

# WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OBRAZÓW SATELITARNYCH ASTER W MONITOROWANIU LODOWCÓW SVALBARDU\*

Małgorzata Błaszczuk<sup>1</sup>, Wojciech Drzewiecki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach

<sup>2</sup> Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: ASTER, lodowce, klasyfikacja, eCognition, segmentacja obrazu, tekstura

STRESZCZENIE: Celem prezentowanej pracy była ocena możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych ASTER do określenia stopnia uszczelinienia powierzchni lodowców Svalbardu. Pierwszy etap badań polegał na określeniu granic lodowców. Przetestowano metody stosowane w tym celu w ramach projektu GLIMS (Global Land Ice Measurement from Space) oraz zaproponowano własne podejście oparte o wykorzystanie obrazu nasycenia uzyskanego na drodze transformacji IHS kompozycji barwnej z kanałów 345. Dla oddzielenia lodowców od obszarów kry lodowej zaproponowano wykorzystanie wybranych miar teksturalnych. Próby wyodrębnienia w granicach wydzielonych wcześniej lodowców obszarów uszczelinionych na drodze klasyfikacji nadzorowanej nie dały zadowalających rezultatów. Ostatnia część przeprowadzonych badań miała na celu przygotowanie obrazu satelitarnego do klasyfikacji obiektowej w programie eCognition poprzez opracowanie uniwersalnych parametrów segmentacji. Uzyskanie satysfakcjonujących rezultatów segmentacji w oparciu o kanały spektralne obrazu ASTER wymagało stosowania dla poszczególnych lodowców różnych parametrów skali, kształtu i zwartości, co znacząco utrudniałoby automatyzację procesu klasyfikacji. Poprawę rezultatów osiągnięto przeprowadzając wstępną segmentację w oparciu o 1 kanał obrazu ASTER, a dokładniejszą w oparciu o obraz tekstury uzyskany w programie MaZda. Otrzymane rezultaty segmentacji pozwalają przypuszczać, iż możliwe będzie przeprowadzenie klasyfikacji obiektowej w programie eCognition, której rezultatem będzie wydzielenie jako osobnej klasy obszarów uszczelinionych.

## 1. WSTĘP

Monitoring lodowców oraz wiecznej zmarzliny staje obecnie przed nowymi wyzwaniami. Zachodzące zmiany klimatyczne oraz postępująca recesja lodowców wymuszają ponowne zdefiniowanie kierunków badań i dobór odpowiednich metod badawczych (Kääb, 2005). Ze względu na trudności w prowadzeniu pomiarów na odległych i trudno dostępnych terenach, tworzenie światowych zasobów powierzchni pokrytych lodem bazować musi na danych satelitarnych (Haeberli, 1998) i wymaga

---

\* Praca częściowo finansowana z badań statutowych AGH nr 11.11.150.459

opracowania możliwie zautomatyzowanych procedur dla jak najszerszego zakresu aplikacji (por.: Paul 2002; Paul *et al.*, 2002).

Prace mające na celu wypracowanie metod i narzędzi monitorowania zmian zasięgu lodowców przy użyciu technik satelitarnych prowadzone są m.in. w ramach projektu GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space). Projekt ten posiada charakter globalny. Jego celem jest sporządzenie przestrzennej bazy danych zasięgu lodowców na całym świecie, co w przyszłości umożliwi monitorowanie ich zmian. Główne źródło danych dla prac realizowanych w ramach tego projektu stanowią obrazy satelitarne ASTER. Opracowano różnorodne procedury ich wykorzystania oraz algorytmy i programy mające na celu ułatwienie i ujednoczenie pozyskiwania danych przez organizacje współdziałające z GLIMS ([www.glims.org](http://www.glims.org)). Koncentrowano się jednak dotychczas przede wszystkim na wyznaczaniu zasięgu lodowców gruzowych występujących w wysokich górach, jak Himalaje czy Alpy.

Cel badań prezentowanych w niniejszej pracy stanowiła ocena możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych ASTER do wyznaczenia granic lodowców uchodzących do morza oraz wydzielenia w ich obrębie obszarów uszczelinionych. Lodowce uchodzące do morza zakończone są klifem, z którego odrywają się do morza różnej wielkości góry lodowe. Proces ten nazywany jest w glaciologii ablacją przez cielenie. Ze względu na proces cielenia lodowce uchodzące do morza charakteryzują się szybszymi zmianami zasięgu czoła niż lodowce zakończone na lądzie i szybciej reagują na zmiany klimatyczne, dlatego ważna jest obserwacja ich zachowań. Dla oceny dynamiki cielących się lodowców pomocnym może być wyznaczenie stref ich uszczelinienia.

## **2. OBSZAR BADAŃ I DANE SATELITARNE**

Badaniami objęte zostały lodowce w południowej części Spitsbergenu – największej z wysp położonego na północ od wybrzeży Norwegi archipelagu Svalbard. Spośród około dwustu spitsbergeńskich lodowców uchodzących do morza (Hagen *et al.*, 1993) monitoringiem jak dotąd objętych jest tylko kilka. Należy również zaznaczyć, iż pomimo stosunkowo licznych przykładów wykorzystania obrazów satelitarnych w badaniach lodowców Arktyki, tylko niewielka ich część dotyczy lodowców Svalbardu (Lefauconnier *et al.*, 1994; Rolstad *et al.*, 1997; Dowdeswell *et al.*, 2003; Käab *et al.*, 2005).

W analizach wykorzystano kanały VNIR i SWIR (o rozdzielczości odpowiednio 15 m i 30 m) obrazu satelitarnego ASTER poziomu L1B, z zastosowaną przez dystrybutora korekcją geometryczną i radiometryczną. Pozyskany obraz zarejestrowany został w okresie letnim – 7-go sierpnia 2004 roku. Sierpień jest na Spitsbergenie okresem zaawansowanej ablacji (topnienia śniegu), kiedy granice pomiędzy skałą a lodowcem są zazwyczaj bardzo wyraźne. Zdarzają się jednak obszary gdzie przejście to jest mniej widoczne, w żłebach zalegają płyty śniegu lub lodowiec przykryty jest ciemnym tonalnie materiałem morenowym.

W obrębie sceny oprócz stosunkowo płaskich lodowców znajdują się góry (do 1430 m), których strome, wysokie ściany powodują powstawanie głębokich cieni na zdjęciach po północno-wschodniej stronie stoków, co utrudnia interpretację obrazu. Kolejnym czynnikiem wpływającym na trudności w wyznaczaniu zasięgu lodowców są

duże ilości kry przylegającej do klifów lodowców położonych w głębi fiordu Hornsund. Są to pozostałości kry, która zalegała wzdłuż wybrzeża Spitsbergenu w roku 2004 znacznie dłużej niż w poprzednich latach. Ponadto, pomimo informacji dystrybutora o zerowym zachmurzeniu sceny, w trzech miejscach na obrazie występują chmury. Obszary zachmurzone zostały wyłączone z analiz.

### **3. WYZNACZENIE ZASIĘGU LODOWCÓW**

#### **3.1. Digitalizacja ekranowa**

W celu porównania testowanych metod automatycznego wydzielenia granic lodowców na obrazie satelitarnym utworzono wzorcowy rysunek tych granic poprzez ich kartowanie na drodze digitalizacji ekranowej. Manualna wektoryzacja zasięgu lodowców jest często stosowanym rozwiązaniem (Kääb, 2005; Paul *et al.*, 2002), a trudności fotointerpretacyjne spowodowane są zazwyczaj głębokimi cieniami, zachmurzeniem i materiałem erozyjnym pokrywającym powierzchnię lodu.

Wektoryzację zasięgu lodowców przeprowadzono w oparciu o kompozycję RGB kanałów 432 (rys. 1a). Ze względu na cel badań dodatkowo wyznaczone zostały również baseny lodowców uchodzących do morza wraz z lodowcami zasilającymi. Granice pomiędzy lodowcami zostały zwektoryzowane na podkładzie map topograficznych w skali 1 : 100 000 wydanych przez Norweski Instytut Polarny.

#### **3.2. Automatyczne wydzielenie obszarów lodowców**

Dla doboru metod automatycznego wydzielenia granic lodowców zasadnicze znaczenie mają właściwości spektralne śniegu i lodu. Śnieg i lód charakteryzują się wysokim albedo w zakresie promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni oraz niskimi współczynnikami odbicia w kanałach o długości  $> 1.5 \mu\text{m}$ . Dzięki tym własnościom spektralnym dobre rezultaty do wydzielenia obszarów pokrytych lodem uzyskuje się stosując dzielenie kanałów 4 i 3 ASTER-a (por. Paul *et al.*, 2002) oraz obraz indeksu śniegu NDSI (*Normalised Difference Snow Index* – Znormalizowany Różnicowy Indeks Śniegu).

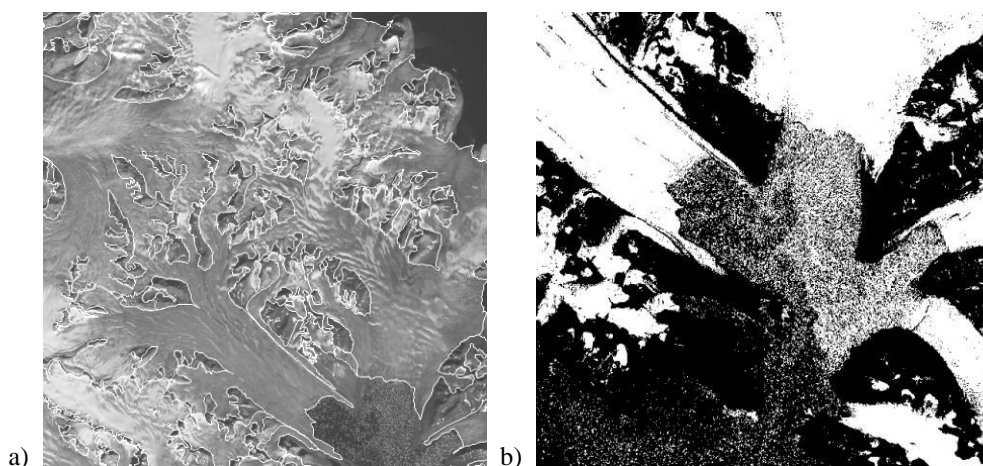
NDSI bazuje na różnych własnościach spektralnych śniegu w kanałach widzialnych i podczerwonych. Postać indeksu NDSI zdefiniowana została w literaturze dla Landsata TM jako (Dozier 1989; Hall *et al.*, 1995):

$$NDSI = \frac{(TM 2 - TM 5)}{(TM 2 + TM 5)} \quad (1)$$

W niniejszych badaniach zastosowano do obliczeń odpowiednio kanały 1 i 4 skanera ASTER, przyjmując:

$$NDSI = \frac{(A1 - A4)}{(A1 + A4)} \quad (2)$$

Obie metody wykorzystywane są w pracach realizowanych w ramach projektu GLIMS. W ramach badań przeprowadzono ich porównanie z własnym podejściem opartym o wykorzystanie obrazu nasycenia (*Saturation*) uzyskanego na drodze transformacji IHS kompozycji barwnej z kanałów 345. W każdym z trzech przypadków otrzymane obrazy poddano progowaniu. Wartość progową określano obserwując uzyskiwany obraz maski lodu na tle kompozycji barwnej. Aby usunąć pojedyncze piksele oraz dziury oraz wygładzić maskę lodowców zastosowano filtr medianowy o rozmiarze 7 x 7 pikseli (por. Paul *et al*, 2002). Przykład maski otrzymanej na drodze dzielenia kanałów A4 i A3 pokazano na rysunku (rys. 1b).



Rys.1. a) Kompozycja barwna ASTER 432 z narzuconą warstwą lodowców pozyskaną na drodze digitalizacji; b) Maska lodu otrzymana z dzielenia i progowania kanałów A4/A3.

Otrzymane maski lodowców porównano z maską otrzymaną na drodze fotointerpretacyjnej. Wyniki porównania przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Ocena dokładności wydzielenia obszarów lodu.

| metoda                   | dokładność użytkownika [%] | dokładność producenta [%] |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| dzielenie międzykanałowe | 95.4                       | 94.1                      |
| NDSI                     | 91.2                       | 92.6                      |
| saturacja                | 92.3                       | 92.9                      |

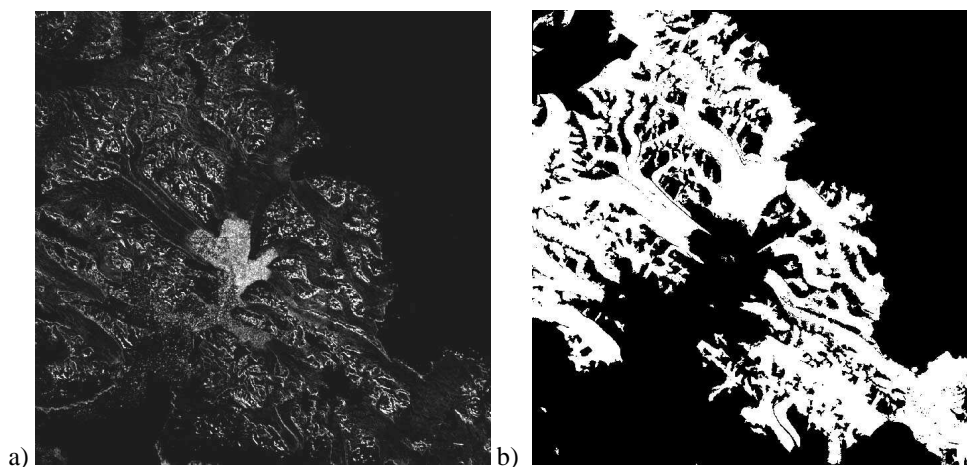
### 3.3. Wykorzystanie tekstury obrazu

Analizując uzyskane rezultaty stwierdzono, iż w każdym z przypadków razem z lodowcami wydzielona została na obrazach również krawędź lodowa (rys. 1b). Problem ten nie był poruszany w pracach realizowanych w projekcie GLIMS, ponieważ koncentrowały się one dotychczas na lodowcach wysokogórskich, nie uchodzących do morza. Dla oddzielenia kry od pozostałych obszarów pokrytych lodem zdecydowano się wykorzystać rozwiązanie oparte o analizę tekstury obrazu. Analizę parametrów teksturalnych przeprowadzono przy użyciu programu MaZda. Program ten napisany został przez pracowników Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej w celu przetwarzania i opracowywania obrazów rezonansu magnetycznego.

Program MaZda (od: Macierz Zdarzeń) umożliwia wykonywanie następujących operacji ([http://www.eletel.p.lodz.pl/cost/progr\\_mazda.html](http://www.eletel.p.lodz.pl/cost/progr_mazda.html)):

- Wczytywanie obrazów zapisanych w różnych standardach (oprócz formatów stosowanych w medycynie program MaZda umożliwia wczytywanie i zapis plików w formacie Windows Bitmap).
- Analizę obrazu polegającą na wyznaczeniu wartości cech tekstury zawartej w zdefiniowanym wcześniej ROI (ang. *region of interest*). Zbiór wszystkich cech (ok. 300) obejmuje wielkości obliczane na podstawie histogramu obrazu, macierzy zdarzeń, macierzy run-length, mapy gradientów jasności obrazu, modelu autoregresji i transformaty falkowej.
- Generowanie map cech, które w graficzny sposób prezentują rozkład wartości wybranych cech na powierzchni analizowanego obrazu.
- Analizę cech z wygenerowanych raportów pod kątem klasyfikacji tekstur obrazu. Program dokonuje selekcji cech rozróżniających dane ROI w oparciu o dwa kryteria: współczynnik Fishera oraz prawdopodobieństwo błędu klasyfikacji wraz z uśrednionym współczynnikiem korelacji (ang. *probability of error and average correlation coefficient, POE+AC*).

W ramach przeprowadzonych badań w obrębie całej sceny wyznaczono kilkanaście obszarów ROI, charakteryzujących uszczelinione i nieuszczelinione części lodowców oraz obszary kry. Następnie spośród wszystkich obliczonych dla ROI parametrów teksturalnych wybrano przy pomocy współczynnika POE+ACC cechy teksturalne, które najlepiej różnicowały poszczególne obszary. W dalszych badaniach wykorzystano parametry Haralicka: Kontrast (*Contrast*) i Entropię różnicową (*Difference entropy*) (por. Haralick *et al.*, 1973).



Rys. 2. a) Mapa cechy: Kontrast; b) Maska lodu otrzymana z przecięcia mapy cechy: Kontrast z ilorazem kanałów A4/A3.

W Tabeli 2 przedstawiono porównanie oceny dokładności wydzielenia obszarów lodowców z uwzględnieniem cechy tekstury: Kontrast, obliczonej w kierunku  $45^\circ$  (rys. 2a). Mapę cechy uzyskaną z programu Mazda poddano progowaniu, a następnie wykonano przecięcie uzyskanego obrazu z maską lodu uzyskaną bez uwzględnienia parametrów tekstury. W każdym z przypadków nastąpił wzrost dokładności użytkownika i obniżenie dokładności producenta. Należy jednak podkreślić, iż we wszystkich przypadkach krawędź została z sukcesem oddzielona od obszarów lodowców. Przykład uzyskanego obrazu zasięgu lodowców przedstawia rysunek (rys. 2b).

Tabela 2. Ocena dokładności wydzielenia obszarów lodu po uwzględnieniu parametrów tekstury (Kontrast).

| metoda                   | dokładność użytkownika [%] | dokładność producenta [%] |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| dzielenie międzykanałowe | 99.4                       | 88.8                      |
| NDSI                     | 95.3                       | 88.7                      |
| saturacja                | 94.7                       | 89.3                      |

#### 4. WYZNACZENIE OBSZARÓW USZCZELINIONYCH

Jeden z celów prowadzonych badań stanowiło poszukiwanie metod wydzielenia uszczelinionych obszarów lodowców. Przeprowadzono próby wyodrębnienia tego rodzaju obszarów w granicach wydzielonych wcześniej lodowców na drodze klasyfikacji nadzorowanej. Klasyfikacja prowadzona w oparciu o oryginalne kanały spektralne nie dała jednak satysfakcjonującego rezultatu. Najlepsze wyniki uzyskano stosując klasyfikację metodą najmniejszej odległości z wykorzystaniem wybranych map cech teksturalnych. Jednak i w tym przypadku nie były one zadowalające - obszary szczelin wydzielone zostały

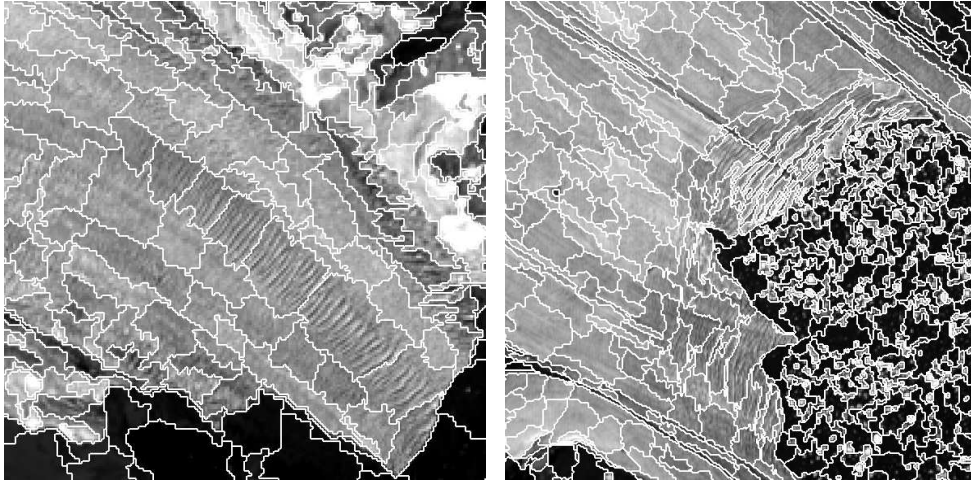
poprawnie, jednak do klasy tej zaliczone zostały również inne fragmenty lodowców (np. moreny) w ilości uniemożliwiającej wykorzystanie otrzymanych rezultatów do oceny stopnia uszczelinienia.

Trudność wydzielenia obszarów uszczelinionych wiąże się przede wszystkim z faktem, iż zarówno w ich granicach jak i na pozostałym obszarze lodowca mamy do czynienia z powierzchnią pokrytą lodem, co skutkuje brakiem znaczących różnic spektralnych pomiędzy tymi obszarami. Obszary uszczelinione posiadają jednak specyficzne cechy strukturalno-teksturalne (gwałtowne regularne przejścia pasm jasnych i ciemnych – lodu i cieni w szczelinach). Specyficzna tekstura obszarów uszczelinionych powoduje, iż z łatwością można je wyodrębnić na obrazie na drodze fotointerpretacyjnej. Fakt ten oraz zachęcające wyniki uzyskane na drodze klasyfikacji nadzorowanej z wykorzystaniem map cech teksturalnych uzyskanych w programie MaZda stanowiły przesłanki do podjęcia próby wydzielenia uszczelinionych fragmentów lodowców na drodze klasyfikacji obiektowej w programie eCognition.

W przypadku eCognition zasadnicze znaczenie dla przebiegu i powodzenia klasyfikacji posiada proces segmentacji obrazu. Waga tego procesu wynika z faktu, iż to właśnie wydzielone w jego trakcie segmenty obrazu stanowią obiekty, które poddawane są klasyfikacji. Poprawna klasyfikacja obszarów uszczelinionych uwarunkowana jest zatem poprawnym ich wyodrębnieniem jako osobnych obiektów już na etapie segmentacji obrazu.

Przeprowadzenie segmentacji obrazu w eCognition wymaga zdefiniowania parametrów, takich jak skala, kolor, kształt, zwartość i gładkość. Proces segmentacji całej sceny satelitarnej jest bardzo czasochłonny, zatem pierwsze próby doboru wartości parametrów segmentacji przeprowadzono na kilku fragmentach obrazu o rozmiarach 400\*400 pikseli każdy, wybierając lodowce o różnej charakterystyce teksturalnej powierzchni. Jednym z głównych problemów jest fakt, że lodowce znacznie różnią się od siebie nie tylko parametrami morfometrycznymi, lecz także dynamiką procesów zachodzących na ich powierzchni. Długość lodowców zmienia się od jednego do prawie trzydziestu kilometrów, a wielkość obszarów uszczelinionych stanowi od kilku do kilkudziesięciu procent całej powierzchni.

Próby wykazały, że wydzielenie obszarów uszczelinionych na poszczególnych lodowcach daje satysfakcjonujące wyniki na bardzo różnych poziomach segmentacji oraz przy użyciu różnych parametrów kształtu i zwartości, co znacznie utrudnia proces automatyzacji procesu. Znalezienie parametrów, które dawałyby prawidłowe rezultaty jednocześnie na całej scenie okazało się bardzo trudnym zadaniem. Na rysunku (rys. 3) przedstawiono wyniki segmentacji przy użyciu tych samych parametrów na lodowcach Paierlbreen i Storbreen. Obszary szczelin na lodowcu Paierlbreen „wydzieliły się” przy użyciu parametru skali równego 20, podczas gdy na lodowcu Storbreen zostały prawidłowo wydzielone już na poziomie skali 70. Zastosowanie parametru skali wynoszącego 20 na lodowcu Storbreen powoduje wydzielenie zbyt małych segmentów, co może spowodować zbyt duże zróżnicowanie średnich wartości tekstury wykorzystywanych w trakcie późniejszej klasyfikacji.



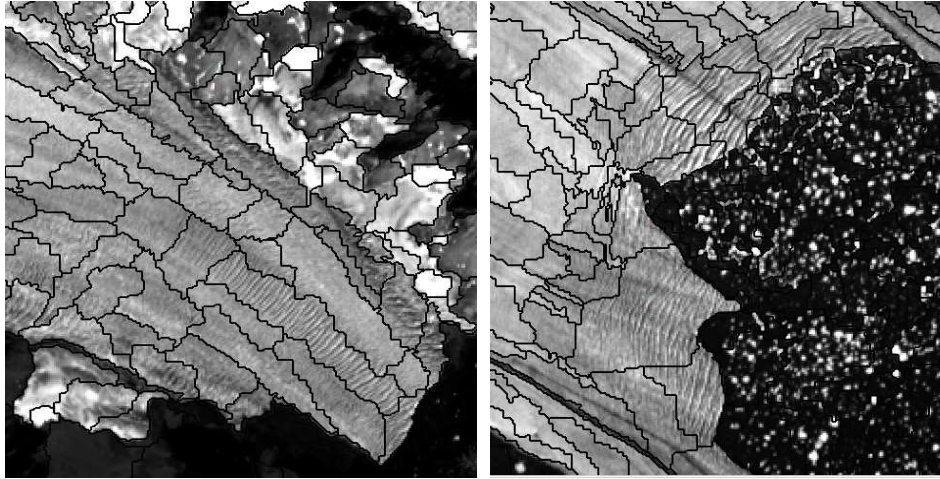
Rys. 3. Wynik segmentacji obrazów przeprowadzonych na dwóch lodowcach: Paierlbreen (z lewej) i Storbreen (z prawej); skala - 20, kształt - 0.5, zwartość - 0.5.

Ze względu na znaczenie parametrów tekstury dla wyodrębnienia obszarów uszczelinionych zdecydowano się na włączenie do procesu segmentacji obrazu teksturalnego wykonanego wcześniej w programie MaZda. Parametry teksturalne są również wykorzystywane w eCognition (*UserGuide*, DEFINIENS Imaging) w procesie klasyfikacji segmentów, nie są jednak używane we wstępnym, bardzo ważnym etapie segmentacji obrazu.

Przeprowadzone testy pozwoliły na opracowanie metody segmentacji, którą zdecydowano się zastosować dla całości obszaru sceny (a ściślej wydzielonego wcześniej obszaru lodowców). Wyniki przedstawiono na rysunku (rys. 4).

Opracowana metoda segmentacji przebiega na dwóch poziomach. Wstępna segmentacja przeprowadzana jest na pierwszym kanale VNIR z zastosowaniem parametru skali wynoszącego 100. Etap ten ma na celu wydzielenie jako osobnych obiektów obszarów moren oraz innych ciemnych fragmentów lodowca (np. strumienie na powierzchni lodu). Kolejna segmentacja została przeprowadzona tylko na obrazie teksturalnym - Entropia różnicowa, przy skali 8 (waga kanału 1 ASTER przyjęła wartość 0, a obrazu teksturalnego 1). Duży nacisk położono na parametr koloru (wartość 0.9). Ponieważ obszary uszczelinione przybierają bardzo nieregularne kształty parametr zwartości opisujący na ile kształt segmentu zbliżony jest do koła otrzymał wartość 0.1. Wstępna segmentacja bez zastosowania map cech teksturalnych jest konieczna, gdyż wartości tekstury szczelin w małych segmentach (wsp. skali = 8) są bardzo podobne do innych obszarów o dużym zróżnicowaniu wartości spektralnych, np. moreny. Dlatego obszary te wyeliminowane muszą zostać na wyższym poziomie segmentacji.





Rys.4. Wynik segmentacji wykonanej na mapie cechy: Entropia różnicowa; skala - 8, kształt - 0.1, zwartość - 0.1.

## 5. PODSUMOWANIE

Podsumowując przeprowadzone badania należy stwierdzić, iż uzyskane rezultaty potwierdzają możliwość wykorzystania obrazów satelitarnych ASTER w badaniach monitoringowych lodowców Svalbardu. Wydzielenie obszaru lodowców możliwe jest przy zastosowaniu stosunkowo prostej techniki progowania obrazów otrzymanych na drodze przetwarzania oryginalnych kanałów spektralnych oraz analizy ich tekstury.

Otrzymane rezultaty segmentacji pozwalają przypuszczać, iż możliwe będzie przeprowadzenie klasyfikacji obiektowej w programie eCognition, w rezultacie której obszary uszczelnione wydzielone zostaną jako osobna klasa. Potwierdzenie tego przypuszczenia stanowić będzie kolejny etap planowanych badań.

## PODZIĘKOWANIA

Autorzy pragną złożyć podziękowania dr. Krystianowi Pyce za inspirujące dyskusje nt. wykorzystania parametrów teksturalnych w klasyfikacji obrazów satelitarnych oraz mgr. inż. Mariuszowi Twardowskiemu za napisanie programu umożliwiającemu konwersję danych z formatu .bmf do formatów stosowanych w systemach GIS.

## 6. LITERATURA

DEFINIENS Imaging. 2006: <http://www.definiens-imaging.com>

Dowdeswell J.A., Benham T.J., 2003. A surge of Perseibreen, Svalbard, examined using aerial photography and ASTER high-resolution satellite imagery. *Polar Research*, 22(2), s. 373-383.

- Dozier J., 1989. Spectral signature of alpine snow cover from Landsat 5 TM. *Remote Sensing of Environment*, 28, s. 9-22.
- Haeberli W., 1998. Historical evolution and operational aspects of worldwide glacier monitoring. *Studies and reports in hydrology, UNESCO*, Paris, 56, s. 35-51.
- Haralick R.M., Shanmugan K., Dinstein I., 1973. Textural Features for Image Classification; *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, 3, s. 610-621.
- Hagen J. O., Liestøl O., Roland E., Jørgensen T., 1993. *Glacier Atlas of Svalbard and Jan Mayen*, Norsk Polarinstitut, Meddelelser, 129, Oslo.
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., 1995. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Remote Sensing of Environment*, 54(2), s. 127-140.
- Kääb A., 2005. *Remote Sensing of Mountain Glaciers and Permafrost Creep*. Geographisches Institut der Universität Zürich, 2005, s. 3.
- Kääb A., Lefauconnier B., Melvold K., 2005. Flow field of Kronebreen, Svalbard, using repeated Landsat7 and ASTER data. *Annals of Glaciology*, 42(1), s. 7-13.
- Lefauconnier B., Hagen J.O., Rudant J.P., 1994. Flow speed and calving rate of Kronebreen glacier, Svalbard, using SPOT images. *Polar Research*, 13(1), s. 59-65.
- Paul F., 2002. Changes in glacier area in Tyrol, Austria, between 1969 and 1992 derived from Landsat 5 Thematic Mapper and Austrian Glacier Inventory data. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), s. 787-799.
- Paul F., Kääb A., Maisch M., Kellenberger T., Haeberli W., 2002. The new remote-sensing derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology*, 34, s. 355-361.
- Rolstad C., Amlien, J., Hagen, J.O. Lundén, B., 1997. Visible and near-infrared digital images for determination of ice velocities and surface elevation during a surge on Osbornebreen, a tidewater glacier in Svalbard. *Annals of Glaciology*, 24, s. 255-261.

## **PRELIMINARY ASSESSMENT OF ASTER IMAGES APPLICABILITY TO SVALBARD GLACIERS MONITORING**

KEY WORDS: ASTER, glacier, classification, eCognition, segmentation, texture.

### **Summary**

ASTER images applicability to surface crevassing assessment of tidewater glacier in southern Spitsbergen, Svalbard was investigated.

In the first phase of research the glaciers spatial extent determination methods were investigated - spectral bands rationing and Normalised Difference Snow Index (NDSI). A new method based on saturation image obtained by intensity-hue-saturation transformation of 345 colour composite was tested as well. Image texture parameters were applied to separate ice float from glaciers.

The supervised classification of original spectral bands for crevassed areas identification failed. Better results were achieved using choosen texture images, but still too many other glacier areas (e.g. dark moraines or strems on glacier surface) were classified as crevasses.

In the last stage of research the object oriented image analysis software (eCognition) was used. The parameters for ASTER image segmentation resulting in determination of crevassed glacier areas as separate image segments were searched. To achieve such a goal image segmentation performed using ASTER spectral bands required different scale, shape and compactness factors for individual glaciers. The reason is glaciers dynamics and morphology differs causing differences in shapes and extent of crevassed areas. Satisfactory results were achieved after application of two-level

segmentation procedure: ASTER spectral band 1 segmentation using large scale parameter and than MaZda software computed texture image segmentation with small scale factor.

The research confirmed the applicability of satellite ASTER images for Svalbard glaciers monitoring. The spatial extend of glaciers has been determined by simple thresholding of transformed spectral bands and texture images. Futhermore, obtained segmentation results should enable succesful application of object oriented image classification to mapping of crevassed glacier areas. Such a classification is planned as a next stage of the research.

Dane autorów:

mgr. inż. Małgorzata Błaszczyk  
e-mail: mblaszczyk@wodgik.katowice.pl  
telefon: (032) 2091966  
fax: (032) 2091967

dr inż. Wojciech Drzewiecki  
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl  
telefon: (012) 617 3993