

Romuald Kaczyński^{*,**}, Ireneusz Ewiak^{**}

WYSOKOROZDZIELCZE ZOBRAZOWANIA SATELITARNE A ZDJĘCIA LOTNICZE

1. Wstęp

Od czasu pojawienia się na rynku pierwszych komercyjnych wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych Zakład Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii zapoczątkował w Polsce kompleksowe badania metodyczne zmierzające do określenia ich przydatności w rozwijających się technologiach cyfrowych opracowań fotogrametrycznych. Dotyczy to zarówno pojedynczych scen, jak i scen stereoskopowych. W celu określenia dokładności geometrycznej nowych zobrazowań z satelitów IKONOS i QuickBird autorzy niniejszego artykułu, na podstawie zdobytych w tym zakresie doświadczeń, zestawili rezultaty dotychczasowych badań, porównując je z wynikami opracowań fotogrametrycznych bloków zdjęć lotniczych wykonanych kamerami z rejestracją środków rzutów metodą dGPS. Niniejszy artykuł jest próbą określenia możliwości fotogrametrycznych opracowań nowych zobrazowań satelitarnych w porównaniu do klasycznych zdjęć lotniczych.

2. Opracowanie zdjęć lotniczych

2.1. Charakterystyka bloku zdjęć lotniczych

Blok aerotriangulacji o powierzchni 170 km² tworzyły dwa szeregi zdjęć (6 zdjęć w każdym szeregu) wykonanych kamerą Leica RC-20 z obiektywem o $c_k = 153,36$ mm w skali około 1:26 000. Zdjęcia zostały wykonane na filmie panchromatycznym w sierpniu

* Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

** Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa

2004 r. z rejestracją środków rzutów metodą dGPS. Dokładność współrzędnych punktu na profilu lotu oszacowano wstępnie: $m_X = m_Y = m_Z = 0,10$ m. Zdjęcia zeskanowano pikselem $14\ \mu\text{m}$. Do wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć wykorzystano 12 fotopunktów w następującej konfiguracji: po dwa w każdym z narożników bloku oraz po jednym na brzegach bloku i dwa wewnątrz bloku. Do oceny dokładności bloku aerotriangulacji zaprojektowano dodatkowo 24 niezależne punkty kontrolne. Pomiary terenowe współrzędnych fotopunktów i punktów kontrolnych wykonano techniką GPS, wykorzystując odbiorniki firmy Ashtech model Z-XII. Pomiary GPS nawiązane były do stacji permanentnych w Borowej Górze i w Centrum Badań Kosmicznych. Dokładność pomiaru i identyfikacji osnowy fotogrametrycznej (fotopunktów i punktów kontrolnych) w terenie i na zdjęciach oszacowano na poziomie $0,30$ m dla współrzędnych płaskich oraz $0,25$ m dla współrzędnej wysokościowej.

2.2. Pomiary fotogrametryczne i wyrównanie bloku aerotriangulacji

Pomiary wykonano na stacji fotogrametrycznej ImageStation SSK Pro z użyciem modułów oprogramowania Image Station Automatic Triangulation v.4.1. Dokładność półautomatycznego pomiaru współrzędnych tłowych oszacowano na $4\ \mu\text{m}$. Położenie punktów wiążących określano manualnie, tak aby pomiar techniką korelacji obrazów pozwalał uzyskać wynik na poziomie $0,25$ piksela. Do wyrównania bloku użyto programu BINGO-F wersja 5.1.3.

W rezultacie wyrównania bloku zdjęć lotniczych otrzymano:

— błędy średnie współrzędnych fotopunktów:

$$m_X = 0,25\ \text{m};\ m_Y = 0,29\ \text{m};\ m_Z = 0,16\ \text{m};$$

— błędy średnie wyznaczenia współrzędnych punktów kontrolnych:

$$m_X = 0,22\ \text{m};\ m_Y = 0,24\ \text{m};\ m_Z = 0,32\ \text{m}.$$

Uzyskany wynik wyrównania aerotriangulacji z użyciem współrzędnych środków rzutów rejestrowanych podczas lotu fotogrametrycznego był o około 30% lepszy niż uzyskiwany w produkcji, co jest spowodowane bardzo starannym wyborem fotopunktów naturalnych oraz wyrównaniem oprogramowaniem BINGO-F z dodatkowymi parametrami.

2.3. Numeryczny model terenu

Pomiar numerycznego modelu terenu wykonano techniką korelacji obrazów w regularnej siatce o oczku $25\ \text{m}$ z wykorzystaniem programu Image Station Automatic Elevation Collection. Dodatkowo zaznaczono na modelu stereoskopowym elementy strukturalne rzeźby terenu, takie jak: linie szkieletowe, linie nieciągłości, obszary wyłączone, obszary planarne, punkty wysokościowe itp.

Ocenę dokładności przeprowadzono na podstawie porównania wysokości wyinterpolowanych z wynikowego numerycznego modelu terenu z odpowiadającymi im wysokościami profili terenowych z wykorzystaniem modułu programu MGE Terrain Analyst v.7.1.

Błędy średnie obliczone na podstawie różnic wysokości w profilach mieściły się w przedziale od 0,64 m do 0,74 m.

2.4. Generowanie i dokładność ortofotomap cyfrowych

Ortoobrazy wygenerowano dla każdego zdjęcia w bloku z pikselem terenowym 0,5 m. Do generowania ortobrazów wykorzystano moduł programu Image Station Ortho Pro firmy Z/I Imaging, do którego zaimportowano elementy orientacji zewnętrznej każdego zdjęcia oraz numeryczny model terenu w formacie TIN.

W celu wytworzenia ortobrazu całego bloku zdjęć poszczególne ortobrazy były mozaikowane i wyrównane tonalnie.

Ocenę dokładności ortobrazów przeprowadzono na podstawie współrzędnych 31 niezależnych punktów kontrolnych, które nie były użyte do wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej, a tym samym opracowania NMT (Numerycznego Modelu Terenu) oraz ortofotomap. Błąd średni położenia szczegółów sytuacyjnych na ortofotomapach cyfrowych wynosi $m_{X,Y} = 0,3$ m (tj. wartość jednego piksela skanowania zdjęć lotniczych), co odpowiada dokładności identyfikacji tych szczegółów w terenie i na zdjęciach lotniczych. Wygenerowany ortobraz odpowiada dokładności geometrycznej mapy w skali 1:5000 oraz w skalach mniejszych. Dokładność ta dotyczy jedynie jednoznacznie identyfikowalnych szczegółów sytuacyjnych.

3. Opracowanie zobrazowania satelitarnego IKONOS-2

3.1. Charakterystyka sceny IKONOS

Scena IKONOS-2, której obraz był kombinacją kanału panchromatycznego i kanałów RGB (ang. *red, green, blue*) (tzw. *pan sharpened*) zarejestrowano 1 maja 2004 roku przy kącie wychylenia sensora 1,6 stopnia od kierunku nadirowego. Do danych obrazowych dołączane były metadane opisujące geometryczny model kamery oraz parametry orbity satelity IKONOS.

3.2. Projekt i pomiar osnowy fotogrametrycznej

Jako osnowę fotogrametryczną wykorzystano te same fotopunkty, które były wykorzystane do wyrównania bloku zdjęć lotniczych. Do niezależnej oceny dokładności geometrycznej sceny wykorzystano te same punkty kontrolne, które użyto do oceny dokładności aerotriangulacji bloku zdjęć i ortofotomap cyfrowych ze zdjęć lotniczych.

3.3. Korekcja geometryczna sceny IKONOS

Korekcję przeprowadzono w czterech wariantach, które szczegółowo opisano w publikacji [6]. W pierwszym wariantcie korekcję geometryczną oparto na matematycznym modelu sensora satelity IKONOS-2, zwanym modelem Toutina z użyciem dziewięciu fotopunk-

tów. W wariancie drugim do orientacji sceny wykorzystano wyłącznie współczynniki funkcji wymiernej RPC, które dołączone były do plików obrazowych. W wariancie trzecim do orientacji sceny wykorzystano zestaw współczynników RPC z pięcioma fotopunktami. W wariancie czwartym wyznaczono niezależnie współczynniki funkcji RPC na podstawie 31 fotopunktów rozmieszczonych symetrycznie na scenie. Wyniki korekty geometrycznej sceny dla poszczególnych wariantów zamieszczono w publikacji [6].

Uzyskane wyniki dla wariantu pierwszego i trzeciego pozwalały stwierdzić, że badana scena IKONOS-2 charakteryzowała się wysoką wewnętrzną zgodnością geometryczną na poziomie 0,4 m, tj. 0,4 piksela obrazu źródłowego.

W przypadku wariantu drugiego stwierdzono, iż mimo wewnętrznej zgodności geometrycznej matrycy obrazowej, istnieje stałe przesunięcie (shift) w układzie orientacji sceny. Wielkość średnia tego przesunięcia wynosiła: $\text{shift}_x = 2,0$ m oraz $\text{shift}_y = 6,5$ m, co po ich uwzględnieniu daje dokładność: $m_x = 0,37$ m i $m_y = 0,42$ m.

W wariancie czwartym uzyskano wysoką zgodność wpasowania sceny w układ współrzędnych geodezyjnych PUWG 1992. Wariant ten nie uwzględnia jednak niezależnej oceny wpasowania matrycy obrazowej sceny na punktach kontrolnych, gdyż punkty te użyto również do wyznaczenia niezależnych współczynników RPC (*Rational Polynomial Coefficient*).

Z powyższej analizy wynika, że wariant trzeci jest optymalny do orientacji sceny IKONOS-2. Pięć odpowiednio rozmieszczonych i zidentyfikowanych fotopunktów wystarczy do orientacji sceny IKONOS-2 z dokładnością rzędu 0,4 piksela.

3.4. Generowanie i ocena dokładności ortofotomapy

Wygenerowane zostały cztery niezależne ortoobrazy odpowiadające poszczególnym wariantom orientacji sceny IKONOS-2 z pikselem terenowym 0,5 m. Poza elementami orientacji zewnętrznej sceny, uzyskanymi w każdym wariancie, do procesu ortorektyfikacji włączono numeryczny model terenu wygenerowany metodą korelacji obrazów na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1: 26 000.

Miarą oceny dokładności procesu ortorektyfikacji były błędy średnie położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoobrazie, liczone na podstawie różnic współrzędnych punktów odczytanych na ortoobrazie i współrzędnych punktów otrzymanych z pomiaru terenowego. Analizę dokładności ortoobrazów wykonano za pomocą narzędzi programu Image Station Ortho Pro v.3.2.

Wyniki analizy zamieszczono w tabeli 1.

Na uwagę zasługuje wariant wykorzystujący współczynniki RPC uściślone użyciem zaledwie pięciu fotopunktów, w którym dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych odpowiada dokładności mapy zasadniczej w skali 1:5000 i w skalach mniejszych. Podobne rezultaty można uzyskać, wykorzystując matematyczny model sensora satelity (tzw. model Toutina), jednakże w tym wariancie do orientacji sceny należy użyć co najmniej 9 fotopunktów.

Orientacja sceny z użyciem tylko współczynników RPC, dostarczanych wraz ze sceną przez SpaceImaging nie pozwala uzyskać wystarczających dokładności generowanej orto-

fotomapy cyfrowej w skali 1:5000. Poza tym wariantem orientacji sceny, we wszystkich pozostałych przypadkach uzyskano dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych na ortofotomapie odpowiadającą dokładności mapie zasadniczej w skali 1:5000 i skalach mniejszych.

Tabela 1. Ocena dokładności ortoobrazów dla poszczególnych wariantów orientacji sceny IKONOS-2

Numer wariantu	Charakterystyka wariantu	Błąd średni położenia punktu m_{XY}	Spełnienie kryterium dokładności dla mapy zasadniczej w skali	
			od	do
1	Model Toutina z 9 Fp	0,44 m	1: 5000	1: 10 000
2	Tylko RPC bez Fp	7,21 m	–	–
3	RPC z 5 Fp	0,45 m	1 : 5000	1 : 10 000
4	Niezależne wyznaczenie funkcji RPC z 31 fotopunktów	0,94 m	1 : 5000	1: 10 000

4. Opracowanie zobrazenia satelitarnego QuickBird-2

4.1. Charakterystyka sceny i osnowa fotogrametryczna

Scenę pozyskano 4 maja 2003 r. przy wychyleniu sensora satelity około 5° od kierunku nadirowego. Poziom danych: Basic-1B z rozdzielczością radiometryczną 11 bitów/piksel. Do obrazu cyfrowego dołączony był zestaw metadanych zawierający współczynniki funkcji wymiernej RPF (*Rational Polynomial Function*) opisujące wstępną orientację sceny.

Osnowę fotogrametryczną danych QuickBird stanowiły fotopunkty oraz punkty kontrolne zaprojektowane na podstawie obserwacji modeli stereoskopowych zdjęć lotniczych w skali 1:26 000, pokrywających ten sam obszar co scena satelitarna, których dokładność wyznaczenia współrzędnych w terenie wynosiła 0,3 m dla współrzędnych X , Y , Z .

4.2. Korekcja geometryczna

Wyniki korekcji geometrycznej zaprezentowano w tabeli 2. Każdy z wariantów uwzględnia różną liczbę fotopunktów użytych w procesie orientacji sceny. Pomiary wykonano w module Ortho Engine v.9.1.6 oprogramowania PCI Geomatica.

Z tabeli 2 wynika, że metoda ścisła korekcji geometrycznej sceny QuickBird Pan z wykorzystaniem dodatkowo tylko dziewięciu fotopunktów pozwala na jej orientację do układu współrzędnych terenowych PUWG 1992 z dokładnością $m_X = 0,3$ m i $m_Y = 0,35$ m.

Tabela 2. Wyniki korekcji geometrycznej sceny QuickBird wykonanej metodą ścisłą (Toutina)

Liczba fotopunktów	Liczba punktów kontrolnych	Błędy średnie [m]			
		Fotopunkty		Punkty kontrolne	
		m_x	m_y	m_x	m_y
14	24	0,17	0,30	0,30	0,27
11	24	0,02	0,27	0,30	0,36
9	24	0,02	0,21	0,31	0,35
7	24	0,02	0,01	0,52	1,09
5	24	0,01	0,01	14,81	2,93

Wyniki korekcji geometrycznej sceny QuickBird z użyciem współczynników RPC wyznaczonych na podstawie od 11 do 14 fotopunktów, stanowiące rozwinięcie wielomianu drugiego stopnia, zapewniają dokładność orientacji sceny QuickBird rzędu $m_x = m_y = 0,3$ m, czyli 1/2 piksela. Inne warianty opracowania sceny zamieszczono w publikacji [6].

4.3. Generowanie i ocena dokładności ortofotomapy

Błędy średnie położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoobrazach wygenerowanych z pikselem 1 m i 0,5 m, obliczone na podstawie współrzędnych 21 niezależnych punktów kontrolnych, zamieszczono w tabeli 3. Analizę dokładności ortoobrazów wykonano za pomocą narzędzi programu Image Station Ortho Pro v.3.2.

Tabela 3. Ocena dokładności ortoobrazów dla poszczególnych wariantów orientacji sceny QuickBird

Wariant korekcji	Błąd średni położenia punktu m_{xy} [m]	Spełnienie kryterium dokładności dla mapy zasadniczej w skali	
		od	do
Model ścisły i 9 Fp	0,56 (0,45)	1 : 5000	1 : 10 000
RPC i 7 Fp	1,25 (0,95)	1 : 10 000	1 : 10 000
RPC obliczone z 11 Fp	0,65 (0,55)	1 : 5000	1 : 10 000

Ortofotomapa wygenerowana z pikselem 0,5 m (dane w tab. 3 w nawiasach) charakteryzuje się błędem średnim położenia szczegółów terenowych $m_{xy} = 0,45$ m. Aby taką dokładność otrzymać, należy przeprowadzić korekcję geometryczną sceny QuickBird z użyciem ścisłego modelu z dodatkowymi dziewięcioma fotopunktami.

5. Wnioski

Współczynniki RPC dostarczane przez firmy SpaceImaging i DigitalGlobe można skorygować poprzez użycie dobrze zidentyfikowanych fotopunktów. Proces ten, dla danych IKONOS, oparty jest na pomiarze współrzędnych obrazowych zaledwie pięciu fotopunktów, powodując skorygowanie geometrii obrazu źródłowego do poziomu 0,4 m dla obu współrzędnych płaskich.

W przypadku korekcji sceny QuickBird, w oparciu o współczynniki RPC, niezależnie od liczby fotopunktów biorących udział w ich uściśleniu, geometria wynikowego obrazu jest mniej dokładna i charakteryzuje się błędami średnimi współrzędnych płaskich w przedziale od 0,8 m do 1 m. Świadczy to jednoznacznie o niskiej jakości parametrycznej współczynników dostarczanych przez DigitalGlobe.

Lepsze wyniki korekcji geometrycznej uzyskano w procesie niezależnego wyznaczenia współczynników RPC zarówno dla obrazu IKONOS i QuickBird. W tym wariancie korekcji lepsze wyniki uzyskano dla obrazu Quick Bird (0,3 m).

Korekcja scen satelitarnych zarówno IKONOS, jak i QuickBird odbywa się więc na poziomie 0,5 piksela obrazów źródłowych.

Ortofotomapy cyfrowe z danych IKONOS można wygenerować z pikselem 1 m, odpowiadające dokładnością map w skali 1:10 000, a z danych QuickBird z pikselem 0,5 m, odpowiadające dokładnością map w skali 1:5000.

6. Zalety wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych

Satelity IKONOS i QuickBird przebywają na orbicie całą dobę, przez cały rok, bez konieczności lądowania. Pozyskiwanie obrazów odbywa się bez ograniczeń formalnych, jakie dotyczą wykonywania zdjęć lotniczych np. certyfikatów, zgody na lot fotogrametryczny, co jest szczególnie ważne przy opracowaniu map terenów przygranicznych oraz obszarów niedostępnych, dla których nalot fotogrametryczny jest niewykonalny.

Zdolność radiometryczna obrazów IKONOS i QuickBird jest zdecydowanie lepsza niż zdjęć lotniczych. Systemy te wykonują zobrazowania w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni, i rejestrowane są jako obraz 11 bitów/piksel, podczas gdy zdjęcia lotnicze rejestrowane są w zakresie 6 bitów/piksel.

Rejestracja obrazów tego samego rejonu, w przypadku systemu IKONOS, charakteryzuje się kilkudniową powtarzalnością, co jest szczególnie przydatne w przypadku rejestracji zasięgu kłesk żywiołowych lub częstych zmian pokrycia terenu.

Omawiane systemy satelitarne w krótkim czasie rejestrują obraz dużych powierzchni, co w przypadku nalotu fotogrametrycznego wiąże się wykonywaniem zdjęć w kilku szeregach. Na przykład jedna scena QuickBird rejestruje obszar o powierzchni 16,5 km × 16,5 km, podczas gdy obszar jednego zdjęcia lotniczego w skali 1:25 000 obejmuje maksymalnie 5,7 km × 5,7 km, tj. prawie 10 razy mniej (przy uwzględnieniu 60% użytecznego obszaru zdjęcia lotniczego).

Dostępność wysokorozdzielczych danych satelitarnych sprawia, że jednocześnie może je wykorzystywać wielu użytkowników, nie tylko dla celów opracowania map. Dotyczy to w szczególności danych wielospektralnych, które mogą być wykorzystane dla zasilania lub budowy GIS oraz w teledetekcji dla różnych celów. Satelity te rejestrują obrazy:

- w zakresie panchromatycznym (widzialny i bliska podczerwień),
- w zakresie widzialnym jako obraz barwny (kanały R, G, B),
- w barwach umownych (kanały IR, R, G).

Nie ma potrzeby utrzymywania przez cały rok samolotu fotogrametrycznego, specjalistycznej załogi fotolotniczej oraz drogiej kamery fotogrametrycznej podlegającej kosztownej kalibracji co 2 lata.

Nie jest wymagany drogi sprzęt ani też odczynniki chemiczne do obróbki filmów lotniczych. Nie ma konieczności zamiany analogowego obrazu na obraz cyfrowy, jak to ma miejsce w przypadku drogiego procesu skanowania zdjęć lotniczych.

Nie jest wymagany proces cyfrowej aerotriangulacji bloku zdjęć lotniczych i użycie kosztownego oprogramowania do jej przeprowadzenia.

Do opracowania sceny IKONOS wystarczy pięć fotopunktów o znanych współrzędnych geodezyjnych, tj. jeden fotopunkt przypada na 20 km².

Proces mozaikowania ortoobrazów konieczny przy opracowaniu zdjęć lotniczych, nie jest wymagany w przypadku opracowań pojedynczych scen satelitarnych.

Dane satelitarne opracowuje się stosunkowo szybko oraz istnieje możliwość opracowania szczegółów sytuacyjnych znajdujących się w cieniach. Zaletą scen rejestrowanych w nadirze jest możliwość wygenerowania tzw. *true ortho*, czyli ortoobrazu pozbawionego przesunięć obiektów wystających nad powierzchnię terenu.

Rejestracja parametrów orbity, a pośrednio elementów orientacji zewnętrznej każdej sceny satelitarnej w trakcie pozyskiwania obrazów, pozwala opracować obrazy bez użycia fotopunktów, co dla wielu zastosowań jest dokładnością wystarczającą.

7. Wady obrazowania satelitarnego

Obrazy satelitarne charakteryzują się ograniczoną zdolnością rozdzielczą detektorów w porównaniu ze współczesnymi filmami lotniczymi. Zobrazowania satelitarne pozwalają na opracowanie ortofotomap cyfrowych odpowiadających dokładnością geometryczną map w skali 1:5000 i map wektorowych odpowiadających skali mniejszej niż 1:10 000. Do opracowań w skalach większych niezbędne są zdjęcia lotnicze. Duży wpływ na jakość obrazu mają warunki pogodowe, które utrudniają otrzymanie sceny bez pokrycia chmurami.

8. Perspektywy obrazowania satelitarnego

Firmy SpaceImaging i DigitalGlobe otrzymały licencje na obrazowanie z pikselem 0,5 m. Piksel terenowy 0,5 m oznacza taki piksel, jaki obecnie otrzymuje się przy skanowaniu zdjęć lotniczych w skali 1:25 000 aperturą o wymiarze 20 µm.

Stacja odbiorcza danych satelitarnych, zainstalowana przez SCOR S.A. w Polsce w 2004 r., pozwala na natychmiastowy dostęp do obrazów z satelity IKONOS oraz na efektywne programowanie sesji obrazowania w zależności od potrzeb odbiorców.

Literatura

- [1] Cheng Ph., Toutin T.: *IKONOS and QuickBird orthorectification*. Washington, ASPRS Congress 2002
- [2] Grodecki J., Dial G.: *Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69 (1), 2003, 59–68
- [3] Jacobsen K., Passini R.: *Comparison of QuickBird and IKONOS images for the generation of Ortho-images*. ASPRS, Anchorage, USA 2003
- [4] Jacobsen K., Passini R.: *Accuracy of digital orthophotos from High Resolution Space imagery*. High Resolution Mapping from Space, Hannover, 2003
- [5] Kaczyński R., Ewiak I., Ren Wei Chun, Yang Ming Hui: *Evaluation of Panchromatic IKONOS data for Mapping*. Geodesy and Cartography. Vilnius, vol. XXVII, No 4, 2001, 157–160
- [6] Ewiak I., Kaczyński R.: *Określenie zakresu korekcji geometrycznej zobrazowań IKONOS oraz QuickBird*. Prace IGiK, tom LI, zeszyt 109, 2005, 67–77
- [7] Kaczyński R., Ewiak I.: *Accuracy of orientation of QuickBird and ortho in urban area*. EURIMAGE Meeting, Rome 2005
- [8] Nale D.K.: *QuickBird and Aerial Product Comparison Report*. EMAP International, 2002
- [9] Lach R., Misiun C.: *Wyniki ortorektyfikacji zdjęć satelitarnych IKONOS w Polsce dla obiektów: Bytom, Nowy Sącz, Kraśnik, Gostynin*. Opracowanie udostępnione przez Bałtyckie Centrum S.I.P., 2002
- [10] Toutin T., Cheng Ph.: *A Milestone for High Resolution Mapping*. Earth Observation Magazine, vol. 11, No 4, 2002
- [11] Tao C. Vincent, Yong Hu, Steve Schnick: *Photogrammetric Exploitation of IKONOS imagery using the Rational Function Model*. Washington, ACSM – ASPRS Congress 2002
- [12] Volpe F.: *Geometrical processing of QuickBird high resolution satellite data*. High Resolution Mapping from Space, Hannover, 2003
- [13] Wolniewicz W.: *Assessment of VHRS Images*. EURIMAGE Meeting, Rome 2004