

**OPRACOWANIE CYFROWEJ ORTOFOTOMAPY
DO PROJEKTU OBWODNICY OLSZTYNA**

**PRODUCTION OF A DIGITAL ORTHOPHOTOMAP
FOR THE OLSZTYN BELTWAY PROJECT**

Małgorzata Szumiło¹, Marek Mróz¹, Wojciech Jach²

¹ Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

² Profil Sp. z o.o., Gdańsk

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa do projektów, zdjęcia lotnicze, korekcje radiometryczne

STRESZCZENIE: Ortofotomapa jest obrazem terenu powstałym ze zdjęć lotniczych bądź satelitarnych przetworzonych do jednolitej skali w założonym odwzorowaniu kartograficznym. Jako opracowanie fotogrametryczne, które łączy w sobie zalety tonalności odwzorowania fotograficznego z metrycznością „tradycyjnej” mapy, jest bardzo atrakcyjnym podkładem kartograficznym gdyż pozwala na spojrzenie syntetyczne, kompleksowe na problem zagospodarowania terenu. Te cechy sprawiają, iż ortofotomapa coraz częściej wykorzystywana jest do celów projektowych. Niniejszy artykuł poświęcony jest problemowi stworzenia odpowiedniego podkładu kartograficznego do projektowania wariantów przebiegu obwodnicy miasta Olsztyna. Warunki, jakie miały spełniać materiały to: aktualność danych, krótki okres ich wytworzenia oraz czytelność dla osób spoza branży geodezyjnej. Opracowanie miało być nie tylko wykorzystane do celów projektowych, ale także do przedstawienia koncepcji projektowych mieszkańcom terenów objętych przebiegiem korytarzy planowanej obwodnicy. Posiadana przez firmę projektową ortofotomapa wykonana z wysokorozdzielczego obrazu satelitarnego zarejestrowanego wczesną wiosną 2006 r. nie pokrywała w całości terenu objętego projektem. Określono więc dwa warianty uzupełnienia danych. Pierwszy to zamówienie obrazu satelitarnego o odpowiedniej rozdzielczości przestrzennej, co wiązało się z programowaniem rejestracji i znacznym wydłużeniem czasu opracowania. Drugi wariant, przyjęty do realizacji, zakładał wykorzystanie zdjęć lotniczych w skali 1: 8 000 wykonanych w październiku 2005 r., będących w zasobie Urzędu Miasta Olsztyna. W procesie generowania ortofotomapy wykorzystano Numeryczny Model Terenu zakupiony z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Ortofotomapa opracowana w ciągu zaledwie 5 dni na rzecz projektu obwodnicy jest atrakcyjnym wizualnie i zrozumiałym dokumentem kartograficznym dla większości osób zainteresowanych. Przedstawienie proponowanych wariantów przebiegu drogi i ocena pomysłów projektantów jest łatwiejsza i bardziej przemawia do wyobraźni niż skomplikowane rysunki techniczne. W trakcie opracowania ortofotomapy zdjęcia poddano również korekcjom radiometrycznym redukującym wpływ spadków jasności i kierunkowości oświetlenia terenu.

1. CEL OPRACOWANIA

W ciągu ostatnich kilku lat obserwuje się w Polsce wzmożone inwestycje w wielu branżach gospodarki. Związane jest to z wejściem Polski do Unii Europejskiej. Lokowanie otrzymanych funduszy najbardziej zauważyć można poruszając się po polskich drogach i czytając tablice informujące o projektach unijnych, których celem jest sfinansowanie remontu istniejących dróg bądź budowy nowych odcinków tras tj. dróg szybkiego ruchu, obwodnic miast itp. Niezbędnym elementem tych inwestycji jest sporządzenie dokumentacji projektowej. Firmy zajmujące się sporządzaniem takich projektów zmuszone są do poszukiwania najbardziej aktualnego podkładu kartograficznego, na którym mogłyby zaproponować przebieg różnych wariantów nowoprojektowanych odcinków tras. Taki materiał kartograficzny musi charakteryzować się nie tylko odpowiednią dokładnością i aktualnością, ale musi też być czytelny dla osób spoza branży. Bardzo często dla mieszkańców, którzy zaniepokojeni naruszeniem stanu istniejącego, do którego się przyzwyczaili lub, który zastali inwestując w nieruchomości, wyrażają swoje negatywne opinie o inwestycji na spotkaniach z projektantami podyktowane bardziej „strachem na zapas” niż rzeczywistym rozeznaniem sytuacji. Ortofotomapa pomaga wszystkim stronom w dyskusji. Uwzględniając doświadczenia projektanta w kontaktach z przedstawicielami lokalnych społeczności „dotkniętych” nowymi inwestycjami infrastrukturalnymi trudno przecenić znaczenie ortofotomapy jako właściwego medium do dialogu stron.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW WYKORZYSTANYCH W OPRACOWANIU

Obszar opracowania położony na północ od Olsztyna pomiędzy miejscowościami Spęcowo - Dywity - Różnowo zajmował powierzchnię około 30 km². Do wykonania barwnej ortofotomapy o terenowej wielkości piksela równej 0.5 m, a więc możliwej do prezentowania w postaci wydruku w skali 1:5 000, bez widocznej „pikselowej” struktury obrazu cyfrowego wykorzystano 28 zdjęć lotniczych. Tworzyły one blok złożony z 5 szeregów. Zdjęcia te wykonane zostały w dniu 2 października 2005 roku kamerą fotogrametryczną LMK 2030 firmy Zeiss. Nalot fotogrametryczny cechowały następujące parametry:

- skala zdjęć 1:8 000,
- format zdjęć 230×230 mm,
- obiektyw o odległości obrazowej $f = 305$ mm,
- terenowy zasięg zdjęcia: $L=1\ 840$ m,
- powierzchnia pokryta jednym zdjęciem $P = 3.38$ km²
- pokrycie podłużne zdjęć $p \geq 60$ %,
- pokrycie poprzeczne $q \geq 25$ %.

Zdjęcia były zeskanowane z rozdzielczością 1 200 dpi, co daje wymiar piksela na zdjęciu około 21 μm, oraz w terenie około 16.9 cm. Wielkości te wskazują na bardzo korzystne warunki wykonania ortofotomapy z pikselem terenowym 0.5 m. Oprócz zdjęć niezbędny do wykonania ich ortorektyfikacji jest numeryczny model terenu. Ze względu na zakładany bardzo krótki czas opracowania ortofotomapy autorzy wykorzystali Numeryczny Model Terenu zakupiony z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej

i Kartograficznej. Jest to model, który powstał w ramach tworzenia Bazy Danych Topograficznych (TBD). Materiałem wyjściowym do jego stworzenia były rysunki rzeźby i sytuacji zeskanowane z diapozytywów wydawniczych map topograficznych w skali 1:10 000 i zdjęcia lotnicze w skali 1:26 000. Na terenach leśnych wykonano wektoryzację warstwic, pikiet i innych elementów rzeźby terenu, na pozostałych terenach zastosowano technologię fotogrametryczną do pozyskiwania danych wysokościowych. Zwektoryzowane obiekty tworzące model numeryczny to m.in. warstwice, linie cieków i granice zbiorników wodnych, koty, linie nieciągłości terenowych, linie grzbietowe.

Przeprowadzona analiza porównawcza dokładności modelu stworzonego tą metodą z modelem stereoskopowym wykazała, że średni błąd określenia wysokości metodą fotogrametryczną wyniósł 0.7÷1.0 m. Średni błąd określenia wysokości z materiałów kartograficznych (dla cięcia warstwicowego 5 m) wynosi 1.67 m przy nachyleniu terenu < 2 % i 3.33 m dla nachylenia > 2 % (Przywara, 2000). NMT znajdujący się w zasobach CODGiK jest udostępniany w modułach odpowiadających krojowi sekcyjnemu map topograficznych w trzech formatach: ASCII, TIN, TTN. Do realizacji zadania wykorzystano dane w formacie ASCII – formacie pliku tekstowego dającego możliwość odczytu danych niezależnie od posiadanego oprogramowania.

3. ETAPY PRAC I WYNIKI

Zgodnie z Wytocznymi Technicznymi K-2.8 „Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1:10 000” stosuje się dwa zasadnicze warianty technologiczne ortorektyfikacji: cyfrowy i analogowo-cyfrowy.

Do czynności, które należy wykonać przy budowie cyfrowej ortofotomapy należą:

- wyznaczenie elementów orientacji wewnętrznej zdjęć,
- określenie elementów orientacji zewnętrznej zdjęć, najczęściej w procesie aerotriangulacji,
- pozyskanie Numerycznego Modelu Terenu,
- ortorektyfikacja,
- mozaikowanie ortoobrazów.

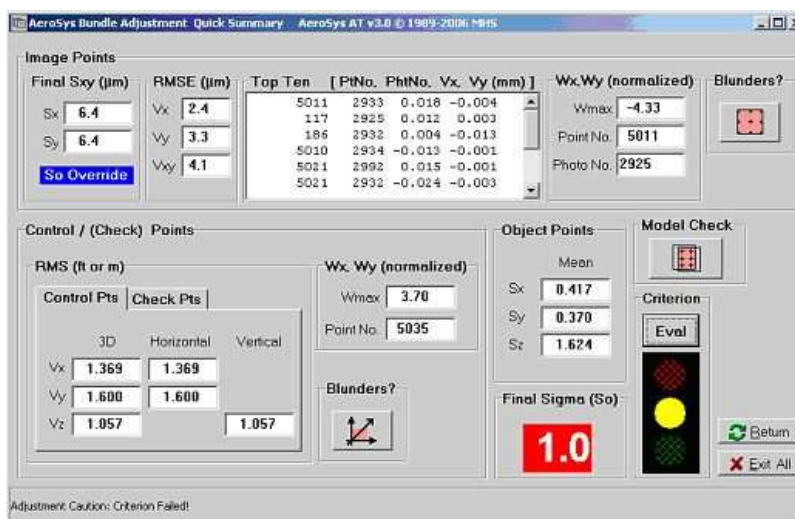
Etap pozyskania NMT można pominąć wykorzystując już istniejący, o ile charakteryzuje się wystarczającą dokładnością. Do generowania ortofotomapy wykorzystano pakiet oprogramowania ENVI w wersji 4.1. Oprogramowanie to pozwala wykonać niemal wszystkie opisane powyżej czynności. O ile jednak na podstawie metryki kamery w prosty sposób przeprowadzono w ENVI orientację wewnętrzną zdjęć lotniczych, o tyle wykonanie orientacji zewnętrznej wymagało większego nakładu pracy. Ponieważ orientacja zewnętrzna wyznaczana jest na podstawie grupy punktów o znanych współrzędnych X, Y, H w docelowym układzie opracowania należało, więc zdjęcia uzbroić w niezbędną liczbę takich punktów dla wykonania procesu aerotriangulacji.

Ortofotomapa opracowywana była dla terenu otwartego o charakterze rolniczym. Wybór i identyfikacja odpowiednio rozmieszczonych, niesygnalizowanych, naturalnych fotopunktów w takim terenie były bardzo trudne. Współrzędne geodezyjne B, L, H punktów niezbędnych do obliczeń zostały wyznaczone na podstawie pomiarów odbiornikiem GPS w kilkuminutowych sesjach. Następnie zostały one przeliczone do

układu „65” zgodnie z wymaganiami postawionymi przez zleceniodawcę. Otrzymane wyniki aerotriangulacji przeprowadzonej w programie AeroSys prezentuje rysunek 1.

Kolejnym etapem prac było przygotowanie NMT w postaci rastrowej. Wszystkie dane zawarte w Bazie Danych Topograficznych, w tym także numeryczny model terenu, są gromadzone w układzie PUWG_1992, właściwym dla opracowań topograficznych. Pierwszym krokiem budowy NMT na podstawie danych w formacie ASCII zakupionych z CODGiK było przeliczenie współrzędnych punktów na układ „65”. Następnie na podstawie otrzymanego zbioru pikiet wygenerowano model terenu w postaci nieregularnej siatki TIN. Taka struktura danych jest najbardziej powszechna do modelowania powierzchni z zapisem wektorowym.

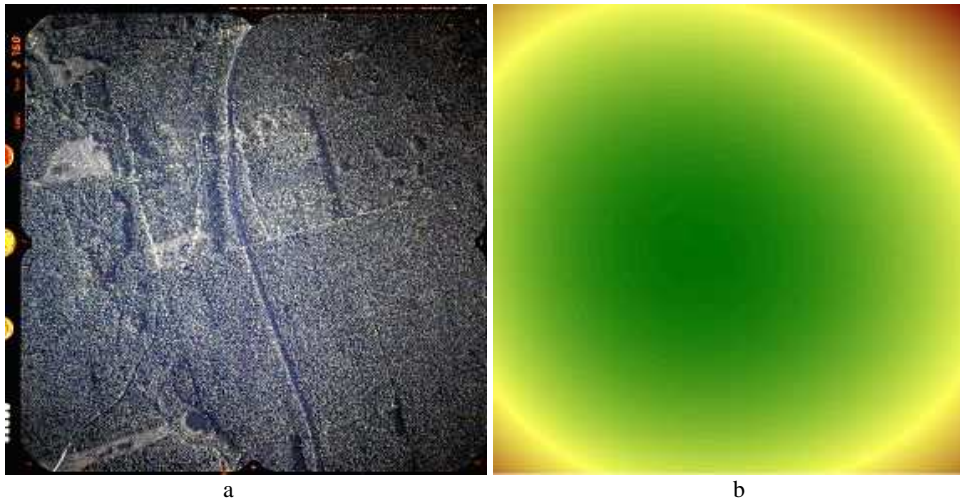
Model TIN poddano następnie konwersji wektorowo-rastrowej przyjmując „oczko siatki” interpolacji, czyli wymiar piksela obrazu rastrowego o wymiarach 20×20 m. Jest to gęstość porównywalna ze średnią gęstością rozmieszczenia pikiet pierwotnego modelu wektorowego na terenach niezurbanizowanych. Model wysokościowy przepróbkowano następnie do mniejszego rozmiaru piksela 1×1 m oraz poddano filtracji wygładzającej, aby uniknąć efektów „blokowych” w trakcie generowania ortoobrazu o terenowej wielkości piksela 0.5×0.5 m. Tak przygotowane dane posłużyły to ortokorekcji 16 zdjęć. Ortoobrazy tworzono, z co drugiego zdjęcia w szeregu i dla nich wykonano mozaikowanie.



Rys. 1. Okno programu AeroSys z wynikami rozwiązania aerotriangulacji

W trakcie mozaikowania ortoobrazów stwierdzono, że zaobserwowane pierwotnie spadki jasności zdjęć, jak również kierunkowość oświetlenia wywołują duże deformacje radiometryczne wyraźnie widoczne w okolicach linii mozaikowania. Podstawowym środkiem zaradczym jest oczywiście mozaikowanie wszystkich, kolejnych obrazów w szeregu, w obszarach środkowych zdjęć, najmniej skażonych kierunkowością oświetlenia i winietowaniem obiektywu. To rozwiązanie wymaga jednak podwójnego nakładu czasu obliczeń i pracy przy manualnym wyborze linii mozaikowania, dlatego wykonano próbę

korekcji radiometrycznej na mozaikowanych obrazach. Rysunek 2a przedstawia oryginalne zdjęcie, dla którego kierunek oświetlenia słonecznego pokrywa się w przybliżeniu z poziomą łącznicą znaczków tłowych. Zdjęcia wykonane były w godz. 11-13, przy kierunku głównym Północ-Południe. W trakcie skanowania zostały obrócone o 90° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara i przy takim ułożeniu przestawione na rysunkach 2a i b.



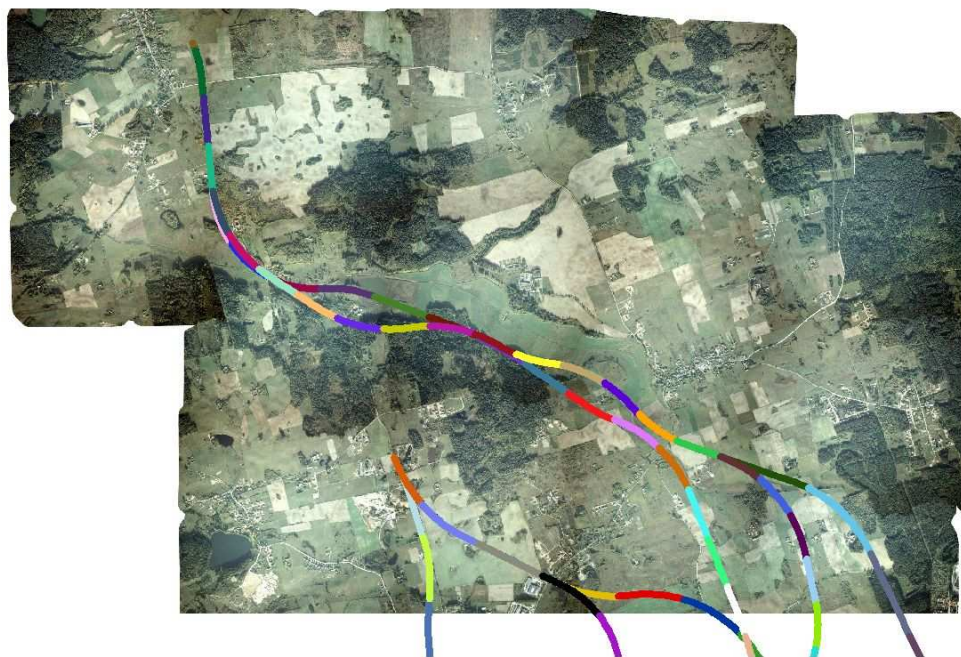
Rys. 2. Zdjęcie oryginalne (a); średnia powierzchnia trendu (b)

Wykonana korekcja była korekcją sumaryczną, uwzględniającą różne składowe oświetlenia, bez rozdzielania na komponent winietowania oraz komponent kierunkowości oświetlenia i odbicia. Na podstawie pomiaru średnich wartości pikseli w kanałach RGB obliczonych dla 36 równomiernie rozłożonych pól wzorcowych wyznaczono 3 powierzchnie trendu aproksymowane funkcją kwadratową. Pola wzorcowe obejmujące od kilkuset do tysiąca pikseli wyznaczono na obszarze obiektów o teoretycznie jednorodnych właściwościach odbicia spektralnego. W przytoczonym przykładzie na rysunku 2a są to obszary leśne o jednorodnej strukturze i teksturze. Średnia powierzchnia trendu dla 3 składowych RGB pokazana na rysunku 2b ujawnia dwie cechy zniekształceń radiometrycznych obrazu fotograficznego: silną asymetryczność rozkładu jasności spektralnych oraz istotne różnice między poszczególnymi komponentami barwnymi. W celu podkreślenia tej ostatniej cechy wygenerowano kompozycję barwną trzech powierzchni trendu przedstawioną na rysunku 3a. Wyniki korekcji zdjęcia z zastosowaniem uzyskanych powierzchni trendu przedstawiono na rysunku 3b.

Rysunek 4 przedstawia cały obszar opracowanej ortofotomapy wraz z liniami proponowanego przebiegu osi korytarzy obwodnicy. Na kolejnych trzech rysunkach pokazano efekt korekcji radiometrycznych zdjęć w okolicach przebiegu linii mozaikowania.



Rys. 3. Kompozycja barwna trzech powierzchni trendu (a); zdjęcie skorygowane (b)



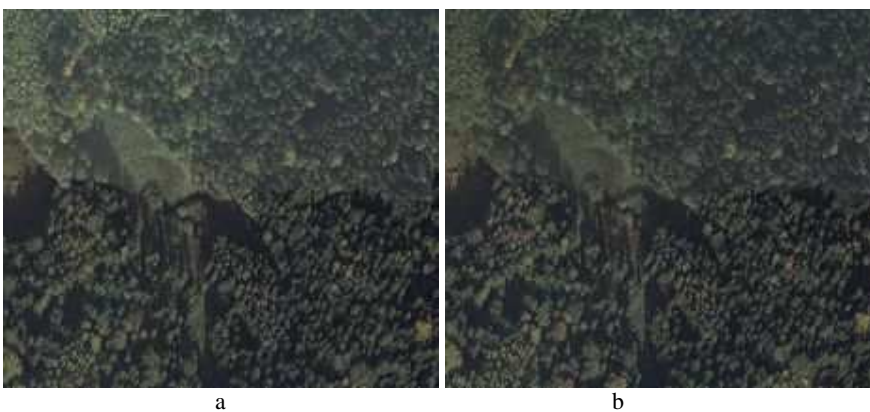
Rys. 4. Ortofotomapa obszaru północno-wschodniego odcinka obwodnicy Olsztyna



Rys. 5. Strefa mozaikowania bez korekcji (a) oraz z korekcją (b)



Rys. 6. Strefa mozaikowania bez korekcji (a) oraz z korekcją (b)



Rys. 7. Strefa mozaikowania bez korekcji (a) oraz z korekcją (b)

4. WNIOSKI

Opracowana w bardzo krótkim czasie ortofotomapa spełniła oczekiwania zamawiającego-projektanta obwodnicy. Uzyskano zadawalające go dokładności geometryczne jak również satysfakcjonujące walory kolorystyczne. Przyjęta technologia oparta o wyznaczenie par fotopunktów i pomiar ich współrzędnych metodą GPS, ale w krótkich sesjach oraz wykorzystanie istniejącego w CODGiK numerycznego modelu terenu okazała się trafna z punktu widzenia potrzeb szybkiego opracowania ortofotomapy. Wyniki w zakresie korekcji radiometrycznych zdjęć otrzymane na tym etapie wskazują, że korygowanie spadków jasności dla badanego bloku zdjęć nie powinno ograniczać się wyłącznie do korygowania symetrycznego i radialnego zjawiska winietowania obiektywu. Sposób podejścia do ścisłego, tj. bardziej teoretycznego i modelowego rozwiązania tego problemu będzie analizowany w dalszych badaniach z oczywistym uwzględnieniem wyników uzyskanych w tym opracowaniu na drodze całkowicie empirycznego rozwiązania.

5. LITERATURA

Jakomulska A., Sobczak M. – Korekcja radiometryczna obrazów satelitarnych – metodyka i przykłady. *Teledetekcja środowiska*. Nr 32, Warszawa.

Przywara J., Wyboista droga do TBD, *Geodeta*, 4 (59).

Wytyczne techniczne K-2.8. Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1:10 000.

<http://www.geoforum.pl/archiwum/2000/59text3.htm>.

http://www.gugik.gov.pl/gugik/w_pages/w_doc_show.php?loc=20&doc=13.

PRODUCTION OF A DIGITAL ORTHOPHOTOMAP FOR THE OLSZTYN BELTWAY PROJECT

KEY WORDS: orthophotomap for project, aerial photographs, radiometric corrections

Summary

An orthophotomap is an image of the Earth's surface generated from an aerial photograph or a satellite image that has been geometrically corrected such that the scale of the image is uniform. This photogrametric product, which combines the advantages of a photograph's tone and measurement possibility, allow a synthetic look at the problem of land management (spatial planning). For this reason, an orthophotomap is more often used as base-map for project purposes.

This paper describes the methodology of the production of an orthophotomap for the beltway construction project for the city of Olsztyn. The first part of the beltway project was presented for the local authorities and inhabitants on a satellite map background. The remaining part of the area of interest had not been imaged recently by any high resolution satellite system and had to be completed using recent aerial photographs taken on the scale of 1:8 000. As the project was very urgent, an ordered color orthophotomap for a surface of about 30 km² with a pixel size of 0.5 m had to be

produced within 5 days by 2 persons. Aerotriangulation for a block of 28 photographs placed in 5 strips was completed to obtain elements of the exterior orientation of the images.

Two main aspects of further projects are also presented in this paper:

- the use of the digital terrain model available in the Central Geodetic Office for the orthorectification process,
- an attempt at radiometric correction of aerial photographs based on spectrally homogenous and regularly distributed samples of pixels.

Dr inż. Marek Mróz
e-mail: marek.mro@uwm.edu.pl
tel. +89 5234915

Mgr inż. Małgorzata Szumiło
e-mail: malgorzata.szumilo@uwm.edu.pl
tel. +89 5234925

Mgr inż. Wojciech Jach
wjach@gdansk.profilsp.com.pl
tel. +58 3042152