

WSTĘPNA OCENA PRZYDATNOŚCI ZDJĘĆ SATELITARNYCH ASTER W TELEDETEKCJI I FOTOGRAMETRII

***Streszczenie.** Artykuł prezentuje wstępną ocenę zdjęć satelitarnych ASTER, wykonywanych z pokładu satelity Terra, dla potrzeb teledetekcji i fotogrametrii. Obraz powierzchni Ziemi rejestrowany jest w 14 kanałach spektralnych o różnej rozdzielczości przestrzennej: 3 kanały zakresu VNIR – 15 m, 5 kanałów zakresu SWIR – 30 m oraz 6 kanałów TIR – 90 m. Wielkość sceny satelitarnej wynosi 60 x 60 km.*

Na podstawie zobrazowania z maja 2002 wykonano wstępną analizę zdjęć ASTER z punktu widzenia teledetekcji i fotogrametrii. Przedstawiono parametry statystyczne opisujące poszczególne kanały spektralne oraz zestawy kanałów tworzących kompozycje barwne. Na podstawie kanału 3 (0.78-0.86 μm , rozdzielczość 15 m) zarejestrowanego z pokryciem stereoskopowym z jednej orbity, wygenerowano NMT. Ocenę dokładności NMT wykonano w oparciu o profile pomierzone na zorientowanych przestrzennie modelach zdjęć lotniczych w skali 1:26 000.

1. Skaner ASTER

W grudniu 1999 r. wprowadzony został na orbitę satelita Terra, oznaczony roboczym symbolem EOS AM 1. Jest on pierwszym z serii satelitów programu obserwacji Ziemi EOS (Earth Observing System). Celem tego programu, koordynowanego przez NASA, jest zgromadzenie w ciągu, co najmniej 15 lat różnorodnych danych klimatycznych (w roku 2002 rozpoczął pracę drugi satelita programu EOS – Aqua). Terra krąży wokół Ziemi po orbicie okołobiegunowej zsynchronizowanej z ruchem Słońca na wysokości 705 km; powrót na tę samą orbitę następuje co 16 dni. Satelita przekracza linię równika o godzinie 10:30 lokalnego czasu słonecznego. Na jego pokładzie znajduje się pięć podstawowych radiometrów: ASTER, CERES, MIRS, MODIS oraz MOPITT.

Skaner ASTER został skonstruowany w wyniku współpracy NASA z Ministerstwem Ekonomii Handlu i Przemysłu Japonii. Współpraca ta nie ograniczyła się jedynie do prac projektowych i montażowych. Rejestrowane przez skaner dane są opracowywane przez dwa ściśle współpracujące ze sobą ośrodki w USA i Japonii.

Zdjęcia ASTER nie są rejestrowane w sposób ciągły, lecz „na żądanie”; średnio, w ciągu jednego dnia istnieje możliwość rejestracji 650 scen, z których około 150 jest wstępnie przetwarzanych w stacjach naziemnych. Dane rejestrowane bezpośrednio przez skaner są poddawane korekcji radiometrycznej oraz geometrycznej (powstaje produkt oznaczony symbolem level-1B) (ASTER user's guide part 2, 2003).

Obraz powierzchni ziemi rejestrowany jest w 14 kanałach spektralnych (ASTER user's guide part 1, 2003; ASTER user handbook). Trzy pierwsze kanały związane są zakresem VNIR promieniowania widzialnego i bliskiej podczerwieni, kolejnych sześć kanałów pracuje w zakresie SWIR podczerwieni krótkofalowej, pięć ostatnich kanałów to podczerwień termalna TIR. Rozdzielczość przestrzenna kanałów

nie jest jednakowa. Dla zakresu VNIR wielkość piksela wynosi 15 m, dla SWIR 30 m oraz 90 m dla zakresów TIR. Dane rejestrowane są z rozdzielczością radiometryczną 8 bitów w przypadku VNIR i SWIR, oraz 12 bitów dla TIR. Zestawienie podstawowych parametrów skanera ASTER przedstawione jest w tabeli 1. Dla porównania zamieszczono w niej także parametry skanera Landsat TM, gdyż skaner ASTER należy traktować jako kontynuację doświadczeń związanych z użytkowaniem skanerów Landsat TM i ETM+ [Abrams, 2000].

Tabela nr 1

Parametry skanera ASTER, porównanie ze skanerem Landsat TM

ASTER				Landsat TM				
kanał	zakres spektralny (μm)	rozmiar piksela (m)	rad. (bit)	kanał	zakres spektralny (μm)	rozmiar piksela (m)	rad. (bit)	
				1	0.45-0.52			
1	VNIR	0.52-0.60	15	8	2	30	8	
2		0.63-0.69			3			0.63-0.69
3*		0.78-0.86			4			0.76-0.90
4		1.60-1.70			5			1.55-1.75
5	SWIR	2.145-2.185	30	8	7	2.08-2.35		
6		2.185-2.225						
7		2.235-2.285						
8		2.295-2.365						
9		2.360-2.430						
10	TIR	8.125-8.475	90	12				
11		8.475-8.825						
12		8.925-9.275						
13		10.250-10.950						
14		10.950-11.650						6

* w kanale 3 wykonywane są zdjęcia z pokryciem stereoskopowym

W zakresie VNIR skaner ASTER nie rejestruje promieniowania niebieskiego. Najkrótszym rejestrowanym promieniowaniem jest promieniowanie zielone w kanale oznaczonym numerem 1. Pod względem spektralnym kanały 1, 2 i 3 odpowiadają kanałom 2, 3 i 4 skanera Landsat TM. W zakresie SWIR kanał 4 ASTER jest bardzo zbliżony do kanału 5 Landsat TM. Kolejne kanały 5, 6, 7 i 8 odpowiadają

„szerokiemu” kanałowi nr 7 Landsat TM. Z pięciu kanałów termalnych ASTER, kanały 13 i 14 rejestrują promieniowanie z zakresu termalnego skanera Landsat TM.

Promieniowanie w zakresie kanału 3 rejestrowane jest dwukrotnie. Jest to możliwe dzięki układowi optycznemu wstecznego wybierania rejestrującego obraz powierzchni ziemi pod kątem 27.6° . Pozwala to na wykonywanie zobrazowań stereoskopowych na podstawie pojedynczej sceny satelitarnej [ASTER user's guide part 3 i 4, 2002; Abrams, 2000].

Ze względu na wysokość orbity, zdjęcia ASTER tego samego obszaru wykonywane są, co 16 dni. Jednakże w zakresie VNIR skaner posiada zdolność rejestrowania zdjęć nawet pod kątem $\pm 24^\circ$. Dzięki tej właściwości możliwe jest uzyskiwanie obrazów co 5 dni. Skanery SWIR oraz TIR również mogą być wychylone, lecz nie więcej niż $\pm 8.55^\circ$ [ASTER reference guide, 2003].

Jedna scena skanera ASTER obrazuje teren o wymiarach 60 x 60 km. Dane satelitarne dostarczane są użytkownikom w formacie HDF (Hierarchical Data Format).

2. Analiza statystyczna zdjęć ASTER

Analizę zdjęcia ASTER wykonano na podstawie sceny zarejestrowanej 4 maja 2002 r. Ze sceny obejmującej swoim zasięgiem całą aglomerację warszawską wybrano fragment położony w widłach Wisły i Narwi (powiat legionowski). Na terenie tym występują typowe formy pokrycia terenu: lasy iglaste, liściaste, mieszane, tereny rolnicze, łąki, wody, kilka rodzajów zabudowy mieszkaniowej oraz tereny przemysłowe.

Najpierw wykonano geometryzację oraz korekcję atmosferyczną. W trakcie geometryzacji wielkość pikseli wszystkich kanałów sprowadzono do 15 m, dzięki czemu możliwe było porównywanie kanałów z zakresu VNIR z kanałami SWIR i TIR. Korekcję atmosferyczną wykonano z zastosowaniem algorytmu ATCOR 2 oprogramowania PCI Geomatica. Skorygowane zostały wartości pikseli tworzących obrazy w zakresie VNIR, SWIR oraz kanał nr 13 zakresu TIR.

Dla poszczególnych kanałów (po korekcji atmosferycznej) obliczono wartości średnie oraz odchylenie standardowe; uzyskane wartości przedstawiono w tabeli 2. Największe wartości odchylenia standardowych świadczące o zróżnicowaniu wartości odbić spektralnych wystąpiły dla kanałów 1, 2 i 3 zakresu VNIR. W przypadku zakresu SWIR uzyskano wartości mniej zróżnicowane. Największe odchylenie standardowe 24.5 charakteryzuje kanał 4, natomiast dwukrotnie mniejsza wartość, 12.7, związana jest z kanałem 9. Odchylenie standardowe termalnego kanału 13 wynosi 16.6 i zbliżone jest do wartości uzyskanych dla 5, 6, 7 i 8 kanału zakresu SWIR.

Wartości średnie oraz odchylenia standardowe kanałów zdjęcia ASTER
(po korekcji atmosferycznej)

kanał		średnia wartość	odchylenie standardowe
VNIR	1	84.63	41.81
	2	53.61	42.09
	3	97.96	37.68
SWIR	4	78.99	24.55
	5	48.55	15.20
	6	49.39	17.78
	7	50.34	18.32
	8	41.58	17.12
	9	41.45	12.74
TIR	13	144.09	16.63

Następnie na podstawie analizowanego fragmentu zdjęcia ASTER obliczono współczynniki korelacji między poszczególnymi kanałami; przedstawiono je w tabeli 3. Dla zakresu VNIR największy współczynnik korelacji 0.963 uzyskano pomiędzy kanałami 1 i 2, natomiast kanał 3 jest w bardzo małym stopniu skorelowany z kanałami 1 i 2 - współczynniki korelacji wynoszą odpowiednio 0.238 i 0.225. Wszystkie kanały zakresu SWIR są skorelowane między sobą na stosunkowo wysokim poziomie wynoszącym od 0.85 do 0.98. Najmniejszym poziomem korelacji charakteryzuje się kanał 4. Kanał 13 TIR najmniej skorelowany jest z kanałami zakresu VNIR, współczynnik korelacji z kanałem 3 wynosi jedynie 0.38. Poziom korelacji kanału termalnego z kanałami SWIR jest bardzo wyrównany i wynosi od 0.71 do 0.77.

W tabeli 4 zamieszczone są współczynniki korelacji dla kanałów zakresu TIR zdjęcia ASTER. Zostały one obliczone na podstawie danych oryginalnych (bez korekcji atmosferycznej). Jak należało się spodziewać, uzyskane współczynniki korelacji są stosunkowo wysokie i wynoszą od 0.95 do 0.98. Najmniej skorelowanym kanałem względem pozostałych kanałów termalnych jest kanał 14.

W celu porównania w tabeli 5 zamieszczono parametry statystyczne zdjęcia zarejestrowanego skanerem Landsat ETM. Na zdjęciu tym zobrazowany jest ten sam teren co na zdjęciu ASTER, wykonana została również korekcja atmosferyczna, lecz termin zobrazowania nie jest identyczny. Zdjęcie Landsat ETM zostało zarejestrowane też w maju, dwa lata wcześniej – 7 maja 2000 r. Ze względu na różnicę w terminach rejestracji, prezentowane dane należy traktować jedynie jako orientacyjny materiał porównawczy.

Tabela nr 3
Współczynniki korelacji między kanałami zdjęcia ASTER (po korekcji atmosferycznej)

kanał	VNIR			SWIR						TIR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13
1	1.000									
2	0.963	1.000								
3	0.238	0.225	1.000							
4	0.731	0.739	0.658	1.000						
5	0.832	0.840	0.459	0.918	1.000					
6	0.839	0.846	0.459	0.920	0.978	1.000				
7	0.845	0.853	0.442	0.905	0.973	0.976	1.000			
8	0.860	0.870	0.391	0.881	0.957	0.963	0.973	1.000		
9	0.852	0.860	0.352	0.850	0.949	0.946	0.956	0.965	1.000	
13	0.596	0.607	0.382	0.775	0.770	0.776	0.755	0.738	0.715	1.000

Tabela nr 4
Współczynniki korelacji między kanałami TIR ASTER.

kanał	TIR				
	10	11	12	13	14
10	1.000				
11	0.971	1.000			
12	0.961	0.980	1.000		
13	0.955	0.971	0.957	1.000	
14	0.948	0.959	0.953	0.980	1.000

Parametry statystyczne zdjęcia Landsat ETM
(7.05.2000, po korekcji atmosferycznej)

Tabela nr 5

kanał	średnia wartość	odchylenie standardowe	współczynniki korelacji						
			1	2	3	4	5	7	6
1	12.10	9.08	1.000						
2	23.10	11.47	0.955	1.000					
3	24.02	15.08	0.949	0.962	1.000				
4	58.55	21.12	0.264	0.415	0.269	1.000			
5	71.27	29.51	0.769	0.843	0.829	0.587	1.000		
7	47.07	27.91	0.854	0.886	0.911	0.352	0.933	1.000	
6	115.74	19.54	0.698	0.731	0.760	0.329	0.803	0.796	1.000
<i>odpowiadające kanały skanera ASTER</i>			-	1	2	3	4	5,6,7,8	13

Z porównania tabel 2 i 5 wynika, że kanały zakresu VNIR skanera ASTER charakteryzują się wysokimi wartościami odchyłeń standardowych. Może wynikać to nie tylko z różnic w czułościach skanerów ASTER i Landsat ETM lecz również z rozdzielczości przestrzennej, która dla tych zakresów jest dwukrotnie większa w przypadku skanera ASTER (15 m). Najbardziej zróżnicowanym kanałem zdjęcia Landsat ETM jest kanał 5. Odpowiadający mu w skanerze ASTER kanał 4 jest również jest również stosunkowo dobrze zróżnicowany (najbardziej spośród wszystkich kanałów SWIR o rozdzielczości przestrzennej 30 m). „Szeroki” kanał 7 Landsat ETM zróżnicowany jest na poziomie zbliżonym do sąsiedniego kanału 5, jednakże w przypadku skanera ASTER odpowiadające mu kanały 5, 6, 7 i 8 są wyraźnie mniej zróżnicowane w porównaniu z kanałem 4 ASTER. Kanał 13 Aster zakresu TIR, pod względem średnich wartości i odchyłeń standardowych, zbliżony jest do kanału 6 Landsat ETM.

Pod względem wartości współczynników korelacji między poszczególnymi kanałami, zdjęcia ASTER i Landsat ETM wykazują podobieństwo (tabela 3 i 5). W obu przypadkach zdecydowanie najmniej skorelowanymi kanałami są odpowiadające sobie: kanał 3 ASTER i kanał 4 Landsat ETM.

3. Kompozycje barwne

W przypadku każdego zdjęcia satelitarnego istotną rolę odgrywa możliwość utworzenia odpowiednich kompozycji barwnych, na podstawie których analizujemy i interpretujemy obraz powierzchni Ziemi.

W poszukiwaniu odpowiednich zestawień kanałów spektralnych tworzących barwną kompozycję RGB ograniczono się do zakresu VNIR o rozdzielczości przestrzennej 15 m oraz SWIR o dwukrotnie mniejszej rozdzielczości wynoszącej 30 m. Można oczywiście utworzyć również kompozycje z zastosowaniem kanału termalnego, jednakże ze względu na jego rozdzielczość, wynoszącą jedynie 90 m, kompozycje te charakteryzują się dużo mniejszym stopniem szczegółowości.

Na podstawie trzech kanałów VNIR utworzono 6 kompozycji barwnych, które następnie oceniono wizualnie. Z punktu widzenia barw kompozycji oraz potencjalnych możliwości interpretacyjnych jako najlepszą oceniono kompozycję (3,2,1) w czerwonej tonacji, bardzo zbliżoną do często stosowanej kompozycji (4,3,2) skanera Landsat TM oraz kompozycję (2,3,1) w tonacji zielonej.

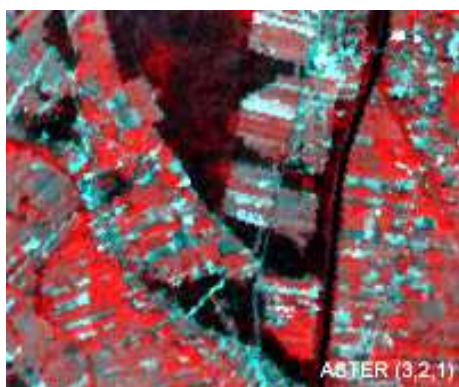
Pięć kanałów zakresu SWIR pozwala na utworzenie 60 różnych kompozycji RGB. Wobec dużej liczby możliwych kombinacji w celu wyboru odpowiednich kanałów zastosowano współczynnik OIF (Optimum Index Factor). Współczynnik ten pozwala na porównanie względnej pojemności informacyjnej zestawów kanałów spektralnych tworzących kompozycję RGB. Współczynnik OIF obliczany jest jako iloraz sum wartości bezwzględnych odchyłeń standardowych i współczynników korelacji kanałów tworzących kompozycję [Jensen, 1996; Mularz, 2000].

Dla analizowanego fragmentu sceny, dla kanałów SWIR, największą wartość współczynnika OIF uzyskano dla zestawu kanałów 4, 6 i 8. Podobnie jak w przypadku zakresów VNIR na podstawie wytypowanej trójki kanałów utworzono 6 kompozycji

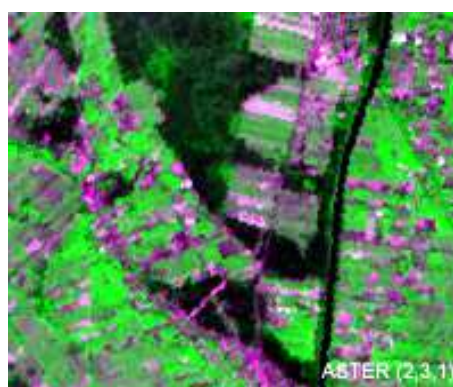
barwnych. Jako najlepszą oceniono kompozycję RGB (6,4,8), obrazującą powierzchnię Ziemi w zielonej tonacji, przypominającej kompozycję (3,2,1) skanera Landsat TM. Wysoką wartość współczynnika OIF uzyskano również dla kanałów 4, 6 i 7. Na ich podstawie można utworzyć kompozycje RGB (6,4,7) przedstawiającą obraz powierzchni ziemi również w tonacji zielonej, bardzo zbliżonej do pierwszej kompozycji (6,4,8).

Współczynnik OIF został wykorzystany również w celu określenia optymalnej kompozycji barwnej składającej się z kanałów VNIR i SWIR (na podstawie 8 kanałów można utworzyć 336 barwnych obrazów). Jako najlepszy zestaw kanałów zostały wytypowane kanały 2, 3 i 8. Najwyżej zostały ocenione kompozycje RGB (3,2,8) w tonacji czerwono-niebieskiej i (8,3,2) w tonacji zielono-fioletowej.

W teledetekcji satelitarnej w różnorodnych pracach interpretacyjnych powszechnie stosowana jest kompozycja (4,5,3) skanera Landsat TM. Na zdjęciach ASTER ten rodzaj kompozycji, utworzony z kanałów (3,4,2), również charakteryzuje się stosunkowo dużą wartością współczynnika OIF. Porównując kompozycję Landsat TM (4,5,3) i ASTER (3,4,2) wyraźnie widać, że kompozycja ASTER ze względu na większą rozdzielczość kanałów zakresu VNIR jest obrazem o większym stopniu szczegółowości. Na rysunkach 1, 2, 3, 4 i 5 przedstawiono wybrane kompozycje barwne zdjęcia ASTER w skali 1:50 000. W celu porównania kompozycji ASTER (3,4,2) (rys.5) na rysunku 6 przedstawiono kompozycję Landsat ETM (4,5,3).



Rys.1. Kompozycja barwna ASTER (3,2,1)



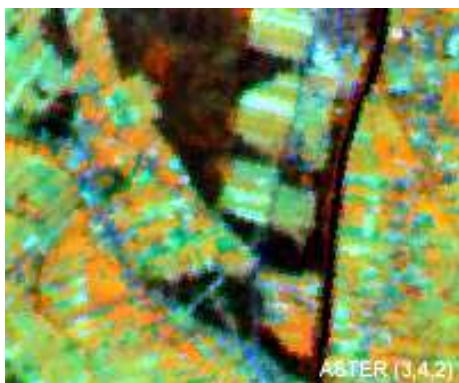
Rys.2. Kompozycja barwna ASTER (2,3,1)



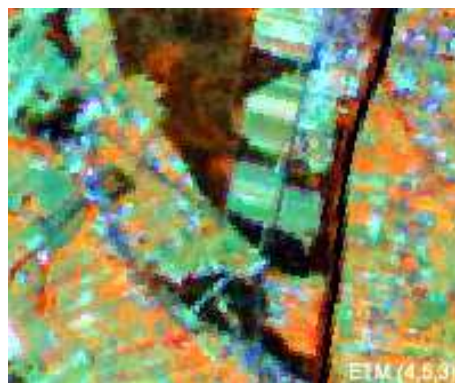
Rys.3. Kompozycja barwna ASTER (6,4,8)



Rys.4. Kompozycja barwna ASTER (8,3,2)



Rys.5. Kompozycja barwna ASTER (3,4,2)



Rys.6. Kompozycja barwna ETM (4,5,3)

4. Dane stereoskopowe ASTER

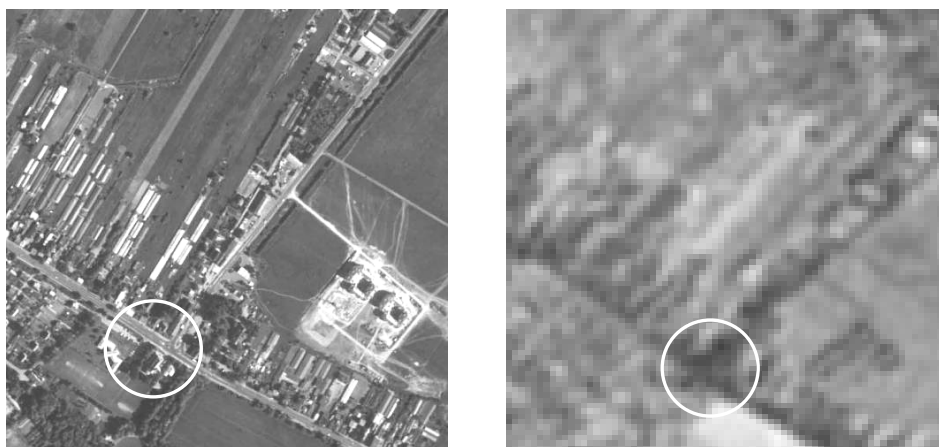
Dane stereoskopowe ASTER tworzą dwa kanały spektralne (3N, 3B) rejestrowane w bliskiej podczerwieni (tabela 1). Obrazy tworzące parę stereoskopową mogą być rejestrowane z jednej orbity dając stosunek bazy (B/H) równy 0.6, bądź z dwóch różnych orbit ze stosunkiem bazowym bliskim 1.0 oraz okresem rewizyty wynoszącym 5 dni.

Do badań testowych wykorzystano fragment sceny stereoskopowej ASTER, wykonanej z jednej orbity, pokrywającej obszar powiatu legionowskiego. Wybrane pole testowe charakteryzowały niewielkie deniwelacje terenu. Liczne elementy pokrycia terenu występujące na tym obszarze (lasy, obiekty przemysłowe, zbiorniki wodne) ograniczały w znacznym stopniu zakres działań metodycznych opracowania fotogrametrycznego. Fragment pola testowego „Legionowo” przedstawiono na ortofotoobrazie lotniczym wygenerowanym ze zdjęć w skali 1:26000 z rozdzielczością (Ground Sampling Distance) GSD=1 m oraz na obrazie w podczerwieni ASTER-3N z rozdzielczością GSD=15 m (rysunek 7).



Rys.7. Fragment pola testowego „Legionowo” przedstawiony na ortofotoobrazie lotniczym (z lewej) oraz obrazie ASTER-3N (z prawej)

Osnowę fotogrametryczną stanowiło 9 fotopunktów oraz 8 punktów kontrolnych rozmieszczonych równomiernie na obszarze testowym, dla których współrzędne płaskie zostały pomierzone na ortofotoobrazach lotniczych w skali 1:10 000, charakteryzujących się dokładnością $mp < 1.5$ m, zaś współrzędne wysokościowe zostały odczytane z mapy topograficznej w skali 1:10 000 (punkty osnowy wysokościowej). Projekt osnowy fotogrametrycznej bazował na konfrontacji obrazów lotniczych i satelitarnych, na podstawie której stwierdzono, iż optymalnym miejscem pomiaru współrzędnych osnowy fotogrametrycznej na ortofotoobrazie są skrzyżowania głównych dróg identyfikowane na obrazie ASTER z dokładnością poniżej 5 m (rysunek 8). Wobec powyższego dokładność osnowy fotogrametrycznej była zdeterminowana głównie dokładnością identyfikacji szczegółów sytuacyjnych na obrazach ASTER.



Rys.8. Identyfikacja skrzyżowania głównych dróg na ortofotoobrazie (po lewej) oraz obrazie satelitarnym ASTER (po prawej)

Pomiary fotogrametryczne oraz wyrównanie metodą wiązek wykonano w środowisku oprogramowania Ortho Engine PCI Geomatica v. 9.1. Dokładność orientacji pojedynczych scen oraz sceny stereoskopowej (błędy średnie liczone na podstawie poprawek do współrzędnych fotopunktów i punktów kontrolnych) zestawiono w tabeli 6.

Tabela nr 6

Zestawienie błędów średnich na fotopunktach i punktach kontrolnych po wyrównaniu

Scena	Błędy średnie na fotopunktach			Błędy średnie na punktach kontrolnych	
	m_x [m]	m_y [m]	m_z [m]	m_x [m]	m_y [m]
3N	± 1.9	± 3.2	-	± 2.3	± 2.8
3B	± 1.0	± 1.4	-	± 2.8	± 4.9
Stereo	± 1.4	± 2.4	± 3.4	-	-

Na podstawie elementów orientacji poszczególnych scen ASTER wygenerowano obrazy epipolarne wymagane w środowisku PCI Ortho Engine do generowania numerycznego modelu terenu (NMT).

Podjęte zostały działania metodyczne zmierzające do zbadania wpływu ukształtowania terenu oraz gęstości siatki pomiarowej na wynik autokorelacyjnego pomiaru NMT na podstawie danych stereoskopowych ASTER z pominięciem etapów filtracji i edycji. Dla każdego z 5 wybranych obszarów testowych wygenerowano NMT z gęstością siatki pomiarowej wynoszącą 25 m, 50 m oraz 100 m. Charakterystykę ogólną obszarów testowych przedstawia tabela 7.

Tabela nr 7

Charakterystyka obszarów testowych

Obszar testowy	Charakterystyka
01	Tereny zalewowe
02	Łąki i pastwiska
03	Tereny zurbanizowane
04	Użytki rolne
05	Tereny z luźną zabudową

Wynikiem autokorelacyjnego pomiaru NMT był 16-bitowy obraz tonalny, który dla potrzeb analizy dokładności został zapisany w formacie ASCII. Do kontroli wygenerowanych NMT posłużyły profile pomierzone na modelach zdjęć lotniczych w skali 1: 26000 z dokładnością $m_z = \pm 0.9$ m. Analizy dokładności przeprowadzono z użyciem oprogramowania MGE Terrain Analyst, zaś ich rezultaty przedstawiono w tabeli 8.

Tabela nr 8

Wyniki pomiaru NMT dla poszczególnych obszarów testowych

Obszar testowy	Błędy średnie wysokości m_z punktów siatki NMT [m]			Odchylenia standardowe [m]		
	Gęstość punktów siatki NMT [m]					
	25	50	100	25	50	100
01	± 19.2	± 19.4	± 19.2	± 10.6	± 10.1	± 9.4
02	± 13.5	± 13.7	± 13.9	± 7.0	± 6.6	± 6.3
03	± 8.6	± 8.6	± 8.2	± 7.0	± 6.7	± 6.4
04	± 6.4	± 5.8	± 5.9	± 6.0	± 5.2	± 5.1
05	± 6.8	± 6.2	± 6.5	± 4.8	± 4.0	± 4.2

Odnotowany duży zakres błędów NMT spowodowany może być nie tylko różnorodnością form terenowych występujących na poszczególnych obszarach testowych, lecz również brakiem filtracji obrazów źródłowych ASTER oraz niekorzystnym położeniem obszarów testowych względem osnowy fotogra-

metrycznej. Badany zakres gęstości siatki pomiarowej miał znikomy wpływ na dokładność korelacyjnego pomiaru NMT (tabela 8).

Powyższe opracowanie danych stereoskopowych ASTER należy traktować jako zapowiedź szerszych badań metodycznych.

5. Podsumowanie

Skaner ASTER jest wysokorozdzielczym skanerem dedykowanym do różnorodnych badań środowiskowych. Można powiedzieć, że jest on kontynuacją skanera Landsat TM, którego zdjęcia są bez wątpienia najbardziej znane i najczęściej wykorzystywane w teledetekcji satelitarnej.

W porównaniu ze zdjęciami Landsat TM zdjęcia ASTER charakteryzują się zwiększoną rozdzielczością przestrzenną (15 m w zakresie VNIR oraz spektralną (14 kanałów). Obecnie jest to chyba jedyny skaner, który równocześnie z zakresami VNIR i SWIR rejestruje wielospektralny obraz w zakresie TIR. Dodatkowo zdjęcia ASTER, dzięki konfiguracji stereoskopowej kanałów, można wykorzystywać w fotogrametrii satelitarnej do generowania NMT.

Charakterystyki spektralne skanera ASTER wskazują, że na jego zdjęciach można zastosować algorytmy i aplikacje opracowane z myślą o zdjęciach Landsat TM i ETM+.

Wstępne analizy fotogrametryczne pokazały, że na podstawie danych stereoskopowych ASTER dla terenów płaskich można pomierzyć automatycznie NMT z dokładnością wystarczającą do generowania ortofotomap cyfrowych w skali 1:25000 na podstawie zdjęć lotniczych oraz wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych, a także do generowania warstw z cięciem zasadniczym 20 m.

Obecnie jedno zdjęcie ASTER można uzyskać na bardzo atrakcyjnych warunkach. Cena pełnego zestawu danych wynosi poniżej 100 USD. Dostępne są również produkty przetworzone w amerykańskich i japońskich stacjach odbiorczych. Są to między innymi dane uzyskane po korekcji atmosferycznej, dane temperaturowe powierzchni ziemi, obrazy po dekorelacyjnym rozciągnięciu histogramu oraz numeryczny model terenu. [Abrams, 2000; ASTER reference guide, 2003].

Literatura

- Abrams M., 2000, The advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform, *Int. J. of Remote Sensing*, Vol 21, No 5.
- Abrams M. i inni, ASTER user handbook, Jet Propulsion Laboratory –California Institute of Technology.
- ASTER reference guide, 2003. ERSDAC.
- ASTER user's guide part 1, general, 2001, ERSDAC.
- ASTER user's guide part 2, level 1 data products, 2003, ERSDAC.
- ASTER user's guide part 3, 3D ortho product, 2003, ERSDAC.
- ASTER user's guide part 4, DEM product, 2002, ERSDAC.

- Goossens R., Schmidt M., Menz G., 2003. High resolution DEM and ortho-photomap generation from TERRA-ASTER data – Case study of Morocco, Geoinformation for European-wide Integration, Benes (ed.).
- Jensen J.R., 1996. Introductory digital image processing – a remote sensing perspective. Prentice Hall.
- Mularz S., Drzewiecki W., Pirowski T., 2000. Merging Landsat TM images and airborne photographs for monitoring of open-cast mine area. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 33, part B7, pp. 920-927.
- Toutin Th., 2001. DEM generation with ASTER stereo data, Earth Observation Magazine, vol. 10, no. 6, pp. 10-13.
- Toutin Th, 2002. Three-dimensional topographic mapping with ASTER Stereo data in Rugged Topography, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 40, no. 10, pp. 2241-2247.

Artykuł powstał w ramach projektu badawczego 5 T12E 023 25 finansowanego ze środków Komitetu Badań Naukowych.

Recenzował: dr inż. Katarzyna Osińska-Skotak