena wiarygodności obserwacji AVHRR polegała m.in. na porównaniu wielkości dobowych, miesięcznych lub rocznych wielkości zachmurzenia ogólnego, wyznaczonych na podstawie obserwacji satelitarnej i naziemnej. Stwierdzone rozbieżności sięgały do 15% w skali miesiąca (Minnis i in. 2003) oraz do 10% (Turner i in. 2001), a nawet 15-20% (Rossow i in. 1993) w skali roku.

Jako powód występowania różnic między obserwacjami satelitarnymi i naziemnymi Raschke (1987) wskazuje błędy w identyfikacji chmur, spowodowane przez: 1) mały kontrast w zakresie odbitego promieniowania krótkofalowego między wierzchołkami chmur a śniegiem, 2) małą różnicę temperatury radiacyjnej między chmurami a śnieżnym/lodowym podłożem w zakresie podczerwieni termalnej, 3) ogólną niewielką ilość promieniowania odbijanego/emitowanego przez powierzchnię czynną w strefach polarnych, zmuszającą sensory do działania na granicy ich możliwości. Ograniczenia te można częściowo niwelować poprzez zastosowanie sensorów o większej liczbie kanałów spektralnych, charakteryzujących się większą rozdzielczością przestrzenną i radiometryczną. Sensorem takim, w porównaniu z AVHRR jest MODIS.

Dane MODIS nie były porównywane z danymi wizualnymi w obszarze Arktyki. Poprawność detekcji zachmurzenia przez MODIS w strefach polarnych weryfikowali: Shi i in. (2007) – w oparciu o wizualną ocenę zdjęć satelitarnych (inspekcja eksperta) oraz Liu i in. (2004) – w oparciu o naziemne dane radarowe i lidarowe. Shi i in. (2007) stwierdzili, że dla obserwacji dziennych, kiedy dostępna jest informacja w zakresie promieniowania krótkofalowego i długofalowego, algorytm MODIS dokonywał poprawnej identyfikacji zachmurzenia w 90%. Według Liu i in. (2004) nocą, gdy dostępna jest jedynie informacja w zakresie podczerwieni bliskiej i termalnej, MODIS w 16% sytuacji klasyfikował jako bezchmurne piksele, w którym obecna była chmura oraz w niemal 9% klasyfikował jako zachmurzone, piksele, które były bezchmurne. Ponieważ MODIS posiada wszystkie pięć zakresów spektralnych, używanych przez AVHRR, Liu i in. (2004) równoległe do weryfikacji danych MODIS ocenili zdolność detekcji zachmurzenia przez AVHRR. Analiza wykazała, że AVHRR w 38% sytuacji (ponad dwa razy częściej niż MODIS) błędnie zaklasyfikuje piksele zachmurzone, jako bezchmurne, a w niemal 6% (podobnie jak MODIS) sytuacji piksele bezchmurne zaklasyfikuje jako zachmurzone.

Wysoka skuteczność MODIS przy detekcji chmur w ciągu dnia, oraz znacznie lepsza, niż w przypadku AVHRR, zdolność detekcji nocą, pozwalają uznać MODIS za bardziej wiarygodne źródło informacji o zachmurzeniu, niż AVHRR i wykorzystać dane MODIS do analizy wielkości zachmurzenia ogólnego nad Svalbardem.

#### **4. Średnie miesięczne oraz średnie roczne zachmurzenie ogólne nad Svalbardem w 2007 roku**

W badanym roku średnia roczna wartość zachmurzenia ogólnego nad całym archipelagiem Svalbard wyniosła 74%, natomiast średnie miesięczne wartości zachmurzenia wahały się w przedziale od 61% w lutym do 85% w sierpniu (tab. 1). Do miesięcy najmniej zachmurzonych należały luty (61%)

i kwiecień (66%), natomiast do najbardziej zachmurzonych należały czerwiec (80%) i sierpień (85%). W przebiegu rocznym zachmurzenia można zauważyć dwa okresy: zimowy – obejmujący okres od października do kwietnia, charakteryzujący się niższymi wartościami zachmurzenia (od 61 do 75%) oraz letni – obejmujący miesiące od maja do września, o wyższych wartościach zachmurzenia (od 77 do 85%).

Tabela 1 – Table 1

Średnie miesięczne oraz średnie roczne zachmurzenie ogólne (%) nad Svalbardem w 2007r.

Regiony – Spitsbergen: 1a – część północno-zachodnia, 1b – część północno-wschodnia, 1c – część południowa; 2 – Ziemia Północno-Wschodnia, 3 – Wyspy Barentsa i Edge'a

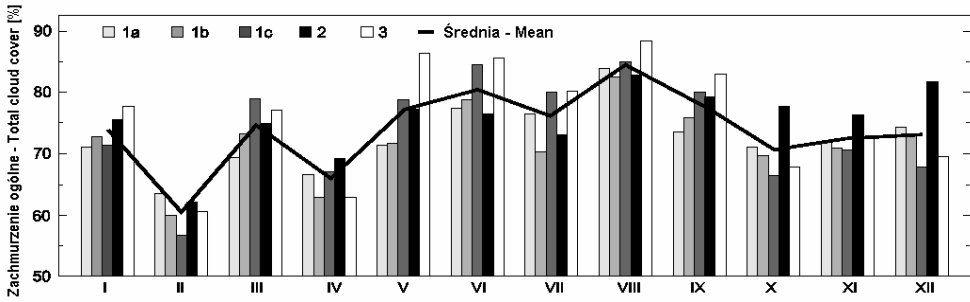
Mean monthly and annual total cloud cover (%) above Svalbard in 2007.

Study area – Spitsbergen: 1a – north-western part, 1b – north-eastern part, 1c – southern part; 2 – Nordaustlandet, 3 – Barents Island and Edge Island

| Miesiąc<br>Month | Regiony – Study area |    |           |    |           | Średnia<br>Mean |
|------------------|----------------------|----|-----------|----|-----------|-----------------|
|                  | 1a                   | 1b | 1c        | 2  | 3         |                 |
| I                | 71                   | 73 | 71        | 76 | 78        | 74              |
| II               | 63                   | 60 | <b>57</b> | 62 | 61        | 61              |
| III              | 69                   | 73 | 79        | 75 | 77        | 75              |
| IV               | 67                   | 63 | 67        | 69 | 63        | 66              |
| V                | 71                   | 72 | 79        | 77 | 86        | 77              |
| VI               | 77                   | 79 | 84        | 77 | 86        | 80              |
| VII              | 77                   | 70 | 80        | 73 | 80        | 76              |
| VIII             | 84                   | 83 | 85        | 83 | <b>88</b> | 85              |
| IX               | 74                   | 76 | 80        | 79 | 83        | 78              |
| X                | 71                   | 70 | 66        | 78 | 68        | 71              |
| XI               | 72                   | 71 | 71        | 76 | 72        | 72              |
| XII              | 74                   | 73 | 68        | 82 | 69        | 73              |
| Rok – Year       | 73                   | 72 | 74        | 75 | 76        | 74              |

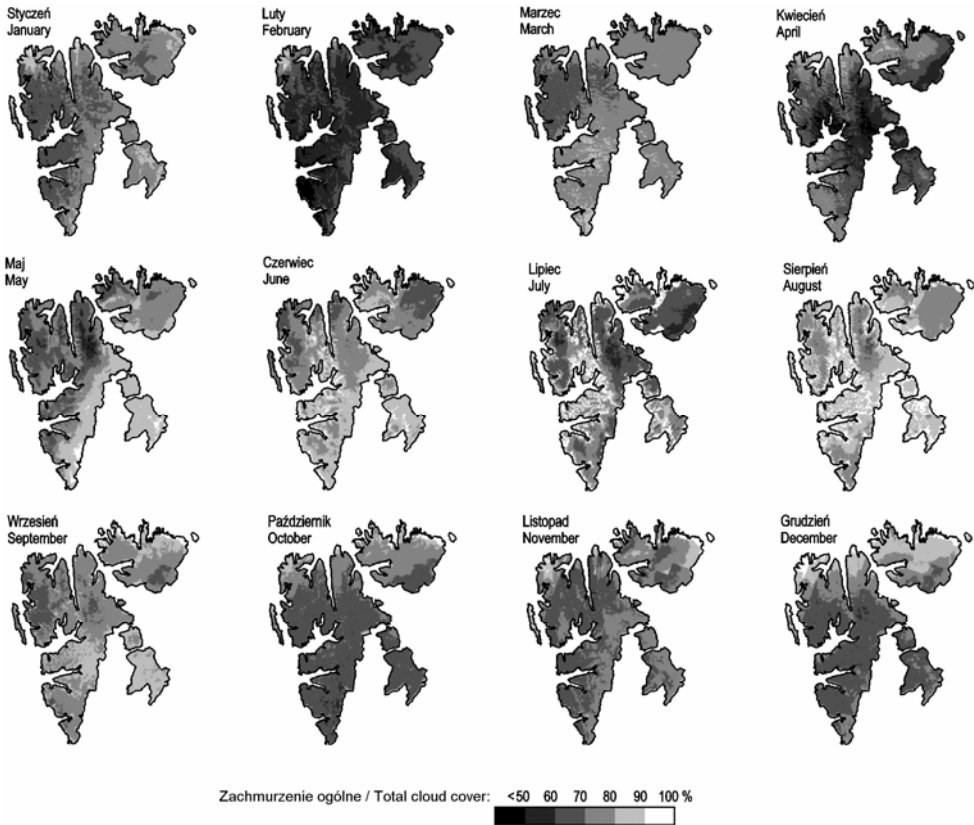
Średnie miesięczne zachmurzenie ogólne wyliczone dla wydzielonych przez autorów regionów w obrębie archipelagu Svalbard przedstawiają ryciny 3. i 4. Ziemia Północno-Wschodnia oraz Wyspy Barentsa i Edge'a charakteryzują się wyższymi średnimi rocznymi wartościami zachmurzenia (75% – 76%) w porównaniu ze Spitsbergenem (73-74%). Wspomniane wysokie wartości przypadają na miesiące letnie (maj-wrzesień) z maksimum w sierpniu (88%), co należy tłumaczyć zwiększoną adwekcją mas powietrza z sektora E-SE-S. Najniższym średnim rocznym zachmurzeniem (72%) charakteryzuje się natomiast rejon 1b, czyli najbardziej centralnie położony obszar całego archipelagu. Taka sytuacja spowodowana jest dwiema przyczynami. Pierwsza z nich to orografia. Omawiany obszar jest jednym z najwyższych położonych w obrębie całego archipelagu, co powoduje, iż przez większość czasu jest pozbawiony zachmurzenia, w przeciwieństwie do dolin i fiordów. Drugi czynnik to centralne położenie rejonu 1b względem innych wysp i masywów górskich, które jako bariery orograficzne zatrzymują część mas powietrznych na swoich stokach. Najniższe średnie miesięczne zachmurzenie wystąpiło w rejonie 1c (południowa część Spitsbergenu) w lutym i wyniosło zaledwie 57% (ryc. 3).

Rozkład przestrzenny zachmurzenia ogólnego (ryc. 4) w poszczególnych miesiącach roku 2007 jest silnie modyfikowany ukształtowaniem powierzchni archipelagu oraz warunkami cyrkulacyjnymi. W kwietniu, maju, lipcu i sierpniu najwyższe położone obszary całego archipelagu posiadają znacznie



Ryc. 3. Średnie miesięczne wartości zachmurzenia ogólnego w poszczególnych rejonach (1a, 1b, 1c, 2, 3) archipelagu Svalbard (kolumny) oraz średnia miesięczna dla całego obszaru (linia ciągła)

Fig. 3. Mean monthly of total cloud cover above each region (1a, 1b, 1c, 2, 3) of Svalbard archipelago (bars) and monthly mean for whole area (solid line)



Ryc. 4. Średnie zachmurzenie ogólne (%) w poszczególnych miesiącach 2007 roku

Fig. 4. Mean monthly total cloud cover (%) above Svalbard for individual months of 2007

niższe wartości zachmurzenia w porównaniu z obszarami położonymi niżej, np. fiordem Isfjord w lipcu. Spowodowane jest to oddziaływaniem w tym rejonie silnie rozbudowanego Wyżu Grenlandzkiego, który wywołuje procesy grawitacyjnego osiadania chłodnych mas powietrza z obszarów wyżej położonych do niżej położonych i wzrostu zachmurzenia w dolinach i fiordach. Natomiast w miesiącach zimowych (styczeń, luty oraz od października do grudnia) wyraźnie mniej zachmurzony jest rejon 1c, z pewną tendencją do niższych wartości zachmurzenia po stronie zachodniej Spitsbergenu (styczeń, listopad i grudzień). Warunki cyrkulacyjne mające wpływ na przestrzenny rozkład zachmurzenia w poszczególnych typach cyrkulacji, jak i w poszczególnych miesiącach 2007 roku opisany zostanie w kolejnych rozdziałach.

## 5. Liczba dni z określonym typem cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych miesiącach 2007 roku

Na podstawie liczby dni z określonym typem cyrkulacji można stwierdzić, iż w 2007 r. dominowały sytuacje cyklonalne z typami N+NEc (15 dni we wrześniu) oraz E+SEc (13 dni w styczniu). Koresponduje to z wyraźnie większymi wartościami średniego miesięcznego zachmurzenia ogólnego (ryc. 4). Praktycznie w każdym z analizowanych miesięcy roku 2007 występuje większa liczba dni z typami cyklonalnymi o kierunku adwekcji z sektora N-E-S oraz typami Cc+Bc (tab. 2). Wyjątkiem jest luty, który charakteryzuje mniejsza liczba dni z typami cyklonalnymi (10 dni) na rzecz większej liczby dni z typami antycyklonalnymi (16 dni). Taka sytuacja spowodowała wystąpienie najmniejszego średniego zachmurzenia ogólnego w tym miesiącu w całym roku 2007. Oprócz lutego nieznacznie więcej dni z antycyklonalnymi typami cyrkulacji występuje w miesiącach od kwietnia do maja, co zresztą nie miało bezpośredniego przełożenia na obniżenie średnich wartości zachmurzenia w tych miesiącach.

Tabela 2 – Table 2

Liczba dni z określonym typem cyrkulacji w poszczególnych miesiącach 2007 roku  
Number of days with specific circulation type in month of 2007

| N  | C     | Miesiące – Months |    |     |    |   |    |     |      |    |   |    |     |
|----|-------|-------------------|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|
|    |       | I                 | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 64 | Cc+Bc | 4                 | 6  | 9   | 9  | 1 | 7  | 1   | 3    | 5  | 9 | 5  | 5   |
| 81 | N+NEc | 7                 | 3  | 6   | 5  | 5 | 6  | 7   | 8    | 15 | 7 | 6  | 6   |
| 68 | E+SEc | 13                | 2  | 8   | 4  | 7 | 1  | 7   | 6    | 5  | 4 | 5  | 6   |
| 28 | S+SWc | 5                 |    | 5   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 2  | 4 | 4  | 3   |
| 20 | W+NWc |                   |    | 2   | 3  | 1 | 2  |     | 5    |    | 3 | 1  | 3   |
| 36 | Ca+Ka | 1                 | 4  | 1   |    | 6 | 5  | 7   | 3    | 2  | 1 | 3  | 3   |
| 17 | N+NEa | 1                 | 2  |     | 4  | 2 | 1  | 4   | 2    |    |   |    | 1   |
| 30 | E+SEa |                   | 9  |     |    | 7 | 5  | 2   | 1    |    |   | 4  | 2   |
| 2  | S+SWa |                   | 1  |     |    |   |    | 1   |      |    |   |    |     |
| 5  | W+NWa |                   |    |     |    | 1 | 1  | 1   |      | 1  | 1 |    |     |
| 14 | x     |                   | 1  | 1   | 3  |   | 1  |     | 1    | 1  | 2 | 2  | 2   |

Legenda – Legend: **1-3** **4-6** **7-9** **10 >**

N – Liczba dni – Number of days, C – typ cyrkulacji – circulation type



## 6. Średnie zachmurzenie ogólne nad Svalbardem w poszczególnych typach cyrkulacji w 2007r.

W związku ze zbyt małą liczbą dni w typach S+SWa (2 dni) oraz W+NWa (5 dni) wyliczona średnia podobnie jak jej rozkład przestrzenny mogą być tylko orientacyjne i zostaną pominięte w dalszych analizach. Podobna sytuacja występuje w przypadku siodła barycznego i sytuacji bezadwekcyjnej (typ "x"). Średnia wielkość zachmurzenia dla całego archipelagu Svalbard w poszczególnych typach cyrkulacji (tab. 3) jest wyrównana i zawiera się w przedziale od 74% (typ S+Ec) do 77% (typ Cc+Bc). Podobnie jak w przypadku średnich miesięcznych, rejony Ziemi Północno-Wschodniej oraz Wyspy Barentsa i Edge'a charakteryzują się nieco wyższymi wartościami zachmurzenia ogólnego w każdym z analizowanych typów cyrkulacji (ryc. 5); co koresponduje z najwyższą częstością dni z cyrkulacją cyklonalną z adwekcją z sektorów N-E-S. Wyższe wartości zachmurzenia (72%) występują w typach N+NEc oraz E+SEc w rejonie 1b, czyli centralnej części całego archipelagu. Natomiast najwyższe wartości (80%) charakteryzowały zachmurzenie nad Ziemią Północno-Wschodnią w typie S+SWc (tab. 3), co prawdopodobnie może być powodowane występowaniem efektu fenowego.

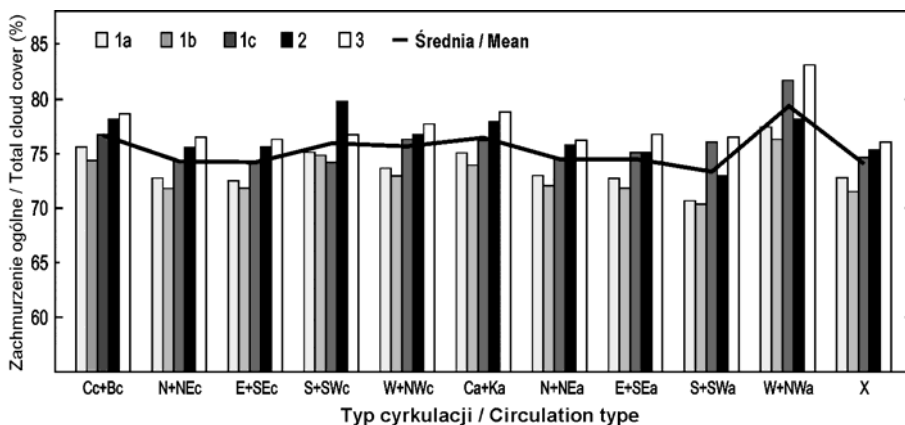
Tabela 3 – Table 3

Średnie zachmurzenie ogólne nad Svalbardem w poszczególnych typach cyrkulacji w 2007 r.  
Szarym kolorem oznaczono typy nie analizowane w opracowaniu. Regiony – Spitsbergen:  
1a – część północno-zachodnia, 1b – część północno-wschodnia, 1c – część południowa;  
2 – Ziemia Północno-Wschodnia, 3 – Wyspy Barentsa i Edge'a

Mean monthly of total cloud cover in specific circulation type above Svalbard in 2007. Grey background indicates circulation types not analysed. Study area – Spitsbergen: 1a – north-western part, 1b – north-eastern part, 1c – southern part; 2 – Nordaustlandet, 3 – Barents Island and Edge Island

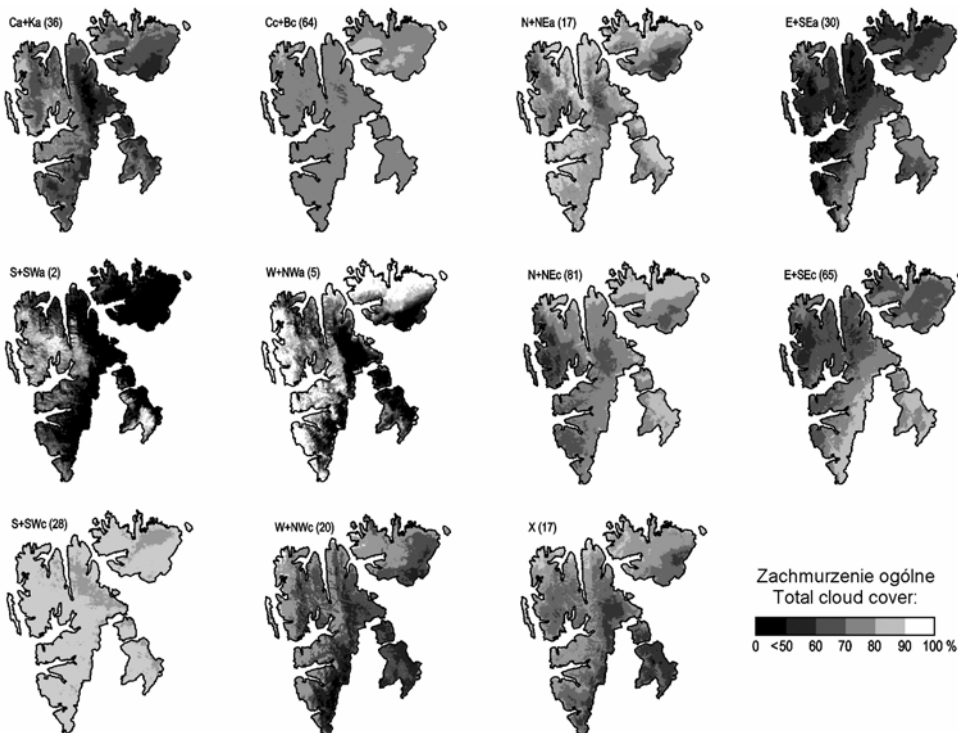
| Liczba dni<br>Number of days | Typ cyrkulacji<br>Circulation type | Regiony – Study area |             |      |      |             | Średnia<br>Mean |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------|------|------|-------------|-----------------|
|                              |                                    | 1a                   | 1b          | 1c   | 2    | 3           |                 |
| 64                           | Cc+Bc                              | 75.5                 | 74.4        | 76.7 | 78.0 | 78.5        | 76.6            |
| 81                           | N+NEc                              | 72.6                 | 71.8        | 74.3 | 75.6 | 76.3        | 74.1            |
| 68                           | E+SEc                              | 72.5                 | 71.8        | 74.0 | 75.5 | 76.1        | 74.0            |
| 28                           | S+SWc                              | 75.0                 | 74.7        | 74.1 | 79.7 | 76.7        | 76.0            |
| 20                           | W+NWc                              | 73.7                 | 72.9        | 76.2 | 76.7 | 77.6        | 75.4            |
| 36                           | Ca+Ka                              | 75.0                 | 73.8        | 76.4 | 77.8 | 78.8        | 76.4            |
| 17                           | N+NEa                              | 73.0                 | 72.1        | 74.6 | 75.8 | 76.2        | 74.4            |
| 30                           | E+SEa                              | 72.7                 | 71.8        | 75.0 | 75.0 | 76.7        | 74.2            |
| 2                            | S+SWa                              | 70.6                 | <b>70.2</b> | 75.8 | 72.8 | 76.4        | 73.2            |
| 5                            | W+NWa                              | 77.4                 | 76.1        | 81.5 | 78.0 | <b>83.0</b> | 79.2            |
| 14                           | x                                  | 72.6                 | 71.4        | 74.4 | 75.2 | 75.9        | 73.9            |

Przestrzenny rozkład średnich wartości zachmurzenia ogólnego w poszczególnych typach cyrkulacji pozwala na wyciągnięcie wniosków dotyczących wpływu kierunku adwekcji na wielkość zachmurzenia w wydzielonych rejonu archipelagu Svalbard (ryc. 6). W przypadku centrum wyżu i klina antycyklonalnego (Ca+Ka) występuje największe zróżnicowanie wielkości zachmurzenia ze względu na silne procesy osiadania powietrza, powodujące wzrost zachmurzenia w niżej położonych częściach archipelagu. Natomiast najmniejsze zróżnicowanie przestrzenne zachmurzenia charakteryzuje sytuacje cyklonalne Cc+Bc oraz S+SWc, w których ukształtowanie powierzchni nie odgrywa praktycznie żadnej roli. Ciepłe i wilgotne masy powietrza napływające z rejonu północnego Atlantyku charakteryzują



Ryc. 5. Średnie zachmurzenie ogólne nad Svalbardem w poszczególnych typach cyrkulacji w 2007 oraz średnia dla całego archipelagu

Fig. 5. Mean monthly of total cloud cover in specific circulation type above Svalbard in 2007 and monthly mean the for whole archipelago



Ryc. 6. Średnie zachmurzenie ogólne w poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej w 2007 roku

Fig. 6. Mean monthly of total cloud cover in specific circulation type above Svalbard in 2007

się dużą zawartością pary wodnej i powodują równomierny rozkład zachmurzenia nad archipelagiem Svalbard w powiązaniu z wyższymi sumami opadów atmosferycznych. Natomiast zasadniczą cechą wyróżniającą rozkład zachmurzenia ogólnego w pozostałych typach cyrkulacji jest wyraźny wzrost średnich wartości tego elementu w rejonach bezpośrednio eksponowanych na kierunek adwekcji mas powietrznych (np. N+NEc, E+SEc lub W+NWc). Spowodowane jest to tym, że rejony te przejmują na siebie pierwsze uderzenie mas powietrza, w których w wyniku kontaktu z lądem i barierą orograficzną dochodzi do procesów kondensacji wodnej, tworzenia się zachmurzenia i zwiększonych opadów atmosferycznych (ryc. 6).

## 7. Dyskusja wyników i wnioski

Średnia roczna wartość zachmurzenia ogólnego nad całym archipelagiem Svalbard w analizowanym roku 2007 wyniosła 74%, natomiast średnie miesięczne wartości zachmurzenia wahały się w przedziale od 61% w lutym do 85% w sierpniu, przy czym najwyższe wartości (88%) wystąpiły na Ziemi Północno-Wschodniej w sierpniu, a najniższe (57%) w południowej części Spitsbergenu w lutym.

Ziemia Północno-Wschodnia oraz Wyspy Barentsa i Edge'a charakteryzowały się w 2007 roku wyższymi średnimi rocznymi wartościami zachmurzenia (odpowiednio 76 i 77%) w porównaniu z Spitsbergem (73%). Rozkład przestrzenny zachmurzenia ogólnego w poszczególnych miesiącach 2007 roku jest silnie modyfikowany kształtowaniem powierzchni archipelagu oraz warunkami cyrkulacyjnymi.

Niemal w każdym z analizowanych miesięcy 2007 roku występowała większa liczba dni z typami cyklonalnymi o kierunku adwekcji z sektora N-E-S oraz typami Cc+Bc. Wyjątkiem był luty, który charakteryzował się mniejszą liczbą dni z typami cyklonalnymi (10 dni) na rzecz większej liczby dni z typami antycyklonalnymi (16 dni).

Średnia wielkość zachmurzenia ogólnego dla całego archipelagu Svalbard w poszczególnych typach cyrkulacji jest wyrównana i zawiera się w przedziale od 74% (typ S+SEc) do 77% (typ Cc+Bc). Najbardziej zróżnicowany przestrzennie rozkład średniego zachmurzenia ogólnego występuje w typie Ca+Ka (wpływ orografii), natomiast najmniej zróżnicowany w typach Cc+Bc oraz S+SWa.

Średnie wartości zachmurzenia wyliczone z danych satelitarnych dla typów cyrkulacji w klasyfikacji Niedźwiedzia w poprawny sposób oddają relacje wpływu cyrkulacji atmosfery na ich rozkład przestrzenny (np. E+SEa – wpływ efektu fenowego lub S+SWc oraz W+NWc – wzrost zachmurzenia przy napływie wilgotnego powietrza znad Morza Norweskiego).

Przebieg roczny średniego zachmurzenia wyliczonego z danych satelitarnych dla obszaru Svalbardu jest wiarygodny i daje się wytłumaczyć prawidłowościami procesów fizycznych, kształtowaniem terenu i cyrkulacją atmosferyczną.

Proponowane kierunki dalszych badań. W związku z tym, iż zaprezentowany materiał należy uznać za przyczynkowy proponuje się rozszerzenie zakresu czasowego badań o dane archiwalne dostępne od roku 2003. Pozwoli to znacząco zwiększyć liczbę danych do analiz i zarazem osiągnąć bardziej wiarygodne rezultaty. Kolejnym etapem powinno być zbadanie wzajemnych relacji pomiędzy wielkością zachmurzenia wyliczonego z danych satelitarnych z synoptycznymi obserwacjami naziemnymi, które byłyby reprezentatywne dla obszarów polarnych.

## Literatura

- Ackerman S.A., Strabala K.I., Menzel W.P., Frey R.A., Moeller C.C., Gumley L.E., 1998. Discriminating clear sky from clouds with MODIS. *Journal of Geophysical Research*, 103: 32141-32157.
- Barnes W. L., Pagano T.S., Salomonson V.V., 1998. Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36: 1088-1100.
- Berger F.H., 1995. The variability of cloud cover and cloud forcing inferred from NOAA AVHRR data for the North Sea. *Advances in Space Research*, 16: 1029-1032.
- Hatzianastassiou N., Cleridou I., Vardavas I., 2001. Polar cloud climatologies from ISCCP C2 and D2 datasets. *Journal of Climate*, 14: 3851-3862.
- Karlsson K.-G., 1997. Cloud climate investigation in the Nordic Region using NOAA AVHRR data. *Theoretical and Applied Climatology*, 57: 181-195.
- Key E.L., Minnett P.J., Jones, R. A., 2004. Cloud distribution over the coastal Arctic Ocean: surface based and satellite observations. *Atmospheric Research*, 71: 57-88.
- Lamb H.H., 1972. British Isles Weather types and register of the daily sequences of circulation patterns 1961-1971. *Geophysical Memoirs*, 116: 85 s.
- Liu Y., Key J.R., Frey R.A., Ackerman S.A., Menzel W.P., 2004. Nighttime polar cloud detection with MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 92: 181-194.
- Lubin D., Morrow E., 1998. Evaluation of an AVHRR cloud detection and classification method over the central Arctic Ocean. *Journal of Applied Meteorology*, 37: 166-183.
- Menzel W.P., Frey R.S., Zhang H., Wylie D.P., Moeller C.C., Holz R.E., Maddux B., Baum B.A., Strabala K.I., Gumley L.E., 2008. MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: algorithm description and results. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47: 1175-1198.
- Niedźwiedz T., 1992. Wybrane problemy klimatologii synoptycznej Spitsbergenu. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 77 - 84.
- Niedźwiedz T., 1992-1993. Zmienność cyrkulacji atmosferycznej nad Spitsbergenem. *Folia Geographica, series Geographica Physica*, vol. XXIV - XXV: 58-97.
- Niedźwiedz T., 1997. Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem i ich rola w kształtowaniu temperatury powietrza. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 19-40.
- Niedźwiedz T., 2001. Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 7-26.
- Niedźwiedz T., 2007. Kalendarz typów cyrkulacji nad Spitsbergenem: grudzień 1950 - grudzień 2006 (zbiór komputerowy w Katedrze Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec).
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1989. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na kształtowanie się zachmurzenia w Hornsundzie. XVI Sympozjum Polarne, Dorobek i Perspektywy Polskich Badań Polarnych. Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń: 158-160.
- Marsz A.A., 2007. Zachmurzenie i usłonecznienie. [w:] Marsz A.A., Styszyńska A. [red.] *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie - stan, zmiany i ich przyczyny*. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni: 87-115.
- Minnis P., Spangenberg D.A., Chakrapani V., 2003. Distribution and validation of cloud cover derived from AVHRR data over the Arctic Ocean during the SHEBA year. *Proceedings of the 13th ARM Science Team Meeting*, Broomfield, Colorado, 31 marca - 4 kwietnia 2003.
- Przybylak R., 1996. Zmienność cyrkulacji atmosfery w Arktyce w okresie 1939-1990. *Problemy Klimatologii Polarnej*, Gdynia, 5: 133-147.

- Raschke E., 1987. Raport z International Satellite Cloud Climatology Project Project (ISCCP). Workshop on Cloud Algorithms in the Polar Regions, WMO/TD-170.
- Rossow W.B., Walker A.W., Garder L.C., 1993. Comparison of ISCCP to other cloud amounts. *Journal of Climate*, 6: 2394-2418.
- Shi T., Clothiaux E.E., Yu B., Braverman A.J., Groff D.N., 2007. Detection of daytime arctic clouds using MISR and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 107: 172-184.
- Shiffer R.A., Rossow W.B., 1983. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP): The first project of the World Climate Research program. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64: 779-784.
- Spangenberg D.A., Doelling D.R., Chakrapani V., Minnis P., Uttal T., 2002. Nighttime Cloud Detection Over the Arctic Using AVHRR Data. Proceedings of the 12th ARM Science Team Meeting, St. Petersburg, Floryda, 8-12 kwietnia 2002.
- Turner J., Marshall G.J., Ladkin R.S., 2001. An operational, real-time cloud detection scheme for use in the Antarctic based on AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 22: 3027-3046.
- Vemury S., Stowe L.L., Anne V.R., 2001. AVHRR pixel level clear sky classification using dynamic thresholds (CLAVR-3). *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18: 169-186.
- Welch R.M., Sengupta S.K., Goroch A.K., Rabindra P., Rangaraj N., Navar M.S., 1992. Polar cloud and surface classification using AVHRR imagery: an interspersed of methods. *Journal of Applied Meteorology*, 31: 405-420.

## Summary

One of the fundamental problems in cloud climatology research is a lack of high spatial and temporal resolution data. Conventional, surface-based visual observations are limited to a small number of locations and represent atmospheric conditions only within a small vicinity of the stations. This is particularly true in the Arctic, which is inadequately sampled due to extreme weather conditions and maritime character of this area. As an alternative, satellite data can be utilized as a base for cloud climatology studies. In this paper Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations are used as a source of cloud data for investigating the relation between total cloud cover and atmospheric circulation patterns over Svalbard.

MODIS data were obtained as a Cloud Mask product – a 1 km resolution raster with four classes reflecting cloud detection confidence: 'confident clear', 'probably clear', 'uncertain clear' and 'certain cloudy'. Each class was arbitrary turned into fractional cloud cover as 0%, 33%, 66% and 100% respectively. Total number of 5607 MODIS passes over Svalbard was analyzed (about 16 a day). Area of study was divided into three regions – Spitsbergen (1) with subregions: 1a (north-western part), 1b (north-eastern part), 1c (southern part); Nordaustlandet (2); Barents Island and Edge Island (3). Mean monthly and annual cloud amount was calculated for each region as a ratio of cloudy pixels (weighted by 0%, 33%, 66% and 100%) to all pixels within given region/subregion. MODIS-derived information was then set against Niedźwiedź (2007) circulation type classification. Classification is an application of Lamb (1972) subjective classification, reduced in this study from 21 to 11 types: 5 cyclonic, 5 anticyclonic and 1 undetermined.

As the results show, mean total cloud cover over Svalbard in 2007 amounted to 74%, varying from 61% in February up to 85% in August. The greatest mean monthly cloud cover (88%) was observed over Nordaustlandet in August, while the lowest (57%) over southern part of Spitsbergen in February. The cloudiest parts of Svalbard in 2007 were Nordaustlandet and Edge Island with 76%

and 77% of annual mean cloud cover respectively – slightly more than Spitsbergen (73%). Spatial distribution of annual mean cloud cover Svalbard was controlled by topography and atmospheric circulation conditions. Atmospheric circulation over Svalbard in 2007 was dominated by advection from N-E-S directions and non-advective situations (center of cyclone or cyclonic trough). Average cloud cover was nearly constant throughout all circulation types, ranging from 74% (cyclonic advection from S+SE) to 77% (cyclone's center or cyclonic trough). Most diverse spatial distribution of cloud cover was observed during the days of central anticyclonic situations and anticyclonic wedge, while least diverse when cyclone's center, cyclonic trough or anticyclonic advection from S+SW occurred.

MODIS-derived cloud cover variability can be well explained by circulation influence, e.g. foehn effect associated with anticyclonic E+SE advection, cloud amount increase as a result of S+SW or W+NW cyclonic advection from Norwegian Sea. Although annual course of cloud cover, as determined with satellite information, seems reliable, future studies should emphasise a comparison of MODIS data with surface based observations. Temporal coverage should be also expanded to years 2003-2008 in order to obtain statistically significant results.