

## PORÓWNANIE MOŻLIWOŚCI IDENTYFIKACJI STREF LODOWCÓW NA PODSTAWIE OBRAZÓW RADAROWYCH ERS SAR ORAZ ALOS PALSAR

### CAPABILITY OF GLACIER ZONE DETECTION USING RADAR IMAGES - ERS SAR AND ALOS PALSAR

**Małgorzata Błaszczyk**

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geomorfologii

**SŁOWA KLUCZOWE:** polarymetria radarowa, strefy lodowców, Svalbard, ERS SAR, ALOS PALSAR

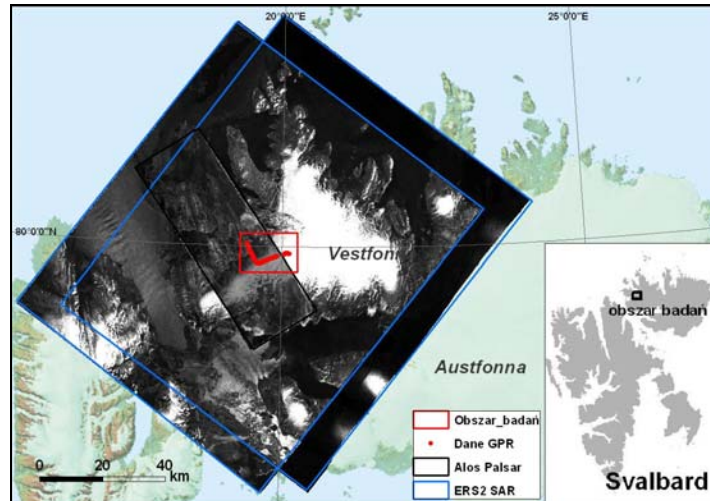
**STRESZCZENIE:** Zaprezentowane zagadnienie dotyczy próby wykorzystania danych radarowych dla wyznaczenia stref lodowcowych. Śledzenie zmian powierzchni stref lodowców jest jedną z metod monitoringu zmian klimatu. Obszar badań obejmuje czapę lodową Vestfonna znajdującą się w północno-wschodniej części Archipelagu Svalbard. W badaniach wykorzystano obraz ALOS PALSAR o pełnej polaryzacji oraz dwa obrazy ERS SAR wykonane w maju 2009 roku. W okresie tym wykonane zostały również naziemne pomiary GPR (*Ground Penetrating Radar*) pozwalające na szczegółowe wyznaczenie stref lodowca oraz kalibrację danych radarowych z danymi naziemnymi. Dla wydzielenia stref lodowców wykonano dekompozycję oraz segmentację obrazów ALOS PALSAR. W drugim podejściu wykonano klasyfikację nienadzorowaną obrazów ALOS PALSAR i ERS SAR. Wyniki porównano z pomiarami GPR oraz z dostępnymi obrazami optycznymi ASTER i Landsat. Prezentowane wstępne wyniki badań oparte na analizach wizualnych wykazały, że zarówno dane o pojedynczej polaryzacji i krótszej fali (ERS SAR) jak i dane o pełnej polaryzacji oraz dłuższej fali (Alos Palsar) wzajemnie się uzupełniają. Oba typy obrazów są wystarczająco czułe dla wyznaczenia głównych stref lodowców i są znacznie lepsze od obrazów optycznych.

#### 1. WSTĘP

Globalne zmiany klimatu są szczególnie wyraźnie dostrzegane w obszarach polarnych, a zwłaszcza w Arktyce. Monitoring zmian środowiska w Arktyce obejmuje m.in. zagadnienie bilansu masy lodowców. Zaprezentowane zagadnienie dotyczy próby wykorzystania danych radarowych ERS SAR oraz danych o pełnej polaryzacji Alos Palsar dla wyznaczenia stref lodowcowych. Strefy lodowca są to wyraźne strefy lodu i śniegu będące skutkiem różnicy klimatu wraz ze wzrostem wysokości oraz odległości od morza. Strefy te są czułe na czynniki środowiskowe zwłaszcza na temperaturę, dlatego są uważane jako pośredni identyfikator zmian klimatu (Pellicka, Rees, 2009). Wyznaczenie powierzchni stref lodowców umożliwia obliczenie bilansu masy lodowca i dostarczenie informacji o tym jak mają się lodowcowe dochody (akumulacja, czyli zasilanie) do strat (abłacja, czyli wytapianie).

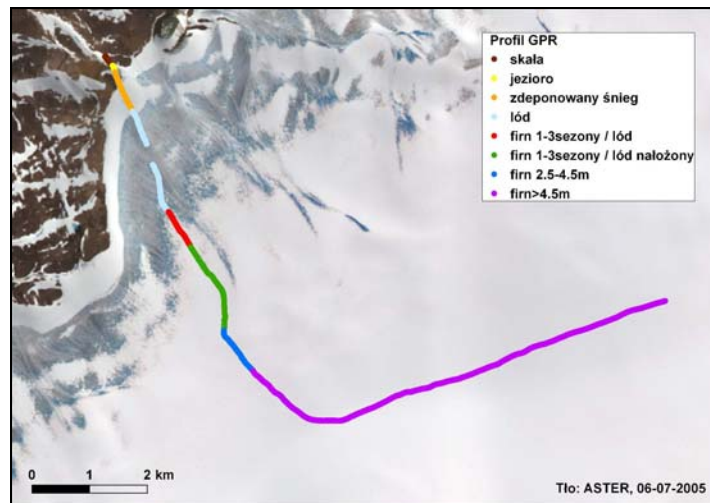
Obszar badań obejmuje czapę lodową Vestfonna znajdującą się w północno-wschodniej części Archipelagu Svalbard. Powierzchnia testowa wynosi ok. 230 km<sup>2</sup>.

Zasięg przestrzenny użytych obrazów radarowych i obszar badań przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Obszar badań oraz zasięg przestrzenny użytych obrazów

W maju 2009 na obszarze tym wykonane zostały naziemne pomiary GPR (*Ground Penetrating Radar*) w ramach IV Międzynarodowego Roku Polarnego (rys. 2). Dane te pozwoliły na szczegółowsze niż dotychczas wyznaczenie stref lodowca na obrazach SAR oraz kalibrację danych radarowych z danymi naziemnymi.



Rys. 2. Naziemny profil radarowy (GPR) i jego interpretacja

Do obserwacji facji lodowych stosuje się obrazy radarowe z zimy lub wiosny, kiedy zostaje utrwalona sytuacja z poprzedniego roku bilansowego. Przewagą tych systemów jest nieczułość na zachmurzenie oraz noc polarną, jak również to, że sygnał penetruje

powierzchniową warstwę lodowca, zatem powracający sygnał niesie informację o strefie glacialnej przykrytej świeżymi opadami śniegu. Nieliczne badania prowadzone na obszarze Svalbardu wykazały przydatność monitoringu trzech głównych stref glacialnych lodowców na obrazach ERS SAR: strefy firnu, lodu nałożonego i ablacji (Engeset *et al*, 2002; König *et al*, 2004). Jednak dotychczasowe badania były wykonane z wykorzystaniem danych o pojedynczej polaryzacji ERS SAR i poddają w wątpliwość wydzielenie strefy lodu nałożonego. Nie ma także prac na temat dyskryminacji stref glacialnych na Svalbardzie z użyciem danych o pełnej polaryzacji. Głównym celem niniejszych badań jest rozwój nowych metod rozróżniania facji lodowców z wykorzystaniem różnych metod dekompozycji obrazów SAR. W badaniach oceniono możliwość szczegółowszego niż dotychczas rozróżnienia stref lodowców na Svalbardzie na podstawie polaryzacyjnych danych radarowych ALOS PALSAR i porównano je z obrazami ERS SAR.

Obrazy ALOS PALSAR pracujące w paśmie L cechuje lepsza koherencja czasowa. Ponadto pasmo L charakteryzuje się większą długością fali (24 cm) niż pasmo C (5.7 cm) wykorzystywane przez satelity ERS i Envisat. Wiąże się to z głębszą penetracją pokrywy śnieżnej ponieważ suchy śnieg zachowuje się jak przezroczyste medium. Obrazy o polaryzacji zachowanej (*Co-polarized ratios*) (HH/VV) oraz krzyżowej (*cross-polarized ratios*) (HV/HH, VH/VV) cechują się różną charakterystyką w zależności od rodzaju pokrywy lodu i śniegu (gęstość, wielkość ziaren). Obrazy zarejestrowane w polaryzacji krzyżowej dostarczają informacji o rozproszeniu objętościowym, a w polaryzacji zachowanej VV i HH odzwierciedlają raczej mechanizm odbicia powierzchniowego. Dodatkowo, oprócz pomiaru wielkości amplitud odbitego sygnału, różnice fazy powracającej fali spolaryzowanej w płaszczyźnie HH i VV dostarczają informacji nt. struktury powierzchni odbijającej (Massom, Lubin, 2006).

## 2. METODYKA I PRZETWARZANIE DANYCH SATELITARNYCH SAR

### 2.1. Charakterystyka systemów ERS SAR i Alos Palsar

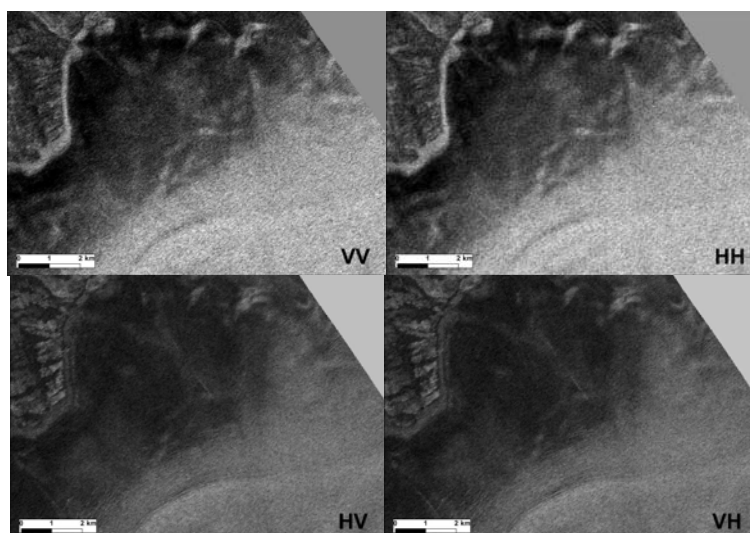
W analizowanym zestawie danych radarowych znalazły się: obraz radarowy o pełnej polaryzacji Alos Palsar oraz dwa amplitudowe obrazy ERS SAR wykonane w maju 2009 roku. Wybrano obrazy wykonane w terminach, w których dla badanego obszaru panowały ujemne temperatury oraz zanotowano brak opadów deszczu, ponieważ topnienie powierzchni lodowców ogranicza głębokość penetracji mikrofal do kilku centymetrów. Termin zdjęć był również determinowany datą przeprowadzenia naziemnych pomiarów radarowych GPR (*Ground Penetrating Radar*) wykonanych w dniach 18-19.05.2009 (rys. 2). Dane GPR stanowiły klucz fotointerpretacyjny dla satelitarnych danych radarowych. Charakterystykę wykorzystanych obrazów przedstawia Tabela 1.

Tabela. 1. Charakterystyka danych radarowych wykorzystanych w pracy

Sensor	Data rejestracji	Polaryzacja	Nr orbity	Produkt
Alos Palsar	20090522	HH, HV, VH, VV	17719, Ascending	P1.1
ERS SAR	20090504	VV	73395, Descending	IMP
ERS SAR	20090520	VV	73624, Descending	IMP

Skaner SAR satelity ERS pracuje w częstotliwości 5.3 GHz (długość fali w próżni wynosi 5,66 cm), a emisja i odbiór odbywa się w jednej pionowej polaryzacji (VV). Kąt padania wiązki na płaszczyznę poziomą w środku ścieżki wynosi 23°. Pełna scena pokrywa obszar ok. 100 x 100 km. W badaniach użyto amplitudowe obrazy w formacie PRI (*Precision Image*) zawierające korektę systemową i jednakową wielkość piksela 12.5 x 12.5 m. Dodatkowo wykonano takie procedury kalibracyjne jak: korekcja terenowa, korekcja diagramu anteny, korekcja efektu „soli i pieprzu” (filtr Speckle Lee, okno 5x5).

Japoński satelita Alos (*Advanced Land Observing Satellite*) został wyniesiony na orbitę 24 stycznia 2006 roku i pracował do kwietnia 2011 roku. Satelita poruszał się po orbicie okołobiegunowej heliosynchronicznej o nachyleniu 98.16° i wysokości 691.65 km. Interwał obrazowania wynosił 46 dni. Urządzenie Palsar (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) to radiolokator SAR pracujący w paśmie L. Długość fali wynosi 24 cm, a częstotliwość 1270 MHz. Kąt padania wiązki wynosi 18° – 55°. PALSAR posiada cztery tryby obrazowania: *Fine Resolution*, *ScanSAR*, *Polarimetric* oraz *Direct Downlink* dostarczające obrazy o różnej rozdzielczości, szerokości pasa oraz polaryzacji (Jaxa, 1997).



Rys. 3. Fragment obrazu pełnopolarymetrycznego, Alos Palsar 22-05-2009

W badaniach użyto obraz w trybie *Polarimetric* charakteryzujący się rozdzielczością przestrzenną w kierunku zasięgu 9.4 m, a w kierunku azymutu 3.8 m, szerokością pasa 24 km, długością 70 km i pełną polaryzacją (rys. 3). Produkty zawierały dane zespolone (*Single Look Complex*) dostarczające informacje o intensywności i fazie zarejestrowanego sygnału. Dystorsja terenowa została usunięta z wykorzystaniem NMT utworzonego z warstwic mapy w skali 1:100 000, w układzie UTM strefa N34.

## 2.2. Metoda przetwarzania

Polarymetria radarowa jest techniką polegającą na badaniu obiektów przy różnej polaryzacji wiązki radarowej. Radary SAR wysyłają kolejno sygnały o polaryzacji pionowej (V) i poziomej (H) i odbierają obydwie składowe polaryzacyjne. W ten sposób

tworzy się cztery obrazy o polaryzacjach VV, HH, VH i HV dające kompletny opis właściwości rozpraszających, odbijających i depolaryzujących obiektu. Najbardziej powszechne w teledetekcji - polaryzacja w płaszczyźnie H i V - to tylko dwa szczególne przypadki znacznie bardziej skomplikowanego zestawu możliwych stanów polaryzacyjnych. W teorii, każdy stan polaryzacji może zostać opisany przy pomocy dwóch parametrów elipsy: współczynnik eliptyczności (*ellipticity*) oraz kąt pomiędzy osią x oraz główną półosią elipsy (*orientation*). Współczynnik eliptyczności opisuje tendencję fali elektromagnetycznej do obrotu jej płaszczyzny polaryzacji wokół osi, wzdłuż której rozchodzi się fala. Współczynnik eliptyczności dla fal spolaryzowanych poziomo wynosi  $0^\circ$ , natomiast kąt orientacji  $0^\circ$  i  $180^\circ$ . Fala spolaryzowana pionowo ma współczynnik eliptyczności  $0^\circ$  i orientację  $90^\circ$  (Lillesand *et al.*, 2008). Informacja o polaryzacji zawarta w fali odbitej od danego ośrodka zależy od struktury geometrycznej, kształtu, orientacji, właściwości geofizycznych (wilgotność, szorstkość) powierzchni odbijającej oraz kąta padania na powierzchnię. Spolaryzowana fala elektromagnetyczna ma naturę wektorową, a charakterystyka polaryzacji obiektu może być opisana jest za pomocą macierzy rozproszenia [S] lub macierzy koherencji [T] (ESA, 2012). W badaniach wykorzystano darmowe programy udostępniane przez Europejską Agencję Kosmiczną: Polsarpro (PolsarPro, 2012) dedykowany przetwarzaniu obrazów polaryzacyjnych oraz NEST dedykowany wizualizacji i wstępnemu przetwarzaniu danych radarowych (Nest, 2012).

### Pauli RGB

Celem dekompozycji koherentnej jest wizualizacją danych przez uproszczenie danych wielowymiarowych zawartych w macierzy rozpraszania [S]. Ilość dekompozycji jest nieskończona, jednak tylko niektóre z nich dają możliwość wyciągnięcia przydatnych informacji. W badaniach zaprezentowano dekompozycję *Pauli'ego*, która wykorzystuje liniową kombinację obrazów o różnej polaryzacji ( $S_{hh}+S_{vv}$ ,  $S_{hh}-S_{vv}$ ,  $S_{hv}$ ). Dekompozycja ta daje informację o odbiciu rozproszonym pojedynczym lub nieparzystym (*single- or odd-bounce*) charakterystycznym dla obiektów naturalnych, podwójnym lub parzystym (*double- or even-bounce scattering*) występującym na obszarach zabudowanych oraz rozproszeniu objętościowym (*volume scattering*) spotykanym głównie na obszarach pokrytych roślinnością (ESA, 2012).

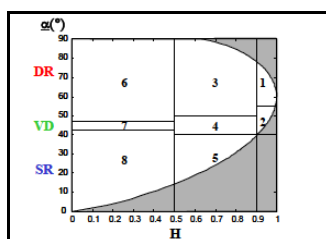
### Dekompozycja H/A/ $\alpha$

Opisana wyżej dekompozycja koherentna macierzy rozpraszania może być zastosowana w przypadku rozpraszaczy koherentnych, czystych (*pure targets*). Jednak ze specyfiki obrazowania mikrofalowego SAR wynika, że wartość zarejestrowanego sygnału jest koherentną sumą odbić od obiektów elementarnych znajdujących się wewnątrz komórki rozdzielczości. Powierzchnie naturalne jak lodowiec są uważane obiekty rozciągłe - zbiór rozpraszaczy punktowych (*distributed scatterers*), dlatego lepsze wyniki może dać zastosowanie dekompozycji niekoherentnej. Wykorzystana w badaniach technika dekompozycji H/A/ $\alpha$  bazuje na trzech wartościach własnych ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ) macierzy koherencji [T]. Wynikiem dekompozycji są trzy parametry: Entropia - H, Anizotropia - A oraz  $\alpha$  - kąt średni, korespondujące z typem rozproszenia. Studium mechanizmu rozpraszania przeprowadza się głównie w oparciu o analizę parametru  $\alpha$ . Wartości  $\alpha$  dążące do 0 mówią o pojedynczym odbiciu rozproszonym od powierzchni szorstkiej. Wartości kąta dążące do  $\pi/4$  korespondują z rozproszeniem objętościowym, charakterystycznym głównie dla pokrywy roślinnej. Wartości  $\alpha$  zbliżone do  $\pi/2$  oznaczają podwójne odbicie

charakterystyczne dla powierzchni zurbanizowanych. W dalszych krokach analizowane są parametry Entropia i Anizotropia. Wartości Entropii bliskie 0 charakteryzują występowanie jednego silnego mechanizmu rozproszenia w obrębie piksela. Wysokie wartości Entropii (bliskie 1) cechują piksele rejestrujące powierzchnię jako zbiór rozpraszaczy punktowych (różne mechanizmy odbicia w komórce piksela), np. dla lasów gdzie mamy do czynienia z rozpraszaniem zarówno jednokrotnym od ziemi, jak i dwukrotnym od pni drzew i objętościowym (odbicie i rozpraszanie na liściach, korony drzew).  $A$  – Anizotropia jest parametrem komplementarnym do Entropii. Informuje o szorstkości powierzchni odbijającej. Praktycznie jest trudna do interpretacji i może być źródłem informacji kiedy  $H > 0.7$  (ESA, 2012).

### Segmentacja danych polarymetrycznych

W celu interpretacji otrzymanych dekompozycji zastosowano dwa klasyfikatory *Wishart-H/A/alpha classification* oraz *Wishart-H/alpha classification*. Klasyfikacja *Wishart-H/alpha* odbywa się w płaszczyźnie  $H$ - $\alpha$ , a główną ideą jest użycie parametru  $\alpha$  do wyznaczenia charakteru głównego mechanizmu rozpraszania jaki zachodzi na badanej powierzchni. Przestrzeń  $H$ - $\alpha$  jest dzielona na 8 podstawowych klas w sposób umożliwiający rozróżnienie rodzaju rozpraszania: pojedynczego odbicia powierzchniowego, dwukrotnego odbicia oraz rozproszenia objętościowego (rys. 4).



Rys. 4. Przestrzeń klasyfikatora mechanizmu rozpraszania w płaszczyźnie  $H$ - $\alpha$ : SR – odbicie pojedyncze (*surface reflection*), VD – rozproszenie objętościowe (*volume diffusion*), DB – odbicie podwójne (*double bounce reflection*); za: ESA, 2012

Informacje powiązane z każdą z klas mogą być następnie użyte do identyfikacji powierzchni pokrycia terenu, np. piksele przynależące do klasy 8 mają charakter odbicia jednokrotnego i powierzchniowego. Do stref 2 i 4 przyporządkowane są głównie piksele z obszarami roślinnymi, a do strefy 3 zabudowa blokowa. Klasyfikator  $H/A/\alpha$  utworzony został na bazie powyższego, a w procesie segmentacji używa również Anizotropii.

### Klasyfikacja nienadzorowana k-means

W ostatnim etapie przeprowadzono również klasyfikację nienadzorowaną pojedynczych obrazów amplitudowych (HH, VV, HV, VH), klasyfikację nienadzorowaną wszystkich kanałów i składowych głównych obrazu ALOS PALSAR oraz dwóch obrazów ERS SAR. Klasyfikację pikselową przeprowadzono przy użyciu procedury *k-means* (wydzielano 8 i 16 klas) zaimplementowanej w programie NEST.

## 3. WYNIKI I WSTĘPNA INTERPRETACJA

Wyniki dekompozycji i segmentacji porównano z pomiarami GPR oraz z dostępnymi

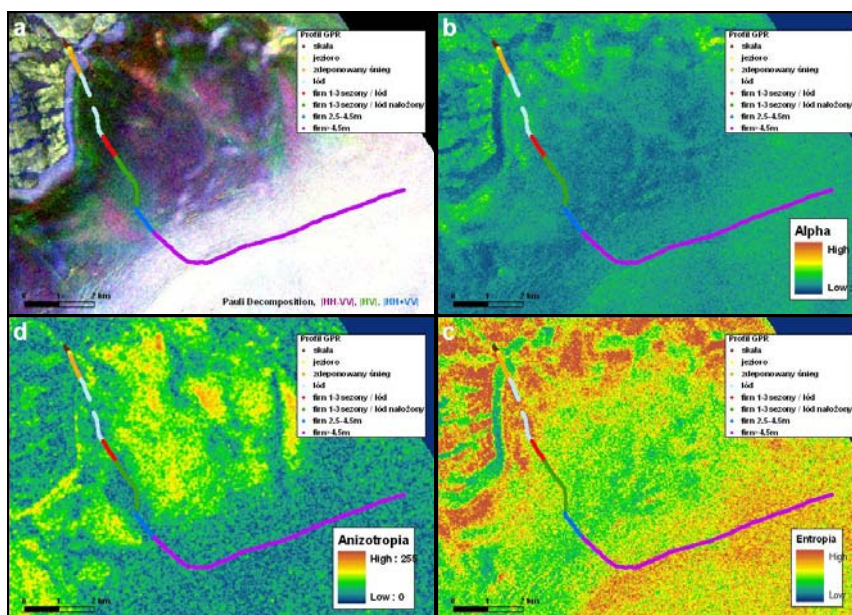
obrazami optycznymi ASTER i Landsat. Prezentowane wyniki są wstępными wnioskami opartymi na analizach wizualnych.

### Pauli RGB

Wyniki dekompozycji Pauli RGB danych pełnopolarymetrycznych przedstawiono na rysunku 5a. Dekompozycja ta daje ogólny obraz zróżnicowania typu odbicia. Kolor niebieski (HH+VV) wskazuje na obszary pokryte śniegiem, o mechanizmie rozproszenia poprzez pojedyncze odbicie. W tym przypadku dobrze pokazuje obszary zdeponowanego śniegu. Kolor zielony (HV) oddaje charakter rozproszenia objętościowego, a fioletowy (HH-VV) podwójnego na badanym obszarze. Dekompozycja Pauli jest wstępnym krokiem wykonywanym dla ogólnego zapoznania z charakterem badanego obszaru. Jednak jak przedstawiono wyżej w tekście dekompozycja Pauli RGB nie jest idealnym rozwiązaniem dla obszarów naturalnych i obiektów rozciągniętych.

### Dekompozycja H/A/ $\alpha$ Wishart

Wyniki dekompozycji H/A/ $\alpha$  przedstawiono na rysunku. 5b-d. Wartości parametru  $\alpha$  dają obraz podobny do wyników dekompozycji Pauli. Obszary granatowe (wartości dążące do 0) wskazują obszary o pojedynczym odbiciu od szorstkiej powierzchni. Tutaj to głównie obszar zdeponowanego śniegu oraz warstwy firnu zmetamorfizowanego (firn 2.5-4.5 m). Na obszarach tych mamy również niskie wartości Entropii wskazujące na występowanie jednego silnego mechanizmu rozproszenia w obrębie piksela. Warstwa młodego firnu, pod którym znajduje się lód nałożony ma wartości  $\alpha$  pomiędzy 0 a  $\pi/4$ , czyli powierzchnię tą cechują dwa typy rozproszenia: pojedyncze oraz objętościowe. Wartości  $\alpha$  bliskie  $\pi/4$  (kolor zielony) na obszarze lodu wskazują na charakter rozproszenia objętościowego.



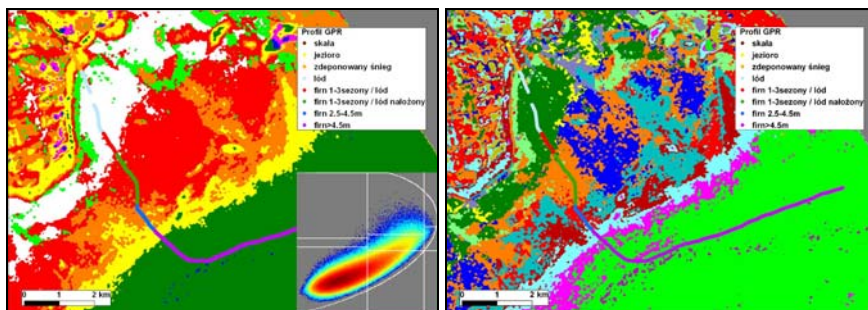
Rys. 5. Wybrane wyniki dekompozycji: a) dekompozycja Pauli RGB; b) Alfa; c) Anizotropia; d) Entropia

Jednak wysokie wartości Entropii na tym obszarze wskazują, że występują tam obszary z różnym mechanizmem rozpraszania w komórce piksela. Wartości  $\alpha$  zbliżone do  $\pi/2$  informujące o rozproszeniu podwójnym są charakterystyczne dla obszarów zabudowanych i nie występują na badanym obszarze. Anizotropia wykazuje bardzo zróżnicowane zachowania na obszarze lodowca, a jej interpretacja jest trudna do interpretacji bez bezpośredniej analizy struktury i szorstkości powierzchni lodu na badanym obszarze.

Warto podkreślić, że użyte w badaniach parametry nie reprezentują wszystkich właściwości/informacji polaryzacyjnych. W badaniach przedstawiono tylko najbardziej popularne parametry i dekompozycje. Program PolsarPro umożliwia wykonanie znacznie większej ilości analiz, dysponuje innymi klasyfikatorami oraz pozwala na klasyfikację nadzorowaną.

### Segmentacja danych polaryzacyjnych

Badany obszar charakteryzują różne typy rozproszenia. Z rozkładu pikseli w wydzielonych klasach wynika, że większość pikseli została przydzielona do klasy 8 (rys. 4 i 6a). Czyli większość powierzchni na analizowanym obszarze ma charakter rozproszenia płaszczyznowego i przeważa na nim jeden silny mechanizm rozproszenia w obrębie piksela. Niewielka część pikseli przypada na rozproszenie objętościowe. Część powierzchni lodowca charakteryzuje się występowaniem różnych mechanizmów rozpraszania. Otrzymane wyniki pokazują, że segmentacja obrazu przy użyciu klasyfikatora  $H/A/\alpha$  Wishart jest dokładniejsza i bardziej szczegółowa niż przy użyciu klasyfikatora  $H/\alpha$  Wishart (rys. 6). Np. rozróżnia górne warstwy firnu (o grubości poniżej i powyżej 4,5 m). Warto podkreślić, że klasyfikator wydziela więcej klas niż rozpoznano na danych naziemnym GPR. Jednak żadna z obu segmentacji nie rozróżniła strefy lodu od strefy lodu pokrytego młodym firnem. Najprawdopodobniej warstwa 1-3-letniego firnu jest przezroczysta dla pasma L.



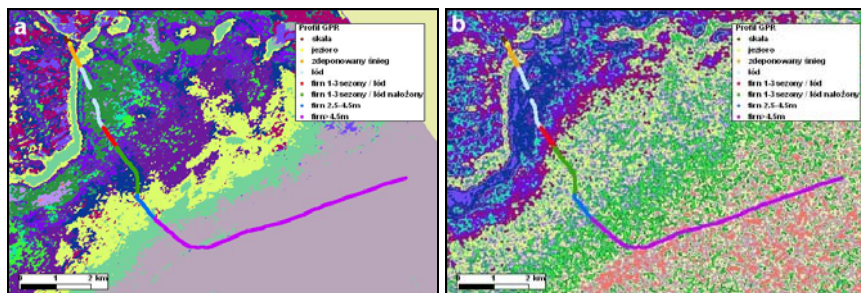
Rys. 6. Wyniki segmentacji danych polaryzacyjnych z użyciem klasyfikatorów: a)  $H/\alpha$  Wishart (w oknie – klasyfikacja pikseli w płaszczyźnie  $H/\alpha$ ); b)  $H/A/\alpha$  Wishart

Jak widać złożoność charakteru rozpraszania przez różne struktury śniegu i lodu uniemożliwia jednoznaczną interpretację obrazów oraz identyfikację stref bez wykonania wierceń rdzeni lodowych oraz większej ilości profili radarowych (GPR). Jednak wstępna analiza wizualna pozwala wnioskować o przydatności klasyfikatora  $H/A/\alpha$  Wishart do analizy powierzchni lodowca, a co się z tym wiąże do analiz bilansu masy lodowca.



### Klasyfikacja k-means

Najlepsze i podobne wyniki dały klasyfikacja pierwszej i drugiej składowej głównej PCA oraz klasyfikacja wszystkich danych polaryzacyjnych przy użyciu 16 klas. Przeprowadzono również klasyfikację nienadzorowaną dwóch obrazów ERS SAR (rys. 7).



Rys. 7. Wyniki klasyfikacji nienadzorowanej *k-means* przeprowadzonej na: a) danych o pełnej polaryzacji (HH, VV, HV, VH); b) obrazie ERS SAR

W ostatnim etapie wykonano analizę wizualną. Segmentacja i klasyfikacja obrazów Alos Palsar dała lepsze wydzielenie klas, jednak jest to prawdopodobnie wynikiem formatu dostarczonych danych (SLC). Obrazy ERS SAR w formacie PRI zawierały więcej szumów i są trudne dla analiz ilościowych, pomimo zastosowania różnych filtrów. Warto podkreślić, że oba rodzaje wykorzystanych danych radarowych mają swoje plusy i minusy. Na obrazach Alos Palsar znacznie lepiej rozdzielone zostały dwie najwyższe strefy firnu (2.5 - 4.5 m oraz >4.5 m). Natomiast, w przeciwieństwie do obrazów Alos Palsar, na obrazach ERS SAR strefa lodu została rozróżniona od strefy lodu pokrytego młodym (1-3 lata) firnem. Zatem fakt, że obrazy ERS SAR cechują się krótszą falą i mniejszym przenikaniem przez wierzchnią warstwę śniegu i firnu jest w tym wypadku korzystny.

## 4. PODSUMOWANIE

Prezentowane wstępne wyniki badań oparte na analizach wizualnych wykazały, że zarówno dane o pojedynczej polaryzacji i krótszej fali (ERS SAR) jak i dane o pełnej polaryzacji i dłuższej fali (Alos Palsar) wzajemnie się uzupełniają. Oba typy obrazów są wystarczająco czułe dla wyznaczania głównych stref lodowców i są znacznie lepsze od optycznych obrazów ASTER i Landsat. Dalsze badania wymagają zagęszczenia profili radarowych (GPR), a także wykonania wierceń i analizy rdzeni lodowych w poszczególnych strefach glacialnych. Porównanie wyników takich analiz z obrazami polaryzacyjnymi pozwoli na określenie jaki mechanizm rozproszenia dotyczy danego obszaru lodowca.

## 5. LITERATURA

Engeset, R.V., Kohler J., Melvold K., Lundeon B., 2002. Change detection and monitoring of glacier mass balance and facies using ERS SAR winter images over Svalbard. *International Journal of Remote Sensing*, 23(10), s. 2023-2050.

ESA, 2012. <http://envisat.esa.int/polsarpro/tutorial.html>

Jaxa, 1997. <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>

Lillesand T.M., Kieler R.W., Chapman J.W., 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Willey, ss. 756.

König M., Winther J.G., Kohler J., König F., 2004. Two methods for firn-area and mass-balance monitoring of Svalbard glaciers with SAR satellite images. *Journal of Glaciology*, 50(168), s. 116-128.

Massom R., Lubin D., 2006. *Polar Remote Sensing. Ice sheets*. Vol. II, Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, ss. 426.

Nest, 2012. <http://nest.array.ca/web/nest>

Pellikka P., Gareth Rees W., 2009. *Remote Sensing of Glaciers: Techniques for Topographic, Spatial and Thematic Mapping of Glaciers*. CRC Press/Balkema, ss. 315.

PolsarPro, 2012. <http://earth.eo.esa.int/polsarpro/>

Badania finansowano z projektów: AWAKE, SvalGlac oraz Ice2Sea. Obrazy radarowe SAR © ESA (Project No C1P.9630).

## **CAPABILITY OF GLACIER ZONE DETECTION USING RADAR IMAGES - ERS SAR AND ALOS PALSAR**

KEY WORDS: polarymetry, glacier zones, Svalbard, ERS SAR, ALOS PALSAR

### **Summary**

This paper presents a method for determination of glacial zone using radar images. Monitoring of glacial zones is one of the method for observing climate changes. ERS SAR and full polarimetric L-band ALOS PALSAR data from May 2009 have been used for mapping ice facies on ice-cap Vestfonna in north-eastern part of Svalbard Archipelago. In the same time GPR (*Ground Penetrating Radar*) measurements were conducted. For detection of ice facies, polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier were applied on ALOS PALSAR data. Next unsupervised classification was made on radar amplitude images and components of PCA (Principal Component Analysis) of ALOS data. Also unsupervised classification of ERS SAR data was made. Obtained results were validated using GPR profile from field campaign and compared with optical images ASTER and Landsat as well. Preliminary results presented here are based on visual analysis and are found satisfactory. Observations show that both, C-band ERS SAR with single polarization as well as fully polarimetric L-band Alos Palsar data are useful for glacier zones determination and complement one another. When comparing results of segmentation and classification with GPR it is seen, that there is better discrimination between of ice zone and ice covered with young firn (1-3 seasons) on ERS SAR. That is probably the result of shorter wavelength of C-band of ERS SAR. On the other hand – from the same reason – there is better discrimination of firn zones in the upper, accumulation parts of glacier on ALOS PALSAR data. Nevertheless, research proved much better capabilities of glacier ice monitoring on radar data, than on optical ASTER and Landsat images. Detailed analysis of obtained result require to carry out further research such as: more GPR profiles and ice cores in every ice zone of glacier. That will allow to discriminate scattering mechanism characteristic of glacier zones.

Dane autora:

Dr inż. Małgorzata Błaszczuk  
e-mail: [malgorzata.blaszczuk@us.edu.pl](mailto:malgorzata.blaszczuk@us.edu.pl)  
telefon: 32 368 98 96