

**WPLYW LICZBY FOTOPUNKTÓW I DOKŁADNOŚCI
NUMERYCZNEGO MODELU WYSOKOŚCIOWEGO NA DOKŁADNOŚĆ
WYSOKOROZDZIELCZEJ ORTOFOTOMAPY SATELITARNEJ**

**ASSESSMENT OF THE GROUND CONTROL POINTS NUMBER
AND DIGITAL TERRAIN MODEL QUALITY ON THE GEOMETRIC
QUALITY OF HIGH-RESOLUTION SATELLITE ORTHOPHOTOMAP**

**Wojciech Drzewiecki¹, Ewa Głowienka¹, Beata Hejmanowska¹,
Marcin Dżugaj², Tomasz Trybuś²**

¹ Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

² Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne COMPASS S.A. w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: Ikonos, wysokorozdzielcza ortofotomapa satelitarna, metoda parametryczna, metoda RPC, ocena dokładności, DTED

STRESZCZENIE: Prezentowane prace wykonano w ramach projektu zainicjowanego przez Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne COMPASS S.A. w Krakowie i zrealizowanego wspólnie z Zakładem Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH. Celem przeprowadzonych badań było: porównanie rezultatów aerotriangulacji uzyskanych z zastosowaniem metody parametrycznej i metody opartej na wykorzystaniu dostarczanych wraz z obrazami współczynników RPC, ocena parametrów dokładnościowych produktu końcowego – ortofotomapy, ocena wpływu liczby punktów dostosowania na rezultaty uzyskiwane z wykorzystaniem obu metod, porównanie działania oprogramowania firm Intergraph (ISDM) i PCI Geomatics (Geomatica) dla metody RPC, ocena możliwości wykorzystania w procesie ortorektyfikacji wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych modelu wysokościowego DTED Level 2. Wykorzystano posiadające obszar wspólnego pokrycia sceny satelity Ikonos obejmujące część miasta Krakowa i przyległe tereny o charakterze podmiejskim i wiejskim. Dla metody parametrycznej przetestowano warianty z wykorzystaniem dla każdej ze scen dziewięciu, dziesięciu i jedenastu punktów dostosowania. Dla metody RPC - dwóch, czterech lub dziewięciu fotopunktów dla każdej ze scen. Uzyskany błąd średni położenia punktu na ortofotomapie nie przekraczał 1.5 m. Lepsze rezultaty uzyskiwano rozmieszczając punkty dostosowania w całym zakresie profilu wysokościowego zobrazonego terenu. Zbliżone wyniki otrzymano stosując obydwie metody i oba testowane programy. Zastosowanie modelu DTED nie powodowało pogorszenia parametrów dokładnościowych wynikowej ortofotomapy w porównaniu z ortofotomapą uzyskaną z wykorzystaniem modelu fotogrametrycznego.

1. CEL BADAŃ

Prezentowane prace wykonano w ramach projektu zainicjowanego przez Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne COMPASS S.A. w Krakowie i zrealizowanego wspólnie z Zakładem Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH.

Celem przeprowadzonych badań było:

- porównanie rezultatów aerotriangulacji uzyskanych z zastosowaniem metody parametrycznej i metody opartej na wykorzystaniu dostarczanych wraz z obrazami współczynników RPC,
- ocena parametrów dokładnościowych produktu końcowego – ortofotomapy;
- ocena wpływu liczby punktów dostosowania na rezultaty uzyskiwane z wykorzystaniem obu metod,
- porównanie działania oprogramowania firm Intergraph (ISDM) i PCI Geomatics (Geomatica) dla metody RPC,
- ocena możliwości wykorzystania w procesie ortorektyfikacji wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych modelu wysokościowego DTED Level 2.

2. DANE ŹRÓDŁOWE

2.1. Sceny satelitarne

Badania przeprowadzono na dwóch posiadających obszar wspólnego pokrycia (ok. 1 000 m) scenach satelity IKONOS, z których każda posiadała rozmiar 11×10 km. Obejmowały one znaczne fragmenty Krakowa i przyległe obszary o charakterze podmiejskim i wiejskim. Teren znajdujący się w zasięgu scen scharakteryzować można jako pagórkowaty. Maksymalna różnica wysokości w obszarze opracowania wynosiła 186 metrów.

Obie sceny zarejestrowane zostały 7 maja 2003 roku przy wychyleniu sensora wynoszącym 16 stopni. Obrazy dostarczono w formacie GeoTiff (16 bitów) wraz z metadanymi i współczynnikami RPC. W badaniach wykorzystano obrazy panchromatyczne o rozdzielczości terenowej wynoszącej 1 metr. Obrazy, chociaż wolne od chmur, niepozbawione były jednak wad radiometrycznych. Na scenie północnej uwidoczniła się mgła nad Wisłą, a obie sceny przecinała smuga kondensacyjna i pochodząca od niej smuga cienia. Wady te nie stanowiły jednak przeszkody w procesie tworzenia ortofotomapy i nie miały wpływu na jej ocenę dokładnościową.

2.2. Osnowa fotogrametryczna

W procesie aerotriangulacji używano głównie fotopunktów pomierzonych metodą GPS (16 punktów). Wybierano wyraźne szczegóły sytuacyjne, których identyfikacja terenowa była lepsza niż 0,5m (np. przecięcia krawężników jezdni, narożniki betonów, wyraźne, utwardzone krawędzie dojazdów do budynków). Dokładność określenia współrzędnych terenowych punktów dostosowania przyjęto jako 0.5 m (X,Y,Z). W przypadkach stosowania więcej niż szesnastu punktów dostosowania, zaistniała

konieczność posłużenia się punktami uzyskanymi na podstawie ortofotomapy lotniczej w skali 1:5 000 o rozmiarze piksela 0.25 m. Dokładność określenia współrzędnych terenowych przyjęto analogicznie jak dla metody GPS. Z ortofotomapy tej pozyskano również punkty kontrolowane oraz punkty, w oparciu, o które przeprowadzono ocenę dokładności wygenerowanych ortofotomap.

2.3. Numeryczny Model Terenu

W badaniach wykorzystano dwa rodzaje Numerycznego Modelu Terenu – model DTED Level 2 oraz precyzyjny NMT wykonany metodą fotogrametryczną. Precyzyjny NMT powstał na drodze obserwacji modeli stereoskopowych zdjęć lotniczych w skali 1:13 000. Zdjęcia i zobrazowanie satelitarne wykonane zostały w tym samym roku. Dokładność wysokościową tego modelu określa się na poziomie 0.6 m. Odzwierciedla on występujące w terenie elementy sytuacyjne takie jak rowy, skarpy i linie nieciągłości o różnicy wysokości przekraczającej 1 m. Model wygenerowany został w formacie TIN.

Model wysokościowy DTED Level 2 powstał na drodze wektoryzacji wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000. Jego dokładność wysokościowa określana jest na poziomie $\frac{1}{3}$ cięcia warstwicowego.

Oba modele porównano ze sobą generując obraz różnic. Jego analiza pozwoliła na stwierdzenie, iż na większości obszarów zurbanizowanych oraz w terenach otwartych użytkowanych rolniczo różnice wysokości pomiędzy modelami nie przekraczają 3 m. Większe różnice wysokości występują natomiast w terenach zalesionych, wąwozach, w przypadku wałów (kolejowych, drogowych, przeciwpowodziowych) oraz w przypadku wzniesień posiadających powierzchnię mniejszą niż 10 ha (hałdy, kopiec Piłsudskiego, Wzgórze Wawelskie). Występowanie pomiędzy modelami różnic wysokości przekraczających 3 m stwierdzono również na obszarach, na których nastąpiły znaczące zmiany sytuacji wysokościowej, np. rejonów nowowyprowadzonych węzłów drogowych.

3. METODYKA BADAŃ

W ramach przeprowadzonych badań dokonano korekcji geometrycznej panchromatycznych obrazów z satelity Ikonos przy zastosowaniu metody parametrycznej oraz metody opartej na wykorzystaniu dostarczanych wraz z obrazami współczynników RPC. Przyjęto, iż minimalna liczba używanych fotopunktów nie może być niższa niż określona w wytycznych Komisji Europejskiej (European Commission, 2004). Dla metody parametrycznej przetestowano warianty z wykorzystaniem dla każdej ze scen dziewięciu, dziesięciu i jedenastu punktów dostosowania. Dla metody RPC analizowano warianty z pomiarem dwóch, czterech lub dziewięciu punktów dla każdej ze scen. W obu przypadkach dokonano opracowania zarówno pojedynczych scen jak i bloku (z wykorzystaniem pięciu punktów wiążących).

Aby wykluczyć wpływ błędu identyfikacji punktów na uzyskiwane wyniki aerotriangulacji dokonano jednokrotnego pomiaru fotopunktów (punktów dostosowania i punktów kontrolowanych) na obydwu scenach satelitarnych, a uzyskane w ten sposób współrzędne pikselowe stosowano we wszystkich analizowanych przypadkach.

We wszystkich przypadkach stosowano ten sam zestaw punktów kontrolowanych (9 punktów na scenie północnej oraz 7 punktów na scenie południowej), których współrzędne terenowe uzyskano z ortofotomapy lotniczej i dokładnego modelu wysokościowego. Ortorektyfikację przeprowadzono przy użyciu oprogramowania PCI Geomatica (metoda parametryczna i RPC) oraz ISDM (metoda RPC) z zastosowaniem metody interpolacji cubic convolution. Ocena dokładności ortofotomap przeprowadzono w oparciu o 22 punkty (po 11 punktów na każdą scenę) niewykorzystywane w procesie aerotriangulacji, zidentyfikowane na ortofotomapie lotniczej.

4. WYNIKI

4.1. Metoda parametryczna

W pierwszej kolejności przetestowano warianty polegające na oddzielnym opracowaniu każdej ze scen przy użyciu dziewięciu punktów dostosowania oraz na wyrównaniu bloku. Po analizie uzyskanych wyników zdecydowano się na zastąpienie jednego z punktów dostosowania punktem zlokalizowanym na Kopcu Piłsudskiego (KP). Kopiec Piłsudskiego jest to najwyższy punkt w obrębie obydwu analizowanych scen. Ponownie przeanalizowano wariant wyrównania bloku z wykorzystaniem dla każdej ze scen 9-ciu fotopunktów, a następnie również 10-ciu i 11-tu. Wyniki aerotriangulacji i oceny dokładności wygenerowanych ortofotomap przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Analiza dokładności aerotriangulacji - metoda parametryczna, błędy na punktach kontrolowanych [m]

	Blok		Scena północna		Scena południowa	
	rms _x	rms _y	rms _x	rms _y	rms _x	rms _y
9 fotopunktów na scenę pojedyncze sceny			0.72	0.58	1.32	1.15
9 fotopunktów na scenę blok	1.04	0.76	0.88	0.69	1.30	0.91
9 fotopunktów na scenę (w tym KP) blok	0.93	0.74	1.18	0.99	0.68	0.44
10 fotopunktów na scenę (w tym KP) blok	1.09	0.70	0.94	0.41	1.31	0.94
11 fotopunktów na scenę (w tym KP) blok	1.04	0.40	1.00	0.31	1.15	0.50

Na etapie aerotriangulacji we wszystkich testowanych wariantach uzyskano zbliżone dokładności (rms_x i rms_y) na punktach kontrolowanych. Najlepsze wyniki uzyskano dla wariantu z największą liczbą punktów dostosowania.

Najlepszą dokładność produktu końcowego (ortofotomapy) otrzymano dla wariantu wyrównania bloku przy pomiarze 11. fotopunktów na każdej ze scen. Wynik ten nie odbiega jednak w istotny sposób od rezultatu otrzymanego dla wariantu z pomiarem 9. fotopunktów – różnica błędu średniego pomiędzy tymi wariantami wyniosła zaledwie 2 cm. Można zatem stwierdzić, iż zwiększanie liczby fotopunktów nie powodowało zwiększenia dokładności ortofotomapy.

Wpływ liczby fotopunktów i dokładności numerycznego modelu wysokościowego
na dokładność wysokorozdzielczej ortofotomapy satelitarnej

Tabela 2. Analiza dokładności ortofotomapy – metoda parametryczna [m]

	Mozaika			Scena północna			Scena południowa		
	rms _X max _X	rms _Y max _Y	rms _{XY} max _{XY}	rms _X max _X	rms _Y max _Y	rms _{XY} max _{XY}	rms _X max _X	rms _Y max _Y	rms _{XY} max _{XY}
9 fotopunktów na scenę pojedyncze sceny	1.09 3.14	1.28 2.93	1.68 4.21	1.07 3.14	1.25 2.80	1.64 4.21	1.11 2.03	1.31 2.93	1.72 3.56
9 fotopunktów na scenę, blok	1.11 3.13	1.61 4.79	1.96 5.72	1.09 3.13	1.97 4.79	2.25 5.72	1.12 2.22	1.15 2.07	1.60 2.98
9 fotopunktów na scenę (w tym na Kopcu Piłsudskiego), blok	0.85 1.64	1.16 3.00	1.44 3.15	0.68 1.16	0.91 2.30	1.14 2.42	0.99 1.64	1.37 3.00	1.69 3.15
10 fotopunktów na scenę (w tym na Kopcu Piłsudskiego), blok	1.08 2.13	1.09 2.20	1.54 2.78	1.11 2.13	0.85 1.96	1.40 2.20	1.06 1.70	1.29 2.20	1.66 2.78
11 fotopunktów na scenę (w tym na Kopcu Piłsudskiego), blok	0.89 1.65	1.11 2.88	1.42 3.06	0.84 1.29	0.78 1.40	1.14 1.72	0.94 1.65	1.35 2.88	1.65 3.06

Porównując warianty z dziewięcioma fotopunktami należy stwierdzić, iż umieszczenie punktu dostosowania na Kopcu Piłsudskiego spowodowało poprawę dokładności ortofotomapy na obszarze sceny północnej.

4.2. Metoda RPC

Wspomniane wytyczne Komisji Europejskiej (European Commission, 2004) sugerują dla metody parametrycznej wykorzystanie dwóch lub czterech fotopunktów rozmieszczonych w różnych ćwiartkach obrazu. Przetestowano oba te warianty oraz wariant z wykorzystaniem dla każdej ze scen 9-ciu punktów dostosowania. W każdym z przypadków analizowano zarówno oddzielne opracowanie poszczególnych scen jak i wyrównanie bloku. Rezultaty otrzymane przy wykorzystaniu oprogramowania PCI Geomatica prezentują tabele 3 i 4.

Analiza rezultatów aerotriangulacji pozwala stwierdzić, iż jej dokładność wzrasta wraz ze wzrostem liczby punktów dostosowania. Dzieje się tak zarówno w przypadku pojedynczych scen, jak i aerotriangulacji w bloku. Zwraca uwagę fakt, iż stosując tą samą liczbę punktów dostosowania, dla wariantów polegających na opracowaniu pojedynczych scen uzyskiwano mniejsze błędy niż w przypadkach opracowania bloku.

Po analizie dokładności wygenerowanych ortofotomap za najlepsze uznać można ortofotomapy uzyskane w wariacie wyrównania bloku przy pomiarze dziewięciu fotopunktów na każdej ze scen. Podkreślić jednak trzeba, iż niemal identyczne rezultaty uzyskano w wariacie wyrównania pojedynczych scen przy pomiarze dwóch fotopunktów na scenę.

W przypadku rektyfikacji pojedynczych scen nie zaobserwowano wzrostu dokładności wraz ze wzrostem liczby punktów dostosowania. Wyrównanie w bloku poprawiło dokładność produktu końcowego tylko w wariacie z dziewięcioma punktami dostosowania dla sceny. Po analizie uzyskanych wyników pojawia się zatem pytanie, czy wzrost dokładności uzyskany w stosunku do wariantu polegającego na pomiarze dwóch

fotopunktów na każdej ze scen rekompensuje nakłady finansowe na pomiar znacznie większej liczby punktów dostosowania.

Tabela 3. Analiza dokładności aerotriangulacji - metoda RPC, błędy na punktach kontrolowanych [m]

	Blok		Scena północna		Scena południowa	
	rms _x	rms _y	rms _x	rms _y	rms _x	rms _y
2 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny			0.93	0.63	0.93	1.27
4 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny			1.01	0.66	0.81	0.82
9 fotopunktów na scenę pojedyncze sceny			0.80	0.53	0.86	0.77
2 fotopunkty na scenę blok	0.95	1.46	1.13	0.74	0.74	2.14
4 fotopunkty na scenę blok	0.91	1.04	1.03	0.63	0.81	1.48
9 fotopunktów na scenę blok	0.82	1.05	0.92	0.86	0.74	1.33

Tabela 4. Analiza dokładności ortofotomapy - metoda RPC [m]

	Mozaika			Scena północna			Scena południowa		
	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}
2 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny	0.87 1.46	0.91 1.65	1.26 1.94	0.75 1.44	0.87 1.43	1.15 1.94	0.97 1.46	0.95 1.65	1.36 1.75
4 fotopunkty na scenę, pojedyncze sceny	0.88 1.58	1.08 2.33	1.39 2.44	0.75 1.58	1.15 2.33	1.38 2.44	0.98 1.46	1.01 2.13	1.41 2.25
9 fotopunktów na scenę pojedyncze sceny	1.05 2.51	1.02 1.79	1.46 3.08	1.09 2.51	1.09 1.79	1.55 3.08	1.00 1.88	0.94 1.61	1.38 1.90
2 fotopunkty na scenę blok	0.86 1.48	1.05 2.60	1.35 2.68	0.76 1.46	0.85 1.39	1.14 2.02	0.94 1.48	1.22 2.60	1.54 2.68
4 fotopunkty na scenę blok	0.87 1.79	1.12 3.02	1.42 3.20	0.76 1.75	0.55 1.38	0.94 1.77	0.98 1.79	1.49 3.02	1.78 3.20
9 fotopunktów na scenę blok	0.86 1.60	0.91 1.63	1.25 2.13	0.69 1.60	0.86 1.40	1.10 2.13	1.00 1.48	0.95 1.63	1.38 1.76

Dla sceny północnej przeprowadzono również porównanie wyników dla wariantów z dwoma i czterema punktami dostosowania, w każdym z przypadków jeden z punktów lokując na Kopcu Piłsudskiego. W obu wariantach uzyskano zwiększenie dokładności zarówno na etapie aerotriangulacji, jak i wynikowej ortofotomapy (tabela 5 i 6).

Tabela 5. Analiza dokładności aerotriangulacji - metoda RPC, pojedyncze sceny [m]

	Scena północna	
	rms _x	rms _y
2 fotopunkty na scenę	0.93	0.63
2 fotopunkty na scenę (w tym punkt na Kopcu)	0.67	0.60
4 fotopunkty na scenę	1.01	0.66
4 fotopunkty na scenę (w tym punkt na Kopcu)	0.74	0.64

Tabela 6. Analiza dokładności ortofotomapy - metoda RPC [m]

	Scena północna		
	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}
2 fotopunkty na scenę	0.75	0.87	1.15
	1.44	1.43	1.94
2 fotopunkty na scenę (w tym punkt na Kopcu)	0.59	0.72	0.93
	1.12	1.24	1.27
4 fotopunkty na scenę	0.75	1.15	1.38
	1.58	2.33	2.44
4 fotopunkty na scenę (w tym punkt na Kopcu)	0.69	0.99	1.15
	1.72	2.25	2.37

Opracowania ortofotomap przy użyciu współczynników RPC dokonano również stosując oprogramowanie Intergraph ISDM. Niestety Autorom nie udało się uzyskać przy użyciu tego oprogramowania raportu opisującego błędy wpasowania na punktach kontrolowanych na etapie aerotriangulacji. Program nie podawał tych błędów dla wariantów wyrównania pojedynczych scen, a w przypadku bloku podawał błędy jedynie dla punktu leżącego w obszarze podwójnego pokrycia. Rezultaty analiz dokładnościowych uzyskanych ortofotomap zestawiono w tabeli 7.

W przypadku oprogramowania ISDM wyrównanie w bloku spowodowało poprawę dokładności ortofotomapy w porównaniu z wariantem polegającym na opracowaniu pojedynczych scen. Pod względem błędu średniego metoda ta dała najlepszy rezultat ze wszystkich testowanych (w wariantach bez fotopunktu zlokalizowanego na Kopcu Piłsudskiego). W wariantach rektyfikacji pojedynczych scen osiągnięto rezultaty podobne jak przy użyciu oprogramowania Geomatica.

Tabela 7. Analiza dokładności ortofotomapy (ISDM) - metoda RPC [m]

	Mozaika			Scena północna			Scena południowa		
	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}
2 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny	0.72	1.19	1.39	0.76	1.10	1.33	0.68	1.28	1.45
	1.65	3.22	3.27	1.48	3.22	3.27	1.65	1.82	2.31
4 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny	0.68	1.12	1.30	0.69	0.74	1.01	0.67	1.40	1.55
	1.75	3.06	3.06	1.75	1.35	2.21	1.73	3.06	3.06
2 fotopunkty na scenę wyrównanie bloku	0.72	0.94	1.18	0.76	0.56	0.95	0.67	1.20	1.38
	1.60	2.92	3.03	1.60	1.10	1.60	1.25	2.92	3.03

4.3. Testy z wykorzystaniem modelu wysokościowego DTED Level 2

W ramach opisywanych badań przeprowadzono również porównanie rezultatów ortorektyfikacji uzyskanych z wykorzystaniem precyzyjnego NMT oraz modelu DTED Level 2 (tabela 8).

Tabela 8. Analiza dokładności ortofotomapy – porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem precyzyjnego NMT i DTED Level 2

	Mozaika			Scena północna			Scena południowa		
	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}	rms _x max _x	rms _y max _y	rms _{xy} max _{xy}
Dokł. NMT , m. parametr. 9 fotopunktów na scenę, blok	1.11 3.13	1.61 4.79	1.47 5.72	1.09 3.13	1.97 4.79	2.25 5.72	1.12 2.22	1.15 2.07	1.60 2.98
DTED m.parametr. 9 fotopunktów na scenę, blok	0.74 1.44	1.00 2.00	1.24 2.42	0.68 1.18	0.88 1.84	1.11 2.19	0.80 1.44	1.10 2.00	1.36 2.42
Dokł. NMT RPC, Geomatica 2 fotopunkty na scenę, pojedyncze sceny	0.87 1.46	0.91 1.65	1.26 1.94	0.75 1.44	0.87 1.43	1.15 1.94	0.97 1.46	0.95 1.65	1.36 1.75
DTED RPC, Geomatica 2 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny	0.78 1.56	1.05 2.04	1.31 2.28	0.68 1.56	0.80 1.28	1.04 1.64	0.88 1.50	1.25 2.04	1.52 2.28
Dokł. NMT RPC, Geomatica 4 fotopunkty na scenę, pojedyncze sceny,	0.88 1.58	1.08 2.33	1.39 2.44	0.75 1.58	1.15 2.33	1.38 2.44	0.98 1.46	1.01 2.13	1.41 2.25
DTED RPC, Geomatica 4 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny	0.93 1.70	0.89 2.38	1.29 2.48	0.71 1.60	0.98 2.38	1.21 2.48	1.11 1.70	0.80 1.20	1.37 1.92
Dokł. NMT RPC, ISDM 4 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny	0.68 1.75	1.12 3.06	1.30 3.06	0.69 1.75	0.74 1.35	1.01 2.21	0.67 1.73	1.40 3.06	1.55 3.06
DTED RPC, ISDM 4 fotopunkty na scenę pojedyncze sceny				0.50 0.89	0.63 1.23	0.80 1.33			

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzić można, iż zarówno stosując metodę parametryczną, jak i korzystając z dostarczonych wraz z obrazem współczynników RPC, osiągnąć można zbliżone rezultaty, uzyskując błąd średni położenia punktu na ortofotomapie nieprzekraczający 1.30 m. Porównanie metody parametrycznej z metodą RPC wykazało, iż przy zastosowaniu tej drugiej dla osiągnięcia porównywalnych dokładności wystarczy stosować znacznie mniejszą liczbę fotopunktów.

J. Chmiel wraz ze współautorami (Chmiel *et al.*, 2004), stwierdzają, iż w przypadku wysokiej jakości punktów dostosowania pomiar większej liczby punktów niż minimum określone w wytycznych Komisji Europejskiej (European Commission, 2004) nie powoduje znaczących zmian dokładności ortofotomapy. Uzyskane przez nas wyniki potwierdzają tą obserwację.

Ulokowanie jednego z fotopunktów w najwyższym punkcie obszaru opracowania powodowało zwiększenie dokładności na etapie aerotriangulacji i zmniejszenie błędu średniego położenia punktu na wynikowej ortofotomapie. Działo się tak zarówno w przypadku metody parametrycznej jak i RPC. Może to wskazywać, iż wpływ na wynik ma nie tylko równomierne rozmieszczenie fotopunktów na obszarze sceny, ale również w profilu wysokościowym. Występowanie tego rodzaju zależności w przypadku metody RPC zaobserwowali także H. Eisenbeiss (Eisenbeiss *et al.*, 2004).

Zastosowanie w procesie ortorektifikacji modelu DTED Level 2 nie powodowało pogorszenia się parametrów dokładnościowych ortofotomap w porównaniu z produktami uzyskanymi przy użyciu dokładnego modelu wysokościowego otrzymanego na drodze pomiarów fotogrametrycznych. Potwierdza to wyniki uzyskane przez W. Wolniewicza (Wolniewicz, 2004), który stwierdził, iż model DTED Level 2 może być stosowany w procesie ortorektifikacji wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych nawet na terenach górskich.

Zbliżone rezultaty uzyskano stosując oba testowane programy (Geomatica i ISDM). Program ISDM dał nieco lepsze rezultaty (mniejszy błąd średni) dla wariantu wyrównania bloku, zwrócić jednakże należy uwagę na wyższe niż w przypadku PCI Geomatica wartości błędów maksymalnych.

6. LITERATURA

Chmiel J., Kay S., Spruyt P., 2004. Orthorectification and Geometric Quality Assessment of Very High Spatial Resolution Satellite Imagery for Common Agricultural Policy Purposes. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Vol. XXXV, Part B4, s. 1019-1024.

Eisenbeiss H., Baltasvias E., Pateraki M., Zhang L., 2004. Potential of Ikonos and QuickBird Imagery for Accurate 3D Point Positioning, Orthoimage and DSM Generation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Vol. XXXV, Part B3, s. 522-528.

European Commission, 2004. Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery. Directorate General Joint Research Centre - Ispra, Institute for the Protection and Security of the Citizen, Monitoring Agriculture with Remote Sensing Unit.

Wolniewicz W., 2004. Porównanie wyników ortorektifikacji obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 14, s. 551-559.

**ASSESSMENT OF THE GROUND CONTROL POINTS NUMBER
AND DIGITAL TERRAIN MODEL QUALITY ON THE GEOMETRIC QUALITY
OF HIGH-RESOLUTION SATELLITE ORTHOPHOTOMAP**

KEY WORDS: Ikonos, high-resolution satellite orthophotomap, orbital method, RPC method, accuracy assessment, DTED

Summary

This paper presents the results of the research conducted by the Geodesy-Computer Science Joint-Stock Company COMPASS and the AGH University of Science and Technology Department of Photogrammetry and Remote Sensing Information.

Several goals were intended to be achieved: comparison of the adjustment results obtained by implementation of orbital model and RPC coefficients, an accuracy evaluation of the generated orthoimages, assessment of the used Ground Control Points (GCPs) number influence on geometric quality of orthophotomaps, comparison of Intergraph and PCI Geomatics software for high-resolution satellite orthophotomap generation with RPC coefficients, evaluation of DTED Level 2 Digital Terrain Model applicability to high-resolution satellite orthophotomap generation.

Two overlapping panchromatic Ikonos images of Cracow and its suburban areas and villages in the neighbourhood were orthorectified. Mainly GPS measured GCPs were used with some additional points and all Control Points were measured on an 1:5 000 scale aerial orthophotomap. Elevation data were obtained with precise a Digital Terrain Model generated from aerial photos on a scale of 1:13 000. In the case of the orbital model, the results achieved with 9, 10 and 11 GCPs used for each scene were compared. For RPC case 2, 4 and 9 points for each image were used. In both cases, tests were conducted for separate scenes and with tie points measurements. An accuracy assessment of the generated orthoimages was done based on 22 control points (11 for each scene) not used for geometric correction.

The orthoimages generated with both tested methods had comparable geometric accuracy, with an rms_{XZ} error below 1.5 meters, but in the case of the RPC method a lower number of GCPs was needed. In both cases, better results were achieved if the GCPs used had been chosen within the full elevation range of the scenes. Increasing the GCPs number did not increase orthoimage accuracy. The results obtained using the tested software did not significantly differ. DTED Level 2 application instead of precise DTM did not cause a decrease in the geometric accuracy of the generated orthoimages.

Dr inż. Wojciech Drzewiecki
e-mail: drzewiec@agh.edu.pl
tel. +12 6173993

Mgr inż. Ewa Głowienka
e-mail: eglo@agh.edu.pl
tel. +12 6172288

Dr hab. inż. Beata Hejmanowska
e-mail: galia@agh.edu.pl
tel. +12 6172288

Mgr inż. Marcin Dżugaj
e-mail: mdzugaj@compass.pl
tel. +12 4287500

Mgr inż. Tomasz Trybuś
e-mail: ttrybus@compass.pl
tel. +12 4287500