

Teledetekcja satelitarna w monitorowaniu lasów tropikalnych

Satellite remote sensing in monitoring of tropical forests

Tomasz ZAWIŁA-NIEDŹWIECKI, Addo KORANTENG, Hugo Ferrufino UGARTE, Joao Roberto DOS SANTOS, Francisco Dario MALDONADO

Paper describes two examples of strong changes in tropical forests. Different image processings were used to represent as precise as possible cartographic visualisation of land use change-

es. Studies conducted in Ghana and Boliwia show dramatic extend of deforestation as seen on different satellite images and try to examine the social and economic causes of the situation.

Wstęp

Wylesienia obszarów tropikalnych są wynikiem złożonych procesów społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Jedną z głównych przyczyn są zjawiska demograficzne – największe ubytki lasów tropikalnych są notowane w krajach o wysokim przyroście naturalnym i są między innymi skutkiem poszukiwania nowych terenów osadnictwa i produkcji rolnej.

Postępująca degradacja lasów tropikalnych skłania nie tylko do poszukiwania sposobów powstrzymania tych procesów, ale także do tworzenia obiektywnych metod diagnostycznych, pozwalających na ocenę stanu i zmian lasu, którego stabilność jest nie do przecenienia z punktu widzenia klimatu całego globu. Jest to tym istotniejsze, że obraz przekształceń lasów tropikalnych przedstawiany przez różne organizacje, bywa całkowicie odmienny. Na przykład raporty FAO podają, dla pięciu z sześciu krajów amazońskich, niższe wielkości wylesień, niż analizy bazujące na zdjęciach satelitarnych (Hansen i DeFries, 2004). Z drugiej strony oficjalne dane boliwijskie wskazują, iż wylesienia są 6 razy mniejsze niż to wynika z danych FAO (Ferrufino Ugarte, 2007).

Porównywanie różnych raportów jest tym trudniejsze, że nie zawsze znana jest dokładność metod stosowanych przez poszczególne zespoły. Ciągłe otwarte pozostaje zagadnienie: która metoda – terenowa, czy teledetekcyjna – dostarczą precyzyjniejszych danych?

Terenowa, w trudnych warunkach tropikalnych lasów deszczowych, wcale nie musi być dokładniejsza, a na pewno jest droższa. Ponadto pomiary terenowe nie są możliwe na ogromnych i trudnodostępnych obszarach Ameryki Południowej, Azji Południowo-Wschodniej, czy Zachodniej i Środkowej Afryki.

Biorąc pod uwagę powyższe przesłanki, w roku 2005 Wydział Lasu i Środowiska Uniwersytetu Nauk Stosowanych w Eberswalde rozpoczął badania nad teledetekcyjnymi metodami monitorowania lasów tropikalnych. Prowadzone są one we współpracy z Komisją Leśnictwa Ghany oraz dwoma instytucjami brazylijskimi: Państwowym Instytutem Badań Kosmicznych w São José dos Campos i Państwowym Instytutem Badań Amazonii w Manaus (Ferrufino Ugarte i in., 2008).

Badania te koncentrują się na obszarach badawczych zlokalizowanych w Ameryce Południowej, Afryce Zachodniej i Azji Południowo-Wschodniej. W chwili obecnej najbardziej zaawansowane są prace prowadzone w dwóch prowincjach.

1) Prowincji Guarayos w północno-wschodniej Boliwii, która jest terenem masowego napływu ludności z mało urodzajnej zachodniej części kraju. Analizie poddano obszar o powierzchni 4122 km², ograniczony współrzędnymi: W63°25'21" i S16°55'09" oraz 62°47'27" i 16°28'22". W wyniku ogromnej presji imigracyjnej tworzy się tutaj nowe gospodarstwa rolnicze kosztem pierwotnych lasów deszczowych. W latach 1993–2000 średnia roczna wielkość wylesień na obszarze Boliwii

osiągała 270 000 ha (Ferrufino Ugarte, 2007). W prowincji Guarayos, o powierzchni 32857,5 km², w 1994 roku lesistość wynosiła 97,6%, z czego w latach 1993–2000 rocznie ubywało średnio 0,8% lasów.

2) Okolicach miasta Kumasi, stolicy regionu Ashanti, w centralnej Ghanie. Teren analiz, o powierzchni 743 km², charakteryzuje się najwyższym zaludnieniem na terenie kraju i najwyższą dynamiką przyrostu mieszkańców. Pomiędzy rokiem 1984 a 2005 liczba ludności zwiększyła się tutaj z 2100000 do 3600000, co oznacza, że na obszarze zajmującym około 10% powierzchni kraju żyje prawie 20% jego mieszkańców (Koranteng, 2007), z czego ponad 50% mieszka w miastach. Region ten jest bogaty w zasoby mineralne, między innymi w złoża złota i boksytów, stanowi także znaczące zaplecze rolnicze i żywnościowe kraju.

Materiały i metoda

W omawianym opracowaniu wykorzystano trzy typy zobrażeń satelitarnych (tabela 1): zdjęcia wykonywane przez amerykańskie satelity Landsat 5 i 7 skanerami Thematic Mapper (TM) i Enhanced Thematic Mapper + (ETM+) oraz przez satelitę chińsko-brazylijskiego CBERS-2 (China-Brazil Earth Resources Satellite).

Bogate archiwa zdjęć pozyskiwanych przez satelity Landsat 5 i 7 zapewniają dostęp do danych z lat ubiegłych. Konkurencją dla nich mogą być satelity serii CBERS (ryc. 1), przeznaczone do monitorowania lasów amazońskich. Ich kolejne misje, o rozdzielczości tereno-

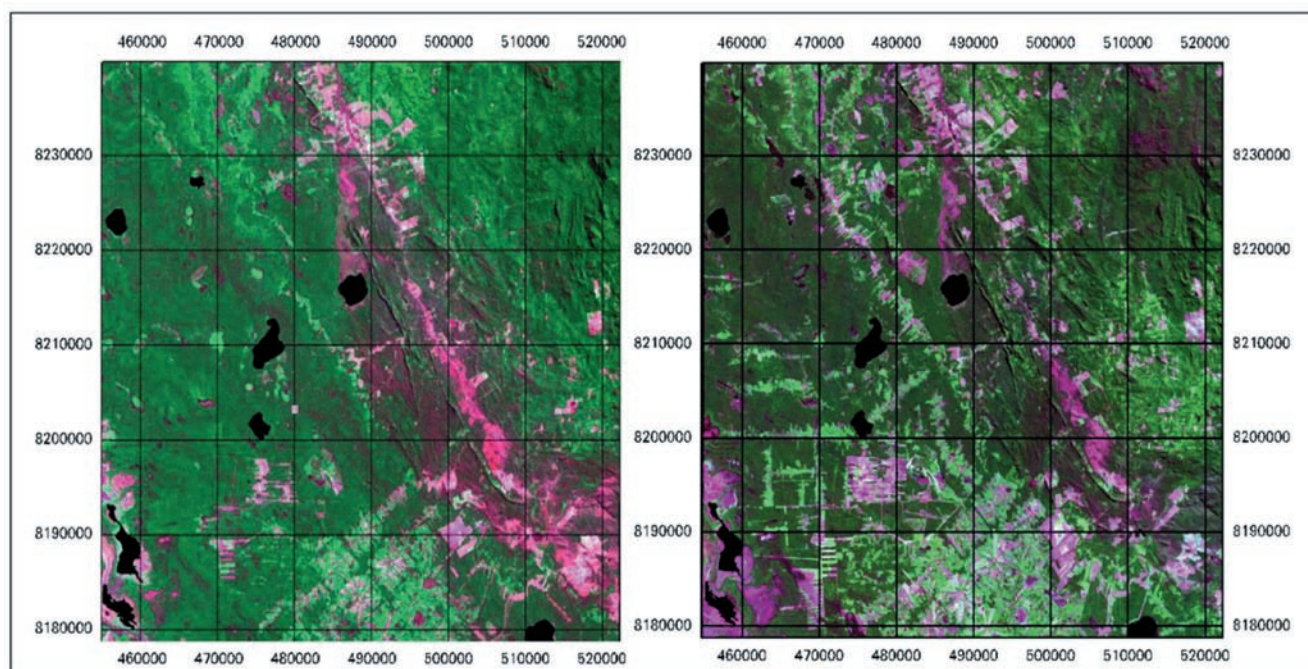
wej podwyższonej do 5 m, planowane są na lata 2008 (CBERS-4) i 2011 (CBERS-5). Z pewnością w najbliższej przyszłości do monitorowania wylesień będą także stosowane satelity radarowe, a może i lidarowe.

Prace polegały na analizie danych obrazowych poprzez:

- filtrację obszarów wodnych (maskowanie) w celu ich eliminacji, a co za tym idzie uproszczeniu klasyfikacji obrazów;
- wybór kanałów spektralnych oraz obrócenie osi rzutowania danych radiometrycznych według metody RCEN (radiometric rotation controlled by no-change axis), będącej rozwinięciem analizy składowych głównych w odniesieniu do lasów deszczowych (Maldonado, 1999; 2004; Maldonado i in., 2002; Santos i in., 2005);
- nałożenie zobrażeń wynikowych, ich klasyfikacje oraz zlokalizowanie obszarów zmian;
- finalną edycję map i wygenerowanie statystyk powierzchniowych.

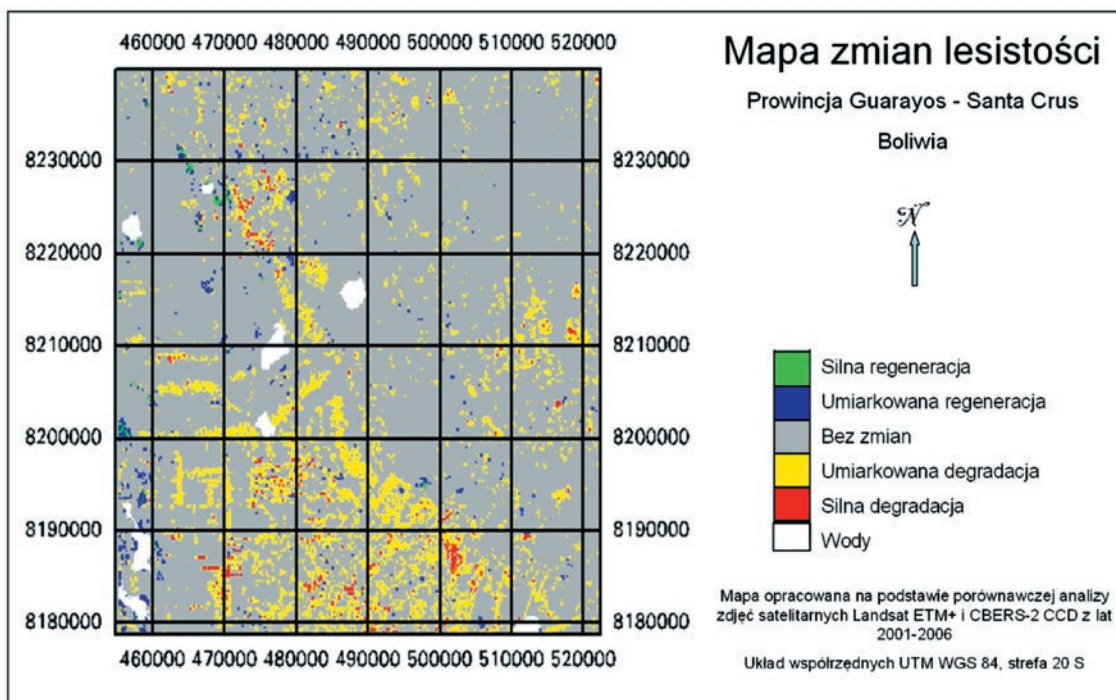
Na obszarze Guarayos analizowano jedynie zakres wylesień oraz ewentualnie odnowień, jako że pierwotnie cały analizowany obszar pokryty był lasem. Natomiast w przypadku okolic Kumasi analizowano zmiany użytkowania ziemi, jako że na tym obszarze poza lasami występowały także inne formy pokrycia terenu/użytkowania ziemi.

Prace prowadzono w trzech etapach. W pierwszym dokonano wyboru kanałów spektralnych, które mogą być użyteczne w analizach zmierzających do określenia zasięgu wylesień oraz dokonano geometryzacji zobrażeń. Ten etap miał na celu uzyskanie zdjęć o dobrej



Ryc. 1. Zdjęcia analizowanego obszaru Guarayos wykonane przez satelity Landsat ETM+ w 2001 roku i CBERS-2 CCD w 2006 roku, sprowadzone do wspólnego układu współrzędnych.

Fig. 1. Area under study in Guarayos as on satellite imagery acquired by Landsat ETM+ in 2001 and CBERS-2 CCD in 2006 in the common reference system.



Ryc. 2. Finalna mapa obrazowa zmian lesistości analizowanego obszaru Guarayos.

Fig. 2. Final image-map of forest change in Guarayos (green-strong regeneration, blue-moderate regeneration, gray-no change, yellow-moderate degradation, red-strong degradation)

jakości radiometrycznej i geometrycznej. Metoda wykorzystana w niniejszej pracy nie wymagała stosowania korekcji atmosferycznych obrazu.

W drugim etapie prac zastosowano metodę RCEN, która polega na utworzeniu dwuwymiarowych wykresów, gdzie osie XY reprezentują tony szarości analizowanych zakresów spektralnych rejestrowanych w różnych terminach. Wykresy takie, w postaci elipsy, pokazują rozkład chmury punktów odpowiadających wartościom poszczególnych pikseli tworzących obrazy. Następnie dokonuje się obrotu osi współrzędnych tak, aby nowoutworzona oś X przechodziła przez dłuższą oś elipsy. Wskutek tej operacji otrzymuje się zmianę współrzędnych każdego piksela, a że nowa oś przedstawia kierunek i długość najszerzego przekroju elipsy, jest ona miarą największej wariancji danych. Wartości zarejestrowane na nowej osi X będą reprezentowały większe spektrum, niż dane wejściowe, a więc informacja przekazywana przez nowy obraz będzie bogatsza niż w przypadku danych pierwotnych.

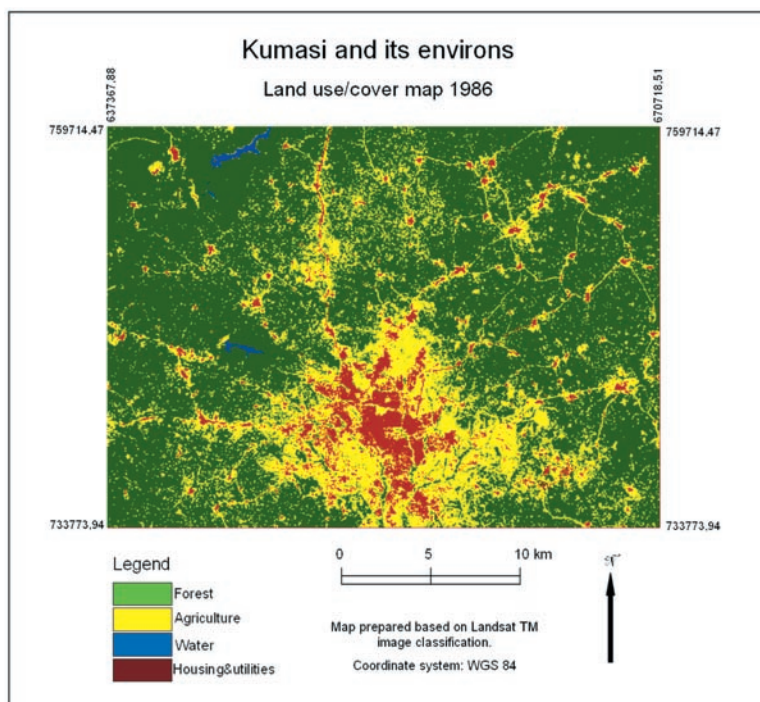
Trzeci etap prac obejmował klasyfikację oraz finalne porównanie obrazów wieloterminowych w celu określenia lokalizacji obszarów zmian pokrywy roślinnej i zmian form użytkowania ziemi oraz edycję map wynikowych.

Do analiz wykorzystano systemy przetwarzania obrazu Erdas Imagine, ArcGIS i ENVI.

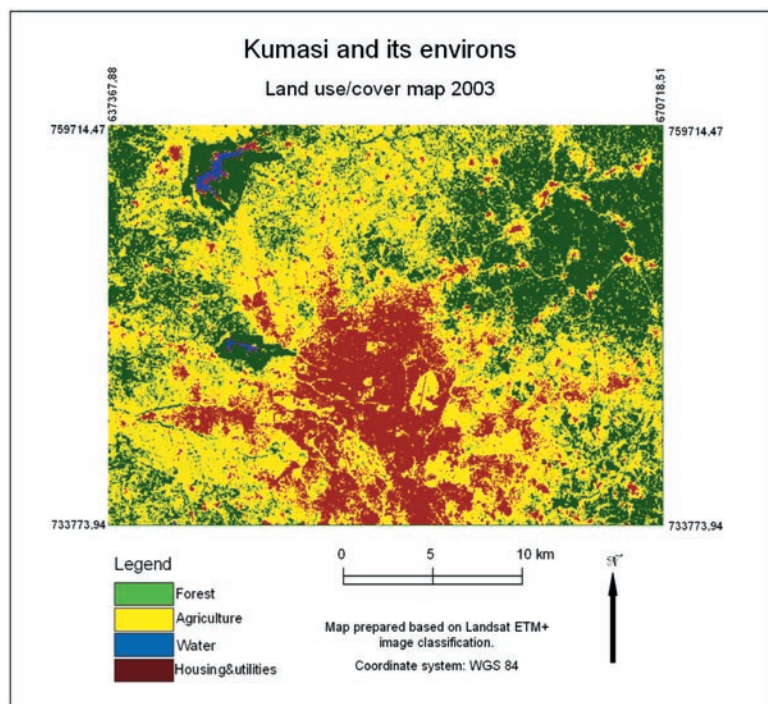
Wyniki

Guarayos

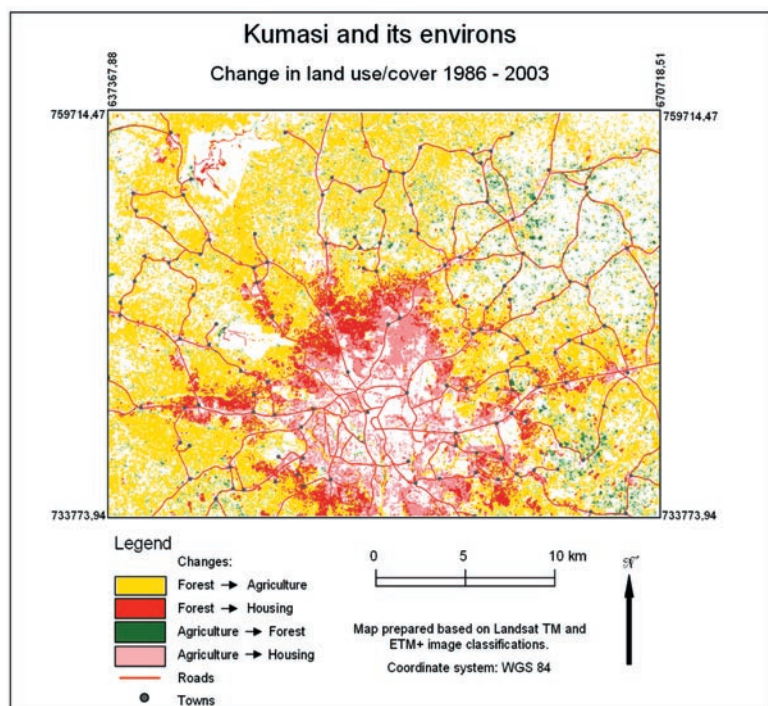
Obraz wynikowy został poddany edycji, tak by przedstawiał obszary wylesione, odnowione oraz bez zmian (ryc. 2). Dokonano tego poprzez analizę histogramu



Ryc. 3. Klasyfikacja użytkownika ziemi rejonu Kumasi w 1986 roku.
Fig. 3. Kumasi area landuse classification in 1986.



Ryc.4. Klasyfikacja użytkowania ziemi rejonu Kumasi w 2003 roku.
Fig. 4. Kumasi area landuse classification in 2003.



Ryc.5. Mapa zmian użytkowania ziemi w rejonie Kumasi w latach 1986–2003.

Fig. 5. Kumasi area landuse change in 1986–2003.

wartości spektralnych poszczególnych pikseli. Na tym histogramie, centralna jego część, obrazująca maksimum częstotliwości, reprezentuje obszar, na którym nie zaobserwowano zmian w pokrywie leśnej. Wartości wykresu w lewo i prawo pokazują po dwie klasy regeneracji lasu (umiarkowane i silne) oraz jego degradacji (umiarkowane i silne).

Dokładność tak przeprowadzonej wieloterminowej analizy zdjęć satelitarnych osiągnęła wartość *Kappa* 0,72.

Przedstawione na mapie obszary zdegradowane zajmują ponad 11% (tabela 2), co biorąc pod uwagę krótki, pięcioletni analizowany okres (sierpień 2001 – lipiec 2006) jest wartością niepokojącą. Tereny wylesione zajęte zostały przez uprawy rolne (soja, ryż, kukurydza i pastwiska). Główna różnica pomiędzy silną i umiarkowaną degradacją polega na zmienności uwilgotnienia siedliska, która wpływa na możliwość jego rolniczego wykorzystania.

Obszary odnowień zajmują bardzo małą powierzchnię – poniżej 1%, a więc można stwierdzić, iż na analizowanym obszarze dokonuje się dramatyczna degradacja środowiska naturalnego.

Warto podkreślić, że intensywna transformacja opisywanego obszaru rozpoczęła się 10 lat temu, po zbudowaniu drogi, której przebieg jest widoczny na analizowanych zdjęciach satelitarnych.

Kumasi

Przetworzone obrazy Landsata poddano klasyfikacji wyróżniając następujące klasy użytkowania ziemi: lasy, tereny rolnicze, zabudowę i wody. Tak sklasyfikowane dane poddano analizie wieloterminowej 1986–2003.

Mapa użytkowania ziemi w roku 1986 (ryc. 3) pokazuje obszar badań, jako porośnięty w 71% lasami. Rolnictwo zajmowało – 23%, a wody i tereny zurbanizowane – 6%. Natomiast na analogicznej mapie z 2003 roku (ryc. 4) widać, że obszar ten stracił prawie 38% lasów, a powierzchnia użytków rolniczych wzrosła o ponad 25% (tabela 3). Ekspansja widoczna jest szczególnie wokół jezior i wzdłuż dróg.

Analiza porównawcza obu map (tabela 4 i ryc. 5) pokazuje, że tereny leśne zostały w 35% powierzchni zajęte przez rolnictwo, zabudowa zajęła kolejne 5% lasów oraz 8% uprzednio wykorzystywanych rolniczo. Jedyne około 2% terenu zostało przekazane do odnowienia lasem.

Podsumowanie

Zaprezentowana metoda analizy wieloterminowych i wielospektralnych zdjęć satelitarnych pozwala na obiektywną analizę rozmieszczenia i stopnia degradacji deszczowych lasów tropikalnych. Dostarcza ona informacji powierzchniowych, które są odniesione przestrzennie.

Tabela 1. Parametry satelitów Landsat TM, ETM+ i CBERS-2 wykorzystywanych w badaniach
 Table 1. Parameters of satellites Landsat TM, ETM+ and CBERS-2 used in presented investigations

Parametr <i>Parameter</i>	Landsat 5	Landsat 7	CBERS-2
Data umieszczenia na orbicie <i>Date of lounch</i>	1982	15.04.1999	2003
Orbita <i>Orbit</i>	heliosynchroniczna, 705 km	heliosynchroniczna, 705 km	heliosynchroniczna, 778 km
Okres obrazowania globu (oraz czas jednego okrażenia kuli ziemskiej) <i>Temporal resolution</i>	16 dni (99 min)	16 dni (99 min)	26 dni (100,26 min)
Zasięg sceny <i>Scene size</i>	185 km	185 km	113 km
Typ sensora <i>Sensor</i>	skaner TM	skaner ETM+	kamera CCD z obiektywem o ogniskowej 520 mm
Rejestrowane zakresy spek- tralne w μm (i rozdzielczość terenowa w m) <i>Spectral (and spatial) reso- lution</i>	1: 0,450–0,515 (30) 2: 0,525–0,605 (30) 3: 0,630–0,690 (30) 4: 0,750–0,900 (30) 5: 1,550–1,750 (30) 6: 10,40–12,50 (120) 7: 2,09–2,35 (30)	1: 0,450–0,515 (30) 2: 0,525–0,605 (30) 3: 0,630–0,690 (30) 4: 0,750–0,900 (30) 5: 1,550–1,750 (30) 6: 10,40–12,50 (60) 7: 2,09–2,35 (30) Pan: 0,52–0,90 (15)	1: 0,45–0,52 (20) 2: 0,52–0,59 (20) 3: 0,63–0,69 (20) 4: 0,77–0,89 (20) Pan: 0,51–0,73 (20)
Zapis cyfrowy <i>Digital notation</i>	8 bitów (256 tonów szarości)	8 bitów (256 tonów szarości)	8 bitów (256 tonów szarości)
Terminy zobrazowań <i>Dates of used images</i>	11.01.1986 (Kumasi)	11.08.2001(Guarayos) 19.02.2003 (Kumasi)	20.07.2006(Guarayos)

Tabela 2. Struktura powierzchniowa zmian lesistości na analizowanym obszarze Guarayos.
 Table 2. Area statistics concerning forest change in area under study Guarayos

Nazwa klasy <i>Class</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	
	km ²	%
Silna regeneracja <i>Strong regeneration</i>	5,50	0,13
Umiarkowana regeneracja <i>Moderate regenerartion</i>	32,63	0,79
Bez zmian <i>No changes</i>	3433,59	83,29
Umiarkowana degradacja <i>Modarate degradation</i>	440,30	10,68
Silna degradacja <i>Strong degradation</i>	34,20	0,83
Wody <i>Water bodies</i>	176,12	4,27
Σ	4122,35	100,00

Tabela 3: Powierzchnia klas użytkowania ziemi w rejonie Kumasi w latach 1986 i 2003
 Table 3. Land use area statistic in Kumasi in 1986 and 2003

Nazwa klasy Class	Powierzchnia w km ² (i %) Area in km ² (and %)	
	1986	2003
Las Forest	528.35 (71.22)	246.96 (33.24)
Rolnictwo Agriculture	169.13 (22.77)	358.68 (48.28)
Wody Water bodies	1.89 (0.25)	2.15 (0.30)
Zabudowa Urbanised	43.49 (5.85)	135.07 (18.18)
Σ	742.86 (100.00)	742.86 (100.00)

Tabela 4. Zmiany użytkowania ziemi w rejonie Kumasi w latach 1986–2003
 Table 4. Land use change in Kumasi in 1986–2003

Zmiany użytkowania ziemi Change of land use classes	Powierzchnia		
	km ²	%	% całego obszaru badań % of entire area under study (742.86 km ² =100%)
Las → Rolnictwo Forest → Agriculture	256.50	69.40	34.51
Las → Zabudowa Forest → Urban	39.71	10.70	5.35
Rolnictwo → Las Agriculture → Forest	15.52	4.20	2.10
Rolnictwo → Zabudowa Agriculture → Urban	58.00	15.70	7.81
Σ	369.73	100.00	49.77

Zaletą metody jest możliwość wykorzystania różnych typów obrazów satelitarnych. Jednakże stosowane powinny być te, które rejestrują kanały: zielony, czerwony i bliskiej podczerwieni.

Wyniki monitoringu obszarów Guarayos w Boliwii i Kumasi w Ghanie pokazują dramatyczne zmiany lesistości. W ciągu 5 lat lesistość analizowanego obszaru Boliwii zmniejszyła się o ponad 10%, a analizowanego obszaru Ghany – o 75% w przeciągu 17 lat. Obserwując te wskaźniki można podzielić obawy Osei-Owusu (2007), który uważa, że w ciągu najbliższych lat na terenach opisywanych w niniejszej pracy las może przestać istnieć.

Literatura

- Ferrufino Ugarte H.R., 2007, *Change Detection in the Amazonian Rainforest with Radiometric Rotation Technique*. University of Applied Sciences, Eberswalde, 77 p.
- Ferrufino Ugarte, H., Zawila-Niedźwiecki, T., Santos, J. R., Maldonado, F. D., 2007, *Change detection in the Amazon rainforest with radiometric rotation technique RCEN multi-spectral – case study: Guarayos, Bolivia, IGARSS 2007*. Barcelona – Spain. IEEE International: 5302–5305.
- Hansen M., DeFries R., 2004, Detecting long term forest change using continuous field of tree cover maps from 8 km AVHRR data for the years 1982–1999. *Ecosystems*, 7 (7): 695–716.
- Koranteng A., 2007, *Land use/cover change in the Kumasi metropolis and its environs based on the analysis of Landsat images*. University of Applied Sciences, Eberswalde.
- Maldonado F.D., 1999, *Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba, Brasil*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (INPE-7180-TD/680): 116 p.
- Maldonado F.D., 2004, *Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (INPE-7243-TDI/929): 314 p.

Maldonado F.D., Santos J.R., Carvalho V.C., 2002, *Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis*. International Journal of Remote Sensing, v.23, n.23: 5005–5013.

Osei-Owusu, T., 2007, *75,000 hectares of forest deplete annually*. Myjoyonline.Com News. URL: World Wide Web: [http://](http://www.myjoyonline.com/news/200706/5590.asp)

www.myjoyonline.com/news/200706/5590.asp [Cited 14 June 2007].

Santos J.R., Maldonado F.D., Graça, P.M.L., 2005, *New change detection technique using ASTER and CBERS-2 images to monitor Amazon tropical forest*. In: International Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Seoul.



Tomasz Zawila-Niedźwiecki,
Wydział Lasu i Środowiska, Uniwersytet Nauk Stosowanych
Alfred-Möller-Str.1; D-16225 Eberswalde, Niemcy
tzawila@fh-eberswalde.de, <http://www.fh-eberswalde.de>



Addo Koranteng
Wydział Lasu i Środowiska, Uniwersytet Nauk Stosowanych
Alfred-Möller-Str.1; D-16225 Eberswalde, Niemcy
addokoranteng@yahoo.com



Hugo Ferrufino Ugarte
Państwowa Agencja Leśna Boliwii
Avenida 2 de Agosto 2, Pasando Cuarto Anillo, Santa Cruz, Boliwia
hferrufino@sforestal.gov.bo



Joao Roberto dos Santos
Państwowy Instytut Badań Kosmicznych – INPE
Avenida dos Astronautas 1758, CEP: 12.227-010 São José dos Campos – SP, Brazylia
jroberto@dsr.inpe.br



Francisco Dario Maldonado
Państwowy Instytut Badań Amazonii – INPA
CEP: 515-12245-970 – Manaus – AM, Brazylia
maldonado@inpa.gov.br