

**ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ZOBRAZOWAŃ
Z CARTOSAT-1 W OPRACOWANIACH
FOTOGRAMETRYCZNYCH I KARTOGRAFICZNYCH**

**ANALYSIS OF THE APPLICATION OF CARTOSAT-1 IMAGERY
IN PHOTOGRAMMETRIC AND CARTOGRAPHIC ELABORATIONS**

**Rafał Dąbrowski¹, Witold Fedorowicz-Jackowski¹, Michał Kędzierski²,
Piotr Walczykowski², Jacek Zych¹**

¹GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o.

²Katedra Teledetekcji i Geoinformatyki,
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: Cartosat, NMT, ortofotomapa, rektyfikacja, aktualizacja

STRESZCZENIE: Do określenia możliwości wykorzystania zobrażeń z satelity CARTOSAT-1 został pozyskany NMT ze stereopary, opracowana ortofotomapa oraz został zwektoryzowany fragment ortobrazu i porównany z istniejącymi opracowaniami numerycznymi z tego obszaru. Na obszarze zobrażenia została pomierzona osnowa fotogrametryczna oraz przekroje terenu. W trakcie badań została określona optymalna liczba fotopunktów potrzebnych do rektyfikacji scen oraz wielkość generowanego oczka NMT. Dodatkowo NMT wygenerowany ze stereopary CARTOSAT-1 został porównany z DTED Level 2 i przekrojami pomierzonymi w terenie. W procesie badawczym została określona możliwość interpretacji i wykorzystania zobrażeń do aktualizacji Vmap.

1. WPROWADZENIE

Indyjski satelita CARTOSAT-1 został w głównej mierze zaprojektowany do zastosowań kartograficznych. Umieszczony jest on na orbicie heliosynchronicznej oddalonej od Ziemi o 618 km. CARTOSAT-1 posiada dwa wysokorozdzielcze sensory panchromatyczne obrazujące powierzchnię Ziemi w zakresie promieniowania widzialnego. Szerokość pasów obrazowania wynosi około 30 km. Rozdzielczość terenowa pozyskiwanych obrazów to 2.5 m.

Sensory są umieszczone na pokładzie satelity w sposób umożliwiający pozyskanie stereoskopowych par obrazów. Rejestracja następuje niemalże jednocześnie, ponieważ sensory są wychylone w przód i wstecz i dzięki temu mogą z tej samej orbity wykonać zobrażenie. Istnieje również możliwość wychylenia sensorów w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny orbity satelity. Umożliwia to zwiększenie częstotliwości obrazowania określonego obszaru z sąsiednich orbit. Ponieważ rozdzielczość terenowa jest ponad dwukrotnie lepsza od poprzedniego satelity indyjskiego IRS oraz poprawie uległa

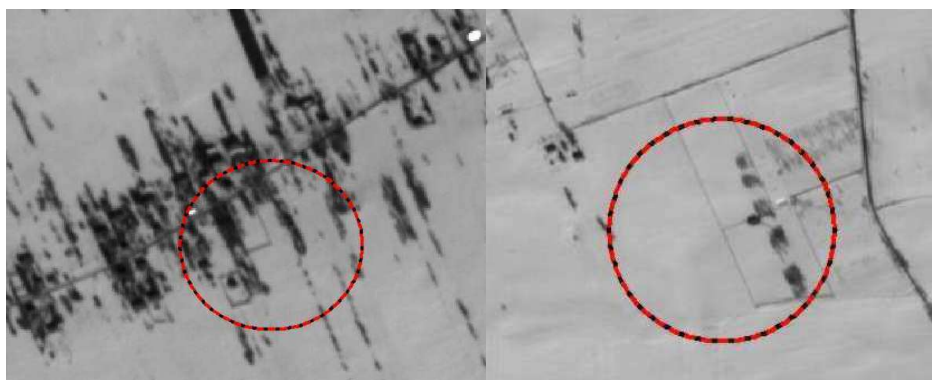
rozdzielczość radiometryczna, wydaje się, że produkty z satelity CARTOSAT-1 będą często wykorzystywane w różnych opracowaniach kartograficznych.

Na obszarze sceny zostało pomierzonych 36 fotopunktów na szczegółach terenowych metodą GPS, oraz trzy przekroje terenu o długości ok. 3.5 km pomierzone techniką GPS RTK. W eksperymencie zostały wykorzystane dwie sceny panchromatyczne (stereo) z okolic Rawy Mazowieckiej ($51^{\circ} 42',5$ N; $20^{\circ} 23',0$ E). Wymiar sceny to 26.5 km na 29.5 km (scena zimowa).

2. ORIENTACJA SCEN

2.1. Osnowa fotogrametryczna

Na zobrazowaniu zostało zaprojektowanych 36 GCP do przeprowadzenia i oceny dokładności triangulacji i ortoobrazu. Zostały one rozłożone równomiernie na całej powierzchni zdjęcia i pomierzone w terenie techniką GPS, błąd poziomy nie przekroczył wartości 0.10 m a pionowy 0.15 m. Gorzej wyglądała kwestia interpretacji umiejscowienia fotopunktów z uwagi na pokrywę śnieżną na obszarze całego zobrazowania. Dlatego też część fotopunktów musiała zostać umiejscowiona na narożnikach ogrodzeń.



Rys.1. Przykład umiejscowienia niektórych fotopunktów

Oczywiście w miarę możliwości były wybierane przecięcia wąskich, prostych dróg, lecz z uwagi na możliwy błąd interpretacyjny (spowodowany śniegiem) oraz rozdzielczością obrazu było to trudne. Właśnie z takich przyczyn 2 GCP zostały w ogóle nie wykorzystane do opracowania.

2.2. Triangulacja

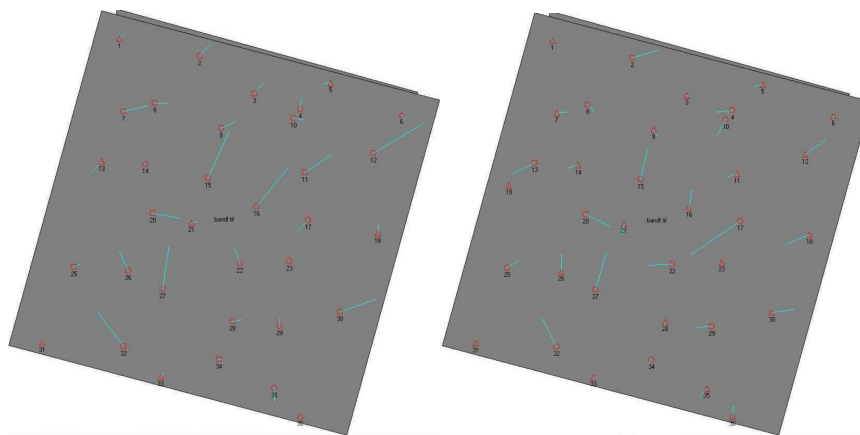
Do orientacji zostały wykorzystane pliki z RPC. Triangulacja scen została przeprowadzona przy 4 różnych rozkładach fotopunktów i punktów kontrolnych. Wyniki zamieszczone są w tabeli 1. Najkorzystniejszy wariant to 9 fotopunktów na scenę,

aczkolwiek tak małe błędy na fotopunktach spowodowane są również brakiem obserwacji nadliczbowych.

Jednak patrząc na błędy występujące na punktach kontrolnych, które są poniżej wartości GSD dla Cartosata (2.5 m) należy stwierdzić, że do wyrównania scen z RPC wystarczy 9 fotopunktów na scenę, a zwiększanie tej liczby nie przynosi znaczącego wzrostu dokładności.

Tabela 1. Wyniki orientacji sceny

Wariant	A	B	C	D
Ilość fotopunktów/ punktów kontrolnych	19/14	15/18	12/21	9/24
σ_0 [piksel]	1.24	1.41	1.49	1.41
RMSE fotopunktów				
X [m]	1.01	1.00	0.84	0.50
Z [m]	0.85	0.89	0.74	0.57
Y [m]	1.02	1.11	0.67	1.27
x [piksel]	0.48	0.47	0.37	0.28
y [piksel]	0.29	0.30	0.25	0.19
RMSE punktów kontrolnych				
X [m]	2.00	2.22	2.05	1.88
Z [m]	1.83	1.75	1.78	1.93
Y [m]	2.29	2.35	2.40	1.71
x [piksel]	0.91	1.02	0.99	0.93
y [piksel]	0.69	0.67	0.77	0.67



Rys. 2. Rozkład residuów na scenie, wariant 9/24 i 19/14 fotopunktów/punktów kontrolnych (skala wektora residuów 2000 %)

Charakterystyczne jest to, iż największe błędy na fotopunktach i punktach kontrolnych występują w środkowej części sceny, co w przypadku występowania na innych zobrazeniach mogłoby świadczyć o błędach optyki sensora lub kłopotach z stabilnością orbity.

3. NUMERYCZNY MODEL TERENU

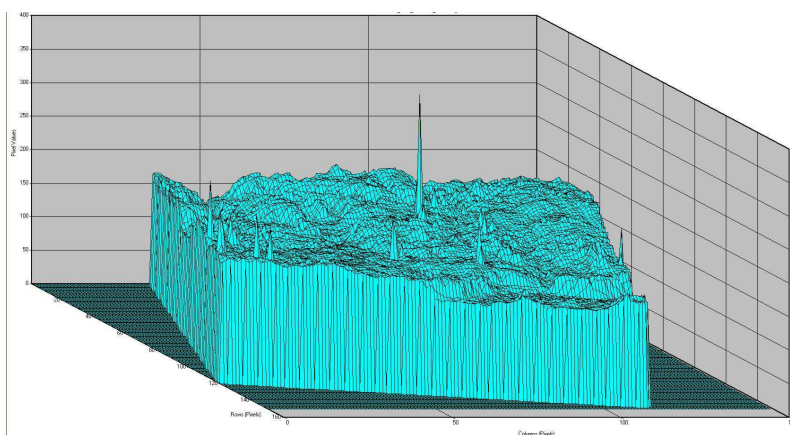
3.1. Wygenerowanie NMT

NMT został wygenerowany z obrazów stereoskopowych Cartosata o pokryciu 98.9 %, przy zastosowaniu metody cyfrowej korelacji obrazu: *Area Based Matching*. Parametry korelacji zostały ustawione na następującym poziomie: wielkość okna korelacji 7×7, okno poszukiwawcze 21×3, współczynnik korelacji 0.8. Przy takich parametrach został wygenerowany NMT o oczku 10, 15 i 20 metrów. Przy takim zobrazowaniu jak CARTOSAT-1 najbardziej zasadne wydaje się generowanie DEM o oczku 20 m. Modele o mniejszych wartościach oczka wydają się być zafałszowane. Parametry dokładnościowe, mówiące o jakości cyfrowej korelacji obrazów, przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Wyniki korelacji obrazów przy generowaniu NMT

Współczynnik korelacji	NMT [10]	NMT [15]	NMT [20]
Doskonały % (1÷0.85)	78.8	76.5	75.7
dobry % (0.85÷0.80)	7.8	7.8	7.9
odrzucone %	13.4	15.7	16.4

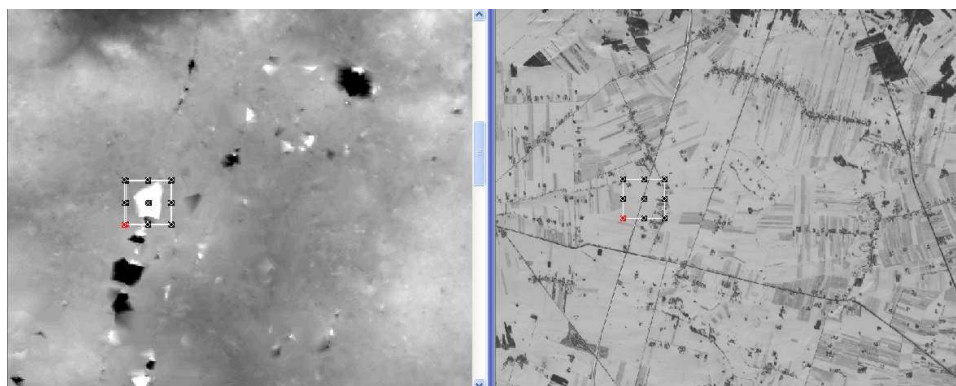
Na wygenerowanym modelu występują drobne błędy (piki) gdzie wysokość jest z obciążona błędem kilkudziesięciu metrów. Sytuację tą przedstawia rysunek 3.



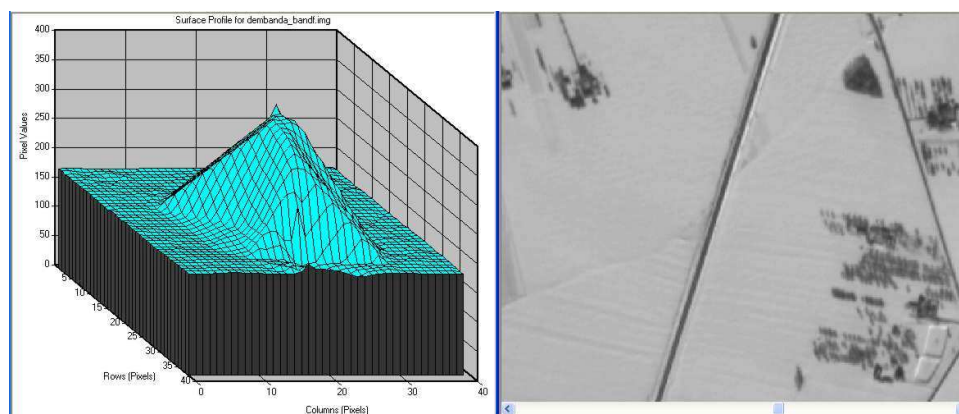
Rys. 3. NMT o oczku siatki 20 m wygenerowany automatycznie

3.2. Analiza dokładności NMT

Do oceny dokładności NMT z oczkiem 20 metrów zostało wykorzystanych 25 punktów kontrolnych, które nie brały udziału w orientacji. Błąd średni wyniósł 1.26 m, a LE90 1.90 m. Na obszarze sceny występuje kilka błędów w NMT dochodzących do 100 metrów. Przykładem jest poniższe zdjęcie gdzie wypiętrzenie ponad okoliczny teren wynosi ponad 100 metrów, a w rzeczywistości powinien być teren w przybliżeniu teren płaski.



Rys. 4. Z lewej strony NMT z zaznaczonym błędem, z prawej odpowiadający rejon na zobrazeniu

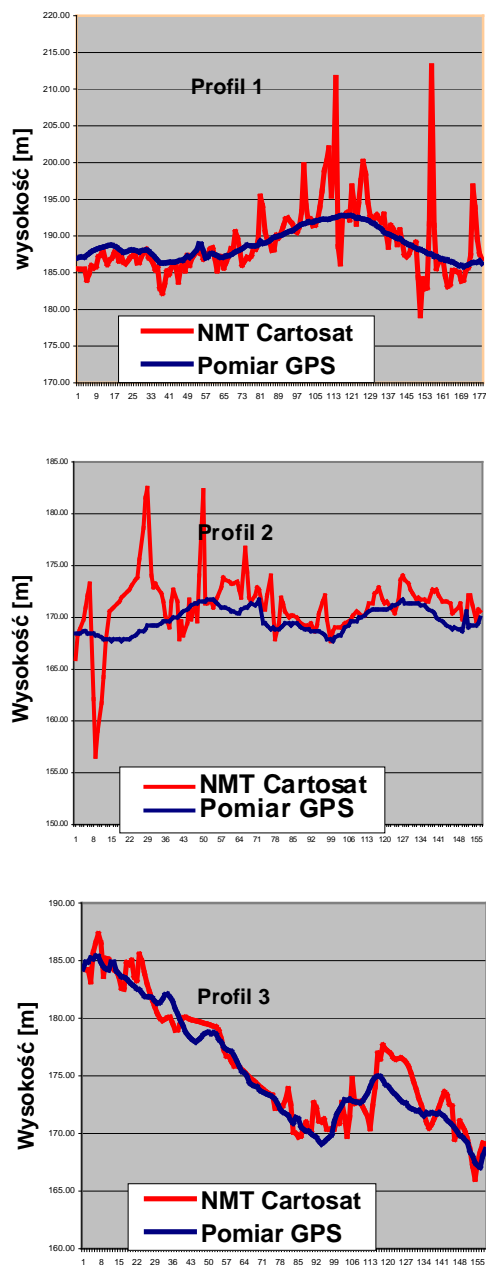


Rys. 5. Z lewej strony profil pików (błędu w generowaniu NMT), z prawej dokładna lokalizacja na zobrazeniu

Jak widać na ww. rysunku błąd ten ma raczej trudne do wytłumaczenia pochodzenie. Środkiem tego błędu jest przecięcie się drogi z rowem (teren oprócz drogi jest zaśnieżony).

NMT wygenerowany ze stereopary Cartosata został porównany z DTED Level 2 po przepróbkowaniu na oczko siatki 20 m. W wyniku odjęcia modeli od siebie powstała powierzchnia o średniej wysokości równej 0.43 m z charakterystycznymi błędami (pikami) omówionymi już wcześniej.

W celu dokładniejszej i bardziej wiarygodnej analizy dokładności NMT wygenerowanego z obrazów satelity CARTOSAT-1 zostały pomierzone techniką GPS RTK przekroje terenu o długości około 3.5 km z punktami co 20 m. Błąd wyznaczenia wysokości techniką GPS nie przekroczył 15 cm w najgorszym punkcie, a błąd poziomy nie przekroczył 10 cm. Poniżej przedstawione zostały trzy przekroje rozłożone w północnej, centralnej i południowej części zobrażenia.



Rys. 6. Trzy przekroje terenu porównane z przekrojami pomierzonymi na NMT z CARTOSAT-1

Wyniki porównania NMT wygenerowanego z zobrażeń satelity CARTOSAT-1 z przekrojami pomierzonymi w terenie techniką GPS przedstawione zostały w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki porównania NMT z przekrojami mierzonymi w terenie

	Profil 1	Profil 2	Profil 3
Średnia różnica [m]	-0.21	-1.47	-0.46
RMSE [m]	3.60	2.86	1.46
Max [m]	9.03	11.72	3.64
Min [m]	-25.65	-13.32	-3.72
Współczynnik korelacji	0.68	0.32	0.95

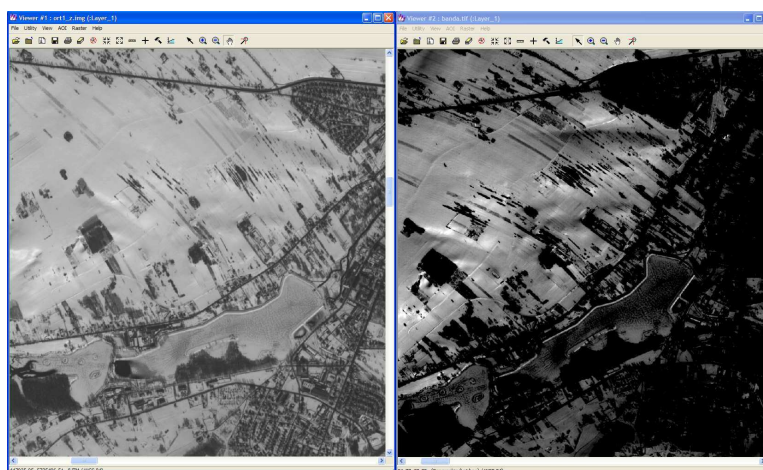
Błędy na pierwszym profilu są spowodowane częstymi przejściami przez rowy i drogi, co powoduje podobne błędy jak widoczne na rysunku 5. Błędy na drugim profilu mają charakter systematyczny i są spowodowane leżącym śniegiem na polach. Błędy na profilu 3 są znikome i w zasadzie można je uznać za błędy przypadkowe.

Z przeprowadzonych badań wynika, że występuje problem z generowaniem NMT ze stereopary CARTOSAT-1 w rejonie dróg i rowów oraz małych zagajników leśnych, szczególnie, kiedy jeszcze w nich występują polanki. Sugeruje to, iż obszary leśne powinny być wyłączone z procesu automatycznego generowania NMT.

4. CYFROWA ORTOFOTOMAPA

4.1. Ortorektyfikacja

Do procesu ortorektyfikacji został użyty NMT wygenerowany ze stereopary Cartosata o oczku siatki 20 m oraz DTED level 2. Do Resampling zastosowana została metoda *bilinear interpolation*. Piksel ortoo obrazu został ustalony na 2.5 m tak ażeby produktem finalnym mogłaby być ortofotomapa w skali 1:10 000. Poniższe zdjęcie przedstawia różnicę pomiędzy ortoo obrazem a oryginalną sceną z Cartosata.



Rys. 7. Z lewej strony ortoo obraz z prawej obraz oryginalny

4.2. Ocena dokładności

W celu oceny dokładności zostało pomierzone na ortoobrazie sześć odcinków powyżej 20 km pomiędzy punktami, które nie brały udziału w wyrównaniu triangulacji. Wyniki zamieszczone zostały w tabeli 4.

Tabela 4. Porównanie odległości na ortoobrazie (pomiędzy punktami kontrolnymi) a odległością obliczoną ze współrzędnych

odcinek	Δ [m]
12-32	7.24
8-29	2.01
7-35	-0.88
25-4	-0.06
3-34	-0.62
2-30	2.59

W tabeli 4 przedstawiono różnice pomiędzy wartością praktyczną (pomierzoną na ortoobrazie), a wartością teoretyczną (obliczoną ze współrzędnych). Średnia wartość wynosi 1.71m. Tak duży błąd przy linii 12-32 związany jest z niedokładnością NMT.

Dodatkowo w celu precyzyjniejszej analizy dokładnościowej zostały pomierzone odległości w terenie. Różnice w odległościach pomiędzy odcinkami pomierzonymi w terenie, a na ortoobrazie przedstawia tabela 5. Odległości te nie przekroczyły 800 m i były pomierzone w terenie wzdłuż dróg o niewielkim przewyższeniu tachimetrem elektronicznym Topcon GTS-212.

Tabela 5. Porównanie odległości na ortoobrazie pomiędzy punktami kontrolnymi a odległością pomierzoną

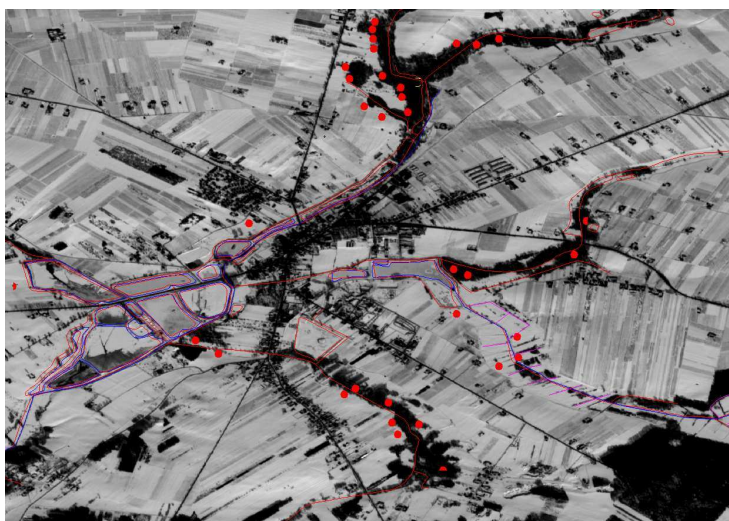
odcinek	Δ [m]
1	2.34
2	2.84
3	-0.90
4	3.58
5	1.73
6	-0.29

Średnia wartość wynosi 1.84 m. Wyniki te są tylko 1.5 raza gorsze od podobnego eksperymentu przeprowadzonego dla zobrazowania z Ikonosa (Kędzierski, *et al.*, 2006).

Dane z Cartosata, a szczególnie ortofotomapa może zostać wykorzystana do aktualizacji istniejących map lub być źródłem precyzyjnych danych topograficznych dla GIS. Problem z rozmazaniem obrazu występuje tylko w południowej części sceny - tam GSD przekracza 3 m i widoczne jest to na pierwszym zdjęciu (rys. 1).

5. INTERPRETACJA I POZYSKANIE DANYCH TOPOGRAFICZNO-KARTOGRAFICZNYCH NA PODSTAWIE ORTOFOTOMAPY WYGENEROWANEJ Z ZOBRAZOWANIA SATELITY CARTOSAT-1

W celu określenia możliwości geointerpretacyjnych dokonano wektoryzacji obiektów dających się rozpoznać na zobrażowaniu z satelity CARTOSAT-1. Są to: sieć drogowa, lasy i tereny zielone, pola uprawne, zadrzewienia śródpolne, tereny zurbanizowane i pojedyncza zabudowa typu zagrodowego i jednorodzinnego położona poza terenami zurbanizowanymi, większe rzeki i strumienie oraz stawy i jeziora i teren tarasu zalewowego. Niektóre z tych elementów są do rozróżnienia tylko dla wprawnego interpretatora znającego lokalne warunki (typy krajobrazu i roślinności charakterystyczne dla danej krainy geograficznej). W ten sposób pozyskana treść tematyczna została porównana z treścią Vmapy level 2. Dokonano tego w prosty sposób porównując wizualnie nałożone na siebie warstwy, ortofotomapę, treść Vmapy i dane pozyskane z wektoryzacji. Poniżej przedstawiono kilka przykładów różnic pomiędzy treścią Vmapy level 2, a możliwościami interpretacyjnymi danych z satelity CARTOSAT-1. Problemem w tym eksperymencie jest okres, w którym wykonano zobrażowanie. Pokrywa śnieżna na większej części zdjęcia uniemożliwiła dokładną interpretację obiektów topograficznych. Na przykład rowy melioracyjne i małe ciekі są widoczne jedynie jako grupki roślinności rosnącej wzdłuż rowu, interpretacja takich danych może dawać nieprawidłowe wyniki. Lód i śnieg pokrywający zbiorniki wodne może spowodować trudności w ich interpretacji.



Rys. 8. Fragment po wektoryzacji z zaznaczonymi miejscami nierozpoznawalnymi (niebieski kolor Cartosat, czerwony Vmap level 2)

Rozdzielczość piksela nie pozwala na rozróżnienie wszystkich budynków w terenach zabudowanych. Pozwala natomiast na rozróżnienie pojedynczych zabudowań w terenie niezurbanizowanym (zabudowa zagrodowa i jednorodzinna) oraz wyróżnienie terenów o gęstszej zabudowie. W przypadku, gdy pokrywa śnieżna lub roślinność na to pozwala można wyróżnić elementy liniowe takie jak ogrodzenia i mury graniczne.

6. PODSUMOWANIE

Zaśnieżenie sceny spowodowało zmniejszenie jej przydatności do pozyskiwania informacji na temat użytkowania i pokrycia terenu. Pomimo tego uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że zobrazowania pochodzące z tego satelity mogą okazać się przydatne przy aktualizacji treści map topograficznych, a także jako warstwa w różnego rodzaju systemach GIS, zapewniając wystarczającą dokładność planimetryczną i trochę gorsze możliwości interpretacyjne ze względu na rejestrację obrazów tylko w zakresie promieniowania widzialnego przy pomocy sensorów panchromatycznych.

Obrazy stereo z satelity CARTOSAT-1 wydają się być dobrym materiałem do generowania NMT, choć występujące w nim błędy są miejscami zbyt duże (piki). Oczywiście można je poprawić przy pomocy edycji NMT, ale w eksperymencie rozważane była tylko metoda automatyczna. W porównaniu do wyników otrzymanych z obrazów satelity Ikonos można stwierdzić, iż NMT z Cartosat jest na porównywalnym stopniu dokładnościowym, a nawet trochę wyższym, gdyż GSD jest 2.5 raz większe od Ikonosa, a dokładność NMT jest słabsza 1.5 raza. Oczywiście pozostają jeszcze błędy (piki), które powtórzyły się przy generowaniu nawet na innym sprzęcie. Jednak te sprawy i tak nie umniejszają jakości NMT powstałego z stereo pary CARTOSAT-1.

Jest prawdopodobne, że zobrazowania z satelity CARTOSAR-1 będą miały dość duże powodzenie w sprzedaży. Są wystarczająco precyzyjne, ażeby mogły być podstawowym źródłem danych do GIS, a prawdopodobnie ich cena jest konkurencyjna. Mogą zostać wykorzystane do aktualizacji map topograficznych w skali 1:10 000 i 1:25 000. Dokładność triangulacji w zadanej scenie była na poziomie 1.4 piksela, ale trzeba pamiętać że była to scena zimowa, gdzie były dość duże problemy z wyborem fotopunktów.

7. LITERATURA

Kędzierski M., Walczykowski P., 2006. Orthorectification of Ikonos Imagery by Means of LPS Environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 15, No.3C, s. 14-16.

Kaczyński R., Ziobro J., 1998. Digital Aerial Triangulation for DMT and Orthophoto Generation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 4, Stuttgart, s. 281-283.

Projekt badawczy w ramach: ISPRS-ISRO CARTOSAT-1 Scientific Assessment Programme (C-SAP), ISPRS Working Group IV/9 Mapping from High-Resolution Data.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF CARTOSAT-1 IMAGERY IN PHOTOGRAMMETRIC AND CARTOGRAPHIC ELABORATIONS

KEYWORDS: Cartosat, DTM, orthoimage, rectification, actualization

Summary

The Indian CARTOSAT-1 satellite was designed mainly for cartographic applications. It is placed on the polar Sun Synchronous Orbit 618 km from Earth. CARTOSAT-1 has two high resolution panchromatic sensors imaging the Earth's surface in the visible range. The imaging strips are about 30 km wide. The space resolution of the images is 2.5 m.

The sensors in satellite are placed to acquire stereoscope pairs. Pictures are taken forward and backward at the same time by two sensors. There is also the possibility of orthogonal deflection to satellite orbit space. It makes an increase in imagery frequency of a specified image from neighbouring orbits possible. Because the terrain resolution is more than two times better than previous Indian satellite IRS and radiometric resolution is also better, it seems that Cartosat products will be more useful in various GIS and mapping applications.

To determine the possibilities of using the images of DTM from the stereopair, an orthophotomap was elaborated and a fragment of the orthoimage was vectorized and compared with existing digital elaborations from this area. 36 GCPs on terrain details with the GPS method and 3 3.5 km - long terrain profiles were measured with the help of GPS RTK technology on the space scene. In the experiment two panchromatic scenes (stereo) from Rawa Mazowiecka region (51° 42',5 N; 20° 23',0 E) were used. The scene measurement is 26.5 km × 29.5 km (winter scene).

During the experiment, the specific number of GCPs required for scene rectification and the size of the generated DTM was estimated. Additionally, the DTM generated from the CARTOSAT-1 stereopair was compared with DTED level 2 and with three profiles measured in the terrain. In the investigation process, the possibility of interpretation and application of imageries to the actualization of the Vmap was evaluated.

Mgr inż. Rafał Dąbrowski
e-mail: rafal.dabrowski@geosystems.com.pl
tel. +22 8267837

Dr Witold Fedorowicz-Jackowski
e-mail: witold.fedorowicz@geosystems.com.pl
tel. +22 8267837

Dr inż. Michał Kędzierski
e-mail: mkedzierski@wat.edu.pl
tel. +22 6837718

Mgr inż. Sebastian Różycki
e-mail: s.rozycki@gik.pw.edu.pl
tel. +22 6607358

Dr inż. Piotr Walczykowski
e-mail: pwalczykowski@wat.edu.pl
tel. +22 6837718

Mgr inż. Jacek Zych
e-mail: jacek.zych@geosystems.com.pl
tel. +22 8267837