

Uproszczona ortofotomapa na podstawie małoobrazkowych zdjęć lotniczych i obrazów video

Simplify orthophotomap on the basis of 35 millimeter aerial photographs and video images

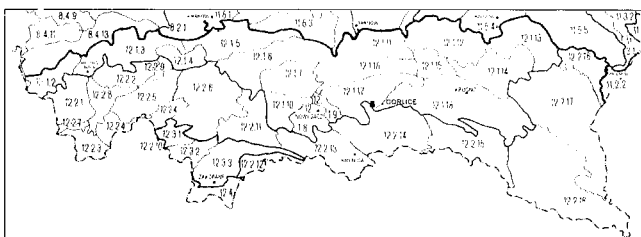
Anna NOWAK, J.R. OLĘDZKI

The aim of the paper is to discuss the methodology of creating simplified orthophotomaps on the basis of aerial photographs made using small format (35 mm) and video cameras. Currently, there is an observable increase in using easily available methods of photogrammetric mapping, which guarantee standards similar to those of precise maps, for a whole array of practical applications related to environmental research. Non-metric cameras can provide images which are suitable for such a purpose, and give excellent results. Photographs made using this technique offer a satisfactory image

quality; are good carriers of information and guarantee an acceptable quality for preparing photogrammetric maps with cartometric features. The paper describes the aerial photographs which were made using a small format (35 mm) camera and a video camera; it mainly focuses on the methodology of preparing simplified orthophotomaps, with listing individual stages of generating simplified digital orthophotomaps, and a graphic rendition of this process. The paper also offers an evaluation of the accuracy of simplified orthophotomaps, as well as errors and other factors which can affect their accuracy.

Charakterystyka geograficzna obszaru badań

Terenem badań był obszar położony w Karpatach, na pograniczu strefy beskidzkiej i pogórskiej, w okolicach Gorlic. W podziale Polski na regiony fotomorfoliczne teren ten zaliczony został przez J.R. Olędzkiego (2001) do Pogórza Gorlickiego (12.1.17) (ryc. 1). Charakteryzuje się on rzeźbą pogórską: niską i średnią z lokalnym występowaniem niskich i średnich grzbietów górskich, osiagających na górze Chełm wysokość 779 m n.p.m. Maksymalne wysokości w obrębie grzbietów pogórskich osiagają 400–520 m n.p.m.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań na tle regionów fotomorfolicznych Polski (Olędzki, 2001).

Fig. 1. Location of the research area and Poland's photomorphic regions (Olędzki, 2001).

Pod względem geologicznym większość terenu objęta jest wychodniami piaskowców i łupków krośnieńskich. Jedynie część południowo-wschodnia zajęta jest przez wychodnie łupków i piaskowców inoceramowych senonu oraz przez czarne łupki z rogowcami, a także margle i piaskowce grybowskie, należące do płaszczowiny magurskiej. W części wschodniej zaznaczają się także łupki i piaskowce trzeciorzędowe budujące fałd ciągnący się na zachód od Biecza.

Wody podziemne występują tu na głębokości 5–20 m.

Pokrywą glebową tworzą gleby płowe i brunatne wylugowane oraz odgórnie oglejone, wytworzone z utworów lessowatych oraz częściowo gleby brunatne kwaśne i brunatne wylugowano-gliniaste, pyłowe i ilaste, a także gleby szkieletowe.

Do opracowania uproszczonej ortofotomapy wybrano zlewnię Bystrzanki, należąca do zlewni Ropy. Teren zlewni zajmuje powierzchnię 13,59 km². Jej południowozachodni fragment położony jest na terenie Beskidu Magurskiego i obejmuje północne stoki masywu Maślanej Góry (752 m n.p.m.). Deniwelacje w tej części zlewni wynoszą od 300 do 400 m, a średnie nachylenie stoków 10–15°. Pozostała część zlewni obejmuje obszar pogórski ze wzniesieniem Bucze (521 m n.p.m.) oraz grzbietami: Taborówki (438 m

n.p.m.) i Wiatrówkami (461 m n.p.m.). Deniwelacje w pogórskiej części zlewni Bystrzanki osiągają 150 m, a maksymalne nachylenia stoków osiągają 20–30°. Obserwuje się tu degradację grzbietów i garbów przez doliny erozyjne i osuwiska. Najczęściej spotykanymi typami dolin, rozcinającymi stoki są doliny nieckowate, wcioty, wądoły i parowy. Doliny te charakteryzują się niewyrównanym profilem podłużnym, z dnem wciętym w litej skale lub są wysłane materiałem gruzowo-żwirowym.

W obrębie zlewni, stoki osuwiskowe mają nieregularny profil podłużny, a stoki nieosuwiskowe (górny odcinek Bystrzanki) posiadają profil wypukły lub wypukło-wklęsły. W obrębie stoków słabo przekształconych przez osuwiska występują niewyraźne załomy. Łagodne odcinki podnóży stoków przechodzą w równiny tarasowe.

Specyficzne położenie tego obszaru na granicy dwóch ważnych jednostek geomorfologicznych Karpat fliszowych, przy zróżnicowaniu budowy geologicznej powoduje, że rzeźba Bystrzanki charakteryzuje się znacznym urozmaiceniem (Kotarba, 1970).

Charakterystyka materiałów

Opracowanie metodyki tworzenia uproszczonych ortofotomap wymaga wykorzystania odpowiednich materiałów. W pracy skorzystano z danych teledetekcyjnych pozyskanych z pułapu lotniczego oraz z danych kartograficznych. Do analizowanych materiałów teledetekcyjnych należą:

- barwne zdjęcia lotnicze;
- lotnicze obrazy wideo;
- ortofotomapa zlewni Bystrzanki.

Aktualne zdjęcia lotnicze dostarczają informacji o dużej szczegółowości i dzięki ich syntezie można uzyskać bardzo dokładny obraz badanego środowiska. W pracy zostały wykorzystane dwa rodzaje zdjęć lotniczych w barwach naturalnych, z dwóch różnych nalołów. Podyktowane było to niekompletnym materiałem zdjęciowym z pierwszego nalołu, dlatego też sięgnięto do zdjęć z nalołu drugiego uzupełniając wcześniejsze braki w danych. I tak w pracy wykorzystano następujące materiały zdjęciowe.

Trzy zdjęcia w barwach naturalnych w skali 1:8600 wykonane w trakcie nalołu w dniu 15 lipca 2003 (ryc. 2) oraz dwadzieścia zdjęć w barwach naturalnych w skali 1:9000, z dnia 23 września 2003 roku. Wszystkie te zdjęcia wykonano kamerą małoobrazkową Yashica Zoomtec 90 (ryc. 3).

Barwny materiał światłoczuły rejestruje odbite od powierzchni terenu promieniowanie elektromagnetyczne o długościach fal zbliżonych do zakresów, na które uczulony jest wzrok ludzki (0,4–0,7 urn). Wadą tego typu materiałów jest rejestracja promieniowania niebieskiego, które ulega silnemu rozpraszaniu w atmosferze, co jest przyczyną zabarwiania na niebiesko sfotografowanych obiektów.

Wykorzystano również dwanaście zdjęć „wyciętych” z filmu zarejestrowanego 15 lipca 2003 roku cyfrową kamerą video – Sony. Zdjęcia zostały wykadrowane i zapisane w skali 1:8200. Objęły one południową część zlewni Bystrzanki (ryc. 4).



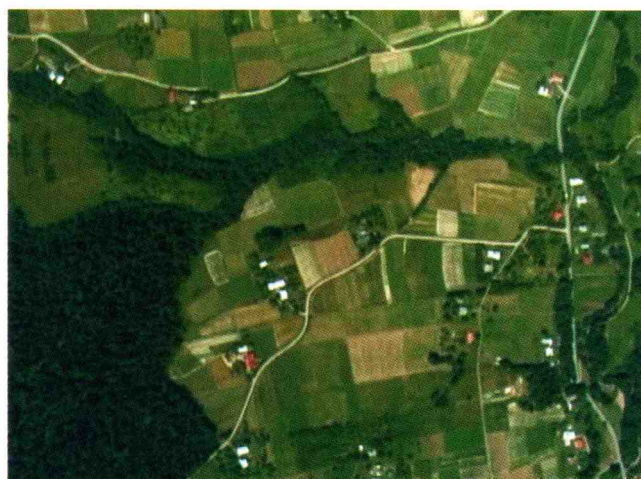
Ryc. 2. Małoobrazkowe zdjęcie lotnicze wykonane 15.07.2003.

Fig. 2. Small format (35 millimeter) aerial photograph made on 15 July 2003.



Ryc. 3. Małoobrazkowe zdjęcie lotnicze wykonane 23.09.2003.

Fig. 3 Small format (35 millimeter) aerial photograph made on 23 September 2003.

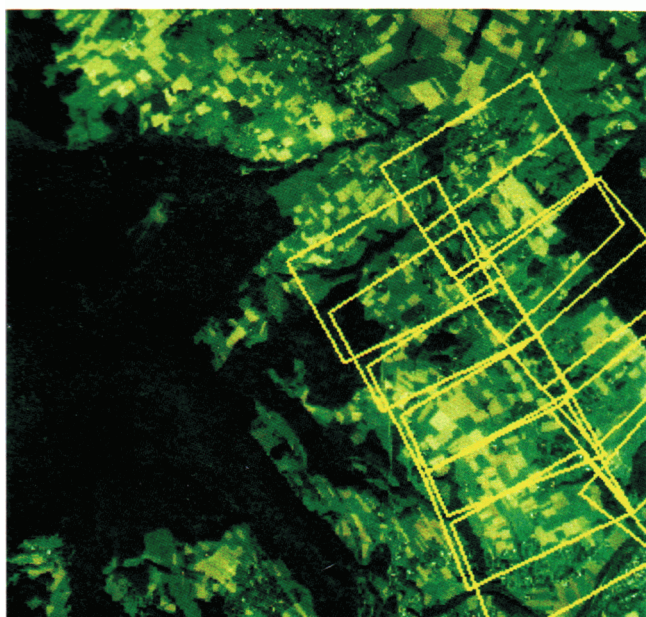


Ryc. 4. Zdjęcie lotnicze wykonane techniką wideo 15.07.2003

Fig. 4. Aerial photograph made using video camera on 15 July 2003.

Uproszczony schemat pokrycia obszaru zlewni Bystrzanki wykorzystanymi w opracowaniu zdjęciami lotniczymi przedstawiają ryc. 5 i 6.

Analizując zdjęcia lotnicze z kamery fotograficznej i zdjęcie wideo wykonane w dniu 15 lipca 2003 roku widoczne są znaczne różnice w charakterystykach radiometrycznych poszczególnych elementów pokrycia terenu,



Ryc. 5. Skorowidz zdjęć lotniczych wykonanych techniką wideo 15 VII 2003.

Fig. 5. Index of aerial photographs made using video camera on 15 July 2003.

na przykład różnice w barwie lasów, pól uprawnych i zabudowy. Ma to niewątpliwie związek z możliwościami właściwego odwzorowania radiometrycznych i spektralnych cech obiektów terenowych na materiale światłoczułym (filmie) oraz przez elektroniczne detektory cyfrowej kamery video. Przy porównywaniu zdjęć fotograficznych wykonanych 15 lipca i 23 września 2003 roku, różnice w ich wyglądzie są spowodowane różną fazą rozwoju roślin w tych terminach oraz warunkami meteorologicznymi występującymi w tych dniach.

Wykorzystane w opracowaniu zdjęcia lotnicze zostały wykonane w najbardziej sprzyjającym do tego rodzaju działań sezonie fotolotniczym, który w Polsce przypada na trzy letnie miesiące: lipiec–wrzesień, choć wykorzystuje się również zdjęcia wykonywane od połowy marca do początków listopada. Badany wskaźnik przyjmuje najwyższe wartości z przedziału od 37 w lipcu do 51% we wrześniu. Do najbardziej uprzywilejowanych obszarów w tych miesiącach należą województwa centralne i południowo-wschodnie.

W dniach 15 lipca i 23 września 2003 na obszarze zlewni Bystrzanki występowały zadowalające warunki meteorologiczne umożliwiające wykonanie poprawnych zdjęć lotniczych, co znajduje uzasadnienie w tabeli 1.

Pośredni wpływ na radiometrię zdjęć ma faza rozwoju roślin. Lipiec to miesiąc, w którym wegetacja roślin osiąga punkt kulminacyjny i na terenach rol-



Ryc. 6. Skorowidz zdjęć lotniczych wykonanych: a – 15 VII 2003, b – 23 IX 2003.

Fig. 6. Index of aerial photographs made on: a – 15 July 2003, b – 23 September 2003.

Fig. 6. Index of aerial photographs made on: a – 15 July 2003, b – 23 September 2003.

niczych obserwujemy bogatą różnorodność roślin uprawnych, wrzesień jest miesiącem, w którym okres wegetacji dobiega końca, obszary rolnicze pozbawione są roślinności i są przygotowywane do zabiegów agrotechnicznych stąd też znaczne różnice w radiometrii zdjęć.

Cyfrowa ortofotomapa zlewni Bystrzanki w skali 1:10 000 utworzona została na podstawie barwnych zdjęć lotniczych w skali 1: 26 000 wykonanych w ramach programu PHARE. Została ona przygotowana i udostępniona Zakładowi Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej przy Urzędzie Marszałka Województwa Małopolskiego w Krakowie.

Tabela. 1. Zestawienie danych meteorologicznych w dniach 15.07.2003 i 23.09.2003.
Table 1. Specification of meteorological data on 15 May 2003 and 23 September 2003..

Data Date	Temperatura powietrza Air temperature (°C)				
	Godz. Hour 13:00	Godz. Hour 19:00	Temperatura średnia Mean temperature	Temperatura maksymalna Maximum temperature	Temperatura minimalna Minimum temperature
15.07.2003	22,2	19,4	19,0	25,3	14,0
23.09.2003	27,8	22,4	20,2	28,1	13,8
Zachmurzenie Cloudiness (0–8)					
	Godz. Hour 7:00	Godz. Hour 13:00	Godz. Hour 19:00	Średnia dobowa Mean daily	
15.07.2003	0	4	1	1,7	
23.09.2003	0	0	0	0,3	
Uśłonecznienie Sunshine					
15.07.2003	12,5				
23.09.2005	9,0				

Źródło: Stacja Naukowa IGiPZ PAN – Szymbark

Do materiałów kartograficznych wykorzystanych w niniejszej pracy należy mapa topograficzna w układzie współrzędnych „1992” wydana przez Głównego Geodetę Kraju. Mapa ta została wykorzystana w procesie przetwarzania wstępnego materiałów teledetekcyjnych. Do korekcy geometrycznej cyfrowej ortofotomapy zlewni Bystrzanki użyto mapy w skali 1:10 000 (M-34-91-A-a-2 arkusz Szymbark). W przypadku zdjęć lotniczych i obrazów wideo posłużono się zgeometryzowaną cyfrową ortofotomapą zlewni Bystrzanki.

Schemat opracowania uproszczonej ortofotomapy

Ortofotomapa uproszczona jest zespołem przetworzonych zdjęć lotniczych pozyskanych różną techniką, doprowadzonych do jednolitej skali i wpasowanych w punkty osnowy geodezyjnej. Jest ona dokumentem kartometrycznym, umożliwiającym pomiar długości odcinków, powierzchni, kątów z dokładnością uwarunkowaną precyzją sporządzania samego dokumentu (Kunz, 1999).

W wyniku badań opracowano dwa schematy postępowania przy tworzeniu uproszczonych ortofotomap. Pierwszy dotyczy opracowania i wykonania uproszczonej ortofotomapy na podstawie zdjęć małoobrazkowych. Drugi pokazuje sposób wykonania uproszczonej ortofotomapy na podstawie zdjęć pozyskanych techniką wideo.

Całość prac związanych z wykonaniem ortofotomap uproszczonych wymaga przejścia przez kilka etapów: pierwszy z nich to skanowanie zdjęć w przypadku fotografii lotniczej pozyskanej kamerą małoobrazkową, bądź generowaniu poszczególnych klatek filmowych, gdy materiałem podstawowym są zdjęcia lotnicze wykonane techniką wideo. W pierwszym przypadku należy zwrócić uwagę na dobór parametrów skanowania a więc wielkość piksela i głębi skanowania. Drugi etap będący operacją wstępną polega na wczytaniu zdjęć na twardy dysk, założeniu projektu i przetworzeniu obrazu do właściwego formatu. Trzeci etap to ortorektyfikacja obrazów, oparta o metodę *image to image* oraz wybór rodzaju transformacji. Przetwarzane obrazy są „dopasowywane” do ortofotomapy wykonanej w układzie „1992”. W czwartym etapie wykonuje się korekcie radiometryczną zdjęć. Piąty etap to łączenie zdjęć, zwane też mozaikowaniem. Istotnymi decyzjami w tym etapie jest dobór zdjęcia bazowego oraz zdefiniowania linii „szycia”. W szóstym etapie postępowania wykonuje się prace końcowe polegające na założeniu pliku projektowego w odpowiedniej skali i odwzorowaniu; wygładzeniu obrazu; naniesieniu siatki kilometrowej, ramki oraz odpowiednich opisów. Siódmy etap to wykonanie wydruku opracowanej ortofotomapy i zarchiwizowaniu jej w postaci cyfrowej.

Analizując algorytmy tworzenia uproszczonych ortofotomap warto zwrócić uwagę na to, iż różnią się one między sobą jedynie w pierwszym etapie, pozostałe szczególnie postępowania są takie same.

Zdjęcia pozyskano cyfrową kamerą wideo zarejestrowane podczas lotu nad obiektem poddane zostały procesowi generowania. Etap ten polega na dzieleniu każdego pasa nalotu na budujące go klatki filmowe. W wyniku otrzymano po 6 klatek filmowych dla każdego szeregu nalotu, następnie każdą klatkę zapisano w formacie TIFF i poddano kolejnemu etapowi procesu technologicznego.

Negatywy zdjęć lotniczych wykonanych aparatem fotograficznym Yashica Zoomtec 90 poddano etapowi skanowania. Proces ten polega na zamianie obrazu analogowego, na obraz cyfrowy. W trakcie skanowania, skaner analizuje barwę lub stopień szarości opracowanego obrazu. Najmniejszy element, objęty analizą, nazywany jest pikselem, a liczba pikseli na odcinku jednego cala, rozdzielczością. Zdjęcia wykorzystane w pracy zeskanowano z rozdzielczością 254 dpi.

W procesie skanowania bardzo ważną rolę odgrywają parametry skanowania, w skład których wchodzi: dobór piksela skanowania i głębi skanowania. Piksel skanowania, to piksel, z jakim próbkowane jest zdjęcie podczas skanowania.

Na podstawie tabeli 2 uzyskano informację o wartości piksela skanowania, która w odniesieniu do zdjęć małoobrazkowych wynosi 0,1 m.

Tabela 2. Zamiana jednostek dpi na rozmiar piksela w/m;
Table 2. Conversion of dpi units to urn = 0,001 mm

dpi	254	508	635	847	1016	1270	1451	1693	1814	2540
urn	100	50	40	30	25	20	17	15	14	10

Źródło: Dąbrowski (2001).

Drugim parametrem jest radiometryczna rozdzielczość skanowania inaczej zwana głębią skanowania – określa ona zdolność skanera do rozróżniania ilości poziomów szarości lub koloru. Zdjęcia lotnicze wykonano kamerą małoobrazkową i zapisano z 24-bitową głębią, charakteryzującą się pikselami opisywanymi trzema wartościami 8-bitowymi: czerwieni, zieleni i niebieskiego. W praktyce oznacza to możliwość rozróżnienia 16,7 mln kolorów.

Kolejnym etapem procesu technologicznego to wczytanie zdjęć małoobrazkowych i wideo na HD oraz założeniu dwóch oddzielnych projektów.

Następnym krokiem było zarejestrowanie zdjęć lotniczych obszaru zlewni Bystrzanki w odpowiednim programie do przetwarzania cyfrowego obrazów, w pracy wykorzystano oprogramowanie *Intergraph – Image Analyste*.

Po rejestracji zdjęć przystąpiono do następnego etapu, jakim jest ortorektyfikacja. Ortorektyfikacja to proces przetwarzania obrazów cyfrowych, którego celem jest uzyskanie obrazu terenu, jaki powstałby przy rzutowaniu ortogonalnym na wybraną powierzchnię odniesienia (Dąbrowski, 2001). Jest to, przejście z układu jednej siatki rastra do innej znanej przestrzeni. Ortorektyfikacja jest realizowana oddzielnie dla elementarnych fragmentów zdjęcia, którymi są piksele lub grupy pikseli. Znaną przestrzenią, do której geometryzowano wszystkie wykorzystane w pracy zdjęcia była ortofotomapa „właściwa” zlewni Bystrzanki w skali 1:10 000, opracowana na podstawie zdjęć „pharowskich” (ryc. 7).

Metoda, którą wykorzystano, polega na geometryzacji zdjęcia do zdjęcia (*image to image*). W wyniku stosowania tej metody otrzymujemy na ekranie komputera cztery okna, w których znajdują się zdjęcia, do którego geometryzujemy obraz (dwa okna) i w dwóch pozostałych oknach zdjęcia geometryzowane.

Kolejnym krokiem po wyborze metody geometryzacji to poddanie zdjęć procesowi transformacji, polegającemu na przejściu z układu tłowego płaszczyzny zdjęcia do układu pikselowego (źródłowego) zdjęcia cyfrowego, w tym przypadku „ortofotomapy właściwej”.

Do przekształcenia cyfrowych zdjęć lotniczych zastosowano transformację na bazie modelu *Projective* oraz przeprowadzenia, tzw. *resampling*, metodą najbliższego sąsiada (*Nearest neighbour*). Użyty algorytm w procesie resamplingu wykorzystuje wartość radiometryczną (tonalną) piksela z oryginalnego obrazu, którego środek znajduje się najbliżej wyznaczonego piksela nadając mu powyższą wartość. Transformacja rastra na bazie modelu *Projective* wykorzystuje takie parametry jak: obrót, przesunięcie, przeskalowanie i skręcenie wzdłuż wszystkich osi (ryc. 8).

Uzyskując odpowiednią liczbę punktów kontrolnych, zaznaczonych na rastrze zdjęcia lotniczego, wideo i podkładzie referencyjnym, program oblicza automatycznie macierze transformacji (ryc. 9), co w konsekwencji prowadzi do przeniesienia całego obrazu do poszukiwanego układu odniesienia.

W procesie transformacji wykorzystano od 15 do 35 punktów kontrolnych (*control points – CP*) dla każdego zdjęcia lotniczego i wideo, rozmieszczonych w miarę równomiernie na obszarze całego obrazu rastrowego. Dokonując wyboru lokalizacji punktów kontrolnych stosowano zasadę lokalizacji ich na obiektach niezmiennych w czasie, takich jak skrzyżowanie dróg, naroża budynków.

W pierwszej kolejności punkty kontrolne lokalizowane są na obrazie zgeometryzowanym („ortofotomapie właściwej”), a następnie na zdjęciu podlegającym przetwarzaniu, które poddane zostało procesowi ortorektyfikacji. Po zlokalizowaniu punktów na zdjęciach skoncentrowano się na pojawiającym się oknie dialogowym z rejestracją błędów (odległości) wzdłuż osi *x* i *y* oraz *xy*, odchylenia standardowego w kolumnie *x*, *y* oraz *xy* (ryc. 10).

Wybrany model transformacji dopuszcza wprowadzenie minimalnie 4 punktów, które nie są położone wzdłuż jednej linii, stosunkowo lepsze efekty otrzymuje się, wprowadzając większą liczbę punktów kontrolnych. Szukając punktów kontrolnych należy pamiętać o tym, aby nie umieszczać ich na elementach niestałych w czasie, np. zakrętach rzek, bowiem zdjęcia lotnicze różnią się aktualnością treści w stosunku do od mapy topograficznej.

W wyniku powyższych procesów otrzymano obraz zdjęcia o tej samej wielkości piksela co obraz, do którego był geometryzowany (ryc. 11).

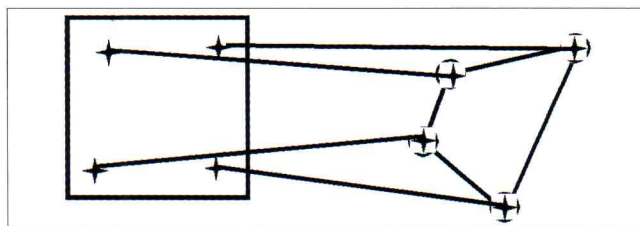
Błąd wpasowania rastrow (standard error) dla wszystkich wykorzystanych w pracy zdjęć nie przekroczył wielkości 1,2 piksela.

Poprawne geometrycznie zdjęcia lotnicze oraz obrazy wideo poddano następnie procesowi wyrównywania hi-



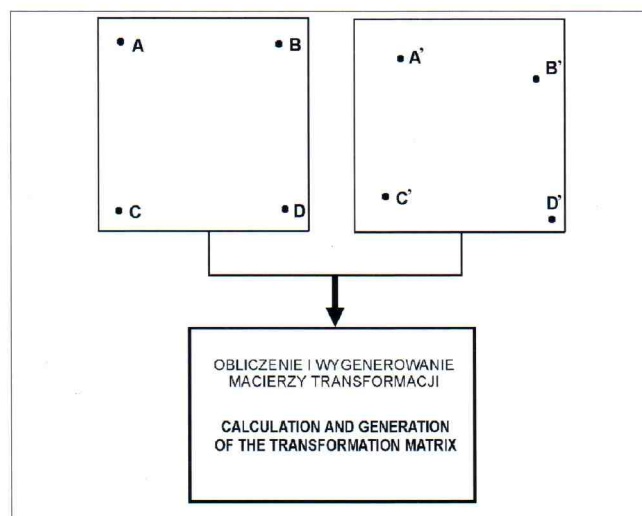
Ryc. 7. Ortofotomapa zlewni Bystrzanka.

Fig. 7. Orthophotomap of the Bystrzanka basin.



Ryc. 8. Schemat transformacji rastra na bazie modelu *Projective* (wg.: Kurczyński, Preuss, 2000).

Fig. 8. Model of raster transformation on the basis of the *Projective* model (after: Kurczyński, Preuss, 2000).



Ryc. 9. Schemat obliczania i generowania macierzy transformacji (wg. Kurczyński, Preuss, 2000).

Fig. 9. Model of calculating and generating transformation matrix (after: Kurczyński, Preuss, 2000).

stogramu, którego głównym celem jest otrzymanie zbliżonej mozaiki barwnej poszczególnych zdjęć. Jest to bardzo ważne w procesie mozaikowania (łączenia zdjęć w jed-



Ryc. 10. Ortorektyfikacja z wykorzystaniem metody *image to image*.

Fig. 10. Orthorectification using the *image-to-image* method.

na całość) dla otrzymania łączonych tonalnie przejść między łączonymi zdjęciami.

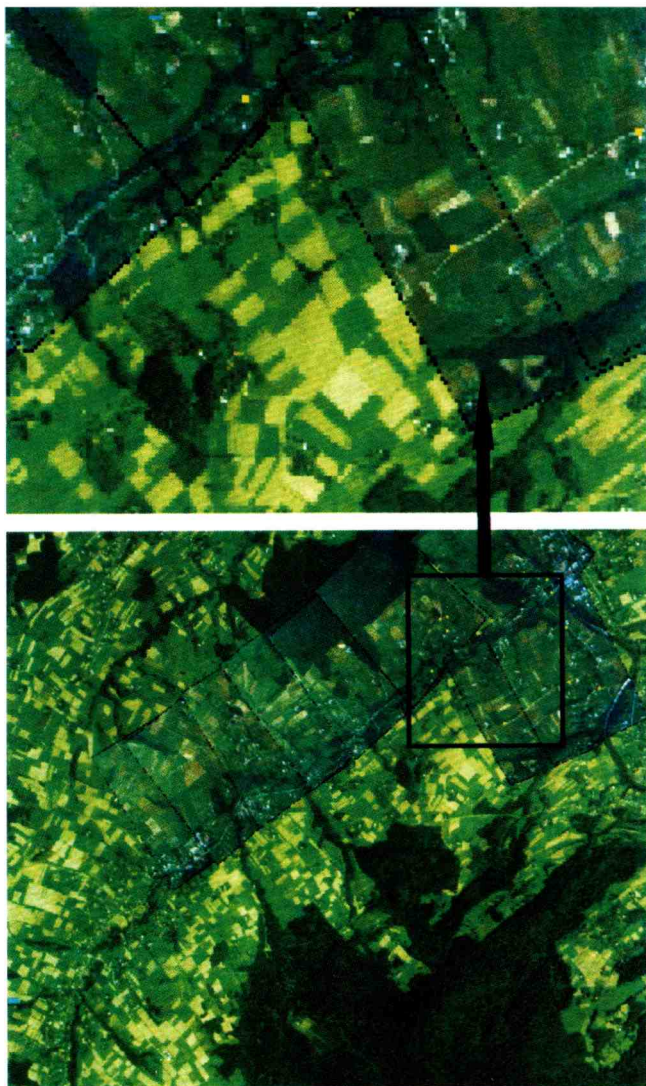
Teoretycznie, wyrównanie radiometryczne zdjęć polega na wybraniu z każdego z dwóch projektów zdjęcia bazowego. Zdjęciem bazowym nazywamy fotografię uznaną za poprawną radiometrycznie, do której wyrównujemy histogramy pozostałych zdjęć.

Zdjęciem bazowym zarówno dla nalotu wykonanego 15 lipca jak i 23 września, była ta sama fotografia (nr 5 szereg A). Do tego zdjęcia wyrównywano naj-

pierw zdjęcia sąsiednie wykonując następującą operację. Pierwszym krokiem było zdefiniowanie części wspólnej obu zdjęć, następnie zebranie histogramu z tej części i w oparciu o funkcję *match mean and standard deviation* (średniej i odchylenia standardowego) podciągnięcie histogramu zdjęcia sąsiedniego do histogramu zdjęcia bazowego. Wykonując tę operację w oparciu o coraz większą paletę zdjęć poprawnych radiometrycznie uzyskujemy w konsekwencji dostatecznie zadawalający rezultat.

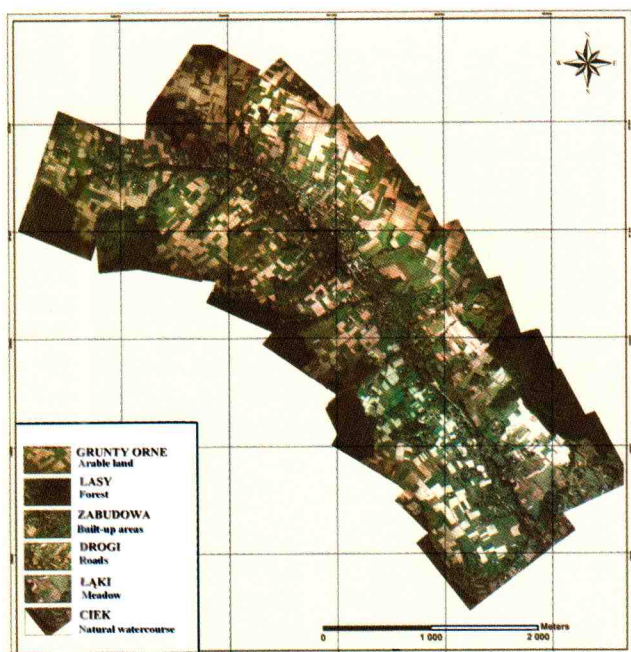
Jeśli wyżej wymienione metody zawodzą można operować zmianą kontrastu i jasności. Należy jednak pamiętać, aby w minimalnym stopniu manipulować zmianami funkcji kontrastu, która umożliwi rozciąganie lub zwięźanie zakresu tonalnego histogramu. Wzmacnianie kontrastu powoduje wzrost różnicy pomiędzy sąsiednimi poziomami szarości. Poprawia to czytelność detali w obszarze tonów średnich, lecz prowadzi do utraty szczegółów w obrębie światła i cieni. Obniżanie kontrastu powoduje tak zwaną kompresję tonalną, w której cały zakres 256 poziomów szarości jest zawężany do mniejszej ich liczby. Podobnie niewskazane są zmiany funkcji jasności. Zmiany tej funkcji powodują przesunięcia histogramu w kierunku tonów jasnych lub ciemnych. Zmiana jasności powoduje jednakową zmianę wartości wszystkich poziomów, co nie zwiększa liczby rozróżnialnych szczegółów, natomiast przesunięcia powodują, że zanika informacja warta na krańcach histogramu.

Zdjęcia po korekcji radiometrycznej zmozaikowano w jedną całość, kierując się ogólnie przyjętymi zasadami przy wyborze granic ich łączenia, to jest: prostopadle do

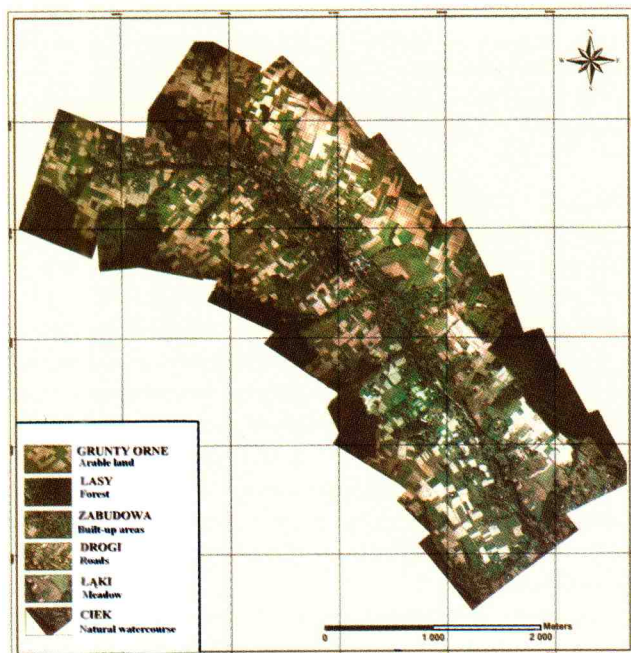


Ryc. 11. Schemat wpasowania zgeometryzowanych obrazów wideo na podkład referencyjny ortofotomapy „pharowskiej”.

Fig. 11. Model of fitting geometrized video images on the Phare orthophotomap reference base.



Ryc. 12. Uproszczona ortofotomapa zlewni Bystrzanki opracowana na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych kamerą małoobrazkową
 Fig. 12. Simplified orthophotomap of the Bystrzanka basin, prepared on the basis of digital aerial photographs made using a small format camera.



Ryc. 13. Uproszczona ortofotomapa zlewni Bystrzanki opracowana na podstawie cyfrowych zdjęć lotniczych pozyskanych techniką wideo.
 Fig. 13. Simplified orthophotomap of the Bystrzanka basin, prepared on the basis of digital aerial photographs made using a video camera.

dróg i innych istotnych elementów liniowych oraz cięciem wzdłuż charakterystycznych obiektów. Na styku kilku zdjęć łączących dwa szeregi nalotu widoczne są nieznacznie granice łączenia (ortofotomapa małoobrazkowa południowa część). Związane jest to z występującym na skraju zdjęć cieniem rzucanym przez drzewa (ciemny fo-

ton), oraz znacznymi różnicami radiometrycznymi między szeregami nalotu, których nie udało się wyretuszować w procesie wyrównania histogramów.

Opracowana w ten sposób ortofotomapa uproszczona została poddana dalszej obróbce służącej podkreśleniu, interesującej nas treści (naniesieniu siatki kilometrowej, skali, opisu mapy). Etap końcowy wykonano w programie *ArcGIS/ArcMap*.

Zastosowane oprogramowania Intergraph z nakładką *Image Analyste* stanowi znakomite narzędzie do tworzenia kartometrycznej, uproszczonej ortofotomapy o cechach ortofotomapy właściwej. Wykorzystanie oprogramowania *ArcGIS* do przygotowania kompozycji do wydruku dorównuje standardom programów graficznych. Produktem końcowym przetwarzania cyfrowego zdjęć lotniczych są dwie ortofotomapy uproszczone (ryc. 12, 13).

Ocena dokładności uproszczonych ortofotomap

Ortofotomapa uproszczona, podobnie jak zdjęcie, jest dwuwymiarowym obrazem przestrzeni terenowej. Powstaje ona na drodze przetwarzania elementarnych powierzchni fotografii, co zostało przedstawione powyżej. W trakcie przetwarzania zdjęć powstają różnego rodzaju błędy, co w efekcie wpływa na dokładność opracowywanej ortofotomapy. Błędy powstałe w procesie technologicznym tworzenia ortofotomap można podzielić na:

- błędy etapu pozyskiwania zdjęć,
- błędy etapu przetwarzania zdjęć.

Pierwszym i najważniejszym etapem analizując genezę powstania błędów i usterek jest faza pozyskiwania obrazu. Jest ona niezwykle istotna dla kolejnych procesów generowania ortofotomapy. Czynniki wpływające na ostateczny odbiór szczegółów terenowych można pogrupować ze względu na ich występowanie w poszczególnych etapach pozyskiwania obrazu. Należy wspomnieć o takich czynnikach jak różny kąt odbicia światła od szczegółów terenowych, zniekształcenia perspektywiczne, inna pora dnia i roku dla różnych nalotów fotogrametrycznych pokrywających obiekt, a z tym związane różne długości cieni rzucanych przez poszczególne obiekty oraz zmienne w zależności od pory roku czynniki klimatyczne ułatwiające (dni słoneczne z bezchmurnym niebem) bądź utrudniające wykonanie nalotu (dni o dużym zachmurzeniu – powyżej 4). Wszystkie wyżej wspomniane utrudnienia hamują bezbłędny i płynny przebieg procesu przetwarzania zdjęć.

Przetwarzanie zdjęć jest czynnością czasochłonną zarówno pod względem zaangażowania operatora jak i obciążenia komputera i ma ono istotny wpływ na jakość końcowego produktu, którym jest w naszym przypadku ortofotomapa uproszczona (Ziobro, Ewiak, 1999).

W procesie tym najważniejszymi etapami są skanowanie, geometryzacja i łączenie zdjęć. To one decydują o jakości i klasie produktu końcowego, dlatego też ważne jest, aby każdy z powyższych etapów przeprowadzany był w sposób precyzyjny.

Usterki powstałe w procesie skanowania zdjęć związane są w znacznej mierze ze zmiennymi parametrami skanowania, które określa się niezależnie dla każdej par-

tii zdjęć, wykonanej na innej rolce filmu lub w innym czasie (zdjęcia z różnych pór roku).

Ważnym elementem decydującym o występowaniu usterek na zdjęciach jest zły stan techniczny urządzenia skanującego, liczne zadrapania na filmie jak i błędne użytkowanie.

Proces geometryzacji zależy w dużym stopniu od umiejętności i precyzji operatora, to on decyduje o dokładności geometryzacji danego zdjęcia. Jest to etap niezwykle istotny, gdyż błędy wówczas powstałe nie są możliwe do wyeliminowania w kolejnych etapach. Należy nadmienić, iż „geometryczność” zdjęcia jest parametrem najistotniejszym przy opracowywaniu danego zdjęcia i jakiegokolwiek zaburzenia zaistniałe w czasie tego procesu, na przykład niezgodności przebiegu linii komunikacyjnej na dwóch sąsiednich zdjęciach wykluczają dane obrazy z dalszych etapów opracowania.

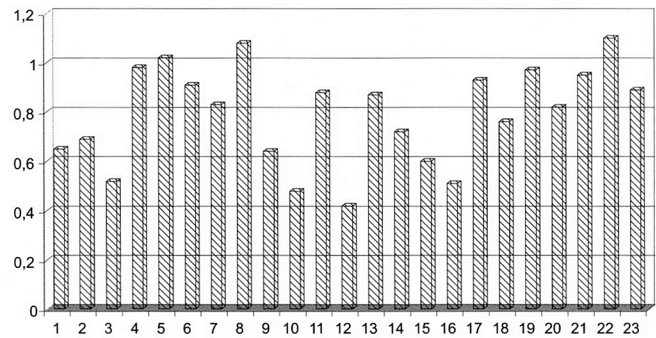
W procesie mozaikowania należy pamiętać, aby łączyć zdjęcia w sposób, który będzie minimalizował wpływ zniekształceń perspektywicznych oraz spadku jasności zdjęcia ku jego brzegom. Tak więc należy pamiętać, aby w procesie mozaikowania wykorzystywać środkowe części zdjęcia (Ziobro, Ewiak, 1999).

Szew połączenia zdjęć nie powinien być widoczny na obrazie, wynika to nie tylko z troski o estetykę, ale ma głównie na celu utrzymanie czytelności ortofotomapy. Projektując przebieg linii szwu należy pamiętać, aby biegł on po granicach konturów terenowych i nie przecinał ważnych treści zdjęcia np. zabudowy. Możliwość analizy prze-

Tabela 3. Ocena dokładności procesu geometryzacji zdjęć lotniczych pozyskanych kamerą małoobrazkową.

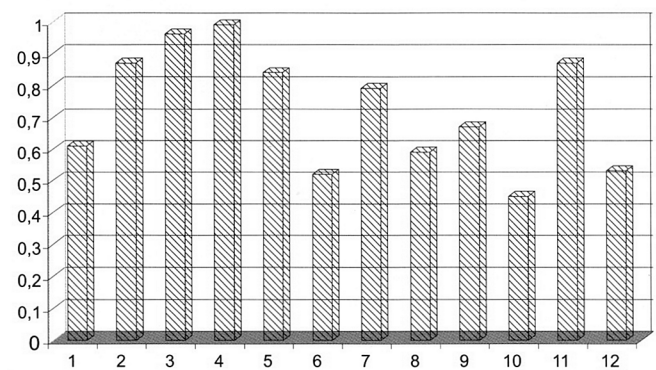
Table 3. Evaluation of the accuracy of geometrization of aerial photographs made using a small format camera.

Numer zdjęcia Number of photos	Szereg nalotu Flight line	Liczba punktów kontrolnych Number of control points	Błąd geometryzacji (w pikselach) Error of geometrization (in pixels)
1	A	20	0,65
2	A	22	0,69
3	A	19	0,52
4	A	23	0,98
5	A	24	1,02
6	A	23	0,91
7	A	28	0,83
8	A	25	1,08
9	A	22	0,64
10	A	26	0,48
11	B	26	0,88
12	B	20	0,42
13	B	21	0,87
14	B	27	0,72
15	B	24	0,60
16	B	29	0,51
17	B	33	0,93
18	B	25	0,76
19	B	20	0,97
20	B	30	0,82
21	C	18	0,95
22	C	21	1,10
23	C	23	0,89



Ryc. 14. Zestawienie błędów procesu geometryzacji zdjęć lotniczych wykonanych aparatem małoobrazkowym.

Fig. 14. List of errors in geometrization of images made using a small format camera.



Ryc. 15. Zestawienie błędów procesu geometryzacji obrazów wykonanych techniką wideo.

Fig. 15. List of errors in geometrization of images made using a video camera.

biegu linii mozaikowania pozwala na wychwycenie błędów związanych z geometrią dwóch lub więcej sąsiadujących zdjęć oraz na zlokalizowanie granic pozbawionych *federingu* (są to linie o ostrym przejściu tonalnym między poddanymi ocenie zdjęciami – błędy radiometryczne).

Poddając szczegółowej analizie wszystkie zdjęcia tworzące dwie ortofotomapy uproszczone stwierdzono, iż są one pozbawione znacznych błędów geometrycznych. Tabele 3 i 4 jak również ryciny 14, 15 (osie pionowe y – charakteryzują błąd geometryzacji w pikselach, oś pozioma x – kolejne zdjęcia z szeregu nalotu) dowodzą, iż błędy powstałe w procesie geometryzacji są błędami stosunkowo niewielkimi.

Na błędy geometryczne jak i radiometryczne stosunkowo duży wpływ ma pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć. Wykorzystane w niniejszym opracowaniu zdjęcia były wykonane w celach dokumentacyjnych, do monitoringu pokrycia terenu. Z założenia więc nie spełniały one wymaganych do opracowań fotogrametrycznych parametrów pokrycia podłużnego i poprzecznego. Pokrycie podłużne wynosiło tu 10%, a pokrycie poprzeczne 51%. Konsekwencją tego było wystąpienie tak zwanych luk fotogrametrycznych, które zostały uzupełnione zdjęciami wykonanymi w innym okresie fenologicznym co spowodowało różnice radiometryczne w różnych częściach utworzonych ortofotomap. Różnice te wywarły dość duży wpływ na produkt końcowy. Pomimo zastosowania róż-

Tabela 4. Ocena dokładności procesu geometryzacji zdjęć lotniczych pozyskanych techniką wideo.

Table 4. Evaluation of the accuracy of geometrization of aerial photographs made using a video camera.

Numer zdjęcia Number of photos	Szereg nalotu Flight line	Liczba punktów kontrolnych Number of control points	Błąd geometryzacji (w pikselach) Error of geometrization (in pixels)
1	A	18	0,61
2	A	21	0,87
3	A	25	0,96
4	A	19	0,99
5	A	28	0,84
6	A	29	0,52
7	B	24	0,79
8	B	17	0,59
9	B	22	0,67
10	B	31	0,45
11	B	27	0,87
12	B	27	0,53

nych procesów mających na celu złagodzenie połączeń sąsiednich zdjęć (korekcji radiometrycznej) nie udało się całkowicie wykluczyć błędów spowodowanego różnymi właściwościami radiometrycznymi sąsiednich zdjęć.

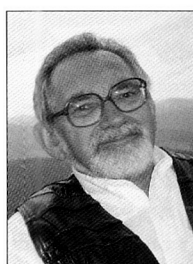
Niezależnie od błędów, jakie wystąpiły na obu uproszczonych ortofotomapach stwierdzono, iż uzyskane ortofotomapy stanowią zadawalający, pod względem kartometrycznym, materiał, do prowadzenia bieżących obserwacji z zakresu monitorowania środowiska w różnych jego aspektach, a zwłaszcza w monitorowaniu zmian zagospodarowania przestrzennego terenu.

Literatura

- Dąbrowski S. (red.), 2001, *Wytyczne techniczne K – 2.8. Zasady wykonywania ortofotomap w skali 1:10 000*, GUGIK.
- Kotarba A., 1970, Charakterystyka rzeźby okolic Szymbarku, [w:] L. Starkel (red.), *Badania geograficzno-fizyczne otoczenia Stacji Naukowo-Badawczej Instytutu Geografii PAN w Szymbarku*. Dokumentacja Geograficzna, z. 3. IGI PAN.
- Kunz M., 1999, *MicroStation Descartes sporządzanie cyfrowej ortofotomapy*. <http://www.cadcanforum.pl/799/descrat.html>.
- Kurczyński Z., Preuss R., 2000, *Podstawy fotogrametrii*. Oficjalne Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej.
- Olędzki J.R., 2001, *Regiony fotomorficzne Polski*. Akapit, Warszawa.
- Ziobro J., Ewiak I., 1999, *Mozaikowanie ortofotografii*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 9, 51–56.



Mgr Anna Nowak ukończyła studia na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych w roku 2004, specjalizując się na kierunku geografia w zakresie teledetekcji środowiska. Aktualnie wykonuje zawód nauczyciela.



Prof. dr hab. Jan R. Olędzki jest kierownikiem Katedry Geoinformatyki i Teledetekcji na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Przewodniczącym Komisji Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk oraz Przewodniczącym Klubu Teledetekcji Środowiska Polskiego Towarzystwa Geograficznego. Zajmuje się zastosowaniem teledetekcji w badaniach struktury środowiska oraz jego monitoringu i ochronie. Adres Uniwersytet Warszawski Katedra Geoinformatyki i Teledetekcji WGiSR, Krakowskie Przedmieście 30, 00–927 Warszawa, e-mail: jroledzk@uw.edu.pl.