

PRÓBA PODNIESIENIA WARTOŚCI INFORMACYJNEJ CYFROWYCH ORTOFOTOMAP

ATTEMPT TO INCREASE INFORMATIVE VALUE OF DIGITAL ORTHOPHOTOMAPS

Ryszard Preuss, Wiesław Wolniewicz, Sebastian Różycki

Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Politechnika Warszawska

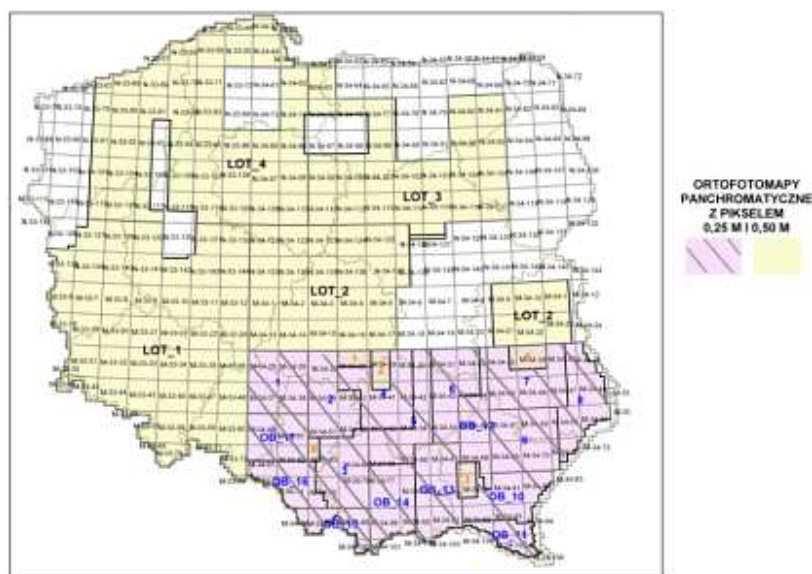
SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa lotnicza, SPOT-5, ortorektyfikacja zdjęć satelitarnych, fuzja

STRESZCZENIE: Autorzy niniejszego artykułu przedstawiają możliwość podniesienia wartości informacyjnej cyfrowych ortofotomap dostępnych w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym. Jak wiadomo przeważająca ich ilość powstała z panchromatycznych zdjęć lotniczych. Wykonane prace eksperymentalne wykazały, że możliwa jest fuzja obrazu panchromatycznego cyfrowej ortofotomapy z obrazem multispektralnym pozyskiwanym systemem SPOT-5. Otrzymane tą drogą „nowa ortofotomapa” posiada rozdzielczość geometryczną źródłowej ortofotomapy panchromatycznej, a radiometrycznie jest wzbogacona o informacje z kanałów MS SPOT-5 użytych do fuzji. Prezentowane przykłady wykonanych fuzji obrazów dla różnych typów pokrycia terenu wskazują, że zaproponowane rozwiązanie powinno być głównie stosowane dla obszarów zurbanizowanych i leśnych. Niskie koszty zaproponowanego rozwiązania oraz dostępność obrazów archiwalnych MS SPOT-5 dla obszaru prawie całego kraju wskazuje, że PZGiK powinien zostać wzbogacony o produkty o podwyższonej wartości informacyjnej, przez co można rozszerzyć ofertę dostępnych w zasobie geodezyjnym danych obrazowych.

1. WSTĘP

W ubiegłym roku dla obszaru całego kraju został zakończony proces tworzenia cyfrowej ortofotomapy. Dominująca część tego produktu została wykonana na bazie panchromatycznych zdjęć lotniczych. Pozwoliło to na jego wykonanie w przeciągu dwóch lat. Równocześnie należy podkreślić, że parametry informacyjne monochromatycznej ortofotomapy w pełni zaspokajają jej główne zastosowania; czyli tworzenie i weryfikację bazy działek referencyjnych dla systemu LPIS, zasilanie baz danych topograficznych oraz weryfikację danych EGiB. Jednakże pierwsze doświadczenia w zakresie powszechnego udostępniania cyfrowych ortofotomap użytkownikom komercyjnym oraz indywidualnym wskazują, że istnieje również duże zapotrzebowanie na ortofotomapę w barwach naturalnych oraz w pseudokolorach (podczerwieni). To zapotrzebowanie skłoniło autorów niniejszego artykułu do podjęcia próby wygenerowania dodatkowo oczekiwanych produktów poprzez fuzję obrazu istniejącej w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym ortofotomapy z obrazem multispektralnym z systemu satelitarnego SPOT-5.

Uzyskane w wyniku tego procesu wtórne produkty zachowują kartometryczność źródłowej ortofotomapy przy jednoczesnym przejściu radiometrycznego potencjału informacyjnego z obrazu multispektralnego. Zastosowane rozwiązanie technologiczne jest bardzo efektywne również z punktu widzenia ekonomicznego i może doprowadzić w krótkim czasie do wzbogacenia PZGiK o tak powstałe produkty. W efekcie te dodatkowe produkty mogą znacząco poszerzyć ofertę z zakresu georeferencyjnych danych obrazowych i zaspokoić szersze grono potencjalnych użytkowników cyfrowych ortofotomap. Pokrycie obszaru Kraju panchromatycznymi ortofotomapami lotniczymi ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Pokrycie Polski ortofotomapami panchromatycznymi z pikselem 0.25 m i 0.50m

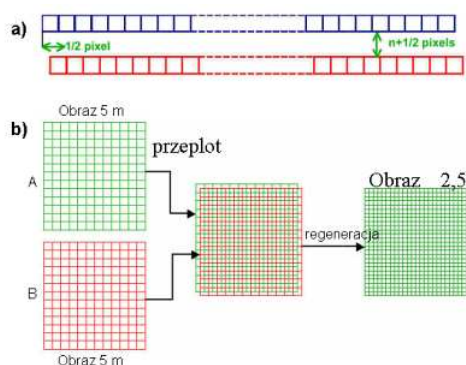
2. MOŻLIWOŚCI SYSTEMU SPOT-5

Satelita SPOT-5, umieszczony na orbicie 4 maja 2002 r., różni się istotnie od wcześniejszych. Ma znacznie większą masę – 3 000 kg, w przeciwieństwie do masy 1 750 kg satelitów wcześniejszych. Krąży po takiej samej orbicie. Systemy obrazowania. SPOT-5 posiadają następujące dwa główne komponenty: dwa wysokorozdzielcze skanery HRG (High Resolution Geometric) i wysokorozdzielczy skaner stereoskopowy HRS (High Resolution Stereoskop Instrument).

2.1. Wysokorozdzielcze skanery HRG satelity SPOT-5

Skanery HRG zastąpiły skaner HRV wcześniejszych satelitów. Każdy może obrazować pas terenu o szerokości 60 km w trybie panchromatycznym z pikselem terenowym 5 m, lub w trybie wielospektralnym w 4. zakresach spektralnych: zielonym, czerwonym i podczerwonym z pikselem 10 m i średniej podczerwieni z pikselem 20 m. Nowością jest to, że w płaszczyźnie tłowej skanera wielospektralnego znajduje się jedna

linijka CCD dla każdego kanału spektralnego, złożona z 12 000 indywidualnych elementów o wymiarach $6.5 \times 6.5 \mu\text{m}$. W zakresie panchromatycznym linię obrazu tworzą dwie takie linijki CCD. Skanery HRG mają jeszcze jedno rewolucyjne rozwiązanie. W płaszczyźnie tłowej teleskopu każdego ze skanerów znajduje się podwójny komplet linijek CCD, każda zawierająca $2 \times 12\,000$ czułych elementów CCD. Każdy komplet linijek tworzy linię obrazu panchromatycznego z pikselem terenowym 5 m. Istotą rozwiązania jest to, że linijki są przesunięte względem siebie o $\frac{1}{2}$ piksela wzdłuż linii i o nieparzystą wielokrotność połowy piksela w kierunku poprzecznym. Pozwala to w rezultacie pozyskiwać jednocześnie z danego skanera HRG dwa obrazy panchromatyczne, każdy z pikselem 5 m, ale przesunięte względem siebie o $\frac{1}{2}$ piksela w obu kierunkach. Ilustruje to rysunek 2.



Rys. 2. Pozyskiwanie obrazów w trybie „super” (SUPERMODE)
 (a) wzajemne usytuowanie linijek CCD w płaszczyźnie tłowej
 (b) etapy procesu przetwarzania

Specjalna obróbka obrazów pozwala łączyć ze sobą obrazy panchromatyczne i wielospektralne o różnej rozdzielczości. W przypadku obrazów pozyskiwanych skanerem HRG satelity SPOT-5 daje to możliwość łączenia obrazów wielospektralnych z pikselem 10m z obrazami panchromatycznymi z pikselem 5 m, lub panchromatycznymi w trybie „super” z pikselem 2.5 m. Zakresy spektralne rejestracji w tym systemie są następujące: HM: $0.48 \div 0.71 \mu\text{m}$, B1: $0.50 \div 0.59 \mu\text{m}$, B2: $0.61 \div 0.68 \mu\text{m}$, B3: $0.78 \div 0.89 \mu\text{m}$, B4: $1.58 \div 1.75 \mu\text{m}$.

2.2. Produkty SPOT-5

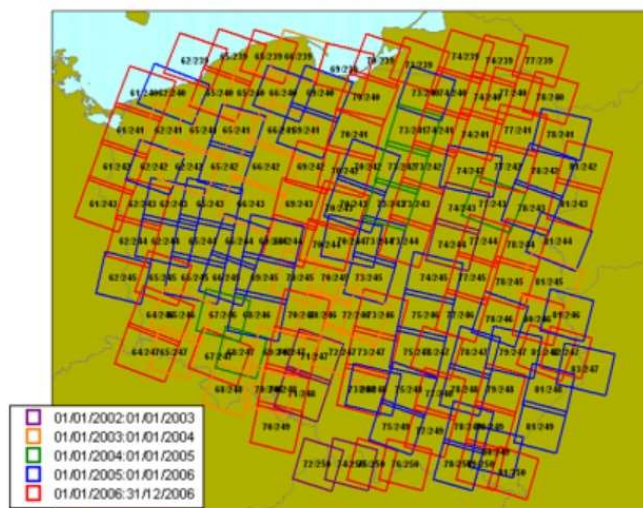
Systemy obrazowania satelity SPOT-5 pozwalają wygenerować produkty, o różnej dokładności geometrycznej i charakterystyce spektralnej. Dystrybuowane są m.in.: standardowe sceny obrazowe na poziomie przetworzenia 1A, 1B i 2A: kolorowe z pikselem 20 m i 10 m oraz czarno-białe z pikselem 10 m, 5 m i 2.5 m, mapy obrazowe SPOTView Precision na poziomie przetworzenia 2B: kolorowe z pikselem 20 m, 10 m i 5 m oraz czarno-białe z pikselem 10 m, 5 m i 2.5 m, mapy obrazowe SPOTView Ortho na poziomie przetworzenia 3: kolorowe z pikselem 20 m, 10 m i 5 m oraz czarno-białe z pikselem 10 m, 5 m i 2.5 m, Numeryczny Model Terenu (DTM) w siatce 30 m.

Warto zauważyć, że SPOT-5 dzięki znacznie zwiększonej zdolności rozdzielczej w stosunku do wcześniejszych systemów tej serii, oraz przy zachowaniu szerokości obrazowanego pasa terenu „wpasowuje” się pod względem rozdzielczości i wydajności obrazowania między tzw. „metrowe”, wysokorozdzielcze systemy satelitarne, takie jak IKONOS, czy QuickBird, charakteryzujące się bardzo dużą rozdzielczością przy stosunkowo małym pasie obrazowania, a średniorozdzielcze jak Landsat-7. Jeżeli przy porównaniach uwzględnić czynnik ceny, to okazuje się, że SPOT-5 wypełnia lukę wśród dostępnych systemów obrazowania satelitarnego i oferuje produkty o bardzo korzystnym stosunku ceny do jakości (tabela 1).

Tabela 1. Porównanie cen wybranych produktów obrazowania satelitarnego

System	Produkt	Cena za produkt Euro	Cena jednostkowa Euro/km ²	
Landsat-7	Pełna scena 173×183 km panchro + 7 kanałów wielospektralnych	1 500	0.047	
SPOT-5	Scena 60×60 km: kolor 10 m, lub cz-b. 5 m	3 500	0.97	
	Scena 60×60 km: cz-b 2,5 m	6 200	1.72	
	Mapa obrazowa SPOTView Ortho, scena 60×60 km:	kolor 10 m, lub cz-b. 5 m	4 220	1.17
		kolor 5 m, lub cz-b. 2.5 m	6 920	1.92
		kolor 2,5 m	10 000	2.83
DEM siatka 30'×30' – archiwalny	6 500	2.11		
IRS-1C/D	Panchro, scena 70×70 km, 5.8 m	2 500	0.51	

W celu określenia aktualnego stanu pokrycia zobrazowaniami wielospektralnymi z sytemu SPOT 5, autorzy artykułu zamówili aktualną informację z Spot Image. Rysunek 3 pokazuje pokrycie Polski zobrazowaniami systemem SPOT-5 z wyróżnieniem rejestracji w poszczególnych latach



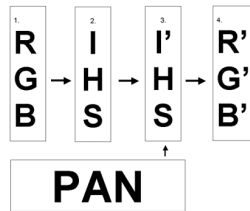
Rys. 3. Pokrycie Kraju zobrazowaniami SPOT 5 zawierającymi rejestrację MS

3. ZASTOSOWANA METODYKA FUZJI OBRAZÓW

Z obrazów wielospektralnych można wytworzyć barwne kompozycje w barwach rzeczywistych (poprzez złożenie wyciągów, np. niebieskiego, zielonego i czerwonego), lub w barwach umownych (poprzez złożenie wyciągów: zielonego, czerwonego podczerwonego). Proces polega to na złożeniu wysokorozdzielczego obrazu panchromatycznego z obrazem wielospektralnym. W wyniku specjalnej obróbki otrzymuje się kompozycję barwną (w barwach rzeczywistych lub fałszywych) o rozdzielczości geometrycznej źródłowego obrazu panchromatycznego.

Dla wytworzenia takiego produktu w przypadku opisywanych badań zastosowano następujący ciąg przekształceń: ortorektyfikacja obrazu panchromatycznego SPOT-5 w oparciu o fotopunkty, wytworzenie cyfrowej panchromatycznej ortofotomapy SPOT-5, ortorektyfikacja obrazu wielospektralnego MS SPOT-5 względem wytworzonej ortofotomapy w trybie „obraz do obrazu” (*image to image*), zespolenie cyfrowej ortofotomapy panchromatycznej wykonanej ze zdjęć lotniczych z wybranymi kanałami spektralnymi MS SPOT-5 i wytworzenie barwnej ortofotomapy wynikowej z pikselem 0.5 m (ortofotomapa „wyostrzona” - rys. 4).

Zespolenie wykonano w oprogramowaniu Erdas Imaging przy użyciu metody składowych głównych (*Principal Component*), a do przepróbkowania obrazu wielospektralnego użyto metody interpolacji dwuliniowej.



Rys. 4. Schemat tworzenia obrazu typu *Pansharpened* z zastosowaniem transformacji RGB - IHS

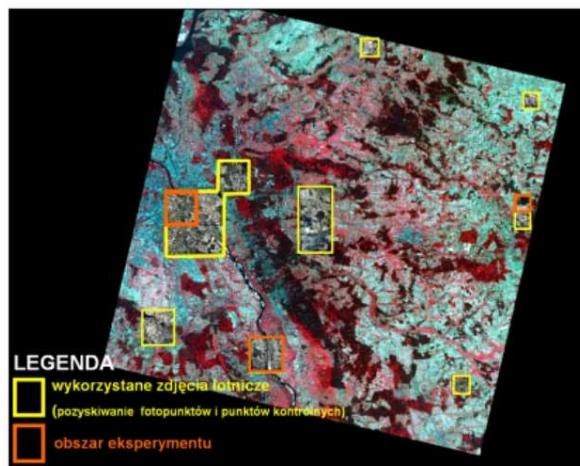
4. WYKONANE PRACE EKSPERYMENTALNE

W celu wykonania kompleksowych badań możliwości łączenia wielospektralnych zdjęć pochodzących ze SPOT-5 i panchromatycznych ortofotomap wykonano szereg prac przygotowawczych, polegających na: wyborze pola testowego, doboru metod korekcyjnych zobrazowań SPOT-5 i analizie wyników uzyskanych z procesu ortorektyfikacji.

4.1. Wybór pól testowych

W celu przeprowadzenia eksperymentu wybrano w ramach dostępnej sceny SPOT-5 następujące obszary do procesu fuzji, które reprezentują najbardziej typowe obszary kraju: obszar zurbanizowany, obszar rolniczy, obszar leśny.

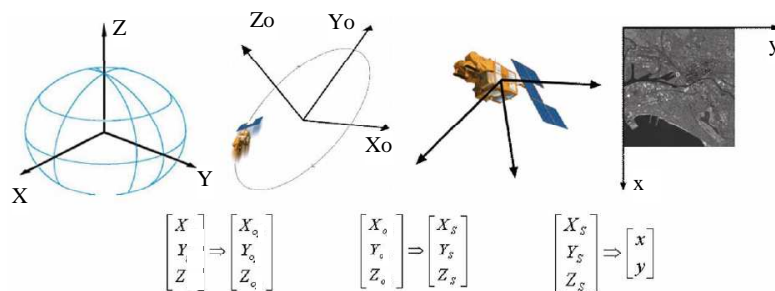
Na wytypowane obszary pozyskano z PZGiK istniejące panchromatyczne ortofotomapy o rozdzielczości terenowej 0.5 m. Lokalizację modułów wybranych ortofotomap na tle sceny SPOT-5 MS ilustruje rysunek 5.



Rys. 5. Scena SPOT-5 - pole testowe (Warszawa Wschód)

4.2. Zastosowana metoda korekcji geometrycznej i uzyskane rezultaty

Celem korekcji geometrycznej jest uzyskanie obrazu terenu w zadanym rzucie (odwzorowaniu) przy wykorzystaniu związku matematycznego. Stosuje się kilka istotnie różniących się podejść (odmienne modele geometryczne), których zastosowanie nakłada określone postępowanie technologiczne w celu uzyskania optymalnych rezultatów ortorektyfikacji obrazów satelitarnych.



Rys. 6. Podstawowe kroki procesu korekcji geometrycznej zobrazenia satelitarnego

Proces korekcji geometrycznej zobrazenia satelitarnego realizowany jest w następujących etapach (Wolniewicz, 2005), przedstawionych na rysunku 6:

- współrzędne zobrazonego punktu terenowego w układzie geocentrycznym Ziemi są transformowane na współrzędne orbitalne satelity ($X, Y, Z \Rightarrow X_o, Y_o, Z_o$),

- kolejna transformacja to przetworzenie uzyskanych współrzędnych na układ współrzędnych satelity ($X_0, Y_0, Z_0 \Rightarrow X_s, Y_s, Z_s$),
- transformacja współrzędnych satelity na układ współrzędnych zobrazowania ($X_s, Y_s, Z_s \Rightarrow x, y$).

Matematyczne relacje opisujące odmienne podejście do metody korekcji zobrazowania satelitarnego można przedstawić w dwóch zasadniczych grupach. Model parametryczny jest oparty na fundamentalnym dla fotogrametrii warunku kolinearności wektora punktu terenowego i odpowiadającego mu wektora obrazowego-obrazu na linii detektorów CCD. Relacje te są opisane jako funkcje parametrów kamery (elementów orientacji wewnętrznej) i zmiennych w czasie elementów orientacji zewnętrznej. Podejście takie jest zastosowane w komercyjnym oprogramowaniu PCI uwzględniający relacje matematyczne stworzone przez T. Toutina. Model wielomianowy (RPF) jest oparty na metodzie wielomianowej, z wykorzystaniem współczynników dostarczanych wraz z obrazem, bądź wyznaczanych w procesie wyrównawczym. W pierwszym przypadku wartości współczynników są wyznaczone wtórnie na podstawie pomierzonych w locie elementów orientacji zewnętrznej obrazów. W drugim przypadku wartości wielomianu są wyznaczone empirycznie w oparciu o grupę fotopunktów. Określone wyrazy wielomianu korekcyjnego w RPF (Rational Polynomial Function) nie mają bezpośredniej interpretacji geometrycznej.

W celu wykonania ortorektyfikacji sceny SPOT-5 PAN wykorzystano oprogramowanie PCI Geomatica 10.0.3.R6. Wykorzystano model korekcyjny: ścisły Toutina dla SPOT-5 stosując metodę „*image to image*”.

Otrzymano następujące rezultaty korekcji geometrycznej obrazu panchromatycznego SPOT-5 przy wykorzystaniu 11-tu punktów dostosowania i 9-iu punktów kontrolnych. Błędy na punktach kontrolnych wyniosły: RMS X = 1.32 m, RMS Y = 0.98 m.

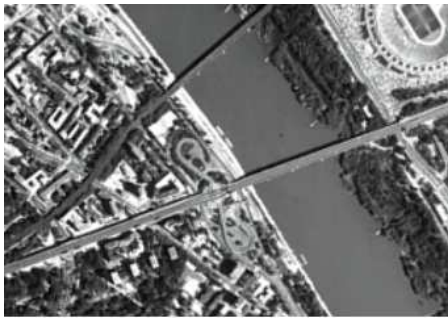
Natomiast przy ortorektyfikacji SPOT 5 MS stosując dokładnie te same procedury jak powyżej błędy wyniosły: RMS X = 2.16 m, RMS Y = 4.80 m. W obu przypadkach zastosowano do procesu ortorektyfikacji model wysokościowy w standardzie DTED LEVEL2.

5. PRZYKŁADY WYKONANYCH FUZJI NA WYBRANYCH OBSZARACH

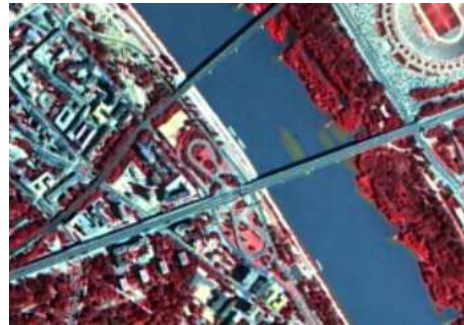
Dla zwiększenia pojemności informacyjnej dostępnych w PZGiK panchromatycznych ortofotomap o rozdzielczości 0.5 m dokonano jej fuzji z MS SPOT-5 według schematu opisanego w rozdziale 3. W czasie badań stosowano dwa podejścia:

1. Wykorzystano program PCI Geomatica, który stosuje opcję łączenia obrazów według algorytmu dr Yun Zhanga; jest to rozwinięcie metody *Brovey'a – New Synthetic Variable Ratio*.
2. Zastosowano oprogramowanie ERDAS Imagine 8.6 pozwalające na przeprowadzenie zespolenia obrazów metodami: *Principal Component*, *Multiplcative* i transformacja *Brovey'a*.

Porównanie uzyskanych kompozycji barwnych w analizowanych oprogramowaniach wykazało osiąganie poprawniejszych efektów przy zastosowaniu oprogramowania ERDAS 8.6 - transformacja *Brovey'a*). Poniższe przykłady ilustrują osiągnięte rezultaty dla różnych typów pokrycia terenu.

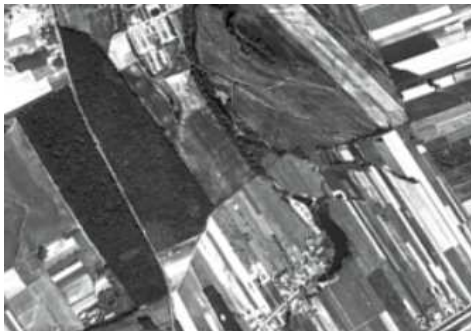


Panchromatyczna ortofotomapa lotnicza z pikselem 0.5 m

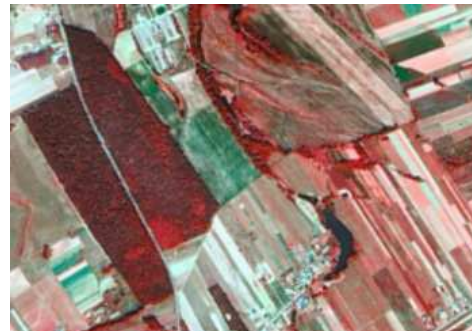


Panchromatyczna ortofotomapa lotnicza z pikselem 0.5 m + SPOT 5 MS

Rys. 7. Centrum Warszawy (kompozycja RGB 321)

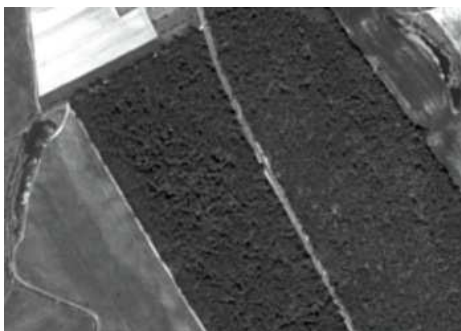


Panchromatyczna ortofotomapa lotnicza z pikselem 0.5 m

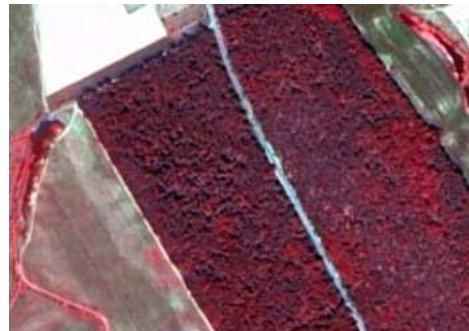


Panchromatyczna ortofotomapa lotnicza z pikselem 0.5 m + SPOT 5 MS

Rys. 8. Teren rolniczy (kompozycja RGB 321)



Panchromatyczna ortofotomapa lotnicza z pikselem 0.5 m



Panchromatyczna ortofotomapa lotnicza z pikselem 0.5 m + SPOT 5 MS

Rys. 9. Teren zalesiony (kompozycja RGB 321)

6. PODSUMOWANIE

Wykonana próba podniesienia wartości informacyjnych istniejących w PZGiK panchromatycznych ortofotomap poprzez wykorzystanie informacji zawartej na obrazie MS SPOT-5 wykazała, że jest to możliwe i proste do realizacji z technicznego punktu widzenia. Zastosowany schemat technologiczny może być w pełni zautomatyzowany, co daje szansę na wytworzenie produktu o nowej jakości radiometrycznej w bardzo krótkim czasie. Dostępność obrazów archiwalnych MS SPOT-5 prawie na obszar całego kraju czyni zaproponowane rozwiązanie atrakcyjnym również z ekonomicznego punktu widzenia.

Prezentowane przykłady wskazują, że stosowanie zaproponowanego rozwiązania jest poprawne na tereny zurbanizowane i tereny pokryte lasami. Otrzymane kompozycje barwne w obu przypadkach powinny przyczynić się do polepszenia procesu interpretacji i pozyskiwania obiektów techniką monoplottingu zarówno dla tworzenia lub aktualizacji baz danych topograficznych, numerycznych map leśnych i innych opracowań tematycznych. Ze względu na różnice czasowe pozyskiwania źródłowych obrazów stosowanie tego podejścia nie da zadawalających rezultatów na obszarach rolnych, np. dla oceny rodzaju uprawy.

Reasumując uważamy, że ostateczną przydatność zaproponowanego rozwiązania należy zweryfikować poprzez wykonanie konkretnych opracowań wdrożeniowych.

7. LITERATURA

Mróz M., Szumiło M., 2005. Metody i podejścia stosowane w integrującym przetwarzaniu obrazów teledetekcyjnych pozyskanych za pomocą różnych sensorów. *Scientarum Polonorum Geodesia et Descriptio Terrarum*, zeszyt 4 (1), Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, ISSN 1644-0668, s. 17-28.

Zhang Y., 2002. A new automatic approach for effectively fusing Landsat 7 as well as IKONOS images. *IEEE/IGARSS'02*, Toronto, Kanada, s. 1-3.

Zhang Y., 2002. Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions. *ISPRS, Vol. 34, Part 4, GeoSpatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa, s. 1-6.

Wolniewicz W., 2005. Podstawy Fotogrametrii Satelitarnej. Część I i II. *Przegląd Geodezyjny*, Warszawa, s. 24-26 i 18-20.

**ATTEMPT TO INCREASE INFORMATIVE VALUE
OF DIGITAL ORTHOPHOTOMAPS**

KEY WORDS : aerial orthophotomap, SPOT-5, ortho adjustment of satellite images, fusion

Summary

The authors of this article present an option to increase the informative value of digital ortho photo maps available in the National Geodesic and Cartography Resource. As is well-known, the vast majority of these maps were created from panchromatic aerial photographs. To date, many techniques and software tools for fusing images have been developed. Common methods include the Brovey method, the intensity hue saturation (IHS) color model, and principal component analysis (PCA).

The conducted experimental works showed that the fusion of a panchromatic image from a digital ortho photo map with a multi-spectral image obtained from a SPOT-5 system is possible. High resolution panchromatic images provide better spatial quality compared to multispectral images. However, MS images provide better spectral quality compared to panchromatic images.

“The new orthophotomap” achieved in this way has a geometrical resolution comparable to the source panchromatic orthophotomap, however, radiometrically it is enriched with information obtained from MS SPOT 5 channels applied in fusion.

The presented examples of executed fusions of images for different types of land coverage show that the presented solution should be mainly used for urban areas, forests and in many agricultural, environmental or mapping applications. The low costs of suggested solution, as well as the availability of archive images from MS SPOT-5 covering almost the entire country show that the National Geodesic and Cartography Resource should be enriched with products of increased informative value. In this way, it will be possible to expand the image data collected in this geodesic resource.

Dr inż. Ryszard Preuss
e-mail: ryszard.preuss@wp.pl
tel. +22 2345764

Dr inż. Wiesław Wolniewicz
e-mail: W.Wolniewicz@gik.pw.edu.pl
tel. +22 2347358

Mgr inż. Sebastian Różycki
e-mail: s.rozycki@gik.pw.edu.pl
tel. +22 2347358