

**ASPEKTY DOKŁADNOŚCI GENEROWANIA NMT NA PODSTAWIE  
OBRAZÓW Z CYFROWEJ KAMERY ADS40**

**ACCURACY ASPECTS OF DEM GENERATION AS ELUCIDATED BY ADS40  
AERIAL DIGITAL CAMERA IMAGES**

**Ireneusz Ewiak, Artur Karol Karwel, Bartłomiej Kraszewski**

Zakład Fotogrametrii, Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

**SŁOWA KLUCZOWE:** fotogrametria cyfrowa, kamera lotnicza ADS40, orientacja wzajemna, numeryczny model terenu, analiza dokładności

**STRESZCZENIE:** W artykule zaprezentowano analizę porównawczą dokładności generowania numerycznego modelu terenu (NMT) w oparciu o dane pozyskane skanerową lotniczą kamerą cyfrową ADS40 i przetworzone przy udziale różnych systemów fotogrametrycznych. Prace prowadzone były w Zakładzie Fotogrametrii, Instytutu Geodezji i Kartografii w ramach realizacji projektu badawczego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2009, którego jednym z głównych celów jest określenie metodyki opracowania NMT z trzylinijkowej lotniczej kamery cyfrowej.

W niniejszym artykule opisano metodykę generowania numerycznego modelu terenu na podstawie stereoskopowych zobrazowań z cyfrowej kamery lotniczej ADS40. Do badań wykorzystano blok fotogrametryczny składający się z trzech szeregów zdjęć, z których każde pozyskane było w kanale panchromatycznym w sekwencji przód-wstecz oraz w kanale czerwonym w nadirze. Do opracowania danych źródłowych wykorzystano moduły programów Image Station firmy Intergraph, DTM Box firmy Inpho oraz Leica Photogrammetry Suite firmy ERDAS.

Do analizy porównawczej wykorzystano NMT wygenerowane na podstawie sekwencji zorientowanych zewnętrznie zobrazowań ADS40 z uwzględnieniem elementów pomiaru GPS oraz IMU, a także pomiaru dodatkowych punktów wiążących. Do oceny dokładności NMT wykorzystano dane referencyjne w postaci profili kontrolnych pomierzonych w terenie techniką GPS.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że dokładność automatycznego generowania NMT na podstawie zobrazowań z trzylinijkowej kamery ADS40 waha się w przedziale od 0.13 m do 1.42 m. Dokładność ta zależy głównie od kanałów spektralnych zobrazowań użytych w procesie pomiaru korelacyjnego, kąta obrazującego linijki detektora oraz użytego systemu pomiarowego. Na podstawie analiz dokładnościowych potwierdzono, że najlepsze wyniki uzyskano dla NMT wygenerowanych przy wykorzystaniu obrazów ADS40 pozyskanych przy stosunku bazowym modelu stereoskopowego bliskim 0.8.

## **1. WPROWADZENIE**

W Zakładzie Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii realizowany jest projekt rozwojowy finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, którego głównym celem jest opracowanie metodyki generowania podstawowych produktów fotogrametrycznych z trzylinijkowej lotniczej kamery cyfrowej. W okresie poprzedzającym realizację tematu niniejszego projektu rozwojowego Zakład

Fotogrametrii IGiK wykonał szereg zadań produkcyjno-pomiarowych bazujących na obrazach pozyskanych kamerą ADS40. Zadania te były realizowane we współpracy z firmami zagranicznymi wykorzystującymi technologię linijkowej kamery cyfrowej. Zakład Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii realizował dla firmy niemieckiej iST Pleiße & Partner GmbH pomiarowe prace fotogrametryczne na obrazach ADS 40 z rejonu wschodnich landów Niemiec. W wyniku tej współpracy uzyskano zgodę na wykorzystanie opracowywanych danych do celów badawczych.

Informacje zdobyte w ówczesnych roboczych kontaktach i dane wykorzystywane do opracowań, stały się bezcennym źródłem wiedzy przy rozwiązywaniu zadań niniejszego projektu badawczego. Ze względu na nowatorstwo rozwiązań i stosunkowo młody wiek technologii ADS 40, a tym samym zrozumiałą z ekonomicznego punktu widzenia, niechęć jej autorów do upowszechniania wiedzy „*know how*” na warunkach innych niż komercyjne, brak jest w ogólnodostępnej literaturze fachowej szczegółowych informacji technologicznych, które umożliwiłyby rozwiązywanie podstawowych zadań fotogrametrycznych w oparciu o dane ADS40, w tym zadań związanych z pozyskiwaniem informacji o wysokości i ukształtowaniu terenu.

Kamery serii ADS40 są jak do tej pory jedynymi lotniczymi kamerami cyfrowymi wykorzystującymi system pozyskiwania informacji o terenie za pomocą sensora typu *pushbroom*. Podobną zasadę obrazowania wykorzystują współczesne systemy zobrazowań satelitarnych. Dotychczasowe badania naukowe prowadzone w Polsce nie dały pełnego poglądu w zakresie metodyki generowania NMT przy użyciu obrazów z tego rodzaju kamery. Odnotowane nieliczne publikacje w literaturze polskiej odnoszą się wyłącznie do problematyki orientacji zewnętrznej szeregów obrazowych ADS40 oraz ich wykorzystania do generowania cyfrowych ortofotomap.

## 2. PODSTAWOWE PARAMETRY TECHNICZNE KAMERY ADS40

Kamera ADS40 typu SH52 składa się z 12 linijek CCD, z których każda zawiera 12 000 detektorów o wielkości 6.5  $\mu\text{m}$ . Kamera pozyskuje zobrazowania w kanale panchromatycznym (trzy linijki w kierunkach: przód, nadir i wstecz), RGB (każdy kanał po dwie linijki w kierunkach: nadir i wstecz), NIR (dwie linijki w kierunkach: nadir i wstecz). Obrazy panchromatyczne pozyskane są dla pozornych wychyleń sensora od nadiru o kąty: 2° (*Nadir*), 14° (*Back*), 27° (*Forward*). Dla pozostałych kanałów obrazy pozyskiwane są dla wychyleń sensora 0° (*Nadir*), 16° (*Back*). Kąt widzenia kamery 64°, ogniskowa 62.5 mm. Każda linijka sensora ma określone położenie uzyskiwane za pośrednictwem systemów GPS oraz INS.

## 3. CHARAKTERYSTYKA DANYCH ADS40

Do wygenerowania numerycznego modelu terenu (NMT) wykorzystano blok zdjęć, pokrywający obszar północnej Saksonii o deniwelacji terenu nie przekraczającej 5 m, składający się z trzech szeregów, z których każdy posiadał: dwa zobrazowania panchromatyczne (pozyskane w przód i wstecz) i jedno zobrazowanie w kanale czerwonym (pozyskane w nadirze). Ze względu na brak zobrazowań nadirowych pozyskanych w kanale panchromatycznym do badań użyto zobrazowania nadirowe

pozyskane w kanale czerwonym. Średnia szerokość pasa zobrazowania wynosiła 2.3 km, zaś jego długość 10.8 km przy wysokości lotu około 1.9 km. Pokrycie podłużne sekwencji obrazowych w poszczególnych pasach zobrazowania wynosiło od 83% do 95%, zaś pokrycie poprzeczne pomiędzy sąsiednimi pasami wynosiło od 39% do 72%. Rozdzielczość przestrzenna obrazów ADS-40 wynosiła 20 cm.

#### 4. METODYKA OPRACOWANIA ZOBRAZOWAŃ ADS40

Dane z nalogu fotogrametrycznego pozyskane kamerą cyfrową ADS40 obejmują surowe dane obrazowe oraz metadane, które są przekazywane na pokładzie samolotu do systemu MMU (*Mass Memory Unit*). W czasie sesji fotogrametrycznej obrazy ADS40 zbierane są ze wszystkich sensorów liniowych równocześnie. Komputer kamery zapisuje dane do MMU w specjalnym formacie, którego struktura w określonym porządku integruje dane rejestrowane z poszczególnych linii sensorów z danymi rejestracji kamery. Tak skompilowane informacje zapamiętywane są w MMU po ich uprzednim skompresowaniu przez zaimplementowany hardware'owo system kompresji obrazu. Podczas każdej sesji obrazowej rejestrowane są następujące grupy danych:

- a) dane obrazowe w postaci pojedynczych linii tworzących pas zobrazowania (przechowywane w poszczególnych blokach na dysku);
- b) pliki towarzyszące danym obrazowym:
  - *ADS Image Format – The Airborne Digital Sensor image format (\*.ads)*;
  - *Files (Camera Time File - \*.ct)* zawierający zapis czasu w momencie rejestracji danych z liniiki sensora, przy czym jeden plik „.ct” odpowiada jednemu pasowi zobrazowania, co oznacza, że każda linijka obrazu ma wyznaczone swoje położenie czasowe;
  - *GPro INFO files (\*.info)*;
  - *support files (\*.sup)*.

Rejestrowane przez system ADS40 zobrazowania wymagają specjalistycznego oprogramowania zarówno do ich wstępnego przetworzenia jak również do przygotowania produktów pośrednich umożliwiających ich dalszą analizę na stacjach roboczych różnych systemów fotogrametrycznych. Oprogramowanie to stanowi integralną część systemu pomiarowego ADS40 i składa się z następujących modułów:

- *Leica GPro (Ground Processing)*;
- *Leica IPAS Pro*;
- *Leica Orima*;
- *LPS (Leica Photogrammetry Suite)*.

Wstępne przetwarzanie danych ADS40 jest procesem wyrównawczym danych referencyjnych GPS oraz surowych danych GPS-IMU za pomocą algorytmu programu Aplanix PosProc. Dalsze procesy analizy i przetwarzania tak przygotowanych danych realizowane są w środowisku oprogramowania Leica GPro. Oprogramowanie to pozwala na wygenerowanie surowych zobrazowań poziomu L0 reprezentującego połączone dane obrazowe z danymi GPS-IMU, a następnie poziomu L1 reprezentującego zrektyfikowane obrazy ADS40. Jednakże, obrazy poziomu L1 nie pozwalają na zbudowanie modelu stereoskopowego pozbawionego paralaksy poprzecznej. W celu jej wyeliminowania potrzebne jest przeprowadzenie orientacji wzajemnej zobrazowań ADS40 w programie Orima poprzez automatyczny pomiar punktów wiążących (APM),

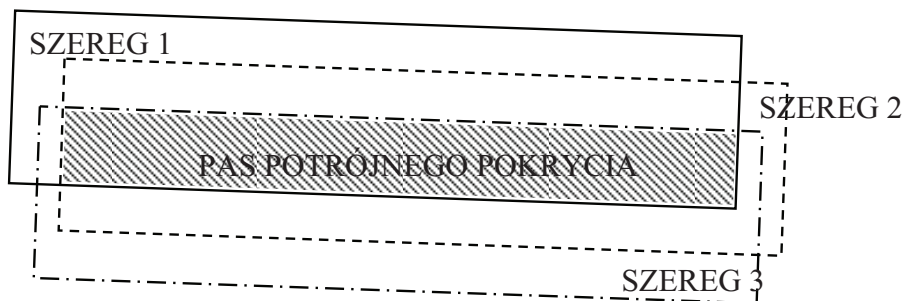
który podlega wyrównaniu w procesie aerotriangulacji. W procesie tym wykorzystuje się znane z pomiaru GPS/INS liniowe i kątowe elementy orientacji zewnętrznej poszczególnych linii obrazowych. Udział fotopunktów w tym wyrównaniu nie jest konieczny. Dopiero tak przetworzone zobrazowania ADS40 mogą posłużyć do generowania podstawowych produktów fotogrametrycznych.

## 5. CHARAKTERYSTYKA METODY POMIARU NMT

Celem badań metodycznych było określenie dokładności numerycznego modelu terenu wygenerowanego na podstawie automatycznej korelacji obrazów pochodzących z kamery cyfrowej ADS40. Analizie podlegały numeryczne modele terenu wygenerowane, w regularnej siatce o oczku 5m, na podstawie różnych kombinacji obrazów ADS40 w oparciu o algorytmy oprogramowania Leica Photogrammetry Suite (LPS) firmy ERDAS oraz Match-T firmy Inpho. Automatycznej korelacji poddawane były obrazy lub grupy obrazów pozyskane w różnych zakresach spektralnych oraz przy różnych możliwych sekwencjach obrazowania tego samego fragmentu powierzchni terenu za pomocą zestawu linijek detektorów przesuniętych względem siebie w płaszczyźnie obrazowej. Dodatkowo sprawdzono wpływ liczby zobrazowań biorących udział w korelacji na dokładność generowania NMT. Wykorzystane do badań moduły programów pozwalają realizować zadanie automatycznej korelacji w oparciu o pojedyncze modele stereoskopowe lub homologiczne grupy zobrazowań. Oprogramowanie LPS dla więcej niż dwóch obrazów wykorzystuje algorytm mozaikowania modeli stworzonych z pojedynczych stereopar, podczas gdy, program Match-T wykorzystuje algorytm korelacji obrazów dla dowolnej liczby zobrazowań.

Wykorzystując różne kombinacje zobrazowań ADS40, opisujących ten sam fragment powierzchni terenu, biorących udział w pomiarze korelacyjnym oraz różne narzędzia i systemy pomiarowe uzyskano rezultaty pozwalające przeprowadzić analizy porównawcze dokładności położenia wysokościowego punktów numerycznego modelu terenu w funkcji:

- liczby użytych do pomiaru zobrazowań;
- geometrii wiązki poszczególnych linii obrazowych;
- rozdzielczości spektralnej grupy korelowanych obrazów.



Rys. 1. Pogładowy rysunek rozmieszczenia pasów zobrazowań

Wobec założeń metodycznych, dla pasa potrójnego pokrycia szeregów, wygenerowano NMT na podstawie autokorelacyjnego pomiaru:

- liczby obrazowań panchromatycznych pozyskanych przy wychyleniu wiązki obrazującej o  $14^\circ$  wstecz (PanB) oraz obrazowań nadirowych pozyskanych w kanale czerwonym (RedN), w każdym szeregu niezależnie oraz we wszystkich szeregach jednocześnie (4 zbiory punktów wysokościowych);
- obrazowań panchromatycznych pozyskanych przy wychyleniu wiązki obrazującej o  $28^\circ$  w przód (PanF) oraz obrazowań nadirowych pozyskanych w kanale czerwonym (RedN), w każdym szeregu niezależnie oraz we wszystkich szeregach jednocześnie (4 zbiory punktów wysokościowych);
- obrazowań panchromatycznych pozyskanych przy wychyleniu wiązki obrazującej o  $14^\circ$  wstecz (PanB) oraz  $28^\circ$  w przód (PanF), w każdym szeregu niezależnie oraz we wszystkich szeregach jednocześnie (4 zbiory punktów wysokościowych);
- obrazowań panchromatycznych pozyskanych przy wychyleniu wiązki obrazującej o  $14^\circ$  wstecz (PanB) oraz  $28^\circ$  w przód (PanF) oraz obrazowań nadirowych pozyskanych w kanale czerwonym (RedN), w każdym szeregu niezależnie oraz we wszystkich szeregach jednocześnie (4 zbiory punktów wysokościowych);
- wszystkich sekwencji obrazowań użytych w badaniach metodycznych.

Miarą oceny dokładności poszczególnych NMT były błędy średnie RMSE obliczone na podstawie różnic wysokości punktów profilu kontrolnego oraz wyinterpolowanych punktów modelu. Profil kontrolny stanowił zbiór 590 punktów wysokościowych pomierzonych w terenie techniką GPS na długości 8.5 km. Profil ten poprowadzono w pasie wspólnego pokrycia wszystkich szeregów bloku obrazowań.

## **6. ANALIZA WYNIKÓW**

Rezultaty analizy dokładności NMT uwzględniające zastosowane środowisko oprogramowania (system pomiarowy) dla pomiaru korelacyjnego zestawiono w tabeli 1.

W przypadku korelacyjnego pomiaru wysokości realizowanego na dwóch obrazowaniach ADS40 o najmniejszym stosunku bazowym (PanB\_RedN) najlepsze rezultaty uzyskano dla szeregów skrajnych w stosunku do pasa ich potrójnego pokrycia, przy czym nieco skuteczniejszym okazał się algorytm pomiarowy systemu LPS. Wyniki pomiarów korelacyjnych uzyskane dla takiej sekwencji obrazowań w systemie Match-T były niezależne od wyboru strefy pomiarowej dla poszczególnych pasów (szeregów) obrazowania ADS40.

Przy wyborze sekwencji (RedN\_PanF), a tym samym zwiększeniu stosunku bazowego pary obrazowań ADS40, uzyskano znacznie lepsze rezultaty pomiaru korelacyjnego w obu systemach. W tym przypadku algorytm pomiarowy Match-T okazał się znacznie skuteczniejszy od algorytmu pomiarowego systemu LPS. Realizacja pomiaru korelacyjnego w systemie LPS z wykorzystaniem nadirowej wiązki obrazującej, wchodzącej w skład poszczególnych sekwencji obrazowania, fałszuje możliwości pomiarowe tego systemu.

Rezultaty pomiaru korelacyjnego NMT przy największym możliwym stosunku bazowym obrazowań ADS40 (PanB\_PanF) wskazują, że taka sekwencja obrazowania nie stanowi optymalnego rozwiązania dla uzyskania najwyższej dokładności pomiaru. Jest to widoczne szczególnie przy zastosowaniu systemu pomiarowego Match-T firmy Inpho.



Tabela 1. Charakterystyka dokładności NMT wygenerowanych za pomocą narzędzi oprogramowania Match-T oraz LPS

Numer(y) szeregów	Liczba zobrażeń	Sekwencje zobrażeń	Błąd średni wysokości punktów NMT RMSE [m]	
			MATCH-T	LPS
1	2	PanB_RedN	0.51	0.40
1	2	RedN_PanF	0.14	0.21
1	2	PanB_PanF	0.21	0.26
1	3	PanB_RedN_PanF	0.50	0.22
2	2	PanB_RedN	0.52	1.42
2	2	RedN_PanF	0.13	0.68
2	2	PanB_PanF	0.21	1.18
2	3	PanB_RedN_PanF	0.51	0.90
3	2	PanB_RedN	0.51	0.43
3	2	RedN_PanF	0.20	0.38
3	2	PanB_PanF	0.21	0.33
3	3	PanB_RedN_PanF	0.51	0.28
1,2,3	6	RedN_PanF	0.26	0.20
1,2,3	6	PanB_PanF	0.17	0.30
1,2,3	9	PanB_RedN_PanF	0.46	0.30

Wykorzystanie wszystkich dostępnych sekwencji obrazowych danego szeregu do pomiaru zbioru punktów NMT nie spowodowało jego zwiększenia dokładności w odniesieniu do systemu pomiarowego Match-T. W przypadku systemu pomiarowego LPS tak zaprojektowana sekwencja obrazowa wydatnie zwiększa dokładność pomiaru NMT z wyłączeniem przypadku ścisłej obserwacji nadirowej (szereg 2).

Zwiększenie liczby zobrażeń, poprzez włączenie do pomiaru korelacyjnego tych samych sekwencji we wszystkich szeregach, spowodowało zwiększenie dokładności pomiaru punktów siatki NMT w obu systemach, przy czym dla systemu pomiarowego Match-T najwłaściwszym wydaje się wybór zobrażeń o największym stosunku bazowych (PanB\_PanF), zaś dla systemu pomiarowego LPS wybór zobrażeń w sekwencji (RedN\_PanF).

Stwierdzono, że przy zastosowaniu systemu pomiarowego Match-T oraz założeniu, że autokorelacyjny pomiar wysokości realizowany jest w oparciu o parę zobrażeń ADS40 w sekwencji „nadir - do przodu”, można uzyskać dokładność NMT na poziomie 0.13 m. Przy włączeniu do pomiaru korelacyjnego wszystkich dostępnych (obejmujących wybrany rejon) zobrażeń ADS40 o maksymalnym stosunku bazowym można uzyskać dokładność pomiaru korelacyjnego NMT na poziomie 0.17 m.

Algorytm pomiarowy systemu LPS, podobnie jak Match-T, pozwala uzyskać największą dokładność autokorelacyjnego pomiaru wysokości punktów NMT przy

zastosowaniu sekwencji obrazowania „nadir - do przodu” w odniesieniu do wszystkich dostępnych zobrazowań pokrywających obszar pomiarowy. Dokładność pomiaru NMT w tym przypadku wyniosła około 0.2 m.

Analiza różnic wysokości punktów profilu kontrolnego oraz odpowiadających im wyinterpolowanych punktów NMT pokazała, że metoda pomiaru korelacyjnego NMT przeprowadzonego na sekwencjach obrazowych ADS-40 w systemach pomiarowych LPS oraz Match-T nie jest obciążona składową systematyczną błędem.

Wykorzystanie zobrazowań ADS40 o większej rozdzielczości geometrycznej i radiometrycznej w stosunku do skanowanych analogowych zdjęć lotniczych oraz zastosowanie uniwersalnych systemów pomiarowych NMT, wyposażonych w wewnętrzne narzędzia automatycznej filtracji i edycji, pozwala uzyskać produkt, którego jakość nie wymaga ingerencji obserwatora (edycja manualna).

## 7. WNIOSKI

W oparciu o przeprowadzone badania metodyczne stwierdzono, że najwyższą dokładność generowania NMT uzyskuje się dla pojedynczej pary zobrazowań ADS40 pozyskanej w kanale panchromatycznym w sekwencji „nadir – do przodu”.

W przypadku zastosowania systemu pomiarowego Match-T firmy Inpho zwiększenie liczby zobrazowań biorących udział w procesie korelacyjnego pomiaru wysokości nie wpływa znacząco na poprawę dokładności NMT.

System pomiarowy LPS oparty na metodzie tworzenia zbiorczego NMT, będącego wynikiem uśrednienia pomiarów wysokościowych uzyskanych na podstawie pojedynczych par stereoskopowych, wymaga zastosowania jak największej liczby zobrazowań ADS40 pokrywających obszar objęty pomiarem.

Stwierdzono, że dokładność NMT generowanego na skrajach szeregów ADS40 jest taka sama jak dokładność NMT wygenerowanego w ich centralnych częściach.

Dla uzyskania NMT o dokładności na poziomie 0.2 m można wykorzystać autokorelacyjny pomiar wysokości na pojedynczych parach lub grupach zobrazowań ADS40 o stosunku bazowym B/H nie mniejszym niż 0.6.

Do autokorelacyjnych pomiarów NMT na obrazach ADS40 preferowanym systemem pomiarowym jest Match-T firmy Inpho, ze względu na jego uniwersalność oraz kompatybilność z innymi systemami.

## 8. LITERATURA

Gruen A., Zhang, L., 2003. Sensor Modeling for Aerial Triangulation with Three-Line-Scanner (TLS) Imagery. *Journal of Photogrammetry, Fernerkundung, Geoinformation*, 2/2003, pp. 85-98.

Kamiya I., 2007. Development of orientation and DEM/orthoimage generation program for Alos Prism. *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, Vol.54, March.

Boczar S., Dąbrowski R., Fedorowicz-Jackowski W., Zych J., 2006. Kamera cyfrowa Leica ADS40, skaner laserowy Leica ALS50 – doświadczenia produkcyjne. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.16, s.41-51. Olsztyn.

Hinsken L., Miller S., Tempelmann U., Uebbing R., Walker A.S. 2002. Triangulation of the LH Systems' ADS40 using ORIMA GPS/IMU. *International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV Part 3A, Graz, Austria.

Jacobsen K., Lohmann P., 2003. Segmented Filtering of Laser Scanner DSMS. *Proceedings of the laser ISPRS working group III/3*, Dresden Germany 8-10 October.

Kocaman S., Zhang L., Gruen A., 2006: Self-calibrating Triangulation of Airborne Linear Array CCD Cameras. *EuroCOW 2006 International Calibration and Orientation Workshop*, Castelldefels, Spain, 25-27 Jan.

Tempelmann, U., Hinsken, L., Recke, U., 2003: ADS40 Calibration and Verification Process. *Proceedings of Optical 3D Measurement Techniques Conference*, Zurich, Switzerland, pp. 48-54.



## **ACCURACY ASPECTS OF DEM GENERATION AS ELUCIDATED BY ADS40 AERIAL DIGITAL CAMERA IMAGES**

**KEY WORDS:** digital photogrammetry, ADS40 digital aerial camera, relative orientation, digital elevation model, accuracy analyses

### **Summary**

The paper discusses a comparative analysis of accuracy in generation of the digital elevation model (DEM) on the basis of ADS40 data processed by different photogrammetric systems. The research, supported by the Ministry of Science and Higher Education, was carried out in 2007-2009 at the Photogrammetry Department of the Institute of Geodesy and Cartography. One of the main aims of the project was to develop a methodology for measuring DEM based on ADS40 images. The research made use of the photogrammetric block containing three strips of images, each taken in the panchromatic mode in sequence forward and backward, and in the red range of the visible band in the nadir. The source data were procured by using modules of the Image Station Intergraph, DTM Box Inpho and the Leica Photogrammetry Suite ERDAS software. The DEMs generated based on a sequence of ADS40 images and their absolute orientation elements estimated with GPS and IMU measurement as well as additional pass and tie points were used in the comparative analysis. To estimate the accuracy of DEM, reference data in the form of terrain profiles measured by GPS were used as well. The analyses allowed to conclude that the accuracy of automatic measurement of DEM altitude points, based on different combinations of ADS40 images, ranges between 0.13 and 1.42 m. The accuracy depends mainly on the spectral resolution of images used in correlative measurement, in viewing the detector line angle, and on the measuring system used. The DEM accuracy analyses demonstrated the best results of autocorrelation measurements to be obtained for the ADS40 stereoscopic model base ratio of 0.8.

dr inż. Ireneusz Ewiak  
e-mail: Ireneusz.Ewiak@igik.edu.pl  
tel. 022 3291985  
fax: 022 3291950

mgr inż. Karol Karwel  
e-mail: Karol.Karwel@igik.edu.pl  
tel. 022 3291985  
fax: 022 3291950

mgr inż. Bartłomiej Kraszewski  
e-mail: Bartlomiej.Kraszewski@igik.edu.pl  
tel. 022 3291987  
fax: 022 3291950