

**OCENA DOKŁADNOŚCI GENEROWANIA NMP  
Z WYKORZYSTANIEM CARTOSAT-1**

**EVALUATION OF THE ACCURACY OF DSM GENERATION  
USING A CARTOSAT-1**

**Rafał Dąbrowski<sup>1</sup>, Witold Fedorowicz-Jackowski<sup>1</sup>, Michał Kędzierski<sup>2</sup>,  
Sebastian Różycki<sup>3</sup>, Piotr Walczykowski<sup>2</sup>, Wiesław Wolniewicz<sup>3</sup>, Jacek Zych<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o.

<sup>2</sup> Katedra Teledetekcji i Geoinformatyki,  
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

<sup>3</sup> Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Politechnika Warszawska

**SŁOWA KLUCZOWE:** Numeryczny Model Pokrycia, CARTOSAT-1, dGPS, fotogrametria satelitarna

**STRESZCZENIE:** Numeryczny Model Pokrycia (NMP) o zasięgu światowym, coraz częściej jest pozyskiwany z danych pochodzących z systemów satelitarnych. Do tych zadań wykorzystywane są systemy pracujące w zakresie optycznym jak i mikrofalowym (interferometrii radarowej InSAR). Ostatnio pojawiły się nowe rozwiązania obrazowania stereoskopowego w systemach satelitarnych takich jak: japoński PRISM czy indyjski CARTOSAT-1, charakteryzujące się między innymi dwiema sprzężonymi kamerami skierowanymi w przód i do tyłu, z pikselem ok. 2.5 m. Referat przedstawia charakterystykę funkcjonującego od maja 2005, indyjskiego satelity zaprojektowanego dla potrzeb generowania ze zdjęć stereoskopowych precyzyjnych NMP. Jest to kolejny system z rodziny Indian Remote Sensing (IRS) pracujący tylko w zakresie panchromatycznym. W ramach programu prowadzonego przez Indyjskie Ministerstwo Kosmosu (Department of Space, Government of India), zespół badawczy w Polsce wykonał eksperyment generowania NMP dla obszaru na południowy-zachód od Warszawy. Zostały zaprojektowane i pomierzone fotopunkty techniką dGSP. Do opisu geometrii obrazów wykorzystano metodę wielomianową (RPF). Generowanie Numerycznego Modelu Pokrycia prowadzono w środowisku Leica Photogrammetry Suite (LPS) i PCI OrthoEngine. Dokonano analizy wpływu liczby fotopunktów na precyzję generowanego modelu. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu uzyskano błędy wysokości wygenerowanego NMP na punktach kontrolnych są na poziomie 1.5 m przy wykorzystaniu tych samych 9 fotopunktów dla różnych oprogramowań. Uzyskane wyniki są powyżej oczekiwań. System CARTOSAT-1 może stanowić ekonomicznie atrakcyjne źródło danych dla generowania NMP o zasięgu globalnym.

## **1. WSTĘP**

Obrazy satelitarne o bardzo dużej rozdzielczości, popularnie nazywane VHRS (Very High Resolution Satellite) są coraz powszechniej wykorzystywane jako alternatywa dla zdjęć lotniczych.

Do niedawna dane dostarczane z pułapu satelitarnego były wprawdzie wykorzystywane dla potrzeb różnych branż (geologia, hydrologia, leśnictwo, rolnictwo, ochrona środowiska itp.) jednak z powodu małej rozdzielczości (wielkość piksela terenowego rzędu 15÷80 m), użytkownikom w małym stopniu interesowały aspekty kartometryczne, a bardziej interpretacyjne.

Pojawienie się w 2000 roku zdjęć satelitarnych generacji VHRS spowodowało nowe spojrzenie na potencjał tych obrazowań. Prace badawcze prowadzone przez dr. T. Toutin'a czy dr. K. Jakobsen'a zainicjowały nowy nurt fotogrametrii satelitarnej. Na XX Kongresie ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) w Istambule przedstawiono szereg wyników dotyczących prowadzonych badań w zakresie zarówno zagadnień dotyczących geometrii tych obrazowań jak i ich praktycznego wykorzystania dla potrzeb kartografii. Uważnie śledząc współczesne trendy, można wyraźnie dostrzec integrację dotychczasowych doświadczeń z zakresu teledetekcji i fotogrametrii wykorzystywanych w opracowaniu nowej jakości informacji o powierzchni Ziemi z danych pozyskiwanych przez systemy satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości.

Nowym kierunkiem rozwoju są specjalistyczne wysokorozdzielcze systemy satelitarne dostarczające dane przeznaczone głównie do generowania precyzyjnego Numerycznego Modelu Pokrycia. Doskonałym przykładem jest kolejny system z rodziny IRS (Indian Remote Sensing) – CARTOSAT-1.

## 2. CHARAKTERYSTYKA SYTEMU

W ramach długofalowego indyjskiego programu monitorowania powierzchni Ziemi z kosmosu, którego początki datują się w marcu 1988 wraz z umieszczeniem na orbicie okołoziemskiej IRS-1A, pojawiło się z czasem sześć kolejnych systemów satelitarnych: IRS-1C, IRS-P3, IRS-1D, OCEANSAT-1, TES i RESOURCESAT-1. Tworzą one jedną z największych teledetekcyjnych konstelacji cywilnych systemów satelitarnych. W maju 2005 r. umieszczono kolejny system CARTOSAT-1. Zadaniem tego satelity jest globalnie pozyskiwanie zdjęć stereoskopowych w celu budowy Numerycznego Modelu Pokrycia bądź Numerycznego Modelu Terenu.

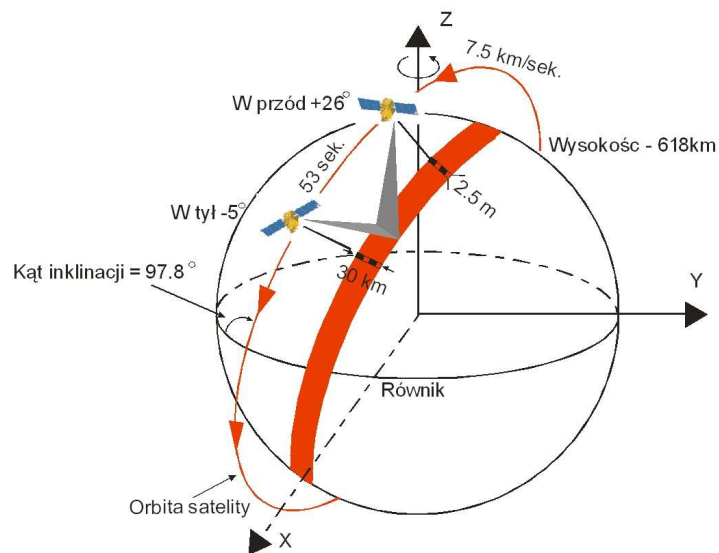
System ma dwa wysokorozdzielcze skanery działające w zakresie panchromatycznym, których układy optyczne umieszczone są w stałej orientacji. Jedna kamera zwrócona jest +26 stopni, a druga -5 stopni wzdłuż orbity. To nowatorskie rozwiązanie daje możliwość rejestrowania tego samego fragmentu terenu z tej samej orbity. Aby pozyskać obrazowanie tego samego terenu satelita potrzebuje około 50 sek. na przemieszczenie się wzdłuż orbity z prędkością 7.5 km/s, z pułapu ok. 600 km. Niestety z tytułu różnych wychyleń poszczególnych układów optycznych satelity obrazowania charakteryzują się niejednakową rozdzielczością terenową, co można zauważyć na zdjęciu „w przód” i „do tyłu”. Podstawowe parametry techniczne charakteryzujące satelitę CARTOSAT-1 przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1.

Należy uwzględnić następujące parametry systemu CARTOSAT-1 przy wykorzystaniu tego typu zdjęć:

- stosunek bazowy B/H wynosi 0.6,
- czas wykonania zobrażeń tego samego terenu tj. w przód/tył wynosi 53 s,
- satelita nie posiada systemu TDI (Time Delay Integration).

Tabela 1. Parametry techniczne systemu CARTOSAT-1

Data umieszczenia na orbicie	05 maj 2005
Przewidywany czas pracy	7-9 lat
Prędkość na orbicie	7.5 km/s
Liczba okrążeń Ziemi	14 w ciągu 24 h
Czas jednego okrążenia	93.5 min
Wysokość	618 km
TELESKOP	
Ogniskowa	1.98 m
Kąt widzenia	2.4°
GSD: przy wychyleniu +26°	2.50×2.78 m.
- 5°	2.22×2.23 m.
Szerokość pasa zobrażenia:	
Przy wychyleniu +26°	30.0 km
- 5°	26.8 km
Liczba pikseli w wierszu w zakresie PAN	12 000
Czas przejścia satelity przez równik	10:30 a.m.
Częstotliwość rewizyty	około 5 dni
Rozdzielczość radiometryczna	10 bitów
Kąt inklinacji	97.8
Format cyfrowy obrazu	GeoTIFF RPC



Rys. 1. Elementy orbity systemu CARTOSAT-1

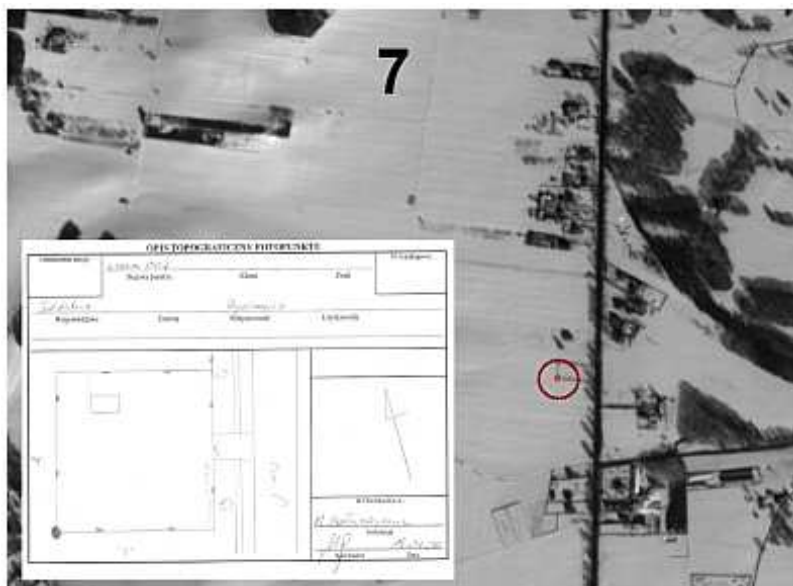
### 3. OPIS EKSPERYMENTU

W celu przeprowadzenia eksperymentu Indyjskie Ministerstwo Kosmosu (Department of Space, Government of India) zaprosiło zespół z Polski pod kierownictwem firmy Geosystems do oceny dokładności m.in. generowania Numerycznego Modelu Pokrycia (NMP). Dostarczona stereoskopowa scena z 25.02.2006 r. obejmuje teren na południowy zachód od Warszawy o deniwelacjach rzędu 55 m.

#### 3.1. Terenowy pomiar współrzędnych fotopunktów

Pierwszym zadaniem pozwalającym ocenić geometryczne możliwości NMP było zaprojektowanie i pomiar osnowy fotogrametrycznej. Podczas projektowania fotopunktów starano się wybierać takie szczegóły terenowe, które pozwolą na identyfikację ich na zdjęciu z dokładnością subpikselową. Oznaczało to pomiar w terenie metodą pozwalającą na uzyskanie współrzędnych fotopunktów pozwalającą uzyskać dokładność kilkakrotnie wyższą od wielkości piksela. Do tego celu wybrano metodę pomiaru techniką GPS FastStatic. Metoda ta pozwoliła na pozyskanie współrzędnych wszystkich fotopunktów z jednakową, wysoką dokładnością w stosunkowo krótkim czasie. Dodatkowym atutem tej metody jest stosunkowo mała pracochłonność konieczna do uzyskania danych z wymaganą precyzją.

Dodatkowo, aby zapewnić bezbłędną identyfikację mierzonych punktów na obrazie, ich wybór był potwierdzany na fotoszkicu oraz wykonywane były zdjęcia aparatem cyfrowym anteny na statywie i samego fotopunktu. Tak sporządzona dokumentacja gwarantowała jednoznaczność pomiaru w terenie i na obrazie.



Rys. 2. Dokumentacja pomiaru punktów i przykład tego fotopunktu na zdjęciu CARTOSAT-1

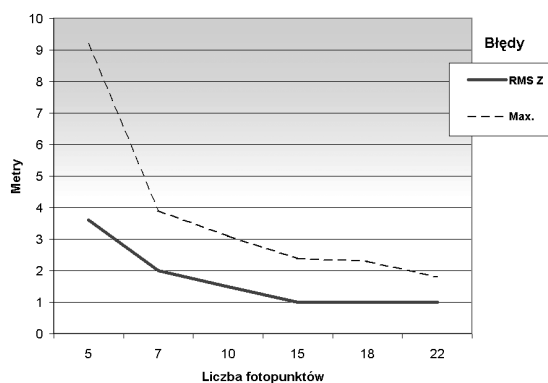
### 3.2. Generowanie NMP w środowisku LPS i PCI

W celu oceny dokładności NMP pozyskanego ze stereopary wykonanej przez Cartosat-1 wykorzystano dwa oprogramowania: LPS i PCI. Aby porównać możliwości tych oprogramowań, wykorzystano dokładnie te same fotopunkty, które posłużyły do procesu generowania Numerycznego Modelu Pokrycia. Do tego zadania zastosowano metodę wielomianową typu *Rational Polynomial Function* (RPF) wykorzystując współczynniki dostarczone przez producenta obrazów. Przyjęto wielkość siatki wytwarzanego NMP na poziomie 20x20 m. Ocenę dokładności uzyskanego produktu wykonano na punktach kontrolnych, które nie brały udziału w procesie budowy modelu. W środowisku PCI OrthoEngine eksperyment poszerzono o analizy wpływu liczby fotopunktów na uzyskaną dokładność końcowego produktu.

Tablica 2. Dokładność generowania NMP przy 9 fotopunktach, (błędy średnie, min., max. na 24. punktach kontrolnych) dla metody wielomianowej (RPF)

Błędy	Oprogramowanie	
	LPS	PCI
RMS (Z) [m]	1.71	1.10
Min. [m]	0.06	0.4
Max.[m]	3.35	3.10

Uzyskane wyniki dla testowanego obszaru charakteryzującego się względnie małymi deniwelacjami (min. wysokość 137 m, a maks. 192 m.) pokazują, że przy właściwej liczbie stosowanych fotopunktów można uzyskać dokładność na poziomie 1.5 m niezależnie od stosowanego oprogramowania.



Rys. 3. Dokładność wysokościowa (na punktach kontrolnych) generowania NMP w zależności od ilości fotopunktów przy metodzie wielomianowej (RPF) w środowisku PCI

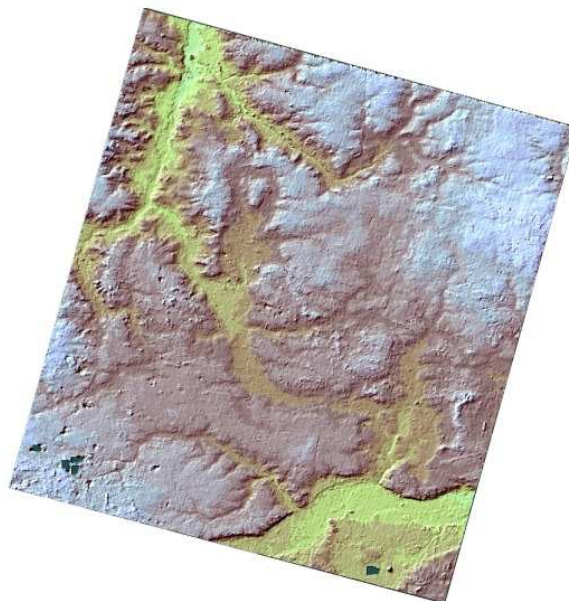
Wyniki tego eksperymentu pozwoliły na zdefiniowanie optymalnej liczby fotopunktów, tj. 9-10, dających dokładność na poziomie 1.5 m. Bez fotopunktów uzyskano wynik na poziomie 287 m, co wskazuje na małą dokładność współczynników RPC dostarczanych wraz z obrazami przez właściciela systemu.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Uzyskane wyniki są powyżej oczekiwań. System CARTOSAT-1 może stanowić ekonomicznie atrakcyjne źródło danych dla generowania NMP o zasięgu globalnym. Rysunek 4 przedstawia cieniowaną mapę rzeźby terenu uzyskaną w wyniku przeprowadzonego eksperymentu (generowania NMP).

Podstawowe spostrzeżenia z przeprowadzonego eksperymentu to:

- oprogramowania LPS i PCI mogą służyć do prostego pozyskania NMP z satelitarnego systemu CARTOSAT-1,
- system CARTOSAT-1 wymaga względnie dużo fotopunktów, tj. min. 9-10 aby uzyskać poprawny wynik. Bez fotopunktów uzyskano dokładności 200-300 m, co świadczy o małej precyzji współczynników RPC,
- opisany eksperyment dotyczył terenu o stosunkowo małych deniwelacjach, a co za tym idzie nie dał jednoznacznych odpowiedzi o możliwościach tego systemu w terenach górskich,
- wydaje się uzasadnione aby kontynuować badania dotyczące możliwości nowych systemów satelitarnych umożliwiających generowanie NMP. Podstawowym zastosowaniem mogą być prace eksportowe na obszarach gdzie brak jest produktów typu NMP o podobnych parametrach,
- przeprowadzony eksperyment pokazuje, iż jest w pełni uzasadnione aktywne uczestnictwo w poznawaniu nowych trendów i technologii światowych w zakresie fotogrametrii satelitarnej.



Rys. 4. Cieniowana mapa powierzchni terenu pozyskana ze stereoskopowych zobrażeń CARTOSAT-1

## 5. LITERATURA

- Krishnaswamy M., Kalyanaraman S., 2006. Indian Remote Sensing Satellite CARTOSAT-1. [www.isro.org/Cartosat](http://www.isro.org/Cartosat).
- Lutes J., 2006. First Impressions of CARTOSAT-1. <http://www.geoeye.com>.
- Różycki S., Wolniewicz W., 2006. Accuracy Assessment of DSM Extracted from IKONOS Stereo Imager. *EARSeL*, Warszawa, s. 166-172.
- Wolniewicz W., 2004. Assessment of Geometric Accuracy of VHR Satellite Images. *IAPRS of 20<sup>th</sup> Congress, Commission I, WG I/2 Istanbul*, s. 19-23 (CD ROM).
- Wolniewicz W., 2005. Podstawy Fotogrametrii Satelitarnej. Część I/II, *Przegląd Geodezyjny*, nr 3/4, s. 3-10.

### EVALUATION OF THE ACCURACY OF DSM GENERATION USING A CARTOSAT-1

KEY WORDS: Digital Surface Model , CARTOSAT-1, satellite photogrammetry, dGPS

#### Summary

The Digital Surface Model (DSM) of world coverage is increasingly coming from data from satellite systems. This involves systems operating both in optical and microwave ranges (radar interferometry InSAR). Most recently, new solutions have emerged for stereoscope imaging in such satellite systems as the Japanese satellite PRISM and Indian satellite CARTOSAT-1, which can be characterized by two coupled forward and backward cameras with a pixel size of 2.5 m.

This paper outlines characteristics of the Indian satellite, which has been operating since May 2005, and which has been designed for generation of accurate DSM from stereoscope images. This is the next system from Indian Remote Sensing (IRS) family, working solely in the panchromatic range.

In the framework of a program conducted by the Department of Space, Government of India, a research team in Poland conducted an experiment of DSM generation for an area situated south-west of Warsaw. With a use of dGSP technique, they designed and measured the photo-points (ground control points - GCP). The polynomial method (RPF) for the description of image geometry was also applied. The generation of a Digital Surface Model was conducted in LPS and PCI environments and the influence of the number of GCP on the accuracy of the generated DSM was analyzed. The obtained errors in altitude of the control points (CP) were 1.5 m using 9 GCP.

The obtained results are above expectations. The CARTOSAT-1 System may constitute an economically attractive source of data for the generation of global range DSM.

Mgr inż. Rafał Dąbrowski  
e-mail: [rafal.dabrowski@geosystems.com.pl](mailto:rafal.dabrowski@geosystems.com.pl)  
tel. +22 8267837

Dr Witold Fedorowicz-Jackowski  
e-mail: [witold.fedorowicz@geosystems.com.pl](mailto:witold.fedorowicz@geosystems.com.pl)  
tel. +22 8267837

Rafał Dąbrowski, Witold Fedorowicz-Jackowski, Michał Kędzierski, Sebastian Różycki,  
Piotr Walczykowski, Wiesław Wolniewicz, Jacek Zych

---

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 2347358

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

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

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