INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 6/2010, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 39–48
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Bogusława Kwoczyńska, Kamil Dzięga

KALIBRACJA APARATU CYFROWEGO CANON EOS 400D Z ZASTOSOWANIEM OPROGRAMOWANIA PI 3000 CALIB

DIGITAL CAMERA CANON EOS 400D CALIBRATION WITH USE OF PI 3000 CALIB SOFTWARE

Streszczenie

Publikacja powyższa wykazuje możliwość zastosowania darmowego oprogramowania PI 3000 Calib firmy Topcon do przeprowadzenia kalibracji aparatów cyfrowych. Badania prowadzone były z wykorzystaniem aparatu cyfrowego Canon EOS 400D. Zdjęcia wykonano przy zastosowaniu obiektywów stałoogniskowych Canon 50mm f/1.4 i Sigma 20mm f/1.8.

Słowa kluczowe: kamera, kalibracja, aparat cyfrowy

Summary

The paper above presents the possibility of application of free version of PI 3000 Calib Topcon software to perform calibration of digital cameras. Investigations were performed with use of Canon EOS 400D. Photos were made using constant focus objectives Canon 50mm f/1.4 and Sigma 20mm f/1.8. Without buying expensive specialistic camera calibration software it is possible to apply digital cameras in photogrammetric elaborations, especially in architecture objects inventarisation and their further 3D visualisation.

Key words*: camera, calibration, digital camera*

WSTĘP

Fotografia cyfrowa prawie całkowicie zastąpiła tradycyjną fotografię opartą na związkach srebra. Do otrzymania pozytywu nie są nam już niezbędne godziny spędzone w ciemni. Obraz zapisywany jest na matrycy CCD i natychmiast ukazywany jest użytkownikowi efekt końcowy. Zdjęcie może być poddawane gruntownej obróbce cyfrowej już na etapie zapisu na matrycy. Postęp techniki sprawił, że w aparatach cyfrowych matryce charakteryzują się obecnie dużą rozdzielczością rzędu 15 milionów pikseli, a technologia cyfrowa pozwala na wykorzystanie zdjęć wykonanych kamerami niemetrycznymi dla potrzeb fotogrametrycznych. Dostępność do aparatów cyfrowych pozwoliła w tani sposób pozyskiwać dane do opracowań fotogrametrycznych. Ma to niebagatelny wpływ na koszty opracowania, jak również jego dostępność dla różnych grup odbiorców, powoduje jednak pogorszenie dokładności opracowania w stosunku do metod klasycznych. Ze względów dokładnościowych i ekonomicznych aparaty cyfrowe nie powinny być stosowane do inwentaryzacji kształtu dużych obiektów, natomiast dla obiektów małych w postaci detali architektonicznych, malowideł itp. coraz częściej są one wykorzystywane.

Obecnie stosowane aparaty cyfrowe mają coraz większą rozdzielczość oraz wymiary płytek CCD. Do zalet tych aparatów należy zaliczyć również:

– Szybki czas dostępu do obrazu cyfrowego po jego realizacji (brak procesu negatywowego oraz skanowania jego wyników);

– Możliwość zapisania w pamięci aparatu wielu obrazów;

– Wysoka czułość płytek CCD umożliwiająca fotografowanie przy słabym oświetleniu;

– Wierne oddanie barw;

– Dobrej jakości korpusy i obiektywy sprawdzone w praktyce fotografii analogowej [Boroń 1998].

Część aparatów cyfrowych skonstruowano na bazie klasycznych aparatów fotograficznych, są to najczęściej modele oparte na dobrych lustrzankach jednoobiektywowych, takie rozwiązanie pozwala na stosowanie wymiennych obiektywów będących na wyposażeniu aparatu bazowego. Jednak większość aparatów cyfrowych to konstrukcje nowe, najczęściej typu compact, z wbudowanym na stałe obiektywem. Rolę materiału światłoczułego spełnia matryca elementów CCD lub CMOS.

Z punktu widzenia fotogrametry najbardziej interesujące są aparaty o dużej rozdzielczości i powtarzalności elementów orientacji wewnętrznej. Do takich aparatów zaliczany jest między innymi wykorzystany do badań aparat Canon EOS 400D. Znaczna część pomiarów fotogrametrycznych wymaga jednak znajomości parametrów rzutowania, tak zwanych parametrów kalibracji kamery, których wyznaczenie było przedmiotem przeprowadzonych badań.

CHARAKTERYSTYKA APARATU CYFROWEGO CANON EOS 400 D

Canon EOS 400D to lustrzanka jednoobiektywowa (rys. 1) o matrycy typu CMOS o rozdzielczości maksymalnej 3888 x 2592, o całkowitej liczbie pikseli 10,5 mln. Rozmiar zastosowanej matrycy w opisywanym aparacie wynosi 22,2 x 14,8 mm.

Rysunek 1. Cyfrowa lustrzanka jednoobiektywowa Canon EOS 400D
Figure 1. Digital single-lens reflex camera Canon EOS 400D

Model ten pozwala na ustawienie czułości odpowiadającej ISO 100, aż do ISO 1600, co pozwala wykonywać zdjęcia w słabych warunkach oświetleniowych przy wykorzystaniu czasów migawki rzędu 1/60. Możliwość doboru czasu wyzwolenia migawki plasuje się w przedziale 1/4000 s do 30 s. Możliwe jest także ustawienie czasu B, jednak niezbędny jest do tego wężyk spustowy lub pilot zdalnego wyzwalania, gdyż ręczne wyzwalanie migawki może powodować poruszenie aparatu, co może skutkować niewyraźnymi zdjęciami.

Aparat ma wiele programów tematycznych, działających przy pełnej automatyce. Posiada także programy M, P, A, S, które są programami manualnymi przy możliwości automatycznego doboru jednego z parametrów, takiego jak przysłona, czy czas. Aparat ma wbudowaną lampę błyskową, którą można wykorzystać do doświetlenia ekspozycji, a także używać, jako lampę sterującą zewnętrznymi lampami błyskowymi serii Speedlite systemu E-TTL II. Autofokus w aparacie opiera się na pomiarze z 9 pól rozmieszczonych w kadrze, przy jednoczesnej możliwości automatycznego, jak i ręcznego wyboru pola. Zdjęcia mogą zostać zapisane w formacie JPG o rozdzielczościach 2816 x 1880 (M), 1936 x 1288 (S) oraz w coraz częściej wykorzystywanym formacie RAW. Sprzęt ten umożliwia zastosowanie kart typu Compact Flash Typ I/II, co pozwala na zastosowanie kart o pojemnościach większych niż 2 GB. Wykonane zdjęcia, jak i menu możemy kontrolować na 2, 5-calowym wyświetlaczu zainstalowanym z tyłu korpusu.

Cechami, które bezpośrednio kwalifikują aparat do zastosowań fotogrametrycznych są:

- wysoka rozdzielczość,
- wysoka jakość dostępnych obiektywów,
- możliwość ręcznego nastawiania wszystkich parametrów aparatu.

PARAMETRY KALIBRACJI APARATU CYFROWEGO

Parametry kalibracji kamery fotogrametrycznej pozwalają na odtworzenie wiązki rzutu środkowego na podstawie zdjęć wykonywanych tą kamerą. Należą do nich:

– położenie środka rzutów w odniesieniu do zdjęcia, określane przez x_o i y_o (współrzędne punktu głównego zdjęcia) oraz c_k (odległość obrazowa), które to nazywane są elementami orientacji wewnętrznej kamery,

– dane dotyczące błędu dystorsji obiektywu,

– dla kamer metrycznych współrzędne znaczków tłowych w układzie tłowym.

Aparaty cyfrowe jako kamery niemetryczne nie mają znaczków tłowych odfotografowanych w płaszczyźnie obrazu, ich rolę przejmują narożniki skrajnych pikseli obrazu. Dystorsja obiektywu aparatów fotograficznych znacznie odbiega od dystorsji kamer metrycznych, a co najważniejsze nie jest zagwarantowana stałość elementów orientacji wewnętrznej takich aparatów, bowiem odległość obrazowa jest zmienna i związana z nastawieniem na ostro.

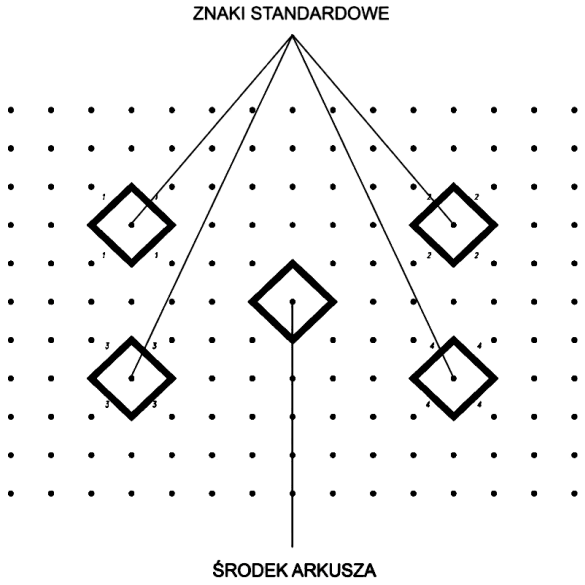
Wykorzystanie aparatów cyfrowych dla celów fotogrametrycznych wymaga zatem sprawdzenia w pierwszej kolejności stabilności rejestracji obrazów cyfrowych, pod pojęciem której należy rozumieć powtarzalność geometryczną obrazów rejestrowanych nieruchomym aparatem [Kwoczyńska 2007].

WYKONANIE ZDJĘĆ

W celach doświadczalnych sporządzono dwie serie zdjęć. Pierwsza seria została wykonana obiektywem Canon 50mm f/1.4, druga obiektywem Sigma 20 mm f/1.8. Każdą z nich wykonano bez zmiany orientacji wewnętrzenej aparatu oraz położenia pierścienia ostrości. Zdjęcia sporządzono w trybie „M" (*manual*) co pozwoliło w całości zapanować nad ustawieniami ekspozycji, doborem czasu naświetlania oraz doborem przysłony.

W programie *Image Master Calib Trial* wygenerowano *exlusive Calibration Sheet* (arkusz kalibracyjny) zawierający *exlusive* wzór składający się ze 145 czarnych kropek i pięciu kwadratów (rys. 2). Czarne kropki wewnątrz czterech zewnętrznych kwadratów (z wyjątkiem kwadratu środkowego) są nazywane znakami standardowymi. Na karcie mają oznaczenia „1, 2, 3, 4". Kropka we-

wnątrz środkowego kwadratu oznaczonego „5” jest zlokalizowana na środku arkusza.



Rysunek 2. Exlusive wzór
Figure 2. Exlusive diagram

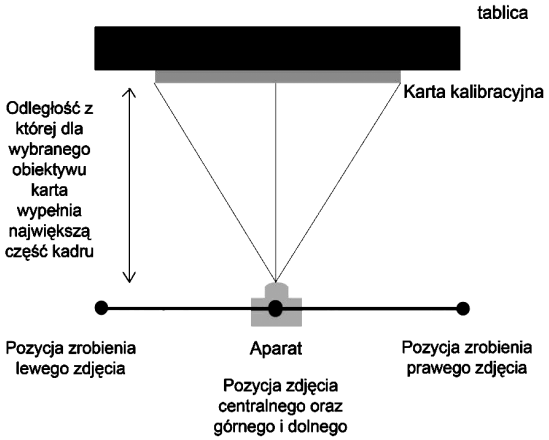
Ze względu na małe ogniskowe używanych obiektywów (50 mm oraz 20 mm) z propozycji programu wybrano format generowanej planszy A1. Zapewniał on możliwość wypełnienia całego kadru przez akrusz kalibracyjny.

Tablicę, na której przymocowano arkusz kalibracyjny umieszczono tak, aby centralny kwadrat (5) znajdował się na wysokości oczu obserwatora. Niemetryczna kamera cyfrowa została umieszczona na statywie zaopatrzonym w libelę pudełkową, na podstawie której aparat został wstępnie spoziomowany.

Pierwsza seria zdjęć, na którą składały się zdjęcia: centralne, lewe, prawe, górne i dolne została wykonana przy użyciu obiektywu Canon 50mm f/1.4. Statyw wraz z aparatem został ustawiony w takiej odległości, aby karta kalibracyjna możliwie najbardziej wypełniała kadr. Miejsce ustawienia statywu zaznaczone zostało za pomocą pionu sznurkowego przywieszonego do kolumny statywu. Wysokość aparatu została tak dobrana, aby centralny kwadrat (5) na karcie kalibracyjnej znajdował się w centrum kadru, czego stwierdzenie umożliwił centralny punkt pomiaru ostrości zaznaczony na matówce aparatu. Po ustawieniu kamery została ustawiona ostrość, wówczas jej pierścień został zablokowany, co miało zapewnić niezmienność odległości obrazowej, a także jej powtarzalność. Czas ekspozycji oraz wartość przysłony zostały dobrane na podstawie wskazań

wbudowanego światłomierza kamery, zapewniając poprawne naświetlenie ekspozycji. Śruby zaciskowe na głowicy statywu zostały zablokowane, a wyzwalanie migawki zostało nastawione na samowyzwalacz, co miało na celu wyeliminowanie drgania aparatu podczas wciskania spustu migawki.

Po wykonaniu pierwszego zdjęcia „centralnego", statyw wraz z aparatem został przesunięty równolegle do tablicy w lewo, a aparat obrócony o taki kąt, aby wskaźniki na karcie kalibracyjnej znajdujące się przy lewej krawędzi wypełniały pełną lewą wysokość kadru, a punkt centralny nadal znajdował się w jego centrum. Wysokość aparatu nie została zmieniona. Po zablokowaniu zacisków, nie zmieniając ustawień aparatu, zostało wykonane „lewe" zdjęcie. Pion zawieszony na głowicy wskazał punkt stanowiska, które zostało zamarkowane samoprzylepnym znacznikiem. Następnie ruletką została zmierzona odległość pomiędzy centralnym i lewym stanowiskiem. Odległość ta została odłożona następnie od punktu centralnego, równolegle do tablicy w prawo, wyznaczając stanowisko prawe. Po ustawieniu aparatu i dobraniu odpowiedniego kąta, takiego, aby wskaźniki na karcie kalibracyjnej znajdujące się przy prawej jej krawędzi wypełniały pełną prawą wysokość kadru, a punkt centralny znajdował się w centrum kadru, wykonano zdjęcie „prawe". Wysokość aparatu została niezmieniona podobnie jak ustawienia ekspozycji. Kolejne zdjęcie „górne" zostało wykonane ze stanowiska pierwszego, przy zmianie wysokości aparatu, poprzez podniesienie głowicy statywu, a następnie zablokowanie jej śrubami zaciskowymi. Zostały zachowane niezbędne warunki, czyli kąt, pod jakim została odfotografowana karta kalibracyjna był taki, aby wskaźniki na karcie, znajdujące się przy górnej krawędzi, możliwie najdokładniej wypełniły górną szerokość kadru, przy punkcie centralnym znajdującym się w centrum kadru.



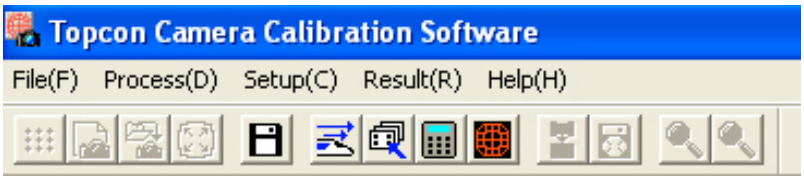
Rysunek 3. Szkic rozstawienia aparatu
Figure 3. Sketch of camera placement

Kolejne zdjęcie „dolne" niezbędne do kalibracji zostało wykonane także z punktu centralnego. Kolumna statywu została obniżona, a kąt tak dobrany, aby wskaźniki na karcie kalibracyjnej znajdujące się przy dolnej krawędzi, wypełniały dolną część kadru, a w jego środku znajdował się punkt centralny (5) karty kalibracyjnej. Wszystkie pięć zdjęć wykonano obiektywem 50 mm przy takich samych 16 ustawieniach ekspozycji oraz czułości matrycy ustawionej na ISO 200. Drugą serię zdjęć wykonano obiektywem Sigma 20 mm f/1,8, zachowując opisane wyżej zasady ustawienia aparatu cyfrowego. Szkic orientacyjny rozstawienia aparatu przedstawia rysunek 3.

KALIBRACJA APARATU CYFROWEGO W PROGRAMIE *IMAGE MASTER CALIB*

Oprogramowanie *Image Master Calib* (rys. 4) zostało stworzone w celu umożliwienia wyznaczenia danych kalibracyjnych kamer cyfrowych używanych do pomiarów. Pozwala ono na określenie siedmiu parametrów:

1. długości ogniskowej obiektywu: f,
2. dystorsji radialnej obiektywu: K1, K2,
3. dystorsji tangencjalnej obiektywu: P1, P2,
4. położenia punktu głównego sensora kamery: Xp, Yp.



Rysunek 4. Interfejs programu Image Master Calib
Figure 4. Interface Image Master Calib program

Kalibrację dokonuje się metodą półautomatyczną oraz automatyczną.

Kryterium, które musi zostać spełnione, aby wskaźnik kalibracji wskazał *Camera Calibration succeeded* jest następujące: odchyłki standardowe dla wartości współrzędnych tłowych dla wszystkich mierzonych punktów nie mogą być większe niż jeden piksel.

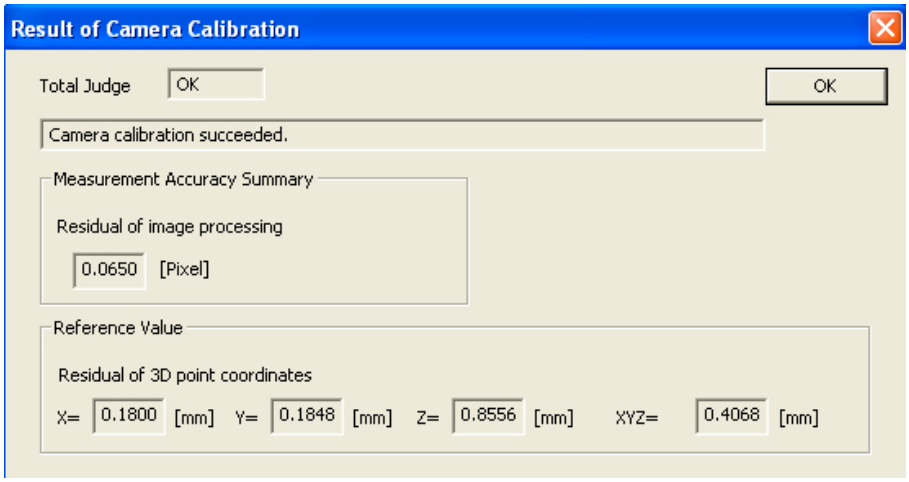
Program po wczytaniu zdjęć odczytuje ich Exif-y skąd pobierane są informacje o wykorzystanym obiektywie. Wymaga on jednak potwierdzenia przez użytkownika poprawności odczytanych informacji.

Następnym krokiem jest wybór metody kalibracji kamery. Po jej wskazaniu przystępuje się do wyznaczania środków punktów sygnalizacyjnych. Program wyświetla w kolejności każde zdjęcie zamieszczone w projekcie.

Koniecznym jest postawienie krzyży kolejno na znaczkach standardowych w kolejności 1, 2, 3, 4. Warunkiem niezbędnym do poprawnie przeprowadzonej kalibracji jest umieszczenie krzyża możliwie najdokładniej w centrze znaczka. Po każdym zlokalizowaniu i osadzeniu krzyża program wyświetla informacje o jego współrzędnych, a także pokazuje usytuowanie punktu, wymagając potwierdzenia wyświetlonych danych.

Po zaznaczeniu czterech wymaganych punktów, program przetwarza dane i pokazuje lokalizację pozostałych znaczków.

Po analizie wszystkich pięciu zdjęć znajdujących się w projekcie, program przystępuje do ponownego sprawdzenia osadzonych krzyży i rozpoczyna automatyczne obliczenia. Po ich zakończeniu zostaje wyświetlony komunikat (rys. 5).



Rysunek 5. Informacja o zakończeniu kalibracji
Figure 5. Information concerning calibration ending

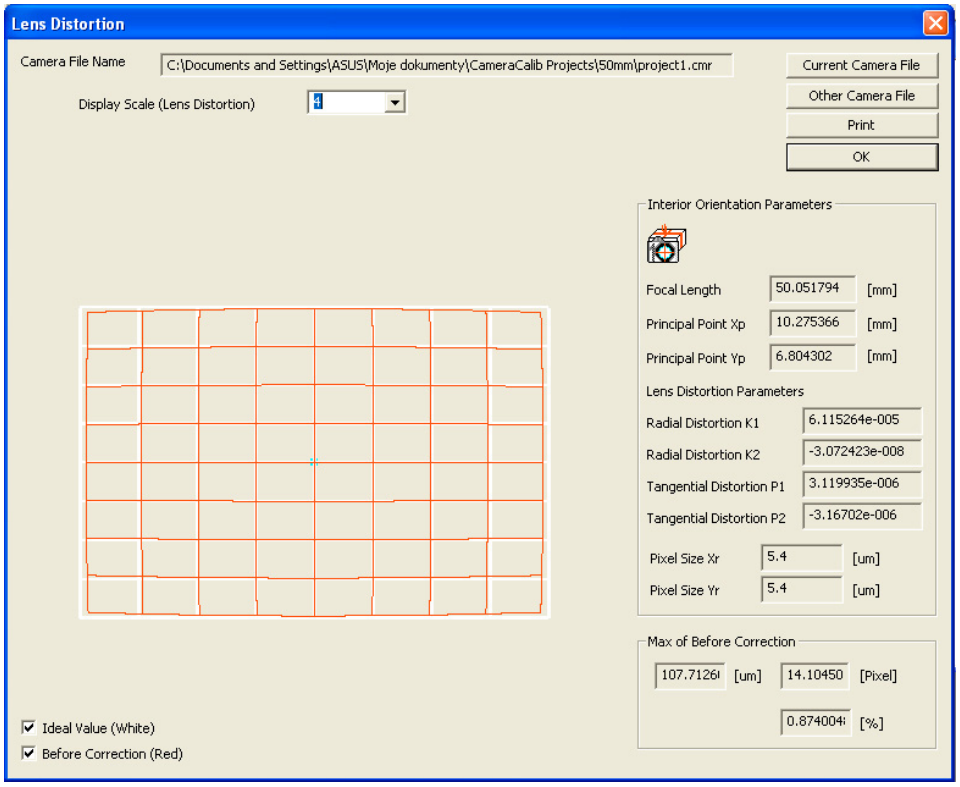
Wyznaczone parametry kalibracji dla obiektywu Canon 50mm f/1.4 zostały wyświetlone w postaci przedstawionej na rysunku 6.

Dla obiektywu Sigma 20 mm f/1.8 uzyskano następujące parametry kalibacji:

- Długość ogniskowej obiektywu 19.992656 [mm];
- Radialna dystorsja obiektywu:
  K1: 0.0002519469
  K2: -4.685576e-007;
- Tangencjalna dystorsja obiektywu:
  P1: 2.153564e-005
  P2: -1.562909e-005;

– Położenie punktu głównego sensora kamery:
  Xp: 10.782806 [mm]
  Yp: 7.067184 [mm].

Wartości te uznano za ostateczne.



Rysunek 6. Karta wynikowa dla obiektywu Canon 50mm f/1.4
Figure 6. Card of results for Canon 50mm f/1.4 objective

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie aparatów cyfrowych w opracowaniach fotogrametrycznych staje się coraz bardziej powszechne. Przyczynia się do tego między innymi możliwość zastosowania darmowych wersji oprogramowań umożliwiających wyznaczenie elementów orientacji wewnętrznej kamer niemetrycznych. Do takich z powodzeniem można zaliczyć oprogramowanie firmy Aerosys Consulting, a także *Image Master Calib* firmy Topcon. Pomijając zakup kosztownego specjalistycznego oprogramowania, do kalibracji kamer można stosować aparaty

cyfrowe w opracowaniach fotogrametrycznych, szczególnie w inwentaryzacji obiektów architektonicznych i dalej ich wizualizacji 3D.

BIBLIOGRAFIA

Boroń A. *Przydatność aparatu cyfrowego Minolta RD 175 w fotogrametrycznych opracowaniach cyfrowych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 1998, Vol. 8.

Kwoczyńska B. *Applibation of aerosys software to calibration of digital camera Canon EOS 300D*. Wydawnictwo Narodowego Uniwersytetu Politechniki Lwowskiej Miżwidomczij Naukowo-Technicznij zyrnik: „Geodezija, Kartografija i Aerofotoznimanija" Lwów 2007.

Dr inż. Bogusława Kwoczyńska
Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 253a
Tel. 12 662 45 05, 12 662 45 03
rmkwoczy@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Zbigniew Piasek*