

BADANIE WPŁYWU JAKOŚCI DANYCH INICJALNYCH NA KOREKCJĘ OBRAZU SATELITARNEGO SYSTEMU IKONOS

Streszczenie. W ostatnich latach ukazało się wiele publikacji dotyczących jakości geometrycznej obrazów satelitarnych systemów jednometrowych. Wielu badaczy przedstawia różne wyniki swoich opracowań w zależności od rodzaju technologii i jakości danych. Niniejsze opracowanie przedstawia wyniki badań wpływu danych inicjalnych na korekcję obrazu satelitarnego systemu Ikonos. Jako dane inicjalne autor rozumie odpowiednią liczbę fotopunktów niezbędnych do przeprowadzenia geometryzacji (ortorektyfikacji) scen satelitarnych oraz numeryczny model terenu. Przedstawione poniżej wyniki prac eksperymentalnych wskazują, że na jakość geometryczną obrazów wpływa rozkład fotopunktów na scenie oraz ich liczba, a także dokładność pozyskania NMT. W referacie zaprezentowane są wyniki poszczególnych etapów prac dla jednej sceny satelitarnej obejmującej obszar Parku Krajobrazowego Beskidu Śląskiego.

1. Wprowadzenie

Matematyczny model obrazu wiąże się ze sposobem pozyskania danych. Dla systemu satelitarnego IKONOS jest to skaner elektrooptyczny typu push-broom. Skaner ten zawiera linię sensorów CCD umieszczoną prostopadle do kierunku ruchu satelity po orbicie. Obraz pozyskiwany jest przez przemieszczający się skaner wzdłuż toru satelity. W ten sposób powstają linie wierszy z wyznaczonym środkiem rzutów stałym dla każdej linii i określonym zestawem elementów orientacji wewnętrznej wraz z ogniskową. Matematyczny model pozwala znaleźć przestrzenne zależności pomiędzy każdą linią obrazu, a jej rzeczywistym odpowiednikiem na powierzchni terenu. O takiej relacji mówi się, że jest to triangulacja sceny satelitarnej w wyniku której otrzymuje się elementy orientacji zewnętrznej.

Znając informacje o zmianach elementów kątowych, współrzędnych środka rzutów oraz o elementach orientacji zewnętrznej dla każdej linii obrazu opisujących ruch satelity możliwe jest aproksymowanie wielkości elementów orientacji zewnętrznej dla każdej linii obrazu.

Dla zwiększenia dokładności opisanego modelu stosuje się podział scen IKONOSA na szereg podobrazów. Aproksymacja elementów orientacji zewnętrznej dokonywana jest wewnątrz segmentów, a nie całej sceny co znacznie podnosi dokładność tego procesu. Informacje te umieszczono w plikach RPC, które w raz z obrazem dostarczone są przez właściciela systemu IKONOS w formie fizycznej.

Pliki RPC (Rational Polynomial Coefficients) określają współczynniki wielomianów ilorazowych. Równanie wielomianu ilorazowego z zawartymi współczynnikami przedstawia relacje pomiędzy obrazem, a terenem w postaci wzoru (1). Jest to model „nieparametryczny” typu 3D, nie mający prostej interpretacji fizycznej, czy geometrycznej.

$$\mathbf{X} = \frac{a_0 + a_1 X' + a_2 Y' + a_3 Z'}{1 + b_1 X' + b_2 Y' + b_3 Z'}$$

$$\mathbf{Y} = \frac{c_0 + c_1 X' + c_2 Y' + c_3 Z'}{1 + d_1 X' + d_2 Y' + d_3 Z'}$$

Wzór (1): ilorazowy model wielomianowy

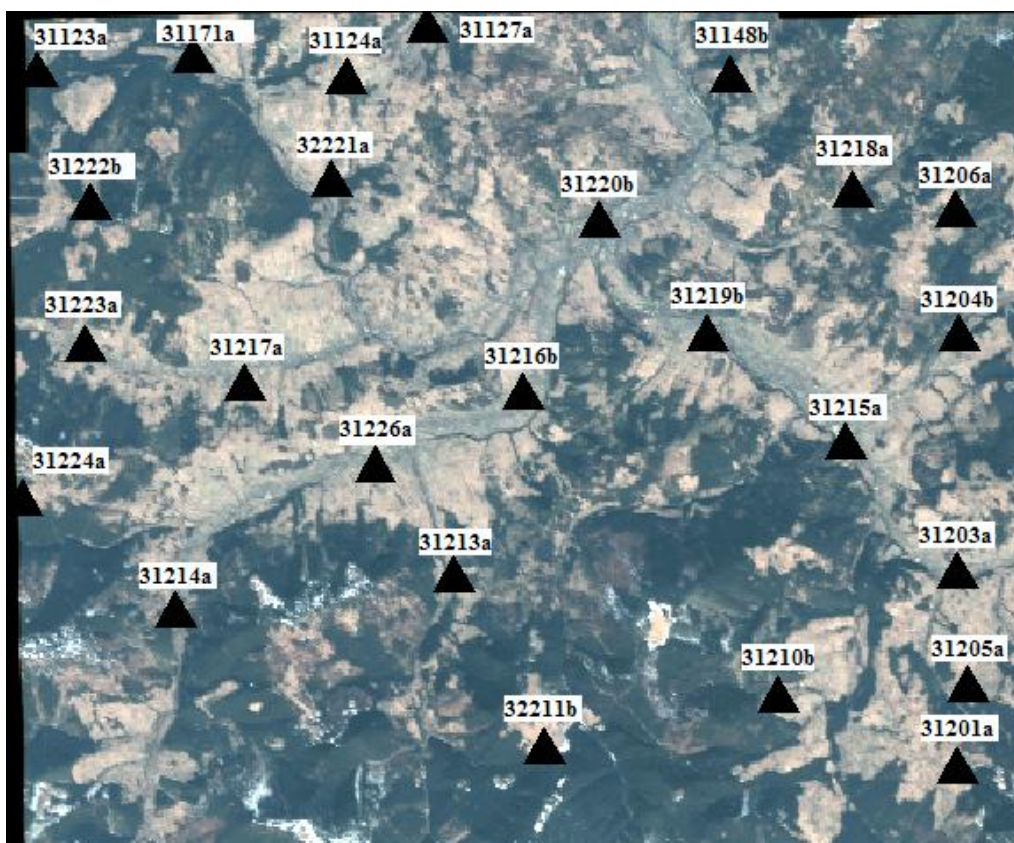
Współczynniki tych wielomianów w formie fizycznych plików RPC w połączeniu z pomierzonymi fotopunktami pozwalają wyznaczyć matematyczne relacje jakie zachodzą pomiędzy obrazem, a powierzchnią fizyczną terenu. Głównym celem rozważań w tym artykule jest badanie wpływu liczby fotopunktów i ich optymalnego rozmieszczenia w obrębie sceny satelitarnej na precyzję tworzonej ortofotomapy.

2. Charakterystyka danych inicjalnych

Do przeprowadzenia testów użyto sceny satelitarnej (pansharpen) pokrywającej obszar Parku Krajobrazowego Beskidu Śląskiego. Zespolenia obrazów panchromatycznego 1 m i wielospektralnego 4 m dokonała wcześniej firma Bałtyckie Centrum SIP w Sopocie. Obrazy te wykonano w kwietniu 2003 r. Jak wiadomo, podczas obrazowania przy dużym wychyleniu sensora satelity, następuje pogorszenie rozdzielczości pozyskanego obrazu. Zaznacza się duży wpływ deniwelacji terenu, co wiąże się z potrzebą rektyfikacji zniekształceń do tego samego poziomu co rozdzielczość. Wpływ deniwelacji zależy od kąta wychylenia układu, im większy kąt tym większe zniekształcenie. Dlatego też do korekcji potrzebny jest numeryczny model terenu. Dla większych zniekształceń geometrycznych stosujemy bardziej dokładny (DTM). Kąt nominalnego wychylenia sensora satelity podczas obrazowania w tym przypadku wynosi 8° . Przy takim wychyleniu oraz jeżeli mamy do czynienia z terenem o małych deniwelacjach wpływ DTM na poprawę geometrii obrazu jest znikomy. Natomiast na obszarze o dużym pofałdowaniu powierzchni, tak jak w tym przypadku, DTM odgrywa znaczącą rolę. Całego procesu ortorektyfikacji dokonano w oprogramowaniu Erdas Imagine 8.5 uzyskując ortoobraz w układzie współrzędnych 1992. Dane były 27 punktów osnowy fotogrametrycznej. Do opracowania sceny panchromatycznej przyjęto 24 fotopunkty rozmieszczone tak jak na rysunku 1. W trakcie ortorektyfikacji 3 z nich o numerach 31 225, 31 206, 31 125 nie zostały wykorzystane. Rezygnacja z pierwszego punktu związana było z trudnością jego identyfikacji na obrazie satelitarnym, natomiast w pozostałych stwierdzono błędy grube pomiaru terenowego. Jako fotopunkty przyjmowane były szczegóły sytuacyjne naturalne i pochodzenia antropogenicznego np: skrzyżowania dróg. Pomiar odbywał się bezpośrednio w terenie przy użyciu technologii GPS metodą różnicową. Punkty GCPs (ground control points) opisane są przez trzy współrzędne geodezyjne (B,L,H) dla elipsoidy odniesienia w układzie „1992”. Identyfikacja fotopunktów na obrazie

przy użyciu oprogramowania Erdas Imagine 8.5 była możliwa z dokładnością podpixelową. Space Imaging Inc. wymaga pomiaru fotopunktów z dokładnością sytuacyjną 20 cm i wysokościową 60 cm. W tym przypadku dokładność pomiaru osnowy wynosiła 10 cm (x,y) oraz 50 cm (z). Lokalizacja fotopunktów wewnątrz sceny sprowadzona była do następujących wytycznych:

- punkty powinny leżeć możliwie blisko krawędzi sceny,
- punkty nie powinny leżeć wzdłuż linii skanera,
- należy unikać punktów położonych wzdłuż terenowego śladu orbity satelity,
- punkty wewnątrz bloku należy rozmieszczać w miarę równomiernie.



Rys.1

3. Prezentacja wyników

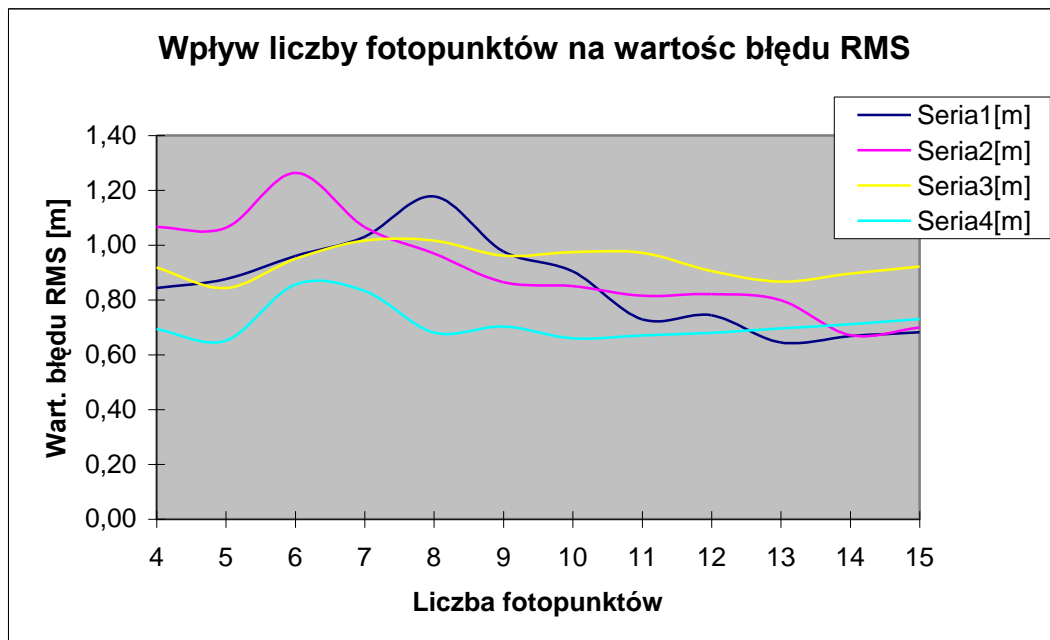
Do przeprowadzonych prac eksperymentalnych zalicza się:

- badanie wpływ liczby fotopunktów na wartość błędu RMS,
- porównanie błędów RMS ortobrazu ortorektyfikowanego w oparciu o dwa NMT,

- porównania wartości wysokości numerycznych modeli terenu,
- nałożenie danych ewidencyjnych powiatu nowosądeckiego z obszaru Muszyna na fragment zortorektifikowanego obrazu IKONOSA.

Wpływ liczby fotopunktów na wartość błędu RMS

Przedstawione w seriach zbiory danych inicjalnych czterech wariantów obliczeń mają na celu określenie wpływu liczby fotopunktów na wzrost dokładności ortorektifikowanego obrazu. Każda z serii przedstawiona została w formie wykresu (rys.2).



Rys.2

Liczba wszystkich punktów użyta do analizy wynosi 24. Minimalna liczba fotopunktów od których rozpoczęto pomiar to 4, pozostałe wykorzystano jako punkty kontrolne. Następnie kolejno zwiększano liczbę fotopunktów a kontrolnych proporcjonalnie zmniejszano, aż do osiągnięcia 15 fotopunktów i 9 punktów kontrolnych. W taki sposób powstał zbiór danych przedstawiający zależność błędu RMS od liczby fotopunktów na danej scenie. Te same czynności powtórzono dla pozostałych wariantów z tą różnicą, że przyjęto do rozkładu błędu RMS inne fotopunkty na przemian z punktami kontrolnymi. Prawdziwość wyników oparto na wartościach błędów RMS liczonych na punktach kontrolnych CHKs (ang. check point).

Seria pierwsza:

- 4 fotopunkty – całkowity błąd RMS ≈ 0.8 piksela,
- maksimum błędu serii przypada na 8 fotopunktów z błędem RMS ≈ 1.2 piksela,

- minimum błędu serii przypada na 13 fotopunktów z $RMS \approx 0.7$ piksela,
- Stała wartość błędu zaczyna się od 11 fotopunktów i wynosi $RMS \approx 0.75$ piksela.

Największe błędy RMS punktów kontrolnych na ortorektyfikowanej scenie satelitarnej w oparciu o 8 fotopunktów przypadają następującym punktom:

| Nr.punktu | RMS X [piksela] | RMS Y [piksela] |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 31148 | -2.05 | 0.99 |
| 31201 | 1.72 | 0.80 |
| 31217 | 0.90 | -1.40 |

Seria druga:

- 4 fotopunkty – całkowity błąd $RMS \approx 0.8$ piksela,
- maksimum błędu serii przypada na 8 fotopunktów z $RMS \approx 1.2$ piksela,
- minimum błędu serii przypada na 14 fotopunktów z $RMS \approx 0.7$ piksela,
- Stała wartość błędu zaczyna się od 11 fotopunktów i wynosi $RMS \approx 0.75$ piksela.

Największe błędy RMS punktów kontrolnych na ortorektyfikowanej scenie satelitarnej w oparciu o 6 fotopunktów przypadają następującym punktom:

| Nr.punktu | RMS X [piksela] | RMS Y [piksela] |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 31148 | -1.73 | 0.72 |
| 31204 | -1.60 | 0.75 |
| 31215 | -1.43 | 0.87 |
| 31216 | -1.02 | 1.55 |
| 31219 | -1.07 | 0.60 |

Seria trzecia:

- 4 fotopunkty – całkowity błąd $RMS \approx 0.9$ piksela,
- maksimum błędu serii przypada na 7 fotopunktów z $RMS \approx 1$ piksel,
- minimum błędu serii przypada na 5 fotopunktów z $RMS \approx 0.8$ piksela,
- Stała wartość błędu zaczyna się od 7 fotopunktów i wynosi $RMS \approx 1$ piksel.

Największe błędy RMS punktów kontrolnych na ortorektyfikowanej scenie satelitarnej w oparciu o 7 fotopunktów przypadają następującym punktom:

| Nr.punktu | RMS X [piksela] | RMS Y [piksela] |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 31205 | -1.40 | -0.48 |
| 31214 | 1.07 | 0.33 |
| 31218 | 1.77 | -0.79 |

Seria czwarta:

- 4 fotopunkty – całkowity błąd $RMS \approx 0.8$ piksela,
- maksimum błędu serii przypada na 6 fotopunktów z $RMS \approx 0.85$ piksela,
- minimum błędu serii przypada na 5 fotopunktów z $RMS \approx 0.65$ piksela,
- Stała wartość błędu zaczyna się od 8 fotopunktów i wynosi $RMS \approx 0.7$ piksela.

Największe błędy RMS punktów kontrolnych na ortorektyfikowanej scenie satelitarnej w oparciu o 6 fotopunktów przypadają następującym punktom:

| Nr.punktu | RMS X [piksela] | RMS Y [piksela] |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 31210 | -1.05 | -0.82 |
| 31211 | -0.97 | -0.91 |
| 31218 | 1.49 | -0.12 |

Analizując rysunek 2 można stwierdzić, że wszystkie przedstawione serie mają podobny przebieg. Zarówno dla serii 1 i 3, jak również i 4 maksimum błędu przypada na 6, 7 fotopunktów. Odmienne zachowuje się seria 2, gdzie maksimum przypada na 8 fotopunktów, a stałą wartość błędu RMS funkcja osiąga dopiero na 11 fotopunktach. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że ortorektyfikacja sceny satelitarnej w oparciu o 7 fotopunktów pozwoli na uzyskanie wielkości błędu $RMS \approx 1$ piksel, mieszczącego się w granicy rozdzielczości obrazu. Zwiększona liczba fotopunktów nieznacznie wpłynie na poprawę geometrii sceny satelitarnej. Błąd średni kwadratowy dla 12 fotopunktów wyniesie 0.80 piksela. Wzrost dokładności o taką wielkość nie przekłada się na koszt pomiaru dodatkowych punktów.

Porównanie błędów RMS ortoobrazu ortorektyfikowanego w oparciu o dwa NMT

Posiadając dwa NMT, jeden udostępniony przez BC SIP (DTM), drugi udostępniony przez CODGiK (DTED Level 2) została przeprowadzona ortorektyfikacja oddzielnie dla każdego z nich w oparciu o 4,9 i 15 fotopunktów.

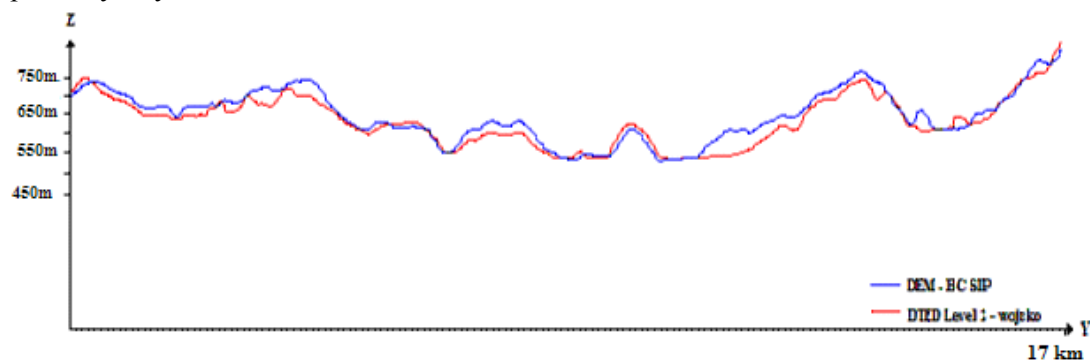
Różnice wartości błędu RMS ortorektyfikowanej sceny na dwóch różnych NMT wynosi:

| Liczba fotopunktów | RMS_{GCPs} DTED-DTM [piksel] | RMS_{CHKs} DTED-DTM [piksel] |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 4 | 0.02 | 0.15 |
| 9 | -0.02 | 0.12 |
| 15 | 0.02 | 0.15 |

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że nie ma znacznych rozbieżności, jeśli chodzi o wielkość błędu RMS, pomiędzy ortorektifikacją sceny satelitarnej w oparciu o dwa różne NMT. Rozbieżność ta osiąga maksymalną wartość około 0.15 piksela. Przyczynę tak niewielkiej różnicy można dopatrywać się w mniejszej wielkości oczka siatki DTM (BC SIP), która wynosi 20 m, w stosunku do oczka siatki DTED Level 2, dla którego wynosi ona około 30 m. Dodatkowo na rozbieżność wpływa także wielkość błędu wysokości NMT, która jest mniejsza dla DTM (BC SIP). A zatem można wnioskować, że wyniki ortorektyfikacji sceny satelitarnej przy użyciu obu NMT będą poprawne.

Porównania wartości wysokości numerycznych modeli terenu

W oparciu o program „Cross” dokonane zostało porównanie wartości wysokości numerycznych modeli terenu. Porównanie to dotyczyło poprowadzenia profili wzdłuż badanej sceny. Różnice wysokości NMT dla jednego z profili przedstawione są na poniższym rysunku 3.



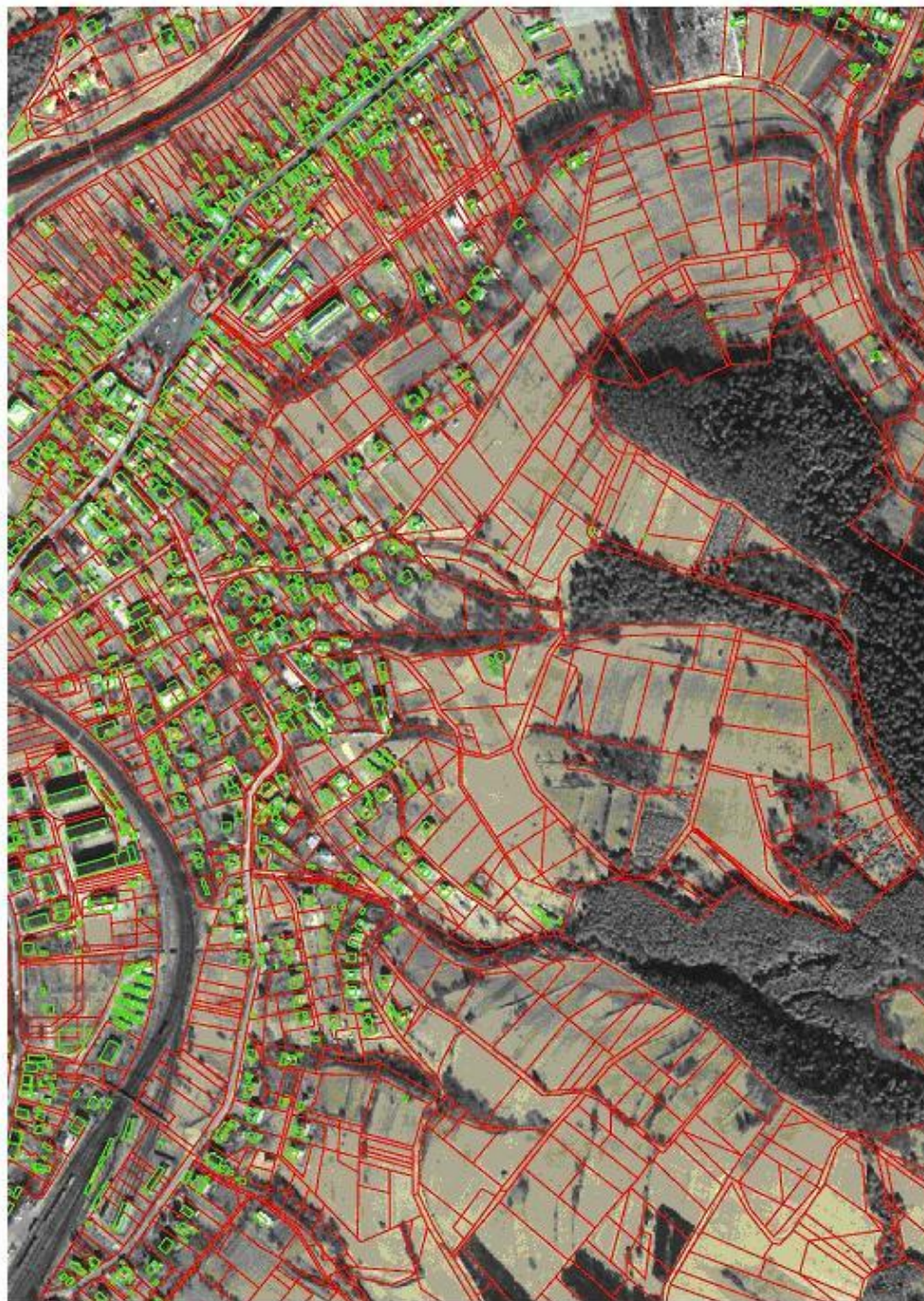
Rys.3

Profil 1: (Współrzędna X = 180754 – ukł.1992)

Maksymalna różnica wysokości = 36 m (Y = 508574) -las

Minimalna różnica wysokości = -79 m (Y = 512454) -las

Na podstawie otrzymanych wykresów i lokalizacji obiektów dla największych odchyłeń profili, które dochodzą do 80 m można stwierdzić, że największe różnice wysokości NMT opisanego obszaru występują na terenach leśnych. Wiedząc że, DTED Level 2 wygenerowany został na podstawie materiału źródłowego: mapy topograficznej w skali 1:50 000, oraz wykazanych rozbieżności na rysunku x należy przypuszczać, iż DEM BC SIP został wykonany w oparciu o metodę automatycznego generowania NMT nie korygującej pokrycia terenu.



Rys.4

Nalożenie danych ewidencyjnych powiatu nowosądeckiego z obszaru Muszyna na fragment zortorektyfikowanego obrazu IKONOSA

Podjęta została również próba ortorektyfikacji obrazu satelitarnego pokrywającego obszar Muszyna w oparciu o dane ewidencji gruntów i budynków z tego samego obszaru. Niestety po zaimportowaniu danych ewidencyjnych do oprogramowania Erdas Imagine 8.5 oraz nałożeniu ich na scenę satelitarną z obszaru powiatu nowosądeckiego (obszar Muszyna), stwierdzono niewykonalność tego procesu. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy była, niewystarczająca ilość danych wektorowych. Na całym obrazie można było jedynie zlokalizować punkty w obszarze Miasta. Dla takiej lokalizacji punktów nie jest możliwe przeprowadzenie ortorektyfikacji. Z powyższej analizy wynika, że do ortorektyfikacji tą metodą (w oparciu o dane Ewidencji Gruntów i budynków) niezbędne jest położenie analizowanych danych w obrębie danej sceny. Z braku możliwości ortorektyfikacji tą metodą, przeprowadzono nałożenie danych Ewidencji Gruntów i Budynków pow. Nowosądeckiego dla miasta Muszyna na zortorektyfikowaną scenę satelitarną. Wynik nałożenia przedstawiony jest w formie graficznej na rysunku 4.

4. Podsumowanie

Przedstawione tu wyniki świadczą, że na jakość geometrii tworzonej ortofotomapy wpływa jakość danych inicjalnych. Pod pojęciem jakości danych inicjalnych autor rozumie dokładność ich pozyskania, jeśli chodzi o osnowę fotogrametryczną i NMT, a także rozkład i liczbę fotopunktów potrzebnych do ortorektyfikacji sceny satelitarnej. Systematyka rozkładu punktów i ich liczby w zależności od błędu RMS wskazuje na to, że do poprawnej ortorektyfikacji sceny satelitarnej systemu Ikonos wystarczy minimum 5-7 punktów. Ortorektyfikacja z użyciem takiej liczby punktów pozwala na uzyskanie błędu RMS rzędu 1 piksela. Zwiększenie liczby fotopunktów od 12 w tych pracach poprawiło dokładność produktu (ortofotomapy) jedynie o 20%. Dlatego też wydaje się, że użycie 7 fotopunktów na korygowaną scenę jest wielkością optymalną.

Literatura

- [1] Bałtyckie centrum SIP: Technologia opracowania, wewnętrzna kontrola jakości.
- [2] Zdzisław Kurczyński, Ryszard Preuss: Podstawy Fotogrametri. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2003.
- [3] Daniela Poli: Direct georeferencing of multi-line images with a general sensor model. ISPRS Workshop 'High Resolution Mapping from Space 2001'. Hanover, Germany.
- [4] Zdzisław Kurczyński, Wiesław Wolniewicz: Korekcja geometryczna wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych, „Zrób to sam”. Geodeta, str.6-11, listopad 2002.
- [5] Grodecki J., Gene D.: IKONOS Geometric accuracy. ISPRS Workshop, Hanover, 19-21 September 2001.

- [6] Frank Gerlach: Characteristics of Space Imaging's One-Metre Resolution Satellite Imagery Products. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000.
- [7] Frank Gerlach: The future IKONOS Next Generation Satellite (Block II). Space IMAGING Visual Information, Visible Results. 14 February 2003.
- [8] Karsten Jacobsen: Comparison of High Resolution Mapping from Space. Ahmedabad, India, INCA 2002.
- [9] Karsten Jacobsen: Geometric Aspekts of the Handling of Space Images. ISPRS Commissions I / Pecora 15 Conference Proceedings, IntArchPhRS (34) Part 1 Com I, pp 89-93, Denver 2002.
- [10] Peter Spruyt: QuickBird imagery project for Cyprus coverage. Monitoring Agriculture with Remote-Sensing, MARS unit.
- [11] David Holland, Bob Guilford and Keith Murray: Oeep-Project on Topographic Mapping from High Resolution Space Sensors. Official Publication N^o 44. October 2002.

Recenzował: prof. dr hab. Romuald Kaczyński