

WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OBRAZÓW SATELITARNYCH ASTER W MONITOROWANIU LODOWCÓW SVALBARDU

PRELIMINARY ASSESSMENT OF ASTER IMAGES APPLICABILITY IN MONITORING THE SVALBARD GLACIERS

Małgorzata Błaszczuk¹, Wojciech Drzewiecki²

¹Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach

²Zakład 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

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

W ostatnich latach wzmaga się cielenie (odrywanie bloków i gór lodowych) lodowców uchodzących do morza. Jest to spowodowane ich intensywniejszym ruchem w związku z ocieplaniem klimatu. Ustalenie intensywności cielenia - określenie objętości lodu przemieszczonego z lądu do morza - ma bardzo istotne znaczenie dla prognozowania podnoszenia poziomu oceanu światowego. Wysładzanie morskich wód przybrzeżnych przez topniejące góry lodowe ma znaczenie dla stratyfikacji wód morskich, a w dalszej kolejności dla cyrkulacji termohalinowej w oceanach. Cielenie zachodzi w wyniku rozczłonkowania jezora lodowcowego w jego części czołowej na skutek jego ruchu tensyjnego. Wskutek tego ruchu powstają szczeliny (Jania, 1997), które z jednej strony wskazują na zasięg ruchu tensyjnego, z drugiej pokazują jak daleko w górę lodowca nastąpiło mechaniczne "osłabienie" jezora - przygotowanie do odłamywania gór lodowych i mniejszych bloków. Wyznaczenie zasięgu obszaru uszczelinionego daje możliwość określenia strefy ruchu tensyjnego oraz wnioskowania o dynamice ruchu lodowca w pobliżu klifu. Czym bardziej uszczelinione czoło i szersza strefa szczelin tym większa potencjalna intensywność cielenia, ponieważ intensywność cielenia jest związana z szybkością ruchu lodowców (Jania, 1997; Dowdeswell, 2006).

Celem badań prezentowanych w niniejszej pracy była ocena możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych ASTER do wyznaczenia granic lodowców uchodzących do morza oraz wydzielenia w ich obrębie obszarów uszczelinionych. Wypracowanie automatycznych metod do wyznaczenia tych wielkości na podstawie obrazów ASTER pozwoli na zrezygnowanie z czasochłonnych pomiarów na zdjęciach lotniczych oraz na rozszerzenie obszaru badań na cały archipelag Svalbard.

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 lodowców spitsbergeńskich uchodzących do morza (Hagen *et al.*, 1993) monitoringiem jak dotąd objętych jest tylko kilka. Jednym z lepiej poznanych obszarów jest otoczenie fiordu Hornsund, gdzie znajduje się Polska Stacja Polarna Instytutu Geofizyki PAN. Dynamika lodowców w rejonie fiordu Hornsund stanowi przedmiot udokumentowanych badań od ponad 100 lat (Dąbrowski, 1980; Dąbrowski, Lipert, 1984; Jania, 1986; Jania, 1988a; Jania, 1988b; Kolondra, 2002; Kolondra, 2005; Lipert 1958; Lipert, 1960). Wybór do analiz zobrazowań ASTER wynika z faktu, że są to jedne z niewielu danych satelitarnych dostępnych dla tych obszarów, a najaktualniejsze zdjęcia lotnicze pochodzą z 1990 roku. Badania przeprowadzone na scenie obejmującej rejon Hornsundu umożliwią porównanie wyników wyznaczania strefy uszczelinionej lodowców z istniejącymi materiałami takimi jak zdjęcia lotnicze z lat 1936, 1960-61, 1990. Ponadto możliwe będzie skorelowanie informacji o uszczelinieniu lodowców z posiadanymi danymi o ich prędkościach (zdjęcia naziemne pozyskiwane permanentnie od 1982 roku, a okresowo od roku 1958).

W ramach badań wykorzystano m.in. algorytmy i procedury wyznaczania zasięgów lodowców na obrazach ASTER wypracowane w ramach projektu GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space, www.glims.org). Należy jednak 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; Kääh *et al.*, 2005).

W niniejszych 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. 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. 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 (Kääh, 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).

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 (Paul *et al.*, 2002) oraz obraz indeksu śniegu NDSI (Normalized Difference Snow Index – Znormalizowany Różnicowy Indeks Śniegu).

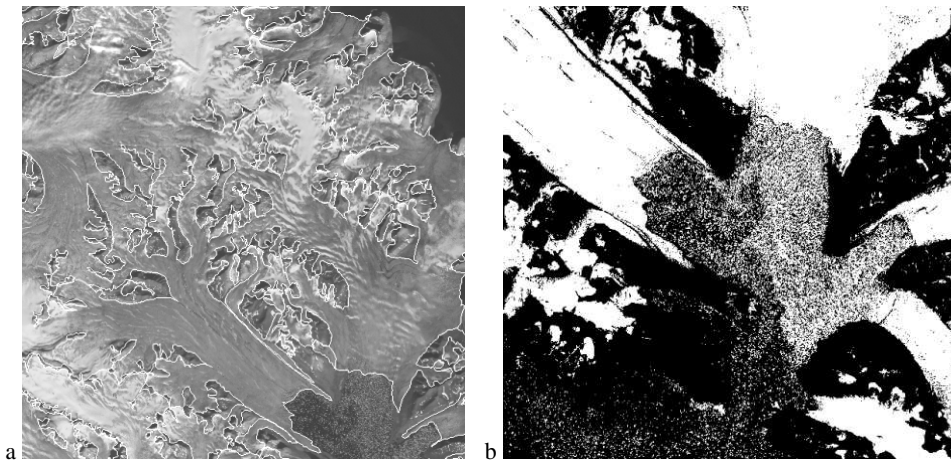
NDSI bazuje na różnych własnościach spektralnych śniegu w kanałach widzialnych i podczerwonych. Postać indeksu NDSI zdefiniowana została w literaturze dla Landsat TM jako (Dozier, 1989; Hall *et al.*, 1995):

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

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 7×7 pikseli (Paul *et al.*, 2002). Przykład maski otrzymanej na drodze dzielenia kanałów A4 i A3 pokazano na rysunku (rys. 1b).



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

Otrzymane maski lodowców porównano z maską otrzymaną na drodze fotointerpretacyjnej. Dla każdej z metod określono dokładność użytkownika (wyrażony w procentach stosunek ilości pikseli poprawnie zaliczonych do danej klasy, do wszystkich pikseli zaliczonych do tej klasy) oraz dokładność producenta (procent pikseli poprawnie

zaliczanych do danej klasy w próbie pikseli określonych jako należące do tej klasy w trakcie weryfikacji). 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 kra lodowa (rys. 1b). 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):

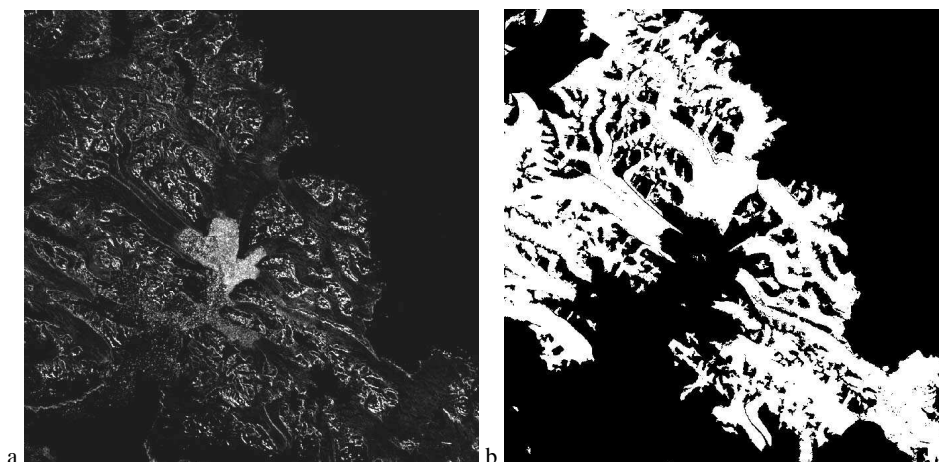
- Analizę obrazu polegającą na wyznaczeniu wartości ok. 300 cech tekstury w zdefiniowanym wcześniej ROI (*region of interest*).
- Generowanie map cech, które w graficzny sposób prezentują rozkład wartości wybranych cech na powierzchni analizowanego obrazu.
- Analizę cech z wygenerowanych raportów pod kątem klasyfikacji tekstur obrazu. Program dokonuje selekcji cech różniących dane ROI w oparciu o dwa kryteria: współczynnik Fishera oraz prawdopodobieństwo błędu klasyfikacji wraz z uśrednionym współczynnikiem korelacji (*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 dwie cechy teksturalne, które najlepiej różnicowały poszczególne obszary: Kontrast (*Contrast*) i Entropię różnicową (*Difference entropy*) (Haralick *et al.*, 1973).

Mapę cechy Kontrast (rys. 2a) uzyskaną w programie Mazda poddano progowaniu, a następnie wykonano przecięcie uzyskanego obrazu z uzyskanymi wcześniej maskami lodu. W tabeli 2 przedstawiono porównanie oceny dokładności wydzielenia obszarów lodowców z uwzględnieniem cechy tekstury. W każdym z przypadków nastąpił wzrost dokładności użytkownika i obniżenie dokładności producenta. Należy jednak podkreślić, iż we wszystkich przypadkach kra 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



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

4. WYZNACZENIE OBSZARÓW USZCZELINIONYCH

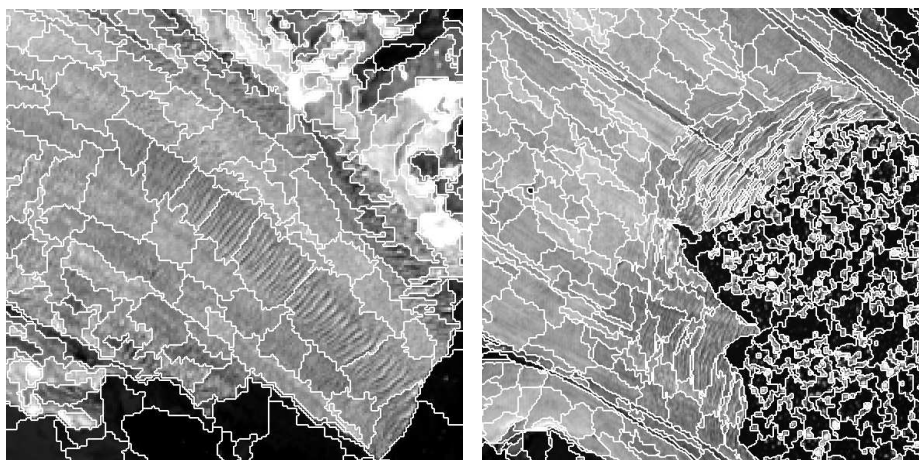
Jednym z celów prowadzonych badań było poszukiwanie metod wydzielenia uszczelinionych obszarów lodowców. Przeprowadzono próby wyodrębnienia tego rodzaju obszarów w granicach wydzielonych wcześniej lodowców na drodze klasyfikacji nadzorowanej. Klasyfikacja prowadzona w oparciu o oryginalne kanały spektralne 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.

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 przeprowadzone na obrazach ASTER wykazały, że znalezienie parametrów, które dawałyby prawidłowe rezultaty jednocześnie na całej scenie okazało się bardzo trudnym zadaniem. Na rysunku 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.

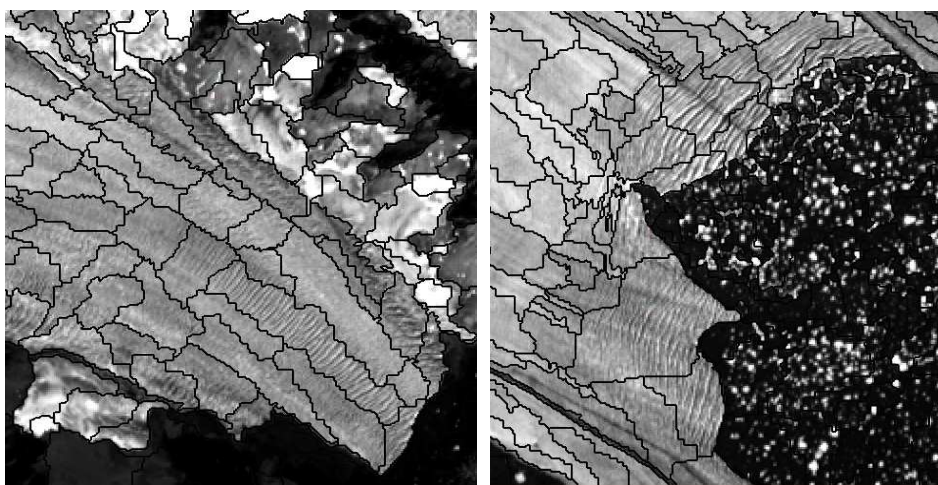


Rys. 3. Wynik segmentacji obrazów przeprowadzonych na dwóch lodowcach: Paierlbreen (z lewej) i Storbreen (z prawej); skala - 20, kształt - 0.5, zwartość - 0.5

Ze względu na znaczenie parametrów tekstury dla wyodrębnienia obszarów uszczelinionych zdecydowano się na włączenie do procesu segmentacji obrazu teksturalnego wykonanego wcześniej w programie MaZda. 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 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.



Rys. 4. Wynik segmentacji wykonanej na mapie teksturalnej: Entropia różnicowa, narzucony na obraz ASTER; 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.

Opracowana metoda segmentacji obrazów teksturalnych w programie eCognition umożliwiła prawidłowe wydzielenie obszarów uszczelinionych na lodowcach. Porównanie wyników segmentacji z danymi o uszczelinieniu lodowców pozyskanymi ze zdjęć lotniczych z roku 1990 wykazało, że możliwe jest prawidłowe wydzielenie obszarów uszczelinionych na obrazach ASTER. Prawidłowa segmentacja ma zasadnicze znaczenie dla przebiegu i powodzenia klasyfikacji obiektowej i jest bardzo ważnym etapem badań. Poszukiwanie metod klasyfikacji obiektowej w celu wydzielenia obszarów uszczelinionych

jako osobna klasa będzie kolejnym etapem badań. Wypracowane procedury przyczynią się do automatyzacji procesów pozyskiwania danych na obszarze całego archipelagu Svalbard na podstawie najaktualniejszych danych, jakimi są zobrażenia ASTER.

6. LITERATURA

- Dąbrowski S., 1980. Prace geodezyjne i fotogrametryczne na polarnej wyprawie naukowej PAN – Spitsbergen, lato 1980. *Biuletyn Informacyjny BOINTE Instytutu Geodezji i Kartografii*, No 6, s. 37-41.
- Dąbrowski S., Lipert C., 1984. Dynamika lodowca Hansa (Spitsbergen Zachodni) w latach 1936-1980. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*, 31(1), s. 71-80.
- DEFINIENS Imaging. 2006: <http://www.definiens-imaging.com>
- Dowdeswell J. A., 2006. The Greenland Ice Sheet and Global Sea-Level Rise. *Science*, 311(5763), s. 963 – 964.
- 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.
- Haerberli W., 1998. Historical evolution and operational aspects of worldwide glacier monitoring. *Studies and reports in hydrology, UNESCO*, Paris, 56, s. 35-51.
- 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.
- Haralick R.M., Shanmugan K., Dinstein I., 1973. Textural Features for Image Classification; *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, 3, s. 610-621.
- Jania J., 1986. Dynamika czół spitsbergeńskich lodowców uchodzących do morza. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego*, nr 800, T. 9, Katowice, s. 78-100.
- Jania J., 1988a. Dynamiczne procesy glacialne na południowym Spitsbergenie. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach*, nr 995, Katowice, s. 258.
- Jania J., 1988b. Klasyfikacja i cechy morfometryczne lodowców otoczenia Hornsundu, Spitsbergen. Wyprawy Polarne Uniwersytetu Śląskiego 1980 - 1984, *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego*, Nr 910, Katowice, s. 12-47.
- Jania J., 1997. *Glaciologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. s. 359 + 40 fot.
- Kolondra L., 2002. Problemy fotogrametrycznego pozyskiwania danych w badaniach glaciologicznych - studium metodyczne na przykładzie Spitsbergenu. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec, 2002, s. 166 + 3 mapy.
- Kolondra L., 2005. Fotogrametria - wiarygodne źródło pozyskiwania danych w badaniach glaciologicznych Spitsbergenu. *Geoinformatica Polonica, Prace Komisji Geoinformatyki, PAU Kraków*, Zeszyt 7, s. 45-73.
- 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.
- Lipert C., 1958. Pomiary fotogrametryczne na Spitsbergenie. *Problemy*, 2(143), Warszawa, s. 146-149.
- Lipert C., 1960. Ruch lodowców na Spitsbergenie. *Problemy*, 2(167), Warszawa.
- 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 Osbornbreen, a tidewater glacier in Svalbard. *Annals of Glaciology*, 24, s. 255-261.

Autorzy pragną złożyć podziękowanie Dr. inż. Krystianowi Pyce za inspirujące dyskusje nt. wykorzystania parametrów teksturalnych w klasyfikacji obrazów satelitarnych oraz mgr. inż. Mariuszowi Twardowskiemu za napisanie programu umożliwiającego konwersję danych z formatu używanego w programie MaZda do formatów stosowanych w systemach GIS.

Praca częściowo finansowana z badań statutowych AGH w Krakowie nr 11.11.150.459.

PRELIMINARY ASSESSMENT OF ASTER IMAGES APPLICABILITY IN MONITORING THE SVALBARD GLACIERS

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 Normalized 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 floats from glaciers.

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

In the last stage of research, 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. This is because glacier dynamics and morphology differ, causing differences in shapes and extent of crevassed areas.

Satisfactory results were achieved after the application of a two-level segmentation procedure: ASTER spectral band 1 segmentation using large scale parameter and then MaZda software computed texture image segmentation with a small-scale factor.

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

Mgr. inż. Małgorzata Błaszczuk
e-mail: mblaszczuk@wodgik.katowice.pl
tel. +32 2091966

Dr inż. Wojciech Drzewiecki
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl
tel. +12 6173993