

**OKREŚLENIE ZAKRESU WYKORZYSTANIA DANYCH SATELITARNYCH
RESURS-DK W OPRACOWANIACH FOTOGRAMETRYCZNYCH**

**DETERMINING THE UTILISATION RANGE OF RESURS-DK SATELLITE
DATA IN PHOTOGRAMMETRIC WORKFLOW**

Ireneusz Ewiak

Instytut Geodezji i Kartografii

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria satelitarna, rosyjskie wysokorozdzielcze dane satelitarne, korekcja geometryczna, ortorektyfikacja, analiza dokładności

STRESZCZENIE: W artykule zaprezentowano wyniki badań naukowych mających na celu określenie zakresu wykorzystania wysokorozdzielczych danych satelitarnych Resurs-DK w procesie generowania podstawowych produktów fotogrametrycznych. Na podstawie analizy metadanych tego systemu opracowano warsztat metodyczny korekcji geometrycznej oraz ortorektyfikacji. Podstawą tego warsztatu były algorytmy korekcji geometrycznej danych Resurs-DK wzorowane na modułach korekcji wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych IKONOS oraz QuickBird funkcjonujących w oprogramowaniu fotogrametrycznym Ortho Engine PCI Geomatica. Zaprezentowano rezultaty korekcji geometrycznej obrazów panchromatycznych Resurs-DK z wykorzystaniem ścisłego modelu parametrycznego, modelu wielomianowego oraz wyznaczonych i skorygowanych współczynników wzorowanych na RPC. Na podstawie wnikliwej analizy poszczególnych wariantów korekcji geometrycznej stwierdzono, że wysokorozdzielcze zobrazenia Resurs-DK można skorygować geometrycznie na poziomie poniżej $\frac{1}{2}$ piksela obrazu źródłowego. W niniejszym artykule zamieszczono również analizy wpływu dokładności wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej scen Resurs-DK na dokładność położenia pikseli w macierzy wygenerowanego ortoobrazu. Scharakteryzowano uwarunkowania procesu ortorektyfikacji rosyjskich zobrazeń Resurs-DK. Stwierdzono, że do wygenerowania ortoobrazów spełniających kryterium dokładności geometrycznej mapy topograficznej w skali 1:10000 należy włączyć zbiór punktów wysokościowych NMT o dokładności nie gorszej niż $m_H = 4m$. Stwierdzono, że na podstawie zobrażeń nadirowych Resurs-DK można wygenerować ortoobrazy, których dokładność geometryczna odpowiada dokładności mapy topograficznej w skalach 1:5000, 1:10000 oraz skalach mniejszych. Jakkolwiek dla tego przedziału skalowego ortoobrazów spełnione jest kryterium dokładności geometrycznej, to ich zdolność interpretacyjna dotyczy jedynie skali 1:10 000.

1. WPROWADZENIE

Regularne misje teledetekcyjne rosyjskich statków kosmicznych realizujące zadania gospodarki narodowej pozwalające na racjonalne wykorzystywanie bogactw naturalnych Ziemi oraz zadania dotyczące ochrony środowiska mają miejsce od 1974 roku. W pierwszym etapie wykorzystywane były statki kosmiczne specjalnego przeznaczenia, następnie kosmiczne kompleksy odgrywające niebagatelną rolę w gospodarce narodowej.

Pierwszym z takich kompleksów był „Fram” eksploatowany od września 1975 do września 1985 roku. W 1981 roku do regularnych zadań kosmicznych został wprowadzony na orbitę satelita Resurs-F1, a w 1988 roku jego następcą satelita Resurs-F2.

W ostatnich latach dla celów rosyjskiej gospodarki narodowej wykorzystywany jest zasób obrazowań satelitarnych o podwyższonej zdolności rozdzielczej. Od początku lat 90-tych w eksploatacji znajduje się kamera KFA-3000, zainstalowana na pokładzie satelity Resurs-F3, umożliwiająca pozyskiwanie obrazowań o rozdzielczości przestrzennej 2 - 3m. Sensory obrazujące tego systemu pracują w różnych zakresach spektralnych zabezpieczając różną skalę obrazowań rejestrowanych na negatywach z rozdzielczością przestrzenną od 2 m do 30 m z orbit prawie kołowych o wysokości od 220 km do 275 km.

Kompleksowe prace modernizacyjne systemu Resurs-F1 zakończyły się wystrzeleniem na orbitę satelitów Resurs-F1M oraz Resurs-F2M odpowiednio w październiku 1997 roku oraz grudniu 1997 roku. Modernizacja uwzględniała poprawę podstawowych cech taktyczno-technicznych jak również eksploatacyjnych, a w szczególności, zwiększenie o 1,3 razy pojemności zapisu informacji obrazowej w związku ze zwiększeniem szerokości pasa obrazowania do 205 km, wydłużenie czasu aktywności do 19 dób z możliwością wykorzystanie 6 dobowego awaryjnego trybu pracy, co w rezultacie oznaczało 25 dobowy pobyt satelity na orbicie. Modernizacja dotyczyła również zwiększenia przestrzennej rozdzielczości obrazowania do 3,5 - 5 m. Stało się to możliwe dzięki obniżeniu kołowej orbity roboczej z 275 km do 235 km oraz wprowadzeniu orbity eliptycznej charakteryzującej się minimalną wysokością 180 km.

Testowanie systemu satelitarnego Resurs odbywało się podczas każdej misji obrazowania, których częstotliwość była uzależniona od zapotrzebowania odbiorców danych satelitarnych. Pozyskane podczas misji Resurs-F1M oraz Resurs-F2M obrazowania satelitarne potwierdziły pełną zgodność udoskonalonych cech technicznych systemów z parametrami zakładanymi na etapie modernizacji oraz stanowiły bogaty zasób danych obrazowych, dostępny dla użytkowników cywilnych. Wraz z rozwojem technologii wysokorozdzielczych systemów satelitarnych program RESURS zyskał nową jakość obrazowań, której wyznacznikiem stał się nowy satelita Resurs DK.

2. SYSTEM SATELITARNY RESURS-DK

Kiedy w rosyjskim harmonogramie misji kosmicznych pojawił się nowy satelita oczywistym stało się, że Rosja podąży śladem amerykańskich i europejskich programów kosmicznych i wprowadzi na orbitę wysokorozdzielczy system satelitarny.

Satelita teledetekcyjny Resurs-DK został zbudowany przez RASA (Russian Aviation Space Agency) w ramach realizacji Narodowego Programu Kosmicznego Federacji Rosyjskiej. Głównym projektantem i producentem systemu satelitarnego Resurs-DK był State Research & Production Space Rocket Center “TsSKB-Progress”. W rozwoju technologicznym systemu satelitarnego Resurs-DK wykorzystano doświadczenie TsSKB, osiągnięte w branży kosmicznej poprzedniej generacji, zwiększając niezawodność konstrukcji podzespołów kosmicznych. Pierwotny termin wystrzelenia satelity Resurs-DK przypadał na grudzień 2004 roku. Termin ten przesunął się na kwiecień, później zaś na grudzień 2005 roku. Statek kosmiczny, który miał wynieść na orbitę satelitę Resurs-DK był zainstalowany w kosmodromie Bajkonur już 9 lipca 2004 roku. Przetransportowanie ładunku użytecznego było spodziewane na koniec marca 2006 roku. Jednakże dopiero 12

czerwca satelita został połączony z rakietą nośną, która następnego ranka została przetransportowana do wyrzutni.

Przed nowym rosyjskim satelitą bazującym na wojskowym systemie rozpoznawczym postawiono trudne zadanie wejścia w szczelnie wypełnione pole działania komercyjnej teledetekcji. Dokładnie 15 czerwca 2006 roku o godzinie 12.00 czasu moskiewskiego rakieta kosmiczna Soyuz-U wyniosła na orbitę satelitę Resurs-DK. Ładunek użyteczny osiągnął orbitę 8 minut później, zgodnie z oficjalną informacją strony rosyjskiej. Orbita osiągnięta przez satelitę Resurs-DK miała wysokość od 360 km do 690 km oraz charakteryzowała się kątem nachylenia swojej płaszczyzny do płaszczyzny równika równym 70.4 stopnia. W dniu 18 czerwca 2006 roku agencja Roskosmos przekazała informację, iż satelita Resurs-DK uruchomił dwa pokładowe silniki odrzutowe celem skorygowania pozycji orbitalnej. Manewr zakończył się przed 17.00 czasu moskiewskiego. W kolejnym komunikacie agencji Roskosmos przekazany 21 czerwca 2006 roku poinformowano, że zaplanowane testowanie komend satelitarnych oraz systemu kontroli lotu Resurs-DK przebiegło bez większych problemów. Dzień później pełnym sukcesem zakończono testy optyczno-elektronicznego systemu Geoton-1 oraz systemu Sangur-1 odpowiedzialnych za pozyskiwanie i przetwarzanie danych.

Tab 1. Parametry techniczne aparatury obrazującej systemu satelitarnego Resurs-DK

Rodzaj sensora elektro-optycznego		
	Resurs-DK	
Charakterystyka systemu optycznego		
Odległość obrazowa	4000 mm	
Otwór względny obiektywu	1:8	
Kąt widzenia obiektywu	-	
Charakterystyka systemu obrazowania		
Tryb obrazowania	PAN (panchromatyczny)	MS (wielospektralny)
Zakres spektralny P	0.58 – 0.80 μm	
Zakres spektralny M1		0.50 – 0.60 μm
Zakres spektralny M2		0.60 – 0.70 μm
Zakres spektralny M3		0.70 – 0.80 μm
Wielkość piksela	9 μm	-
Rozdzielczość radiometryczna	10 bit	10 bit
Rozdzielczość geometryczna GSD	1 m (w perygeum)	2 - 3 m (w perygeum)
Szerokość pasa obrazowania	4.7 km – 28.3 km	
Zasięg obrazowania	448 km (w perygeum)	

Pierwsze zobrazowania powierzchni Ziemi wykonane za pomocą sensorów satelity Resurs-DK otrzymało Rosyjskie Centrum Nauki Teledetekcji Ziemi w dniu 23 czerwca 2006 roku. W tym czasie satelita przeprowadził dwie sesje obrazowania, z których każda trwała około 5 sekund. W dniu 15 sierpnia 2006 roku Roskosmos poinformował, że

zakończony został proces kompleksowego testowania satelity Resurs-DK oraz, że 21 sierpnia 2006 roku Państwowa Komisja odpowiedzialna za loty kosmiczne w Rosji ogłosiła pełną operacyjność systemu. Fakt pełnej operacyjności systemu Resurs-DK potwierdziła agencja Roskosmos następnego dnia. Ostatecznie system satelitarny Resurs-DK znalazł się na orbicie eliptycznej o apogeum 585 km, perigeum 355 km oraz nachyleniu jej płaszczyzny do płaszczyzny równika wynoszącym 69.9° , uzyskując międzynarodowy numer lotów kosmicznych 2006-021A.

Głównym zadaniem systemu Resurs-DK jest obserwacja powierzchni Ziemi, pozyskiwanie w czasie rzeczywistym wysokorozdzielczych obrazów o rozdzielczości poniżej 1 m w szerokim zakresie spektrum oraz ich przetwarzanie i dostarczanie do odbiorców na całym świecie. System satelitarny Resurs-DK objęty został szerokim zakresem badań naukowych pełniąc służbę ekologiczną poprzez przekazywanie informacji służących działaniom operacyjnym w zakresie przewidywania i likwidacji klęsk żywiołowych oraz sytuacji nadzwyczajnych. W ciągu doby Resurs-DK może zarejestrować obrazy z obszaru o powierzchni ponad 600 tys. km². Czas pracy satelity na orbicie określono na 3 lata. Podstawowe parametry techniczne aparatury obrazującej systemu Resurs-DK zamieszczono w Tab.1.

3. FOTOGRAMTRYCZNE OPRACOWANIE DANYCH RESURS-DK

3.1. Charakterystyka danych testowych.

W badaniach metodycznych wykorzystano dwie panchromatyczne sceny o rozdzielczości przestrzennej poniżej 1 m. Położenie geograficzne scen oraz ich wymiary dostosowane zostały do potrzeb i możliwości wynikających z realizacji projektu badawczego.

Pierwsza scena o wymiarach 12 x 12 km obejmowała swym zasięgiem centrum Warszawy oraz przyległe dzielnice. Zobrazowanie pozyskano kamerą Geoton RDK-1 w dniu 24 września 2006 roku o godzinie 9:55 GTM przy wychyleniu sensora od nadiru wynoszącym 6.35° oraz azymucie skanowania 31.45° .

Druga scena o wymiarach 10 x 10 km obejmowała swym zasięgiem centrum oraz północno-zachodnie dzielnice Krakowa. Zobrazowanie pozyskano kamerą Geoton RDK-1 w dniu 3 lipca 2006 roku o godzinie 9:50 GTM przy wychyleniu sensora obrazującego od nadiru o kąt 7.65° oraz azymucie skanowania 30.76° . W obu przypadkach sceny pozyskane były przy wysokości Słońca nad horyzontem wynoszącej około 37° . Przybliżona skala zobrazowań wynosiła 1: 105000.

3.2. Korekcja geometryczna wysokorozdzielczych obrazów Resurs-DK

Metodyka korekcji geometrycznej scen satelitarnych Resurs-DK wzorowana była na opracowanej w poprzednich latach przez autora artykułu metodyce korekcji geometrycznej wysokorozdzielczych scen satelitarnych Ikonos oraz QuickBird Jednakże, w przypadku nowych rosyjskich zobrazowań Resurs-DK przeszkodą w realizacji analogicznych zadań metodycznych był brak specjalistycznego oprogramowania fotogrametrycznego do korekcji geometrycznej.

Rosyjski dystrybutor obrazów satelitarnych Resurs-DK udostępnił do celów badawczych zestaw współczynników, stanowiący odpowiednik RPC (Rational Polynomial Coefficients) dostarczanych wraz z obrazami Ikonos. Dzięki uprzejmości dystrybutora uzyskano także dostęp do parametrów orbitalnych zapisanych podczas obrazowania zakupionych scen.

Uzyskane parametry zobrazowań pozwoliły na realizację własnych rozwiązań wykorzystujących właściwości wewnętrznego środowiska programistycznego systemu PCI Geomatica. Rozwiązania te dotyczyły opracowania i oprogramowania algorytmów umożliwiających realizację zadania korekcji geometrycznej obrazów Resurs-DK w oparciu o moduły programu Ortho Engine dedykowane zobrazowaniom Ikonos. Zadaniem opracowanych algorytmów było dostosowanie struktury zapisu metadanych Resurs-DK do struktury zapisu współczynników RPC oraz danych orbitalnych systemu satelitarnego Ikonos.

Dla sceny Resurs-DK pokrywającej obszar pola testowego „Warszawa” pomierzono w terenie 28 punktów osnowy fotogrametrycznej, zaś dla sceny pokrywającej obszar pola testowego „Kraków” pomierzono 24 punkty. Punkty te pełniły wymiennie rolę fotopunktów (control points) oraz punktów kontrolnych (check points). Pomiar współrzędnych obrazowych punktów osnowy fotogrametrycznej wykonano w środowisku oprogramowania Ortho Engine PCI Geomatica v.10.3.

Założono, że punkty osnowy fotogrametrycznej mają być szczegółami sytuacyjnymi jednoznacznie identyfikowanymi w terenie i na obrazach satelitarnych, zaś dokładność ich pomiaru i identyfikacji nie powinna być gorsza niż 0.40 m dla współrzędnych płaskich oraz 0.3 m dla współrzędnej wysokościowej. Przykładowe projekty punktów osnowy fotogrametrycznej przedstawiono na (Rys. 1).



Rys. 1. Projekt punktów osnowy fotogrametrycznej na obrazach Resurs-DK

Korekcję geometryczną każdej ze scen Resurs-DK przeprowadzono w czterech wariantach. W każdym z nich fotopunkty i punkty kontrolne były rozmieszczone symetrycznie w obrębie analizowanych scen. Poszczególne warianty dotyczyły metod korekcji geometrycznej opartych na wykorzystaniu parametrów orbitalnych sensora satelity Resurs-DK - (wariant 1), katalogowych współczynników funkcji wymiernej - (wariant 2) oraz korekcji współczynników funkcji wymiernej - (wariant 3) i ich niezależnym wyznaczeniu - (wariant 4).

W wariantcie wykorzystującym do korekcji geometrycznej sceny Resurs-DK ścisły matematyczny model sensora pomierzono współrzędne obrazowe od 5 do 12 fotopunktów oraz od 12 do 23 punktów kontrolnych. Wykorzystanie parametrów orbitalnych satelity Resurs-DK pozwoliło ograniczyć liczbę fotopunktów biorących udział w korekcji geometrycznej sceny. Wyniki korekcji geometrycznej w tym wariantcie pokazują, w jakim stopniu znajomość rzeczywistych parametrów ruchu orbitalnego satelity wpływa na

parametryzację matematycznego modelu zobrazowania satelitarnego. Uzyskanie wyniku korekcji geometrycznej poniżej piksela obrazu źródłowego jest możliwe za sprawą włączenia do procesu korekcji obserwacji zaledwie 5 fotopunktów. Zwiększenie liczby pomierzonych fotopunktów do 8 pozwala uzyskać w tym wariancie optymalny rezultat korekcji geometrycznej sceny Resurs-DK na poziomie $m_x = 0.45$ m oraz $m_y = 0.46$ m.

W wariancie drugim do orientacji sceny wykorzystano współczynniki wielomianu skorelowane z obrazami Resurs-DK. Zbadano, w jakim stopniu współczynniki te decydują o poprawności wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej analizowanych scen. Korekcję geometryczną sceny Resurs-DK bazującą wyłącznie na współczynnikach zapisanych w plikach metadanych charakteryzowały duże wartości błędów średnich wyznaczenia współrzędnych punktów kontrolnych $m_x = 14.86$ m oraz $m_y = 13.28$ m. Włączenie do procesu korekcji geometrycznej współrzędnych 12 fotopunktów, pozwoliło uzyskać rezultat korekcji na poziomie $m_x = 0.71$ m oraz $m_y = 0.52$ m. Włączenie do pomiaru większej liczby współrzędnych obrazowych fotopunktów nie przyniosło zasadniczej poprawy jakości rezultatów korekcji geometrycznej. Stosunkowo słabe, w tym wariancie, wyniki korekcji geometrycznej scen należy przypisać niewłaściwej interpretacji współczynników wielomianu, Biorąc pod uwagę względy strategiczne rosyjskich dystrybutorów danych, zachodzi podejrzenie, iż współczynniki te mogą być świadomie zniekształcane. Potwierdzają to rezultaty uzyskane w czwartym wariancie korekcji.

W tym wariancie rezultaty korekcji geometrycznej scen Resurs-DK uzyskano w procesie niezależnego wyznaczenia współczynników RPC w oparciu o pomiary fotogrametryczne fotopunktów. Założeniem analizowanego wariantu było wyznaczenie optymalnego stopnia wielomianu dla określenia relacji matematycznej pomiędzy macierzą obrazową Resurs-DK, a terenowym układem współrzędnych geodezyjnych. Uzyskanie wyniku korekcji geometrycznej scen Resurs-DK na poziomie błędu pomiaru i identyfikacji punktów osnowy fotogrametrycznej jest możliwe przy wyznaczeniu 9 współczynników wielomianu, dla którego wymagana liczba fotopunktów wynosi 18. Zwiększenie liczby fotopunktów biorących udział w wyznaczeniu współczynników RPC prowadzi do uzyskania wyniku korekcji na poziomie $m_x = 0.32$ m oraz $m_y = 0.36$ m, jednakże konieczność pomiaru w tym przypadku aż 24 fotopunktów dyskwalifikuje ten wariant korekcji.

Na podstawie analizy rezultatów w poszczególnych wariantach korekcji geometrycznej stwierdzono, że uzyskanie dokładności korekcji poniżej piksela obrazu źródłowego gwarantuje pomiar minimum 10 fotopunktów rozmieszczonych równomiernie na obszarze badanych scen. Zestawienie optymalnych rezultatów korekcji geometrycznej scen Resurs-DK uwzględniających aspekt techniczno-ekonomiczny zaprezentowano w (Tab. 2).

Biorąc pod uwagę aspekt ekonomiczny procesu korekcji geometrycznej scen Resurs-DK, a w szczególności możliwość ograniczenia do minimum kosztownych pomiarów terenowych zasadnym wydaje się stosowanie wyłącznie wariantu pierwszego. Jednakże jego ostateczny wybór jest determinowany dostępem do oryginalnych danych orbitalnych. Dodatkowo analizując błędy przedwyrównawcze oraz powyrównawcze na punktach osnowy fotogrametrycznej wariant ten jest najbardziej wiarygodny w sensie poprawności uzyskanych rezultatów.

Tab 2. Zestawienie optymalnych rezultatów korekcji geometrycznej scen Resurs-DK w poszczególnych wariantach

Wariant	Liczba fotopunktów	Liczba punktów kontrolnych Warszawa/Kraków	Błędy średnie RMSE [m]			
			Pole testowe „Warszawa”		Pole testowe „Kraków”	
			X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
pierwszy	8	20/16	0.46	0.48	0.45	0.46
drugi	0	28/24	12.54	16.23	14.86	13.28
trzeci	10	18/14	0.73	0.72	0.67	0.58
czwarty	18	10/6	0.45	0.45	0.41	0.44

Z punktu widzenia dokładności korekcji geometrycznej zasadnym wydaje się stosowanie wariantu czwartego lub pierwszego. Uzyskanie podobnych rezultatów korekcji w obu wariantach pociąga za sobą konieczność pomiaru aż 18 fotopunktów w wariantcie czwartym. Z tego względu wariant ten można traktować wyłącznie jako alternatywny w przypadku ograniczonego dostępu do pełnych metadanych zobrazowania Resurs-DK.

Analizując rezultaty uzyskane w wariantach drugim i trzecim należy stwierdzić, że dołączone do matrycy obrazu Resurs-DK współczynniki wielomianu nie są ze sobą skorelowane. Wcześniejsze badania naukowe odniesione do zobrazowań VHRS pokazują, że ten stan rzeczy może być jedynie przejściowy.

3.3. Uwarunkowania procesu ortorektyfikacji scen Resurs-DK

Wpływ deniwelacji terenu na dokładność ortoobrazu wygenerowanego na podstawie około nadirowych zobrazowań satelitarnych jest znacznie mniejszy niż w przypadku tradycyjnych zdjęć lotniczych. Stąd, do ich ortorektyfikacji można wykorzystać mniej dokładny model wysokościowy. Źródłem takiego modelu wysokościowego może być fotogrametryczny pomiar korelacyjny zrealizowany na obrazach stereoskopowych zdjęć lotniczych lub wysokorozdzielczych scen satelitarnych. Na dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoobrazie zasadniczy wpływ ma jednak poziom uzyskanej korekcji geometrycznej obrazu źródłowego.

Znając parametry zobrazowania satelitarnego, a w szczególności kąt wychylenia sensora satelity od nadiru, można przeprowadzić teoretyczną analizę dokładności ortoobrazu w funkcji dokładności korekcji geometrycznej obrazu źródłowego oraz deniwelacji terenu. Analizując konfigurację dokładności procesów fotogrametrycznych odpowiedzialnych za wynik procesu ortorektyfikacji zobrazowań testowych Resurs-DK stwierdzono, iż w celu wygenerowania ortoobrazu spełniającego kryterium dokładności mapy topograficznej w skali 1:10000 należy:

- przeprowadzić korekcję geometryczną obrazów źródłowych wykorzystując dane orbitalne sensora satelity wsparte pomiarem minimum 5 fotopunktów oraz pomierzyć NMT z dokładnością nie gorszą niż 12 m;

- przeprowadzić korekcję geometryczną obrazów źródłowych wykorzystując katalogowe współczynniki wielomianu wsparte pomiarem minimum 5 fotopunktów oraz pomierzyć NMT z dokładnością nie gorszą niż 6.5 m;
- przeprowadzić korekcję geometryczną obrazów źródłowych wyznaczając minimum 4 współczynniki wielomianu oraz pomierzyć NMT z dokładnością nie gorszą niż 6.0 m;

Biorąc pod uwagę zalecenia dla procesu ortorektyfikacji scen Resurs-DK łatwo zauważyć, że wpływ deniwelacji terenu na dokładność opracowania ortofotomapy jest na tyle mały, iż do jego wyeliminowania w większości przypadków wystarczy zbiór punktów wysokościowych pomierzonych z dokładnością około 4 m. Źródłem takiego zbioru mogą być pomiary korelacyjne realizowane na modelach stereoskopowych zdjęć lotniczych w skali 1:26000 lub wysokorozdzielczych panchromatycznych zobrazowań satelitarnych Ikonos. Jednakże, zbyt duże koszty fotogrametrycznych pomiarów korelacyjnych w stosunku do stawianych wymagań dokładnościowych NMT spowodowały, że w obszarze zainteresowania znalazł się głównie interferometryczny pomiar radarowy, a w szczególności dane z misji SRTM.

Na podstawie analizy statystycznej modelu SRTM przeprowadzonej w Zakładzie Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii stwierdzono, że jego dokładność na obszarze Polski wynosi 2.9 m dla terenów równinnych oraz 5.4 m dla terenów falistych i pagórkowatych. Wartości parametrów statystycznych pokazały, że pomiary interferometryczne obciążone są składową systematyczną błędem. Po wyeliminowaniu tej składowej okazało się, że dokładność bezwzględna modelu SRTM na obszarze Polski kształtuje się na poziomie 1.0 m dla terenów równinnych oraz 2.7 m dla terenów falistych i pagórkowatych. Wykazano tym samym, że dane wysokościowe SRTM DTED-1 dla większości typów ukształtowania terenu, zabezpieczają dokładność ortoobrazów w skali 1:10000 wygenerowanych z danych źródłowych Resurs-DK.

3.4. Ocena dokładności procesu ortorektyfikacji obrazów Resurs-DK

Miarą oceny dokładności procesu ortorektyfikacji były błędy średnie (RMS) położenia szczegółów sytuacyjnych na ortoobrazie, liczone na podstawie różnic współrzędnych odczytanych na ortoobrazie i współrzędnych katalogowych. Wygenerowane ortoobrazy uwzględniały najkorzystniejsze pod względem dokładnościowym i ekonomicznym warianty korekcji geometrycznej.

Wyniki zaprezentowane w (Tab 3) odnoszą się do ortoobrazów wygenerowanych z pikselem 1m. Ocenę dokładności ortoobrazów wygenerowanych na podstawie danych Resurs-DK przeprowadzono na podstawie 18 niezależnych punktów kontrolnych zdefiniowanych w obrębie pola testowego „Kraków” oraz 23 zdefiniowanych w obrębie pola testowego „Warszawa”. W procesie ortorektyfikacji wykorzystano skorygowany zbiór punktów modelu SRTM o dokładności pomiaru $m_H = 0.83$ m dla obszarów objętych polem testowym „Warszawa” oraz $m_H = 1.14$ m dla obszarów w granicach pola testowego „Kraków”. Niezależnie od wybranego wariantu korekcji geometrycznej uzyskano dokładność sytuacyjną ortoobrazu odpowiadającą dokładności mapy zasadniczej w skali 1: 10000 oraz skalach mniejszych, zaś w dwóch przypadkach uzyskano wynik spełniający kryterium dokładności mapy w skali 1: 5000.

Tab 3. Wyniki ortorektyfikacji scen Resurs-DK w jakościowo-ekonomicznych wariantach korekcji geometrycznej

Charakterystyka wariantu korekcji geometrycznej sceny Resurs-DK	Błąd średni położenia szczegółu na ortoobrazie Resurs-DK m_{XY} [m]	
	Obiekt „Warszawa”	Obiekt „Kraków”
ASPEKT JAKOŚCIOWY (DOKŁADNOŚCIOWY)		
Model parametryczny wraz z pomiarem 8 fotopunktów	0.62	0.61
Katalogowe współczynniki wielomianu oraz pomiar 12 fotopunktów	1.12	1.07
Wyznaczone współczynniki wielomianu z pomiaru 24 fotopunktów	0.56	0.61
ASPEKT EKONOMICZNY (OSZCZĘDNOŚCIOWY)		
Model parametryczny wraz z pomiarem 5 fotopunktów	1.12	1.23
Katalogowe współczynniki wielomianu oraz pomiar 2 fotopunktów	1.72	1.64
Wyznaczone współczynniki wielomianu z pomiaru 8 fotopunktów	1.66	1.87

Aspekt jakościowy procesu ortorektyfikacji scen Resurs-DK przemawia za pomiarem dużej ilości fotopunktów na podstawie, których, należy wyznaczyć współczynniki RPC. Wobec poważnych wątpliwości związanych z możliwością komercyjnego dostępu do pełnych metadanych Resurs-DK aspekt jakościowy odniesiony do modelu parametrycznego na dzień dzisiejszy nie ma uzasadnienia. Aspekt ekonomiczny procesu ortorektyfikacji scen Resurs-DK wskazuje na konieczność stosowania katalogowych współczynników wielomianu, których korelację z matrycą obrazu można poprawić poprzez pomiar zaledwie 2 fotopunktów.

4. WNIOSKI

Wysokorozdzielcze sceny satelitarne Resurs-DK stanowią doskonały materiał źródłowy do generowania ortoobrazów w skali 1: 10000. Transformację pikseli obrazu Resurs-DK do układu współrzędnych terenowych można wykonać z dokładnością ½ pikseli obrazu źródłowego. W procesie ortorektyfikacji pomiarowych scen Resurs-DK należy uwzględniać wpływ deniwelacji terenu, poprzez włączenie do tego procesu zbioru punktów siatki NMT, których dokładność wysokościowa nie powinna być gorsza niż 4.0 m. Na podstawie zobrażeń nadirowych Resurs-DK można wygenerować ortoobrazy, których dokładność geometryczna odpowiada dokładności mapy topograficznej w skalach 1:5000, 1:10000 oraz skalach mniejszych. Jakkolwiek dla tego przedziału skalowego ortoobrazów spełnione jest kryterium dokładności geometrycznej, to ich zdolność interpretacyjna dotyczy jedynie skali 1:10 000.

5. LITERATURA

Anshakov G. P., Skirmunt V. K., 2000. The Russian Project of 'Resurs-DK 1 Space Complex Development. Status, Prospects, New Opportunities for the Consumers of Space Snapshots. *Acta Astronautica*, Vol. 47, No 2, pp. 347-353(7).

Asmus V., 2003. Russian Environmental Satellites: Current Status and Development Perspectives. Submitted to *CEOS Plenary Meeting*, Colorado Springs, Nov. 19-20.

Fournier-Sicre A., Suslova T., Krasnov A., 2003. Resurs-DK1 - Visual and IR-band imaging at 1m resolution, ESA "News from Moscow," *Special Issue* No 9, pp. 11-14.

DETERMINING THE UTILISATION RANGE OF RESURS-DK SATELLITE DATA IN PHOTOGRAMMETRIC WORKFLOW

KEY WORDS: satellite photogrammetry, very high resolution Russian satellite data, geometric correction, orthorectification, accuracy analysis

SUMMARY: The present paper presents the results of the research aimed at the qualification of the range of utilisation of very high resolution Resurs-DK satellite data in the process of generating basic photogrammetric products. The methodology for geometrical correction and orthorectification of the source Resurs-DK panchromatic images based on the metadata analysis was elaborated. The algorithms for geometrical correction of the Resurs-DK image data, based on the correction modules for IKONOS and Quick Bird satellite data functioning in photogrammetric commercial software Ortho Engine PCI Geomatica, were the critical for that methodology. Four variants of geometrical correction were applied. The results of the geometrical correction of the panchromatic scenes Resurs-DK, based on the parametrical sensor model adapted to the structure of Russian data and rational polynomial coefficients, which were identified based on the control point measurement, were presented. The analysis of the influence of the number and distribution of the control points throughout the scene on the result of geometric correction have been realised in each variant. With a thorough analysis of the individual variants of geometrical correction, that very high resolution Russian satellite data can be corrected with the accuracy level below half pixel of the source image. In the present paper, in addition to the profile of the methodology for geometrical correction of Resurs-DK satellite data, an analysis was presented relating to the influence of the accuracy of delimitation of external orientation Resurs-DK images on the accuracy location of the pixels in the orthoimage matrix. Technical conditions were qualified for the orthorectification process of new very high resolution Russian images. It was found that, for orthoimage generating meeting the accuracy criterion of topographic map scaled 1:10000, there should be a set of height points included, having digital elevation model with accuracy at least 4 m. It was proven that, based on the Resurs-DK satellite data, the orthoimages can be generated whose geometrical accuracy corresponds to the accuracy of the topographical map scaled 1:5000 and 1:10,000 and smaller. However, for that scale range of orthoimages, the geometrical accuracy criterion is met, yet their interpreting capability applies only to the 1:10000 scale.

Dr inż. Ireneusz Ewiak
e-mail: rene@igik.edu.pl
telefon: 022 3291985
fax: 022 3291950