

**BADANIA NAD WPŁYWEM ROZMIESZCZENIA FOTOPUNKTÓW  
NA JAKOŚĆ KALIBRACJI OBRAZU QUICKBIRD 2  
METODĄ FIZYCZNEGO MODELU SENSORA**

**A STUDY OF THE INFLUENCE OF GCP DISTRIBUTION  
ON THE QUALITY OF QUICKBIRD 2 IMAGE CALIBRATION  
USING THE PHYSICAL SENSOR MODEL**

**Zbigniew Zdunek<sup>1</sup>, Ireneusz Wyczałek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FinSkog Geomatics International Sp. z o.o.

<sup>2</sup>Zakład Geodezji, Politechnika Poznańska

SŁOWA KLUCZOWE: QuickBird, kalibracja geometryczna, fizyczny model kamery

STRESZCZENIE: Przedmiotem pracy jest analiza wpływu osnowy fotogrametrycznej na dokładność kalibracji fragmentu sceny wysokorozdzielczego zobrazowania satelitarnego metodą fizycznego modelu kamery. Analizowano, czy wyniki ortorektyfikacji poprzedzonej kalibracją obrazu zależą od konfiguracji fotopunktów. Obiektem badań był obszar 5×5 km w centrum Poznania, o deniwelacjach nie przekraczających 30 m. Wykorzystano obraz QuickBird 2 o doskonałej jakości radiometrycznej, zapisany w formacie Standard OrthoReady. Dobrano kontrastujące z otoczeniem fotopunkty w równomiernym rozkładzie 4 linie po 4 punkty. W pobliżu fotopunktów zlokalizowano po 1-3 punktów kontrolnych. Wszystkie punkty pomierzono techniką GPS-RTK z błędem  $m_p = \pm 24$  mm i  $m_H = \pm 45$  mm. Równomiernemu rozkładowi fotopunktów przeciwstawiono pięć przypadków rozmieszczenia niesymetrycznego. Wyniki kolejnych wyrównań w przyjętych fotopunktach w zasadzie nie różnią się od przypadku wzorcowego, natomiast znacznie wzrastają na punktach kontrolnych, osiągając w kolejnych niekorzystnych konfiguracjach nawet 20-krotnie większe wartości. Z analizy wyników badań wywnioskowano potrzebę doboru nawet minimalnej liczby 8 fotopunktów, ale równomiernie rozmieszczonych na obrzeżu opracowywanego fragmentu sceny, aby uzyskać podpixselowe dokładności ortofotomapy nawet, gdy ten fragment leży z boku sceny.

## 1. WPROWADZENIE

Celem pracy jest analiza wpływu rozkładu fotopunktów na jakość opracowania ortofotomapy satelitarnej. Dość szeroko w literaturze został ujęty problem wpływu rozkładu fotopunktów na jakość kalibracji obrazów przy zastosowaniu modeli wielomianowych (Cheng *et al.*, 2002, 2003, 2005; Eisenbeiss *et al.*, 2004, Grodecki, Dial, 2004). Zasadniczo wnioski z tych opracowań można sprowadzić do następujących stwierdzeń:

1. Niezależnie od wybranego modelu wielomianowego albo ilorazu wielomianowego (*RPC – Rational Polynomial Coefficients*), dokładność przekształcenia w znacznym stopniu zależy od równomierności rozkładu punktów dopasowania.

2. Im wyższy stopień wielomianu, tym mniejsze wartości błędów współrzędnych punktów dopasowania, lecz coraz większe wartości błędów punktów kontrolnych.

W tej pracy przeprowadzono analizę wpływu rozkładu fotopunktów na dokładność ortofotomapy uzyskiwanej w oparciu o kalibrację metodą fizycznego modelu kamery (*RSM – Rigorous Sensor Model*). Idea tej metody opiera się na stworzeniu matematycznego opisu faktycznych relacji zachodzących pomiędzy terenem, a jego obrazem, a nie jak w przypadkach wielomianowych – na niezwiązanej z procesem uniwersalnej funkcji matematycznej, która w lepszy lub gorszy sposób pozwala na odtworzenie tych relacji (Toutin, 2004).

W budowaniu fizycznego modelu kamery dla określonego sensora są brane pod uwagę dwie grupy danych:

- parametry związane z matematycznym opisem układu optycznego i jego ruchu po orbicie oraz
- chwilowe parametry wykonania obrazu (poprawki orbitalne).

Jeżeli prawdziwe jest założenie, że fizyczny model kamery opisuje faktyczne relacje pomiędzy terenem, a jego obrazem, można wnioskować, że nie zależy on od rozkładu fotopunktów. A zatem wyrównanie powinno zajść ze zbliżoną dokładnością w miejscach wstawienia punktów dopasowania, pomiędzy nimi, jak i poza grupą fotopunktów.

W pracy poszukiwano odpowiedzi na dwa pytania:

1. Czy przy zastosowaniu kalibracji metodą fizycznego modelu kamery konieczny jest równomierny rozkład fotopunktów?
2. Czy zastosowanie nierównomiernego rozkładu fotopunktów daje gorsze wyniki - a jeżeli tak, to o ile - od stosowanego rozkładu równomiernego?

Analiza została przeprowadzona na fragmencie sceny wysokorozdzielczego obrazu satelitarne, pozyskanego przez satelitę QuickBird 2 (Plichta *et al.*, 2006). Podstawowe parametry analizowanego obrazu wymienione zostały w tabeli 1. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż zobrazowanie zostało wykonane przy zerowym zachmurzeniu oraz przy niewielkim kącie pochylenia bocznego (7°).

Tabela 1. Podstawowe cechy analizowanego obrazu

Numer obrazu	QuickBird 1010010001F23F01
Typ obrazu, format zapisu:	Standard OrthoReady, GeoTIFF
Data wykonania:	01-06-2003, godz. 9:45
Dostępne rodzaje obrazu:	Panchromatyczny: 1 kanał w zakresie pasma 450÷900 nm (wielkość oryginalnego piksela 0.626 m – resamplowana do 0.6 m) Multispektralny, 4 kanały w zakresach 450÷520 nm, 520÷600 nm, 630÷690 nm i 760÷900 nm (wielkość piksela 2.506 m, resamplowana do 2.4 m)
Powierzchnia obrazu:	25 km <sup>2</sup> (5×5 km w prawej części sceny)
Rozdzielczość radiometryczna:	16 bitów na piksel
Kąt wychylenia od nadiru [°]	7°
Wysokość i azymut słońca	57.30°, 151.30°
Zachmurzenie	0 %

## 2. PRACE POLOWE

### 2.1. Przedmiot i zakres opracowania

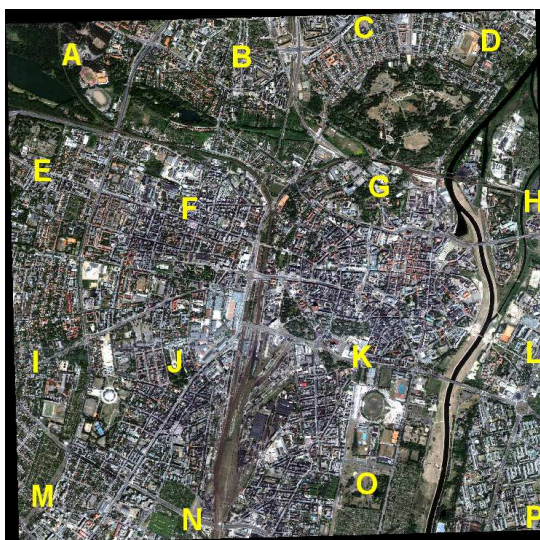
Obiekt badań zajmuje powierzchnię 5×5 km wokół ścisłego centrum Poznania. W celu oceny możliwości wykorzystania wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych w zadaniach urbanistycznych (Plichta *et al.*, 2006) podjęto następujące czynności:

1. Dobór fotopunktów i punktów kontrolnych, możliwie kontrastowych i równomiernie rozmieszczonych w 16. miejscach na powierzchni sceny;
2. Precyzyjny pomiar fotopunktów (GCP) i punktów kontrolnych (ICP);
3. Wykonanie kalibracji ścisłą metodą wyrównawczą, wraz z oceną jej dokładności;
4. Definicja szczegółowego numerycznego modelu terenu;
5. Opracowanie ortofotomapy.

Opisane niżej czynności pomijają dwie ostatnie fazy prac, gdyż nie mają one związku z analizą wpływu rozkładu fotopunktów na dokładność kalibracji obrazów. Głównym przedmiotem zainteresowania był bowiem problem wrażliwości algorytmu na rozkład fotopunktów, nie zaś możliwe do osiągnięcia błędy bezwzględne wynikowej ortofotomapy.

### 2.2. Pomiar osnowy fotogrametrycznej

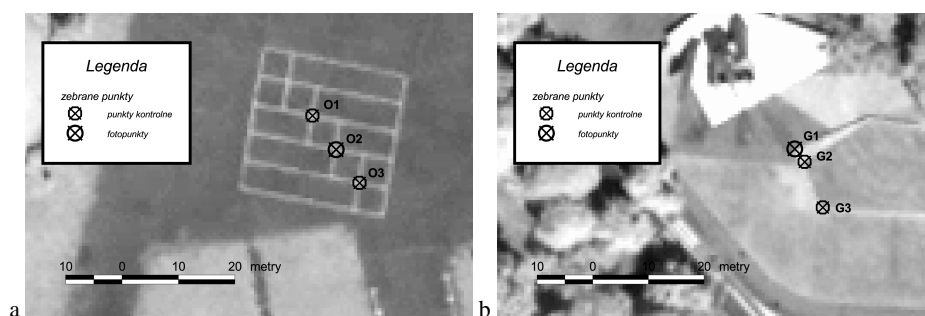
Pomiary terenowe wykonano metodą GPS-RTK przy użyciu zestawu Topcon Legacy, z anteną bazową zlokalizowaną na wieży zamkowej w centrum sceny i zasięgiem do najdalej zlokalizowanych punktów - ok. 3 km. Pomierzono 16 grup punktów (w strefach oznaczonych literami A-P na rysunku 1), które obejmują 1 fotopunkt (wyjątkowo dwa) i po 1÷3 punktów kontrolnych, oddalonych od siebie od kilku do kilkunastu metrów.



Rys. 1. Obraz źródłowy obiektu testowego; rozmieszczenie grup punktów osnowy fotogrametrycznej

Wyniki pomiaru opracowano w lokalnym układzie współrzędnych miasta, a następnie przeliczono do układu PUWG 2000, stosując metodę transformacji konforemnej dla 8 punktów łączących. Rzędne punktów określono w układzie WGS84 i przekształcono do układu wysokości normalnych. Wyniki pomiaru są obarczone znikomymi błędami średnimi, wynoszącymi odpowiednio  $dx \approx 18$  mm,  $dy \approx 15$  mm oraz  $dh \approx 45$  mm.

W efekcie prac pomiarowych uzyskano 40 punktów jednoznacznie identyfikowalnych na obrazie, z czego 18 przyjęto jako fotopunkty (GCP), a 22 jako punkty kontrolne (ICP). Na rysunkach 2 a i b zilustrowano przykłady wyboru punktów odniesienia i kontrolnych.



Rys. 2. Dobór punktów: (a) w strefie "O", (b) w strefie "G"

### 3. OPRACOWANIE FOTOGRAMETRYCZNE

#### 3.1. Oprogramowanie i procedura obliczeniowa

Wszystkie prace fotogrametryczne (korekcja, ortorektyfikacja, raporty) wykonano za pomocą programu PCI Geomatica 9.1.8 z modulem OrthoEngine. Pakiet ten umożliwia geometryczną korekcję obrazu QuickBird poddawaną tu analizie Toutin'owską metodą fizycznego modelu kamery. Do uzyskania rozwiązania tego modelu dla obrazu QuickBird 2 w standardzie OrthoReady wystarczy 8 punktów (Cheng *et al.*, 2002) i taką też liczbę przyjęto w toku analiz poszczególnych przypadków. Nie zastosowano nadmiarowej liczby fotopunktów, aby uniknąć uśredniania wyników, które w efekcie utrudnia badanie wpływu rozkładu punktów na dokładność kalibracji.

Na wstępnym etapie prac został zdefiniowany projekt, a w nim: docelowe odwzorowanie (PUWG 2000) i rozmiar piksela wynikowej ortofotomapy (0.61 m) oraz bazowe odwzorowanie, w którym opisane są fotopunkty i punkty kontrolne (PUWG 2000). Dzięki zawartym w module OrthoEngine modelom kamer m.in. dla satelity QuickBird oraz dzięki temu, że dostarczane z obrazem metadane (m.in. poprawki orbitalne) są odczytywane automatycznie podczas importu danych źródłowych do formatu PCIDSK (wewnętrzny format danych pakietu PCI Geomatica) definiowanie jakichkolwiek dodatkowych parametrów jest niepotrzebne. Następnie w projekcie określono obraz i poprzez wskazanie fotopunktów i punktów kontrolnych w module GCP/TP Collection przeprowadzono jego korekcję geometryczną. Oceniono dokładność identyfikacji punktów na 0.25 piksela, czyli  $\pm 0.15$  m.

### 3.2. Warianty obliczeń i prezentacja wyników

Badania zrealizowano w ten sposób, że z grupy fotopunktów wyłączano część, pozostawiając po osiem aktywnych punktów rozlokowanych w różnych niekorzystnych konfiguracjach. Jako odniesienie do tych przypadków przyjęto wyrównanie obrazu na podstawie wszystkich 18. równomiernie rozmieszczonych punktów. W dalszym toku prac będzie on nazywany „Przypadkiem 0”, podczas, gdy następne są zdefiniowane następująco:

Przypadek 1 – fotopunkty umieszczone w jednej z osi symetrii obrazu.

Przypadek 2 – fotopunkty umieszczone w jednym z narożników obrazu.

Przypadek 3 – fotopunkty umieszczone wzdłuż pionowej osi obrazu.

Przypadek 4 – fotopunkty są rozmieszczone nierównomiernie, losowo na obrazie.

Przypadek 5 – fotopunkty są rozmieszczone nierównomiernie, w narożnikach obrazu.

O ile pierwsze trzy przypadki są dość abstrakcyjne i rzadko się zdarzają przy dobrze zaplanowanych osnowach polowych, o tyle przypadki 4 i 5 zdarzają się dosyć często przy planowaniu osnowy niesygnalizowanych i są powodowane albo brakiem szczegółów jednoznacznie identyfikowalnych na obrazie i w terenie, albo brakiem dostępu do terenów z zaplanowanymi w projekcie osnowy polowej punktami dopasowania. Ponadto sprawdzono przypadki, kiedy fotopunkty leżą bardzo blisko siebie. Na tej podstawie można sprawdzić, czy stosując wyrównanie obrazu metodą fizycznego modelu kamery wystarczająca jest liczba 8 punktów, czy też punkty te muszą być odpowiednio rozmieszczone.

Z ogólnej liczby 40. zebranych punktów dopasowania, w każdym z rozpatrywanych przypadków 8 zostało uwzględnionych jako fotopunkty, zaś pozostałe 32 punkty jako punkty kontrolne. Prezentację przestrzennego rozkładu odchyłek wyrównawczych przeprowadzono na mapce przedstawiającej lokalizację użytych fotopunktów oraz izolinie interpolowane lub ekstrapolowane na podstawie wartości błędów punktów kontrolnych.

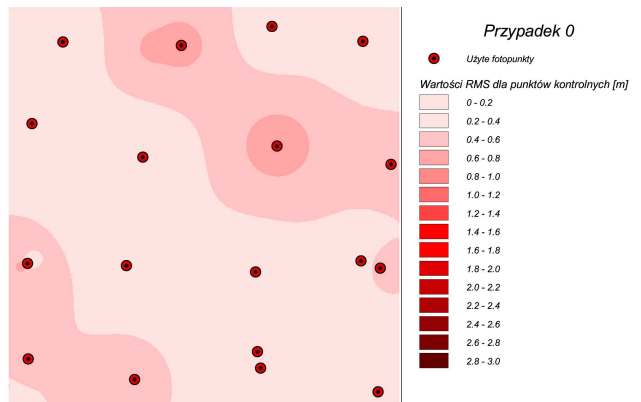
## 4. ANALIZA WYNIKÓW

### 4.1. Przypadek 0

Po wyrównaniu dla wszystkich fotopunktów uzyskano błąd wyrównania obrazu w fotopunktach:  $RMSE = \pm 0.34$  m, przy czym wartość błędu dla 5 % najgorszych wyników wynosiła 1.18 m ( $RMSX = \pm 1.02$  m,  $RMSY = \pm 0.61$  m). Osiągnięto więc precyzję wyrównania obrazu na poziomie 0.5 wymiaru piksela podstawowego. Także ocena dokładności za pomocą niezależnych punktów kontrolnych dała zbliżone wyniki. Świadczy to o prawidłowej jakości zebranej osnowy polowej oraz o dokładności identyfikacji położenia punktów dopasowania na obrazie. W tabeli 2 przedstawiono parametry dokładnościowe wyrównania a na rysunku 3 ukazano graficzną reprezentację błędów.

Tabela 2. Uzyskane parametry dokładnościowe wyrównania dla Przypadku 0

Ilość fotopunktów	Ilość punktów kontrolnych	RMS Fotopunktów		RMS punktów kontrolnych	
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
18	22	0.17	0.30	0.32	0.30



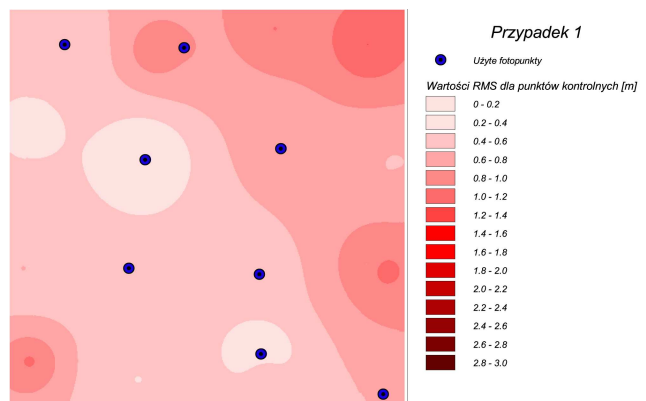
Rys. 3. Przestrzenny rozkład błędów RMS dla Przypadku 0

#### 4.2. Przypadek 1

Wybrano 8 fotopunktów leżących na osi symetrii NW-SE (4 na linii i po dwa po obu stronach). Uzyskano błąd wyrównania  $RMSE = \pm 0.13$  m, przy czym wartość błędu dla 5 % najgorszych wyników wynosiła 1.66 m ( $RMSX = \pm 0.80$  m,  $RMSY = \pm 1.45$  m). Błędy punktów kontrolnych wzrosły względem Przypadku 0 o 60 %. Poniżej przedstawiono parametry dokładnościowe wyrównania i kartograficzną ilustrację wyników.

Tabela 3. Uzyskane parametry dokładnościowe wyrównania dla Przypadku 1

Ilość fotopunktów	Ilość punktów kontrolnych	RMS Fotopunktów		RMS punktów kontrolnych	
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
8	32	0.03	0.13	0.42	0.57



Rys. 4. Przestrzenny rozkład błędów RMS dla Przypadku 1

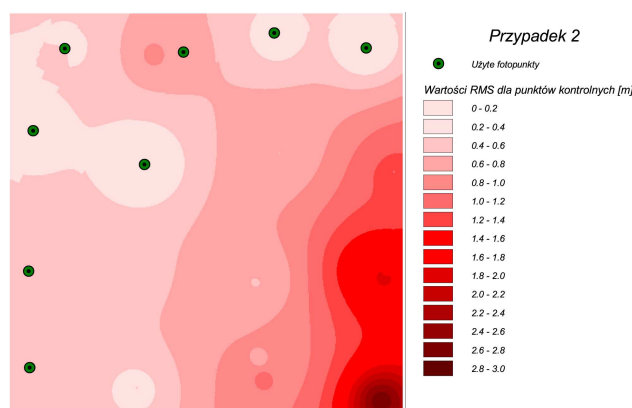
Widoczny jest wzrost wartości błędów dla punktów kontrolnych w miejscach, w których nie występują fotopunkty. Jak już wcześniej wspomniano, fotopunkty i punkty kontrolne zostały zebrane w ilości po 2-4 punkty na każdą strefę. W trakcie wyboru fotopunktów dla Przypadku 1 przeprowadzono próbę uwzględnienia, jako fotopunktów, dwóch punktów z tej samej strefy. W takim przypadku, pomimo wprowadzenia 8 punktów, nie udało się znaleźć prawidłowego rozwiązania. Dopiero użycie 8 punktów z różnych stref, zgodnie z logiką, pozwoliło na przeprowadzenie prawidłowego wyrównania obrazu.

#### 4.3. Przypadek 2

Wybrano 8 fotopunktów leżących w lewej górnej części obrazu. Dzięki temu powstała przestrzeń w narożniku SE bez fotopunktów. Uzyskano błąd wyrównania obrazu na poziomie  $RMSE = \pm 0.22$  m, zaś wartość błędu dla 5 % najgorszych wyników wynosiła 3.36 m ( $RMSX = \pm 3.16$  m,  $RMSY = \pm 1.15$  m). W kolejnej tabeli przedstawiono parametry dokładnościowe wyrównania, a na rysunku ilustrację rozkładu błędów. Widać tu wyraźny wzrost wartości błędów dla punktów kontrolnych, średnio o 120 %, jednak przede wszystkim w miejscach braku występowania fotopunktów.

Tabela 4. Uzyskane parametry dokładnościowe wyrównania dla Przypadku 2

Ilość fotopunktów	Ilość punktów kontrolnych	RMS Fotopunktów		RMS punktów kontrolnych	
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
8	32	0.16	0.15	0.92	0.41



Rys. 5. Przestrzenny rozkład błędów RMS dla Przypadku 2

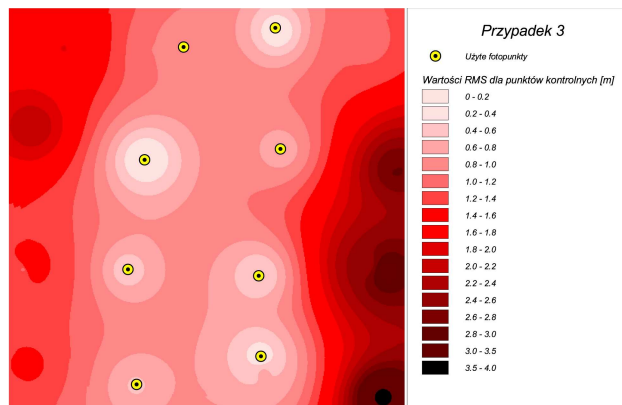
#### 4.4. Przypadek 3

Wybrano 8 fotopunktów leżących wzdłuż pionowej osi obrazu. W efekcie powstały dwie przestrzenie bez fotopunktów, po wschodniej i zachodniej stronie obrazu. Praktycznie fotopunkty zajmują w tym przypadku około 50 % powierzchni w środkowej części sceny. Uzyskano wynikowy błąd  $RMSE = \pm 0.16$  m, oraz błąd dla 5 % najgorszych wyników

$\pm 4.87$  m (RMSX =  $\pm 4.71$  m, RMSY =  $\pm 1.24$  m). Poniżej przedstawiono parametry dokładnościowe wyrównania oraz mapka rozkładu błędów.

Tabela 5. Uzyskane parametry dokładnościowe wyrównania dla Przypadku 3

Ilość fotopunktów	Ilość punktów kontrolnych	RMS Fotopunktów		RMS punktów kontrolnych	
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
8	32	0.08	0.14	1.66	0.56



Rys. 6. Przestrzenny rozkład błędów RMS dla Przypadku 3

Tym razem widoczny jest wyraźny wzrost wartości błędów punktów kontrolnych w miejscach bardziej oddalonych od fotopunktów.

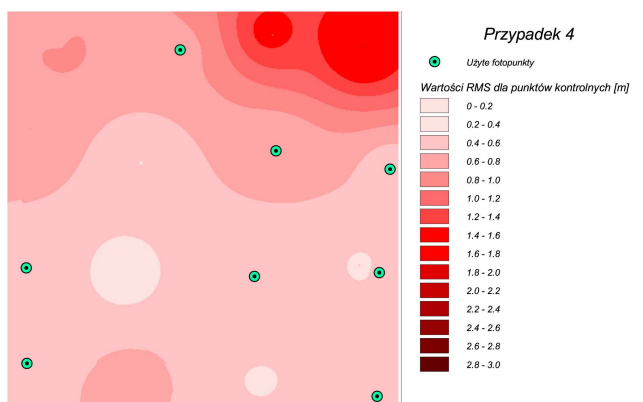
#### 4.5. Przypadek 4

Wybrano 8 fotopunktów losowo rozmieszczonych na powierzchni obrazu. Uzyskano błąd wyrównania obrazu  $RMSE = \pm 0.30$  m, przy czym wartość tego błędu dla 5 % najgorszych wyników wynosiła 2.52 m (RMSX =  $\pm 2.15$  m, RMSY =  $\pm 1.31$  m). Poniżej podano wynikowe wartości błędów i ilustrację graficzną ich rozmieszczenia. Na rysunku znów widać wzrost wartości błędów dla punktów kontrolnych w miejscach, w których nie ma fotopunktów. Szczególnie uwidacznia się to w miejscach wymagających ekstrapolacji wartości (poza granicami wieloboku wyznaczonego przez fotopunkty).

Tabela 6. Uzyskane parametry dokładnościowe wyrównania dla Przypadku 4

Ilość fotopunktów	Ilość punktów kontrolnych	RMS Fotopunktów		RMS punktów kontrolnych	
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
8	32	0.09	0.29	0.64	0.50





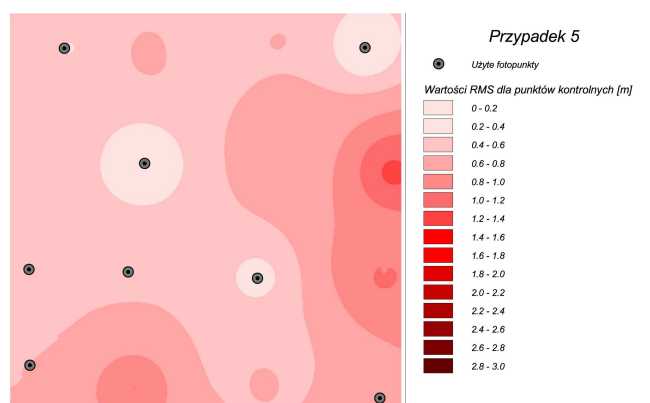
Rys. 7. Przestrzenny rozkład błędów RMS dla Przypadku 4

#### 4.6. Przypadek 5

Wybrano 4 fotopunkty leżące wzdłuż przekątnej i 4 na skrajach obrazu. Tym razem uzyskano błąd kalibracji obrazu  $RMSE = \pm 0.09$  m, a dla 5 % najgorszych wyników 1.76 m ( $RMSX = \pm 1.70$  m,  $RMSY = \pm 0.46$  m). Poniżej przedstawiono parametry dokładnościowe wyrównania oraz mapy rozkładu błędów. Stwierdzono nieco mniejszy, lecz wciąż wyraźny wzrost wartości błędów dla punktów kontrolnych w pobliżu, których nie ma fotopunktów.

Tabela 7. Uzyskane parametry dokładnościowe wyrównania dla Przypadku 5

Ilość fotopunktów	Ilość punktów kontrolnych	RMS Fotopunktów		RMS punktów kontrolnych	
		X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
8	32	0.01	0.09	0.59	0.39



Rys. 8. Przestrzenny rozkład błędów RMS dla Przypadku 5

## 5. WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy wpływu rozkładu fotopunktów na jakość wyrównania przy zastosowaniu metody fizycznego modelu kamery, wynikają następujące dwa wnioski:

- rozmieszczenie fotopunktów ma bardzo duży wpływ na jakość wyrównania,
- równomierne rozmieszczenie jest wyraźnie lepsze od nierównomiernego.

Należy unikać stosowania fotopunktów leżących bardzo blisko siebie w przypadku, gdy ogólna ich liczba jest równa lub bliska minimalnej liczbie fotopunktów przewidzianej dla danego algorytmu. Aby uniknąć sytuacji „niepewności” rozwiązania należy zaplanować 1÷2 punkty więcej na obraz niż zalecane minimum. Wiąże się to również ze specyfiką kameralnych prac poprzedzających pozyskanie osnowy polowej, kiedy trudno jest przewidzieć dostępność terenową poszczególnych lokalizacji pomiaru punktów.

Szczególnie wrażliwymi na nierównomierny rozkład fotopunktów strefami są skrajne fragmenty obrazu. Dobór do wyrównania fotopunktów leżących w narożnikach pozwala na zmniejszenie błędów oraz niweluje wzrost ich wartości w skrajnych obszarach obrazu.

Zachowanie elementarnych zasad projektowania osnowy polowej i niedopuszczanie do przypadków „ekstremalnych” (Przypadki 1, 2, 3) pozwala nawet przy nierównomiernym rozkładzie na zachowanie błędów z rozkładu punktów kontrolnych na poziomie rozmiaru jednego piksela lub wartości niewiele ten poziom przekraczające.

## 6. LITERATURA

Borowiec N., 2006. Korekcja geometryczna wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. *Półrocznik AGH, Geodezja*, 12 (2), Kraków, (przyjęte do druku). [http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje\\_pliki/Borowiec\\_N\\_2006.pdf](http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Borowiec_N_2006.pdf)

Cheng P., Smith D., Sutton S., 2005. Mapping of QuickBird Images Using the RPC Method. *GEO Informatics*, June 2005, s. 50-52.

Cheng P., Toutin T., Zhang Y., Wood, M., 2002. QuickBird – Geometric Correction, Path and Block Processing and Data Fusion. *Earth Observation Magazine*, 12 (3), s. 24-30.

Cheng P., Toutin T., Zhang Y., 2003. QuickBird – Geometric Correction, Data Fusion, and Automatic DEM Extraction. URL: [http://www.pcigeomatics.com/services/support\\_center/tech\\_papers/acrs03\\_cheng.pdf](http://www.pcigeomatics.com/services/support_center/tech_papers/acrs03_cheng.pdf)

Eisenbeiss H., Baltsavias E., Peteraki 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*, Vol. XXXV, Part 3, s. 522-528.

Grodecki J., Dial G., 2003. Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 69 (1), s. 59-68.

Plichta A., Wyczałek I., Wyczałek E., Zdunek Z., 2006. Opracowanie miejskiej ortofotomapy satelitarnej na podstawie zobrazowania QuickBird 2. *Geodesia et Descriptio Terrarum*, (w druku).

Toutin T., 2004. Review Paper: Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25, s. 1893-1924.

Praca została wykonana w ramach grantu KBN nr 4T12E 016 26 realizowanego w latach 2004-2007.

**A STUDY OF THE INFLUENCE OF GCP DISTRIBUTION  
ON THE QUALITY OF QUICKBIRD 2 IMAGE CALIBRATION  
USING THE PHYSICAL SENSOR MODEL**

KEY WORDS: QuickBird, geometric calibration, rigorous sensor model

**Summary**

The subject of this paper is an analysis of the influence of a photogrammetric reference net on the accuracy of the calibration of very high resolution satellite imagery using a rigorous sensor model. It was studied whether the results of orthorectification preceded by image calibration depend on configuration of Ground Control Points.

The test field was an area of 5×5 km of central Poznan with level differences of less than 30 m. An OrthoReady QuickBird 2 image with excellent radiometric quality was used. The GCPs (contrasted with the surroundings and distributed into 4 lines by 4 points) were selected. 1-3 Check Points were placed near of each of them. All points were measured with the GPS\RTK method with a horizontal mean error  $m_p = \pm 24$  mm and vertical error  $m_H = \pm 45$  mm.

Against the regular distribution of points, five irregular ones were set off. The first three cases are rather untypical and concern the distribution of GCP's diagonally (1), at the edge (2) and along vertical axis of the image (3). In cases 4 and 5, the points are randomly scattered in the image. The results of consecutive adjustments in the given GCPs did not differ from the model case, but significantly increased at the Check Points – achieving up to 20-times greater values in consecutive configurations.

From the analyses of results, a need was determined to select even a minimum number of 8 GCPs, but regularly distributed on the peripheries of the treated part of the scene to achieve subpixel accuracy of the orthophotomap, even if this part lies at the side of the scene.

Mgr Zbigniew Zdunek  
e-mail: zbigniew.zdunek@finskog.com.pl  
tel. +58 6205051

Dr inż. Ireneusz Wyczałek  
e-mail: ireneusz.wyczalek@put.poznan.pl  
tel. +61 6652420