



Wykorzystanie satelitarnych danych teledetekcyjnych do odróżniania pokrywy śnieżnej od zachmurzenia

ANNA WOLSZCZAK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, akowerdziej@wat.edu.pl

Streszczenie. Celem przeprowadzonych badań jest opracowanie skutecznej metody odróżniania pokrywy śnieżnej od zachmurzenia na zdjęciach satelitarnych. Pokrywa śnieżna i zachmurzenie to obiekty, których prawidłowe rozpoznanie na zdjęciach za pomocą metod wizualnych jest bardzo trudne lub nawet niemożliwe. Artykuł prezentuje metodę detekcji zachmurzenia i pokrywy śnieżnej dla danych satelitarnych Meteosat 9.

Przedstawiona procedura bazuje na wielospektralnej technice progowej. Dla każdego piksela obliczono wartość temperatury jasnościowej, współczynnik odbicia oraz wskaźnik Normalised Differential Snow Index (NDSI). Następnie dla obliczonych wartości ustalono optymalne progi, na podstawie których dokonano klasyfikacji pikseli.

Otrzymane wyniki pokazują, że opracowany algorytm działa prawidłowo dla zdjęć, na których został opracowany, a także dla tych, które zostały wykonane w zbliżonych warunkach (godzina wykonania zdjęcia, pora roku). Na pozostałych zdjęciach, dla których przeprowadzono badanie, można stwierdzić występowanie pikseli błędnie zaklasyfikowanych. Związane jest to m.in. ze zmianą ilości docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania w zależności od pory roku i innym kątem padania promieni słonecznych.

W badaniach wykorzystano zdjęcia cyfrowe pozyskane za pośrednictwem serwisu Europejskiej Organizacji Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych.

Słowa kluczowe: teledetekcja, detekcja zachmurzenia i pokrywy śnieżnej, współczynnik odbicia, temperatura jasnościowa, wskaźnik NDSI

1. Wstęp

Promieniowanie elektromagnetyczne jest podstawowym źródłem pozyskiwania informacji w rozpoznaniu środowiska. W teledetekcji obiekty są rozpoznawane

głównie poprzez analizę zdjęć cyfrowych. Rozkład promieniowania emitowanego przez badany obiekt świadczy o jego właściwościach, które pozwalają na jego identyfikację i interpretację.

Jednoznaczne wyróżnienie obiektu z tła tylko za pomocą metod wizualnych często jest niemożliwe ze względu na ograniczone możliwości narzędzia, jakim jest oko ludzkie. Zjawisko to dotyczy także wyróżniania pokrywy śnieżnej i zachmurzenia na zdjęciach satelitarnych, które bez zastosowania cyfrowego przetwarzania obrazów i wykorzystania spektralnych właściwości obiektu nie jest możliwe. Dlatego zagadnienie jest bardzo istotne ze względu na poprawną interpretację i identyfikację tych obiektów.

Szczególną zaletą zaproponowanego w pracy rozwiązania jest minimalizacja udziału czynnika ludzkiego w procesie pozyskiwania nowych informacji, co jest znaczące z uwagi na dużą rozdzielczość czasową, z jaką można pozyskiwać dane satelitarne. Detekcja zachmurzenia i pokrywy śnieżnej za pomocą zbudowanego algorytmu zapewnia obiektywną ocenę interpretowanych danych.

2. Cel

Celem badań jest uzyskanie nowej informacji za pośrednictwem danych tele-detekcyjnych: temperatury jasnościowej, współczynnika odbicia oraz wykorzystania obliczonych danych do stworzenia algorytmu pozwalającego na odróżnienie zachmurzenia od pokrywy śnieżnej.

Zaproponowane rozwiązanie prezentuje sposób otrzymania dwóch dodatkowych warstw w postaci pikseli śniegu i zachmurzenia. Wyniki pracy zobrazowano na tle kompozycji barwnej rekomendowanej przez organizację EUMETSAT do wyróżniania śniegu.

Badania zostały przeprowadzone na surowym produkcie, jakim jest zdjęcie satelitarne wykonane z pokładu satelity geostacjonarnego Meteosat Second Generation (MSG) przy wykorzystaniu informacji zawartych w komponencie nagłówka.

3. Dane wejściowe

Dane zostały pozyskane w dniu 28.03.2012 o godzinie 13:12 UTC przez satelitę Meteosat 9 instrumentem SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Instrument*). Zdjęcia wykonane 28 marca pozwoliły na zaobserwowanie zarówno chmur, jak i pokrywy śnieżnej. Badania zostały przeprowadzone również dla danych z dnia 13.02.2013 dla godziny 10:00 UTC oraz 25.07.2012 godz. 12:27 czasu UTC w celu sprawdzenia poprawności działania algorytmu. Wykonanie badań dla trzech różnych zestawów zdjęć pozwoliło na optymalne dobranie parametrów algorytmu.

Zróznicowane pod względem daty i godziny wykonania kolekcje danych wejściowych pozwoliły również na ocenę wpływu czasu wykonania zdjęcia na wynik algorytmu. Badania wykonane dla danych z dnia 25.07.2012 umożliwiły pokazanie wpływu pory roku wykonania zdjęć wejściowych na otrzymane rezultaty.

Meteosat 9 należy do serii satelitów geostacjonarnych, które zostały wystrzelone w celu obserwacji pogody i badań meteorologicznych. Satelita umieszczony jest na 0° szerokości geograficznej i 0° długości geograficznej, i dostarcza obrazów całej półkuli z rozdzielczością czasową 15 minut. Meteosat 9 wykonuje zdjęcia w 11 kanałach spektralnych o zakresie widma od 0,6 μm do 14 μm oraz w kanale HRV o wysokiej rozdzielczości.

Rozdzielczość przestrzenna w 11 kanałach wynosi 3 km w nadirze, zaś 1 km dla kanału HRV [1]. Charakterystykę poszczególnych kanałów wraz z rejestrowanym przez skaner zakresem widma zawiera tabela 1.

TABELA 1
Charakterystyka kanałów spektralnych satelity Meteosat 9

Numer kanału	Kanał	Rejestracja	Centralna długość fali [μm]	Zakres spektralny [μm]
1	VIS 0.6	VNIR	0,635	0,56-0,71
2	VIS 0.8	VNIR	0,81	0,74-0,88
3	IR 1.6	VNIR	1,64	1,50-1,78
4	IR 3.9	IR / Window	3,92	3,48-4,36
5	IR 6.2	Water Vapour	6,25	5,35-7,15
6	IR 7.3	Water Vapour	7,35	6,85-7,85
7	IR 8.7	IR / Window	8,70	8,30-9,10
8	IR 9.7	IR / Ozone	9,66	9,38-9,94
9	IR 10.8	IR/Window	10,80	9,80-11,80
10	IR 12.0	IR/Window	12,00	11,00-13,00
11	IR 13.4	IR/Carbon dioxide	13,40	12,40 — 14,40
12	HRV	Visible	Nominally 0,75	0,6-0,9

Dane satelitarne do badań pozyskano w formacie HD5 jako produkt 1.5. Produkt 1.5 stanowi jeden z głównych produktów systemu METEOSAT. Dane te są odpowiednie do pozyskiwania nowych produktów meteorologicznych i dalszego przetwarzania [2]. Dane poziomu 1.5 składają się z danych graficznych (tab. 2) oraz komponentów, w których zawarte są informacje niezbędne do umożliwienia pełnej ich interpretacji oraz dalszego przetwarzania. Struktura danych poziomu 1.5 udostępniana użytkownikom podzielona jest na trzy części. Poszczególne pakiety zawierają następujące dane:

1. Data Header — dane dostępne na początku cyklu skanowania,
2. Image Line — informacja graficzna,
3. Data Trailer — informacje dostępne po skanowaniu (zapisaniu informacji graficznej).

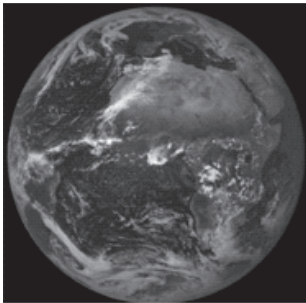
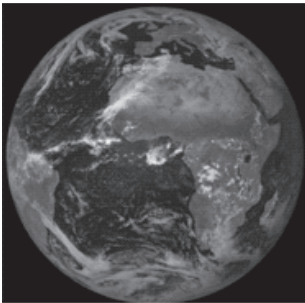
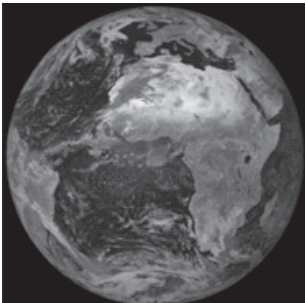
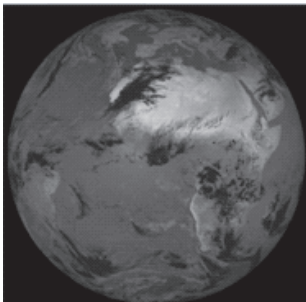
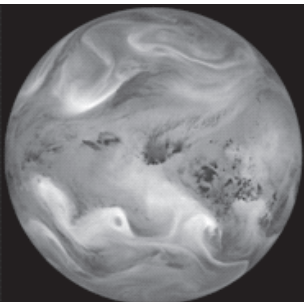
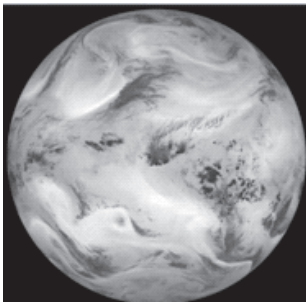
W zależności od możliwości systemu wykorzystywanego do dostępu do informacji użytkownik ma dostęp do całej struktury danych lub do poszczególnych części.

Pełna informacja satelitarna graficzna (zapisana z rozdzielczością radiometryczną 10 bitów) oraz opisowa (komponent nagłówka) udostępniana jest przez EUMETSAT.

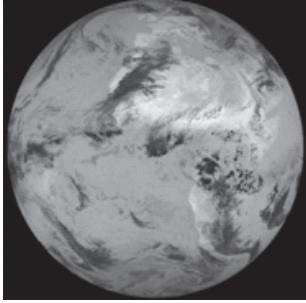
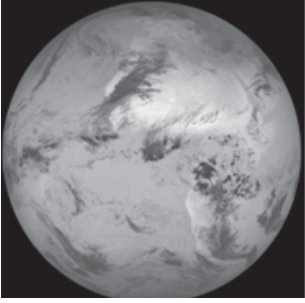
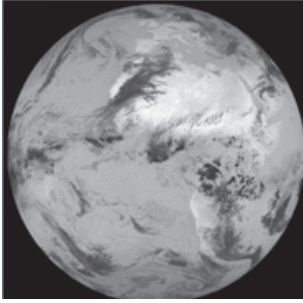
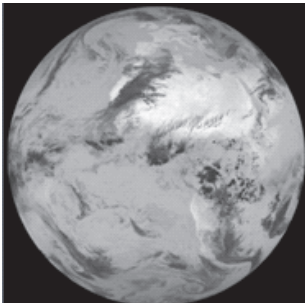
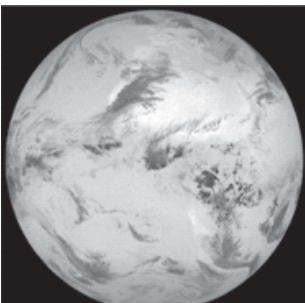
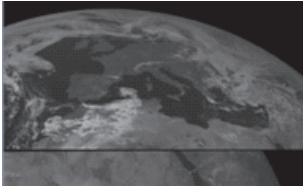
Warto podkreślić, że w pracy tej korzystano z surowych danych udostępnianych użytkownikom przez Europejską Organizację Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych za pośrednictwem portalu. Wszystkie operacje przetwarzania obrazu zostały wykonane w programach Matlab i Erdas Imagine. W pracy nie wykorzystywano oprogramowania SEVIRI ani innego przystosowanego do cyfrowego przetwarzania obrazów z Meteosata.

TABELA 2

Zdjęcia wykonane przez satelitę Meteosat 9 w 12 kanałach dnia 28.03.2012

Kanał 1	Kanał 2	Kanał 3
		
Kanał 4	Kanał 5	Kanał 6
		

cd. tabeli 2

Kanał 7	Kanał 8	Kanał 9
		
Kanał 10	Kanał 11	Kanał 12 (fragment zdjęcia)
		

4. Metodologia

Algorytm wyróżnienia chmur i śniegu z danych teledetekcyjnych opiera się na operacjach z kombinacjami kanałów z zakresu widzialnego i bliskiej oraz właściwej podczerwieni, w których obiekty te wykazują charakterystyczne własności odbiciowości.

4.1. Przygotowanie danych

Zbudowanie algorytmu wymaga najpierw obliczenia temperatury jasnościowej, współczynnika odbicia oraz wskaźnika NDSI (*Normalised Differential Snow Index*). W algorytmie wykorzystane są kanały o długości fali 0,64 μm , 0,84 μm , 1,6 μm , 10,8 μm oraz 12,0 μm . Właściwości kanałów biorących udział w algorytmie prezentuje tabela 3. Charakterystyka wszystkich kanałów przedstawiona jest m.in. w [3, 4].

TABELA 3

Charakterystyka właściwości kanałów biorących udział w procesie odróżnienia zachmurzenia od śniegu

Kanał — centralna długość fali [μm]	Charakterystyka kanału
0,64	— wyróżnienie różnych typów chmur z tła — określenie zawartości aerozoli atmosferycznych
0,84	
1,6	— odróżnienie chmur niskiego poziomu od śniegu — razem z kanałami IR 3.9 i IR 8.7 bierze udział w procesie odróżniania chmur zbudowanych z kryształków lodu od chmur z kropeł wody — razem z kanałami VIS 0.6 i VIS 0.8 służy do ustalania wilgotności gleby i optycznej głębokości aerozoli
10,8	— kanały IR 10.8 oraz IR 12.0 razem z kanałem IR 3.9 są stosowane do obliczania temperatury powierzchni
12,0	

4.2. Obliczenie współczynnika odbicia

Właściwości ciał dotyczące zachowania się strumienia świetlnego padającego na ich powierzchnię są scharakteryzowane przez współczynnik odbicia. Definiowany jest on jako stosunek strumienia odbitego przez powierzchnię oświetloną do strumienia padającego na badaną powierzchnię [5].

Do obliczenia współczynnika odbicia dla danych SEVIRI służy wzór [6]:

$$r_{\lambda_i} = \frac{\pi * R_{\lambda_i} * d^2(t)}{I_{\lambda_i} * \cos(\theta(t, x))}, \quad (1)$$

gdzie: i — numer kanału (1 — VIS06, 2 — VIS08, 3 — NIR1.6, 4 — HRV);

r_{λ_i} — Bidirectional Reflectance Factor (BRF) dla kanału λ_i ;

R_{λ_i} — zmierzona radiancja w $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$;

$d(t)$ — odległość Ziemi od Słońca w jednostkach astronomicznych w czasie t ;

I_{λ_i} — irradiancja dla kanału λ_i w $\text{mWm}^{-2}(\text{cm}^{-1})^{-1}$;

$\theta(t, x)$ — Solar Zenith Angle w radianach w czasie t i położeniu x .

Radiancja reprezentuje wartości fizyczne zapisane w jednostkach $[\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}]$. Obliczenie radiancji z wartości szarości piksela odbywa się zgodnie ze wzorem (2):

$$R_{\lambda_i} = \text{Cal_Offset} + (\text{Cal_Slope} * \text{Wartość piksela}) \quad (2)$$

Zdjęcia poziomu 1.5 reprezentują ustaloną skalę radiometryczną. Jest ona dostarczona użytkownikom w postaci dwóch liniowych parametrów. Są to parametry

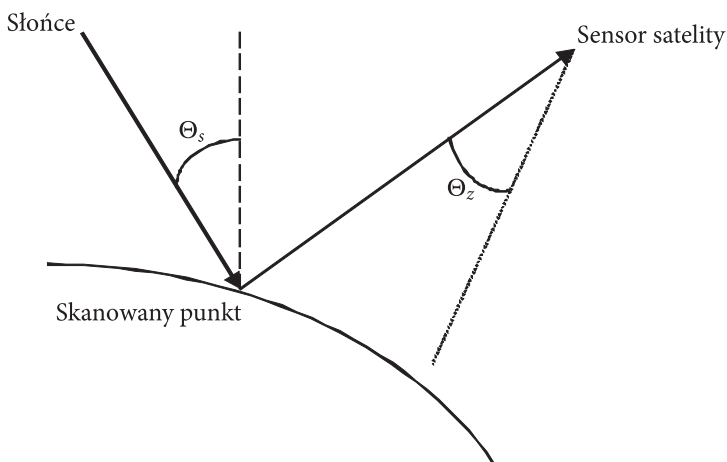
„Cal_Slope” i „Cal_Offset”, które przyjmują inne wartości dla każdego kanału [2]. Parametry te związane są z czułością urządzenia i utrzymaniem jakości obrazu. Dobrane są w taki sposób, aby wartość piksela mieściła się w przedziale [0, 1023].

Irradiancja odpowiada gęstości strumienia padającego na daną powierzchnię. Ma stałe wartości dla danego kanału. Są one zawarte w tabeli 4.

TABELA 4
Wartości irradiancji dla MSG2

Kanał	Irradiancja [$\text{mWm}^{-2}(\text{cm}^{-1})^{-1}$]
VIS 0.6	65,2065
VIS 0.8	73,1869
NIR 1.6	61,9923
HRV	79,0113

Bardzo ważnym czynnikiem mającym wpływ na wynik uzyskanego współczynnika odbicia jest ilość energii dochodzącej do powierzchni Ziemi. Energia ta nie jest stała i ulega zmianie na skutek eliptycznej drogi Ziemi wokół Słońca, na co zwracają uwagę autorzy [5]. Rozważając warunki dochodzenia promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi, należy uwzględnić szerokość geograficzną danego punktu. Dodatkowym czynnikiem, który wpływa na ilość energii docierającej do Ziemi, jest jej ruch wokół własnej osi. Położenie Słońca względem Ziemi określa kąt zenitu słonecznego (*Solar Zenith Angle*). Jest to kąt pomiędzy lokalnym zenitem (nad punktem na Ziemi) a linią wzroku od tego punktu do Słońca (rys. 1).



Rys. 1. Kąt zenitu słonecznego Θ_s

Do obliczenia kąta zenitu słonecznego potrzebne są współrzędne każdego piksela na zdjęciu, ponieważ kąt ten zależy od położenia na Ziemi oraz daty i godziny wykonania zdjęcia. Oblicza się go, stosując wzór trygonometrii sferycznej [8]:

$$\cos \Theta = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos h, \quad (3)$$

gdzie: δ — deklinacja Słońca;
 φ — szerokość geograficzna miejsca obserwacji;
 h — lokalny kąt godzinny obserwatora.

Procedura obliczania kąta zenitu słonecznego jest skomplikowana. Nie stanowi ona istoty tego artykułu. W pracy tej nie przytoczono całego procesu obliczania. Szczegółowe informacje dotyczące algorytmu obliczania kąta zenitu słonecznego są prezentowane przez autorów w publikacjach [7, 8]. Na potrzeby pracy obliczono kąt zenitu słonecznego dla każdego piksela w programie Matlab. Z uwagi na duży rozmiar zdjęcia (3712 na 3712 pikseli) proces liczenia kąta jest czasochłonny i trwa kilka godzin.

4.3. Obliczenie temperatury jasnościowej

Temperatura jasnościowa nie jest temperaturą fizyczną danego obiektu. Jest ona obliczona na podstawie odbieranego promieniowania elektromagnetycznego. Obecnie powszechnie wykorzystywana jest w badaniach atmosfery. Badania występowania zachmurzenia na zdjęciach m.in. z użyciem wartości temperatury jasnościowej są prezentowane m.in. w [9, 10, 11].

Przed przystąpieniem do liczenia temperatury należy zastosować wzór (2) w celu zamiany wartości szarości pikseli na radiancję. Dysponując wartościami radiancji, można przystąpić do policzenia temperatury. Dla każdego kanału podczerwonego zależność pomiędzy radiancją a liczoną temperaturą zgodnie z [12] wyraża się zależnością:

$$\mathcal{L} = \frac{C_1 \nu_c^3}{\left(\exp\left(\frac{C_2 \nu_c}{[\alpha T_b + \beta]}\right) - 1\right)}, \quad (4)$$

gdzie: $C_1 = 2hc^2$;
 $C_2 = hc/k$;
 c — szybkość rozchodzenia się światła;
 h — stała Plancka;
 k — stała Boltzmanna;
 ν_c, α, β — współczynniki nieliniowej regresji, gdzie ν_c wyrażane jest w $[\text{cm}^{-1}]$, β w [K], zaś α jest bez jednostek. Współczynniki te są stałe dla danego kanału i udostępniane przez służbę EUMETSAT.

Po przekształceniu równania (4) otrzymujemy:

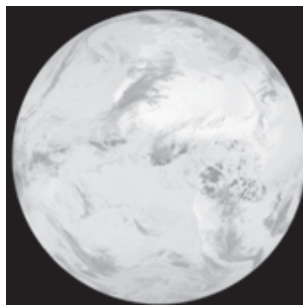
$$T_b = \frac{C_2 v_c}{\alpha \ln\left[\frac{C_1 v_c^3}{R} + 1\right]} - \frac{\beta}{\alpha}. \quad (5)$$

W wyrażeniu (5) R jest obserwowaną radiancją zapisaną w $[\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}]$, zaś temperatura jasnościowa (T_b) wyrażona jest w [K]. W tabeli 5 zamieszczono przykład obliczeń temperatury jasnościowej dla kilku wybranych pikseli dla kanału IR 10.8.

TABELA 5
Temperatura jasnościowa oraz radiancja obliczona dla wybranych pikseli kanału IR 10.8 zdjęcia z dnia 28.03.2012

Położenie piksela Kolumna; wiersz	Obliczona radiancja [$\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$]	Wartość policzonej temperatury w [K]
3211; 1694	129,967	309,636
3204; 1677	128,352	309,298
2590; 1679	109,079	298,203

Wynikiem obliczeń jest macierz, w której wartości poszczególnych pikseli reprezentują temperaturę w [K]. Rysunek 2 prezentuje zdjęcie, na którym odcienie szarości odzwierciedlają różne temperatury.



Rys. 2. Temperatura jasnościowa policzona w kanale IR 10.8 w dniu 28.03.2012. Ciemniejsze obszary to chłodniejsze miejsca, zaś jaśniejsze reprezentują regiony cieplejsze

4.4. Obliczenie wskaźnika Normalised Differential Snow Index (NDSI)

Wskaźnik NDSI powiększa kontrast pomiędzy śniegiem i lądem bez pokrywy śnieżnej. Zgodnie ze wzorem (6) prezentowanym m.in. przez autorów [13] NDSI:

$$NDSI = \frac{r_{0,64} - r_{1,6}}{r_{0,64} + r_{1,6}}, \quad (6)$$

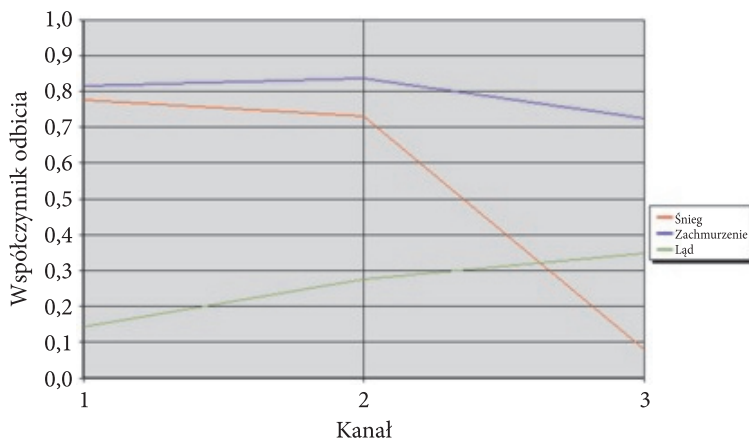
gdzie: $r_{0,64}$, $r_{1,6}$ — współczynnik odbicia odpowiednio dla kanału VIS 0.64 oraz VNIR 1.6.

TABELA 6

Przykład obliczenia wskaźnika NDSI dla wybranych pikseli (dane z 28.03.2012)

Położenie piksela Kolumna; wiersz	$r_{0,64}$	$r_{1,6}$	NDSI
1611; 1552	0,101	0,248	-0,411
1195; 2478	0,342	0,309	0,051

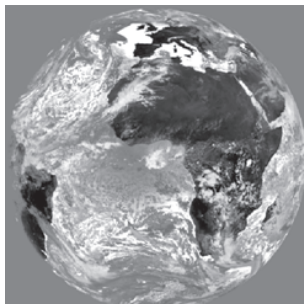
Wskaźnik jest liczony z udziałem kanałów VIS 0.64 oraz VNIR 1.6 ze względu na ich spektralne właściwości odbiciowości dla chmur i śniegu w tych zakresach widma. Na rysunku 3 przedstawiono współczynnik odbicia dla zachmurzenia, pokrywy śnieżnej i łądu w trzech kanałach spektralnych uzyskany ze zdjęcia Mete-osata 9 wykonanego 28.03.2012.



Rys. 3. Profil spektralny wykonany na podstawie obliczonego współczynnika odbicia dla pokrywy śnieżnej, zachmurzenia i łądu w kanale 1 — 0,64 μm , 2 — 0,84 μm , 3 — 1,6 μm dla dnia 28.03.2012

Porównując otrzymane współczynniki odbicia z typowymi współczynnikami odbicia przedstawionymi w [14] dla tych samych obiektów, można stwierdzić, że pokrywa śnieżna ma niski współczynnik odbicia dla kanału o długości fali 1,6 μm , zaś najwyższy dla kanału 0,64 μm . Największa różnica pomiędzy śniegiem a zachmurzeniem występuje w kanale 1,6 μm . Zróznicowana charakterystyka

spektralna właściwości pokrywy śnieżnej oraz zachmurzenia w tych dwóch kanałach jest wykorzystana w obliczaniu NDSI. Rysunek 4 prezentuje zdjęcie, dla którego obliczono wskaźnik NDSI wykorzystywany w tym algorytmie.



Rys. 4. Wskaźnik NDSI dla danych satelitarnych pozyskanych w dniu 28.03.2012 o godzinie 13:12 UTC przez satelitę Meteosat 9

Warto zaznaczyć, że dla innych satelitów współczynnik ten liczony jest z użyciem innych kanałów, jednak z definicji jest to różnica współczynnika odbicia w kanale widzialnym z zakresu 0,5-0,7 μm oraz w kanale z zakresu krótkofalowej podczerwieni (1-4 μm) podzielona przez sumę tych wielkości [15].

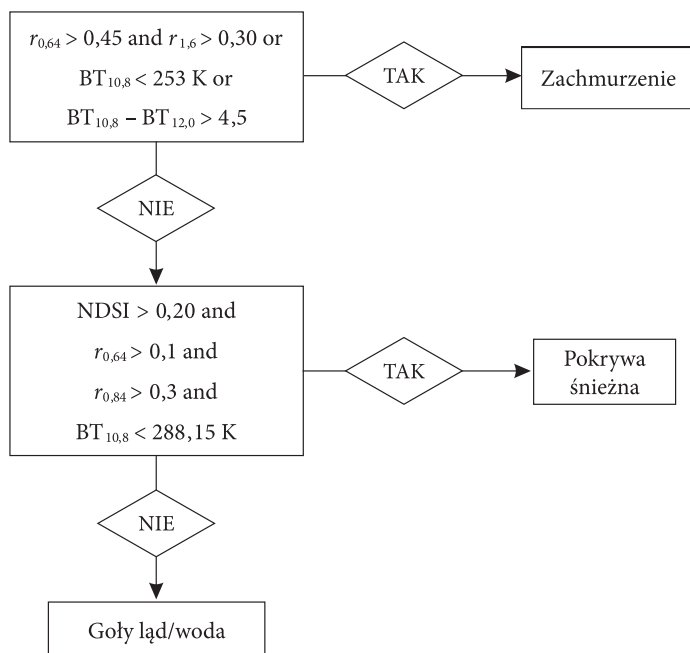
5. Schemat algorytmu

Algorytm przedstawiony w tej pracy opiera się na przeprowadzeniu testów z użyciem obliczonych wcześniej parametrów.

Podobny algorytm do odróżniania pokrywy śnieżnej od zachmurzenia był zastosowany przez naukowców z Instytutu Geodezji i Fotogrametrii w Zurichu. Praca Martijn de Router de Wildt, Gabrieli Seiz i Armina Gruna została oparta o dane Meteosata 8. Autorzy w przedstawionym algorytmie wykorzystali globalne dane wysokościowe. Mieli również dostęp do oprogramowania SEVIRI, co w znacznym stopniu ułatwia przygotowanie danych do badań.

Zaprezentowane tu rozwiązanie dotyczy danych Meteosata 9. Nie wykorzystano żadnych dodatkowych danych poza danymi w postaci zdjęć Meteosata 9 i metadany dotyczącymi tych zdjęć. Kluczem do dobrej detekcji zachmurzenia i pokrywy śnieżnej jest właściwy dobór progów klasyfikujących piksele jako zaśnieżone lub stanowiące pokrywę śnieżną, co podkreśla autor [14].

Pierwsza grupa testów ma na celu detekcję obszarów zachmurzonych. Druga grupa testów spośród pikseli, które nie zostały zaliczone jako zachmurzone, wykrywa piksele będące pokrywą śnieżną lub łądem bez pokrywy śnieżnej. Schemat algorytmu oraz wartości zastosowanych progów przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Schemat blokowy algorytmu detekcji zachmurzenia i pokrywy śnieżnej [opracowanie własne]

W pierwszej grupie testów wystarczy, że jeden z warunków zostanie spełniony, by zaklasyfikować piksel jako zachmurzony.

Pierwszy warunek $r_{0,64} > 0,45$ and $r_{1,6} > 0,30$ zapewnia oddzielenie łądu bez pokrywy śnieżnej od śniegu i chmur. Dodatkowo kanał VNIR 1.6 pomaga oddzielić część chmur od śniegu, jednak nie zapewnia oddzielenia chmur zbudowanych z kryształków lodu od śniegu [13]. To kryterium wyodrębnia więc badane obiekty — pokrywę śnieżną i zachmurzenie z tła. Niestety dane dla tych kanałów dostępne są tylko w porze dziennej, co uniemożliwia stosowanie algorytmu w nocy. Kolejny test $BT_{10,8} < 253$ K oddziela bardzo zimne chmury od śniegu. W tym kryterium najlepiej sprawdziłaby się wartość temperatury powierzchni. Niestety są to dane nieznanne. 253 K stanowi przybliżoną wartość. Ostatni z testów w tej grupie to różnica temperatury jasnościowej, która jest wyższa dla chmur niż dla czystego nieba.

W kolejnej grupie testów biorą udział piksele, które wcześniej nie zostały przydzielone do zachmurzenia. W tej grupie wszystkie warunki muszą zostać spełnione, aby piksel został zaklasyfikowany jako zaśnieżony. Celowość zastosowania pierwszego warunku $NDSI > 0,20$ została już nakreślona w części artykułu dotyczącej obliczania tego parametru. Wskaźnik NDSI wykorzystuje charakterystyczne właściwości pokrywy śnieżnej, które odróżniają ją od innego pokrycia terenu. W zakresie widzialnym wykazuje ona wysoki współczynnik odbicia, zaś niski w pozostałym zakresie widma. Kolejny warunek $r_{0,64} > 0,1$ zapewnia, że bardzo ciemne obszary, które powodują obniżenie

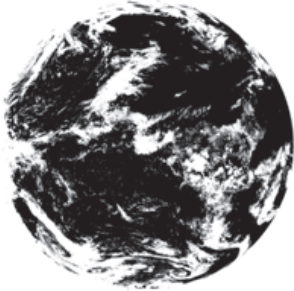
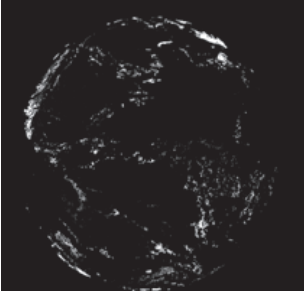
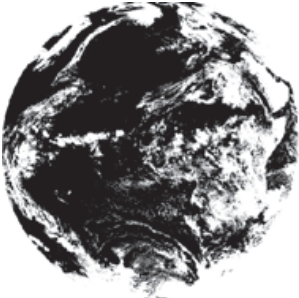
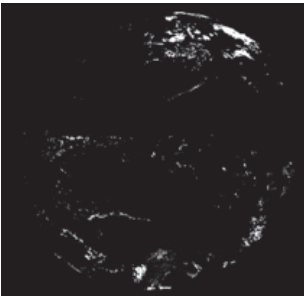
wartości mianownika NDSI nie są klasyfikowane jako śnieg [13]. Warunek $r_{0,84} > 0,3$ powoduje, że piksele na granicy lądu i morza są klasyfikowane prawidłowo. Ostatni test w tej grupie przeprowadza się w odniesieniu do temperatury punktu zamarzania ustalonej dla $BT_{10,8}$ na 288,15 K. Temperatura śniegu nie może wzrosnąć powyżej tego punktu. 288,15 K to górna granica temperatury śniegu dla $BT_{10,8}$ [13].

6. Wyniki

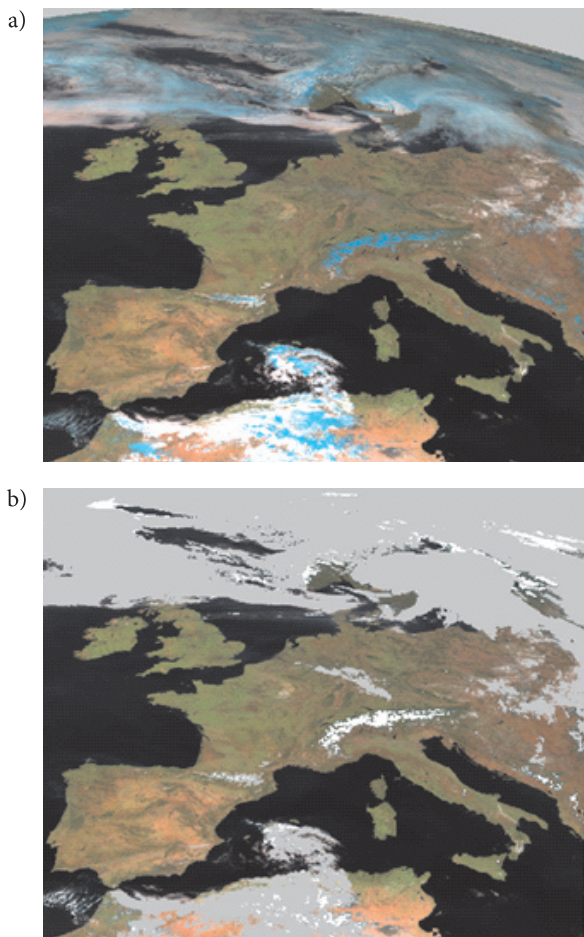
Na podstawie algorytmu przeprowadzono szereg działań, w następstwie których piksele zostały podzielone na trzy grupy. Są to: piksele zachmurzone, zaśnieżone oraz piksele reprezentujące ląd lub wodę. Wynik ten można zwizualizować w postaci dwóch masek. Pierwsza prezentuje piksele spełniające kryteria testów z grupy pierwszej — piksele zachmurzone. Druga maska jest rezultatem przeprowadzonych testów z grupy drugiej i przedstawia piksele stanowiące pokrywę śnieżną (tab. 7).

TABELA 7

Zdjęcia wynikowe działania algorytmu. Piksele białe — spełniające kryterium

Zachmurzenie w dniu 28.03.2012 o godz. 13:12 UTC	Pokrywa śnieżna w dniu 28.03.2012 o godz. 13:12 UTC
	
Zachmurzenie w dniu 13.02.2013 o godz. 10:12 UTC	Pokrywa śnieżna w dniu 13.02.2013 o godz. 10:12 UTC
	

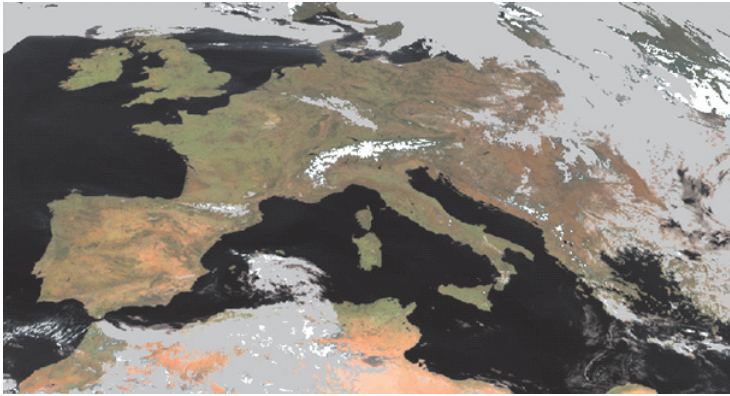
Ponieważ oko ludzkie jest bardziej czułe na zmiany koloru niż na zmianę natężenia światła, wyniki zwizualizowano na tle kompozycji barwnej. Technika ta pozwala na uzyskanie obrazu kolorowego z dowolnych trzech składowych obrazu wielospektralnego. Kompozycje barwne umożliwiają łatwiejszą interpretację i rozpoznanie odwzorowanych obiektów. Pozwalają również zaobserwować zjawiska niewidoczne na pojedynczych obrazach [16]. Jedną z zalecanych przez Eumetsat kompozycji barwnych do wykrywania chmur złożonych z kryształków lodu lub wody, mgieł, śniegu, pyłu i roślinności jest kompozycja z kanałów 1,6, 0,84 i 0,64 μm , w następującej kolejności RGB. W tej kompozycji śnieg ma kolor cyjan (rys. 6a). Kompozycja ta nie pozwala niestety rozpoznać, czy śnieg stanowi pokrywę zalegającą



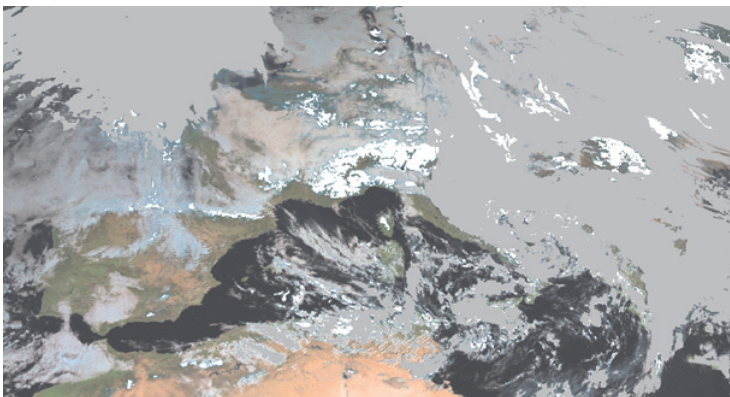
Rys. 6. a) kompozycja barwna wykonana dla danych z dnia 28.03.2012, godz. 13:12 UTC oraz b) wynik działania algorytmu, białe piksele reprezentują pokrywę śnieżną, szare piksele — zachmurzenie

ład, czy też jest to śnieg znajdujący się w zachmurzeniu — w przeciwieństwie do wyników działania algorytmu na rysunku 6b.

Wyniki algorytmu dla zdjęcia z dnia 28.03.2012 wykonanego o godz. 13:12 UTC pozwalają stwierdzić, że na analizowanym obszarze zastosowano właściwie progi. W rezultacie detekcja pokrywy śnieżnej na obszarach górskich oraz zalegającej na pozostałych obszarach wykonana została poprawnie. Porównując kompozycję barwną do otrzymanych wyników, można zaobserwować, że dla obszaru Europy również zachmurzenie zostało zidentyfikowane prawidłowo. Na kompozycji barwnej (rys. 6a) na północ od Alp widoczne są niskie półprzezroczyste chmury, które zostały zaklasyfikowane jako zachmurzenie. Tego typu chmury wykazują często właściwości podobne do śniegu, przez co mogą być błędnie zaklasyfikowane jako pokrywa śnieżna.

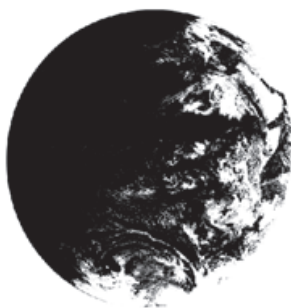


Rys. 7. Zdjęcie Europy z dnia 28.03.2012, godz. 13:12 UTC wraz z zachmurzeniem (barwa szara) i pokrywą śnieżną (barwa biała)



Rys. 8. Zdjęcie Europy z dnia 13.02.2013, godz. 10:12 UTC wraz z zachmurzeniem (barwa szara) i pokrywą śnieżną (barwa biała)

Analizując rezultaty badania przeprowadzonego dla danych z dnia 13.02.2013 z godz. 10:12 UTC (rys. 8), można zauważyć, że czas wykonania zdjęcia ma istotny wpływ na poprawną detekcję zachmurzenia i pokrywy śnieżnej. Wykorzystane w testach kanały z zakresu widzialnego obligują do wyboru odpowiedniej pory wykonania zdjęcia. Na zdjęciu wykonanym zbyt wcześnie północno-zachodnia część półkuli jest niedoświetlona i obiekty nie zostaną tam wykryte prawidłowo. Rysunek 9 prezentuje wynik działania pierwszego testu z wykorzystaniem kanałów z zakresu widzialnego na zdjęciu z 13.02.2013 z godz. 10:12 czasu UTC.

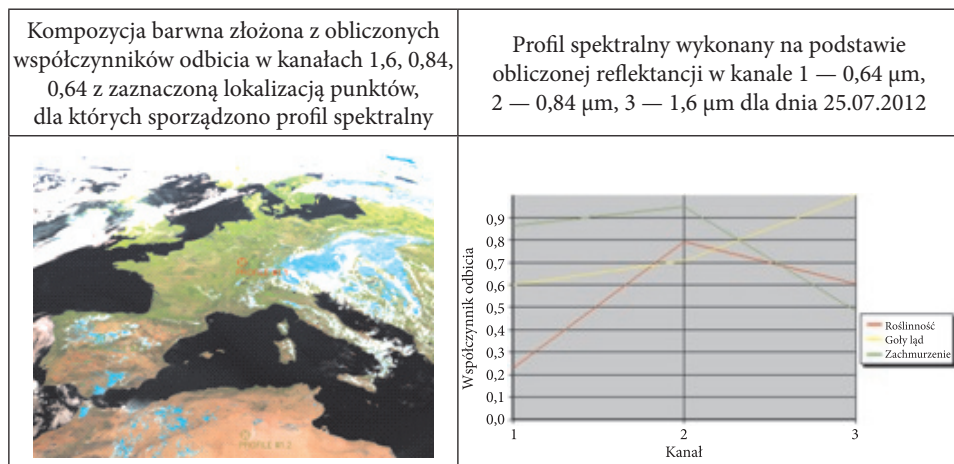


Rys. 9. Wynik pierwszego testu z grupy testów wykrywających zachmurzenie na zdjęciu z 13.02.2013 z godz. 10:12 czasu UTC. Białe piksele spełniają kryterium $r_{0,64} > 0,45$ and $r_{1,6} > 0,30$

Rysunek 8 jest przykładem wpływu czasu wykonania zdjęć na wynik algorytmu. Brak pełnowartościowych danych z zakresu widzialnego jest szczególnie widoczny po lewej stronie zdjęcia. Problem ten został nakreślony w [17].

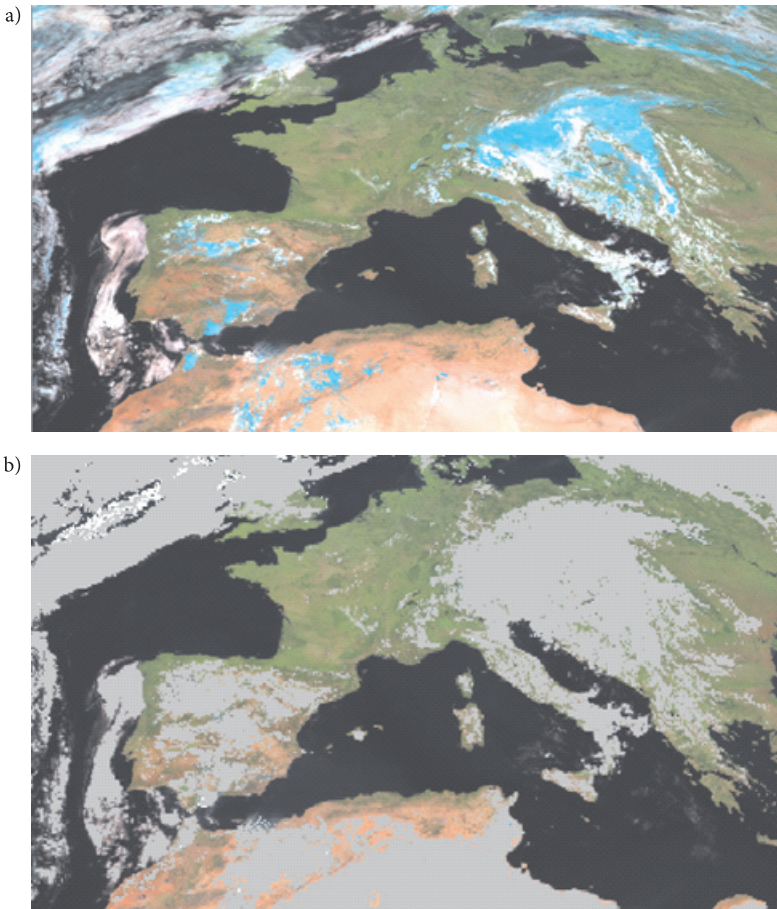
TABELA 8

Kompozycja barwna i profil spektralny wykonany dla danych z 25.07.2012



Wyniki algorytmu przeprowadzonego dla danych z dnia 25.07.2012 potwierdziły zależność badanej procedury od pory roku. Rozpatrując elementy terenu pod względem zdolności odbijania energii — widać bardzo duże zróżnicowanie współczynnika odbicia zimą i latem (tab. 8).

Porównując profil spektralny zamieszczony w tabeli 8 (dla danych z 25.07.2012) z profilem z rysunku 3 (dla danych z 28.03.2012) można stwierdzić, że latem następuje znaczący wzrost współczynnika odbicia. W kanale 1,6 μm roślinność wykazuje wyższy współczynnik odbicia od zachmurzenia, a łąd bez pokrywy roślinnej osiąga maksymalny współczynnik odbicia. Taka zmiana powoduje, że część łąd bez pokrywy roślinnej zostaje błędnie zaliczona do zachmurzenia (rys. 10a i b).



Rys. 10. a) kompozycja barwna wykonana dla danych z dnia 25.07.2012, godz. 12:27 UTC; b) zdjęcie Europy z dnia 25.07.2012, godz. 12:27 UTC wraz z zachmurzeniem (barwa szara) i pokrywą śnieżną (barwa biała)

Analizując wyniki dla danych z dnia 25.07.2012, można zauważyć, że największe błędy występują w rejonach charakteryzujących się wyższą temperaturą powierzchni łądu. W celu ich wyeliminowania należałoby zmienić kryteria. Ze względu na znaczne nagrzewanie się łądu latem temperatura jasnościowa uległa zmianie i algorytm nie ocenia pikseli prawidłowo. Na błędną klasyfikację pikseli miała także wpływ zmiana współczynnika odbicia poszczególnych elementów pokrycia terenu.

7. Wnioski

Promieniowanie zmierzone przez instrument satelity na górze atmosfery może stanowić bardzo dobre źródło informacji teledetekcyjnej do dalszego przetworzenia i uzyskania nowej informacji.

Ze względu na zależność współczynnika odbicia od kąta padania promieni słonecznych, a więc od położenia na Ziemi, nie jest możliwe opracowanie uniwersalnego algorytmu, który dokładnie wyróżniałby pokrywą śnieżną i zachmurzenie w skali globalnej. W pracy skupiono się zatem na opracowaniu optymalnego algorytmu (dobraniu odpowiednich progów) pozwalającego na wyróżnienie zachmurzenia i pokrywy śnieżnej dla obszaru Europy. Jak zauważa autor [14], nie ma jednego skutecznego algorytmu sprawdzającego się dla wszystkich obszarów.

Wydajność algorytmu zależy od charakteru obszaru lub godziny wykonania zdjęcia. Na wynik algorytmu wpływ ma również lokalizacja danego piksela w obrębie zdjęcia. Piksele najbardziej oddalone od punktu podsatelitarnego mogą powodować błędne działanie algorytmu.

Istotne znaczenie ma także pora roku, z której pochodzą opracowywane dane. Podstawowym nośnikiem informacji w zdalnych metodach badań jest promieniowanie elektromagnetyczne. Zmiana dochodzącego do Ziemi promieniowania uzależniona jest od pory roku, dlatego dobierając parametry algorytmu, należy uwzględnić, z jakiego sezonu będą pochodziły dane. Latem do Ziemi dociera inna wartość promieniowania elektromagnetycznego niż zimą, co związane jest ze zmianą odległości Ziemi od Słońca.

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na rezultat badań jest zmiana współczynnika odbicia elementów pokrycia terenu w zależności od pory roku. Powoduje ona, że dobrane dla sezonu zimowego progi klasyfikacyjne nie są miarodajne w innych sezonach.

Warto również zwrócić uwagę na pokrycie terenu. Tereny zalesione, na których zalega pokrywa śnieżna, mogą powodować błędy w działaniu algorytmu. Wynika to ze sztucznie zawyżonej w tych rejonach temperatury jasnościowej, co podkreśla autor [17].

Wadą algorytmu jest ograniczenie zastosowania do pory dziennej. Wynika ono z wykorzystania zdjęć z zakresu widzialnego w pierwszym etapie testów. Wadę tę

rekompensuje wysoka rozdzielczość czasowa pozyskiwanych danych. Pozwala to zminimalizować ryzyko wystąpienia zachmurzenia i umożliwia prowadzenie badań pokrywy śnieżnej.

LITERATURA

- [1] Y.M. GOVAERTS, M. CLERICI, *Operation Vicarious calibration of the MSG/SEVIRI Solar Channels*.
- [2] EUM/MSG/ICD/105, *MSG Level 1.5 Image Data Format Descriptio*, Darmstadt, 2010.
- [3] European Space Agency, *Meteosat Second Generation The Satellite Development*, ESA, 1999, 8-9.
- [4] P.D. WATTS, C.T. MUTLOW, A.J. BARAN, A.M. ZAVODY, *Study on Cloud Properties derived from Meteosat Second Generation Observations: EUMETSAT ITT no. 97/181 Final Report*, 1998, 15-18.
- [5] J. SANECKI, *Teledetekcja pozyskiwanie danych*, praca zbiorowa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2006.
- [6] EUM/MET/TEN/12/0332, *Conversion from radiances to reflectances for SEVIRI warm channels*, Darmstadt, 2012.
- [7] K.N. LIOU, *An Introduction to Atmospheric Radiation*, wyd. 2, Academic Press, USA, 2002.
- [8] I. REDA, A. ANDREAS, *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications*, Technical Report, Midwest Research Institute, 2008.
- [9] H.A. BARBOSA i in., *The cloud-top SEVIRI data for monitoring convective storms*, Brasil, 2011.
- [10] K. BEDKA, J. BRUNNER, R. DWORAK, W. FELTZ, J. OTKIN, T. GREENWALD, *Objective Satellite-Based Detection of Overshooting Tops Using Infrared Window Channel Brightness Temperature Gradients*, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010.
- [11] EUM/MET/REP/07/0132, *Cloud Detection for MSG — Algorithm Theoretical Basis Document*, Darmstadt, 2007.
- [12] EUM/MET/TEN/11/0569, *The conversion from Effective Radiances to Equivalent Brightness Temperatures*, Darmstadt, 2012.
- [13] M. DE ROUTER DE WILDT, G. SEIZ, A. GRUN, *Snow mapping using multi-temporal Meteosat-8 data*, 2006.
- [14] G. JEDLOVEC, *Automated Detection of Clouds in Satellite Imagery*, *Advances in Geoscience and Remote Sensing*, Gary Jedlovec (ed.), 2009.
- [15] V.V. SALOMONSON, I. APPEL, *Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index*, *Remote Sensing of Environment*, 2004.
- [16] K. KRAWCZYK, I. WINNICKI, *Kompozycje barwne w interpretacji zachmurzenia*, Biul. WAT, 61, 1, 2012.
- [17] P. ROMANOV, D. TERPLEY, G. GUTMAN, T. CARROL, *Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America*, Journal of Geophysical Research, 2003.

A. WOLSZCZAK

Utilization of satellite remote sensing data to detection of snow cover and clouds

Abstract. This paper presents the method of detection of clouds and snow cover for Meteosat 9 satellite data. The aim of this research is to develop an effective method to distinguish snow cover from clouds on satellite photographs. Snow cover and clouds are objects whose proper recognition in photos using visual methods is very difficult or even impossible.

The following procedure is based on multispectral threshold technique. For each pixel, the brightness temperature, reflectance, and the rate of the Normalised Differential Snow Index (NDSI) were calculated. Then, for the calculated values, the optimal thresholds were determined on the basis of which the pixels were classified.

The results show that the developed algorithm works fine for images on which it was developed, as well as those that have been made in similar conditions (time of recording, the time of year). On the other examined images, the presence of misclassified pixels can be determined. It is associated with changes in the amount of radiation that reaches the Earth's surface, depending on the season and a different angle of sunlight incidence.

The study was conducted on digital images obtained through the website European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites. The test procedure is illustrated by exemplary images.

Keywords: remote sensing, detection of clouds and snow cover, reflectance, brightness temperature, NDSI