

*fotogrametria cyfrowa, wielkoformatowa
fotogrametryczna kamera cyfrowa, SIP*

Artur JANOWSKI ¹
Cezary MISIUN ²
Jakub SZULWIC ³

JAKOŚCIOWA ANALIZA WYKORZYSTANIA CYFROWEJ LOTNICZEJ KAMERY FOTOGRAMETRYCZNEJ W SYSTEMACH INFORMACJI PRZESTRZENNEJ

Referat obejmuje próbę wskazania potencjału, jakim może zostać wzbogacony system informacji przestrzennej przy wykorzystaniu zdjęć cyfrowych i produktów pochodnych uzyskanych dzięki lotniczej wielkoformatowej fotogrametrycznej kadrowej kamerze cyfrowej.

1. FOTOGRAMETRYCZNE ŹRÓDŁA DANYCH DLA SIP

Jednym z istotniejszych wyznaczników jakości systemów informacji przestrzennej (SIP, ang. *GIS, Geographic Information Systems*) obok jego funkcjonalności jest potencjał informacyjny gromadzonych w nim zasobów. Z punktu widzenia kartograficznego jakość można scharakteryzować dwoma parametrami: aktualnością i dokładnością. Czynnikiem dokładności geometrycznej jest warunkowany wyłącznie doborem odpowiedniej technologii pomiaru. Charakteryzowany jest za pomocą wielkości błędu średniego i poziomu ufności. Aktualność w kontekście pozyskiwania danych należy z kolei rozumieć jako czas, który upływa od rozpoczęcia pozyskiwania danych do momentu zasilenia nimi systemu i możliwością generowania z nich oczekiwanych informacji. Zwłaszcza warunek aktualności skłania do poszukiwania nowoczesnych, wydajnych i jednocześnie precyzyjnych metod pozyskiwania danych

¹ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Instytut Geodezji

² Intergraph Polska Sp. z o.o.

³ Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji

w warunkach kameralnych. Takie kryteria spełnia współczesna technologia fotogrametryczna odwołująca się do obrazowania metrycznymi kamerami cyfrowymi. Współcześnie fotogrametryczne metody pozyskiwania danych oraz produkty wytwarzane w ramach rozwiązań odnoszących się do fotogrametrii lotniczej powiększają swój udział w tworzeniu światowej geoinformacji. Krajowi wykonawcy SIP równie powszechnie wykorzystują potencjał zdjęć lotniczych, ale wykorzystują system hybrydowy: o ile przetwarzanie fotogrametryczne bazuje na materiale cyfrowym, to materiałem źródłowym są analogowe zdjęcia fotogrametryczne. Zamiana do postaci cyfrowej poprzedzona jest procesem laboratoryjnej obróbki fotochemicznej, następnie materiały te są skanowane. Proces pozyskania analogowych obrazów i ujawnienia zdjęć w postaci cyfrowej jest obciążony licznymi wadami, z których można wskazać istotniejsze:

- faktyczny zakres pokrycia obiektu zdjęciami zostaje ujawniony długo po zakończeniu nalotu;
- materiały źródłowe mogą ulec zniszczeniu podczas obróbki fotochemicznej;
- proces fotochemiczny wpływa na właściwości geometryczne materiałów analogowych – nośników obrazu;
- następuje dwukrotnie przepróbkowanie danych obrazowych: pierwotną jakość obrazu definiuje ziarno emulsji, wtórną jakość obrazu definiuje rozdzielczość skanowania;
- proces skanowania wymaga specjalistycznej obsługi oraz kosztownych i precyzyjnych urządzeń.

Czynniki te powodują, że cały proces ten jest rozciągnięty w czasie, generuje znaczne koszty, a przy tym obarczony jest dużym ryzykiem. Przydatność każdej technologii musi zostać poparta oceną efektywności ekonomicznej, bo to przede wszystkim ona jest wyznacznikiem atrakcyjności dla podmiotów komercyjnych. Tymczasem w przypadku prac fotolotniczych wykonywanych kamerami analogowymi dobór parametrów pozyskiwanych zobrazowań jest istotnie obciążony ograniczeniami wynikającymi z kosztów. Takie czynniki jak parametry pokrycia podłużnego i poprzecznego dla zdjęć w bloku, dobór skali zdjęć, rodzaj materiału (zdjęcia kolorowe, panchromatyczne) w znacznej mierze wpływają tak na koszt, jak i na jakość i rodzaj produktów możliwych do wytworzenia na podstawie pozyskanych zdjęć analogowych. Dopiero w pełni cyfrowa linia fotogrametryczna, obejmująca także etap pozyskiwania danych za pomocą kamery cyfrowej, pozwala wyeliminować wyszczególnione wcześniej wady obróbki materiałów analogowych. Równocześnie skala zdjęć i wielkość pokrycia określające liczbę zdjęć nie zmieniają tak znacząco, jak w przypadku rejestracji analogowych, kosztów wykonania nalotu. Jedyne warunki są ograniczenia magazynowania danych na nośnikach pamięci masowej znajdujących się na pokładzie samolotu, a i ten problem może być wyeliminowany przez transfer danych poza statek powietrzny.

Pojawienie się w Polsce kamery cyfrowej w toku wykonawstwa i prac naukowych stanie się faktem, do którego tak naukowcy, akademicy, jak i wykonawcy komercyjni

muszą być przygotowani. Naturalnie można uniknąć odwoływania się do zagranicznych wykonawców i konsultantów. Konieczność rzeczywistego rozpoznania potencjału technologii powinna warunkować współpracę z firmami zagranicznymi. Cena technologii obrazowania cyfrowego nadal jest istotną barierą dla krajowych firm. Ważne jest jednak, aby nie budować wyobrażenia o możliwościach tej technologii wyłącznie na podstawie materiałów promocyjnych lub opracowań zagranicznych.

W takiej sytuacji nieodzowne staje się zbudowanie swoistego poligonu doświadczalnego związanego z dokonaniem nalotu fotogrametrycznego przy wykorzystaniu wielkoformatowej fotogrametrycznej kadrowej kamery cyfrowej (WFKKC) na obszary testowe i przeprowadzenie kompleksowego procesu technologicznego od pozyskania danych (obrazy cyfrowe, osnowa fotogrametryczna), poprzez przetwarzanie zdjęć, aż do wytworzenia produktów (ortofotomapa i tzw. prawdziwa ortofotomapa (ang. *trueorthophoto*, *trueortho*), numeryczny model terenu i pokrycia terenu w standardzie TBD). Wprost oczekiwane jest wykonanie dla wybranego obszaru cyfrowych zdjęć o różnej przestrzennej rozdzielczości (odpowiedniku skali dla zdjęć analogowych, określanej w odniesieniu do obrazów cyfrowych jako GSD (ang. *Ground Sampling Distance*)), przez co możliwa będzie analiza jakości i przydatności wytworzonych produktów w SIP.

Rozważenia wymaga też teza o wzajemnej synergii obrazowania z lotniczej kamery cyfrowej i satelitarnych obrazów wysokorozdzielczych, bo jak stanowią prognozy na najbliższe lata, w przestrzeni SIP jest miejsce na oba te źródła jako wzajemnie uzupełniające się dane.

2. SPECYFIKA FOTOGRAMETRYCZNEJ KAMERY CYFROWEJ

Z natury rejestracji zdjęć przez sensory CCD, kamery cyfrowe zwiększają możliwości pozyskiwania i kolekcjonowania danych [11]. Szczególnie przydatne do wykorzystania w procesie pozyskiwania danych dla SIP są WFKKC, w których rejestracja obrazu następuje na matrycy CCD, wraz z elementami orientacji. Takie rozwiązanie pozwala na przetworzenie zdjęć z WFKKC na stacjach fotogrametrycznych wykorzystywanych na dostępnych u polskich wykonawców fotogrametrycznych liniach technologicznych do przetwarzania tradycyjnych zdjęć z analogowych kamer fotogrametrycznych. W ramach przygotowań koncepcyjnych do pozyskania zdjęć wskazano WFKKC klasy DMC® (ang. *Digital Mapping Camera System*) firmy Intergraph Z/I Imaging. Analizowano także wykorzystanie kamery UltraCam-D® firmy Vexcel Imaging, która również pozwala na prowadzenie procesu przetwarzania zdjęć na tradycyjnych stacjach fotogrametrycznych. Istotne jednak jest, że pracach przygotowawczych odrzucono wykorzystanie kamer z linijkami CCD (np. ADS40), ze względu na ważny problem techniczny sprowadzający się

w ogólności do zmiany procesu przetwarzania zdjęć i niemożność bezpośredniego użycia dostępnych linii technologicznych.

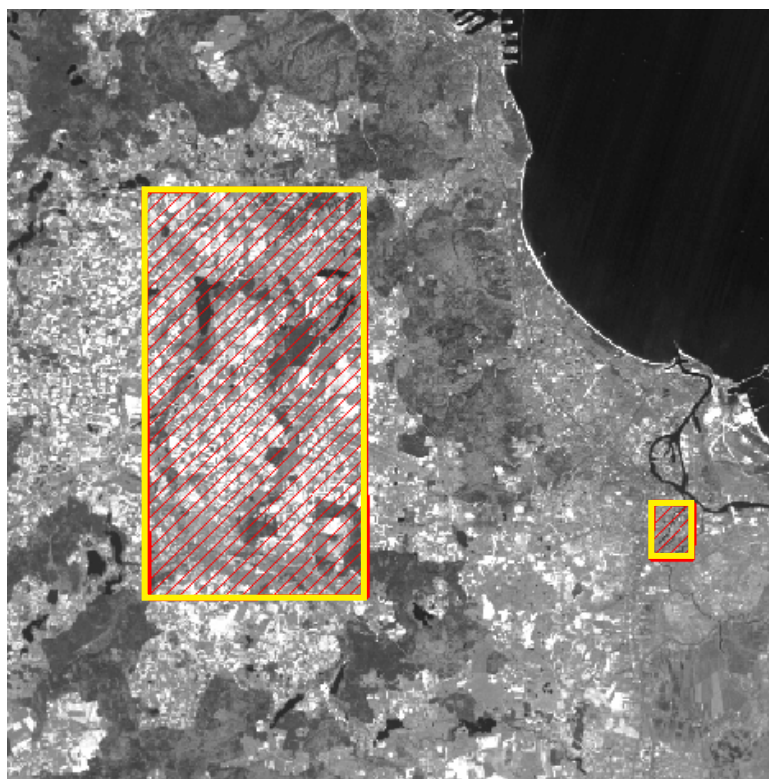
3. POZYSKANIE MATERIAŁÓW ŹRÓDŁOWYCH

W Polsce dotychczas nie został przeprowadzony pełny proces technologiczny odwołujący się do pozyskania i przetworzenia zdjęć z WFKKC wzbogaconych o liniowe i kątowe elementy orientacji zewnętrznej zdjęć. Równocześnie kamera cyfrowa i jej produkty upowszechniają się w zastosowaniach światowych. Oczekiwane jest więc, by w Polsce istniały zespoły zdolne realizować badania i przedsięwzięcia z użyciem kamer cyfrowych w całej rozciągłości procesu technologicznego bez konieczności odwoływania się do wykonawców i ekspertów zagranicznych. Przez wzgląd na fakt, że WCKKF jest w dyspozycji wyłącznie podmiotów zagranicznych, szczególne znaczenie ma uwzględnienie uwarunkowań prawnych [14][15] dotyczących danych niejawnych i faktu, że pozyskanie zdjęć jest równoznaczne z określeniem ich elementów orientacji zewnętrznej otrzymanych z GPS oraz INS (ang. *Inertial Navigation System*) – IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*).

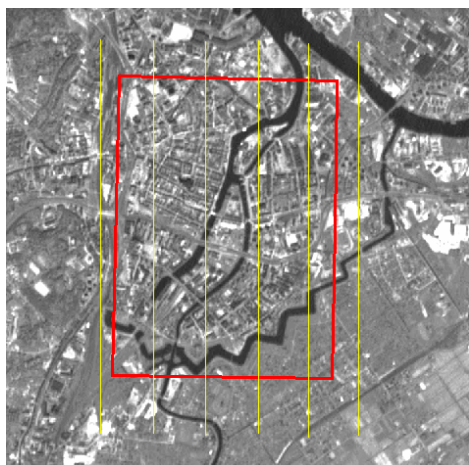
W ramach prac badawczych przewiduje się dobór technologii wykonania i przetworzenia cyfrowych zdjęć fotogrametrycznych wraz z przeprowadzeniem badań zmierzających do obiektywnej oceny jakościowej produktów kartograficznych przetworzonych z obrazów cyfrowych. Projekt zakłada wykonanie nalotu na dwóch polach testowych zlokalizowanych w Gdańsku i na obszarze podgdańskiej miejscowości Chwaszczyno (Tab. 1, Rys. 1-3).

Tab. 1. Charakterystyka opracowania pól testowych
Tab. 1. Description of areas tests

ID obszaru	skala	charakterystyka						
Starówka	1 : 6 000	Obszar zwartej, wysokiej zabudowy kamienicznej, wąskie uliczki tworzące gęstą sieć, występowanie obiektów zabytkowych o znacznych gabarytach.						
	1 : 8 000							
Chwaszczyno	1 : 20 000	Tereny o charakterystyce rolniczej, urozmaicona rzeźba terenu charakteryzująca się znacznymi deniwelacjami; obiekty infrastruktury umożliwiają weryfikacje jakości geometrycznej.						
	1 : 25 000							
	1 : 30 000							
skala	rozmiar piksela [m] GSD	Lx [m]	Ly [m]	Px [%]	Py [%]	Bx [m]	By [m]	pow. modelu [km ²]
1 : 6 000	0,072	553,0	995,3	80	60	110,6	398,1	0,044
1 : 8 000	0,096	737,3	1327,1	80	60	147,5	530,8	0,078
1 : 20 000	0,240	1843,2	3317,8	60	30	737,3	2322,4	1,712
1 : 25 000	0,300	2304,0	4147,2	60	30	921,6	2903,0	2,675
1 : 30 000	0,360	2764,8	4976,6	60	30	1105,9	3483,6	3,853



Rys. 1. Lokalizacja obszarów testowych
Fig. 1. The location of areas tests



Rys. 2. Obiekt „Starówka” – szkic projektowanych
osi szeregów (skala 1:6 000)
Fig. 3. The object „Starówka”
– draft of projected axes of rows



Rys. 3. Obiekt „Chwaszczyno” – szkic
projektowanych osi szeregów (skala 1:30 000)
Fig. 4. The object „Chwaszczyno”
– draft of projected axes of rows

4. ZAKRES BADAŃ I WDROŻEŃ TECHNOLOGICZNYCH

Dla obiektu „Starówka”, obejmującego Stare i Główne Miasto w Gdańsku, dobór dwóch skal 1:6000 i 1:8000 (Tab. 1) podyktowany został przetestowaniem przydatności zobrażeń wykonanych kamerą WFKKC dla opracowań wynikowych w skali 1:500, 1:1000 i 1:2000, porównaniem wyników z innymi badaniami [9] oraz dostępnymi opracowaniami analogowymi. Przyjęte parametry pokrycia podłużnego $P_x=80\%$ i poprzecznego $P_y=60\%$ umożliwiają wygenerowanie *trueortho*, produktu w Polsce innowacyjnego. Można szacować, że przy wysokości budynków występujących na polu testowym „Starówka” wartości te pozwolą uzyskać wystarczający stopień pokrycia zapewniający eliminację obszarów zasłoniętych, jak też usunięcie z obrazu elementów płaszczyzn pionowych, przy terenowej wielkości piksela poniżej 10 cm.

Dla obiektu „Chwaszczyno” dobór trzech skal 1:20000-1:30000 (Tab. 1) podyktowany jest potrzebą przetestowania przydatności zobrażeń wykonanych kamerą DMC® dla opracowań w skali 1:5000 dla terenów określanych potocznie jako rolnicze; możliwe będzie też dokonanie analizy potencjału informacyjnego w porównaniu do analogowych zdjęć fotogrametrycznych otrzymanych w skali 1:26000. Przyjęte parametry pokrycia $P_x=60\%$ i $P_y=30\%$ stanowią standardowe wielkości przy tego typu opracowaniach wykonywanych kamerami analogowymi. Ogólnym celem jest określenie rzeczywistych przekładni skalowych gwarantujących pozyskanie pożądaných w tej klasie opracowania parametrów geometrycznych produktu, jak też optymalnych wyników związanych z rozdzielczością obrazu.

Przedsięwzięcie wkomponowuje się w cykl badań realizowanych w czołowych ośrodkach fotogrametrycznych pod patronatem ISPRS (ang. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), a także EARSel (ang. *European Association of Remote Sensing Laboratories*). Dostępne są opracowania naukowe i publikacje reklamowe realizowane w ramach testów firmowych producenta kamery [3][4][10]. Nie podejmowano jednak kompleksowego rozwiązania odwołującego się do nalotów powtarzanych na zadany obszar przy zmiennej wysokości lotu i rozdzielczości terenowej piksela, uwzględniających krajowe uwarunkowania technologiczno-formalne. Natomiast realizowane poza Polską eksperymenty wskazują bardzo istotne poprawienie jakości geometrycznej i interpretacyjnej [5][6] przy odwołaniu się do produktów powstałych na bazie zdjęć z WFKKC, stąd poza rozpoznaniem procesu technologicznego możliwe będzie także porównanie wyników polskiego eksperymentu do istniejących opracowań, a także podjęcie tematów niedostępnych dla opracowań analogowych ze względu na specyfikę technologiczną – np. generowanie *trueortho* [1][13] wykorzystujące zwiększone pokrycie między zdjęciami i cyfrową korektę radiometrii, umożliwiające ograniczenie przetworzenia do środkowych fragmentów zdjęć – także z odwołaniem się do zdjęć pozyskanych kamerą UltraCam-D® [7]. Kamera cyfrowa daje łatwość zwiększenia pokrycia zdjęć bez dodatkowych kosztów, co jest szczególnie ważne właśnie w kontekście zaistnienia *trueortho* w powszechnej produkcji fotogrametrycznej i zasilaniu SIP.

Współcześnie liczne badania i projekty naukowe odnoszą się do oceny możliwości i poprawności wyznaczania bezwzględnych elementów orientacji zdjęcia z użyciem technologii GPS/INS [2][12]. Pojedyncze badania przeprowadzone zostały także w krajowych ośrodkach fotogrametrycznych [8], w odniesieniu do danych pozyskanych poza Polską. Przez wsparcie danymi z GPS/INS szeroki zakres badań może być związany z aerotriangulacją. Ocenie może zostać poddana możliwość i dokładność wykonania bezwzględnej orientacji sensora w oparciu o zarejestrowane elementy GPS/INS oraz możliwość wykorzystania elementów orientacji zewnętrznej rejestrowanych przez system GPS/INS w procesie zintegrowanej orientacji sensora (ang. *Integrated Sensor Orientation*) w połączeniu z klasyczną aerotriangulacją. Nalot jest planowany w oparciu system planowania misji i nawigacji, a zdjęcia będą pseudocelowane o ściśle wyznaczonym położeniu środków rzutu w momencie ekspozycji. W eksperymencie planuje się wykorzystanie min. trzech stacji bazowych znajdujących się w różnych konfiguracjach odniesionych do pól testowych w celu określenia ich wpływu na dokładność wyznaczenia liniowych elementów orientacji zdjęcia. Aktualnie prowadzone prace fotolotnicze na terytorium kraju np. w ramach LPIS (System Identyfikacji Działek Rolnych, ang. *Land Parcel Identification System*) i wykorzystujące stacje referencyjne GPS pozostawiają wiele niejasności, a wyniki wskazują, że nie mogą zostać uznane jako poprawne i de facto wykorzystujące wyznaczenie środków rzutów w oparciu o stacje referencyjne GPS. Stąd konieczność analizy problemu integracji sensorów GPS/INS (kalibracja), oraz wykorzystania do tego celu stacji referencyjnych EUPOS (ang. *EUropean POsition determination System*).

5. PODSUMOWANIE – OCZEKIWANE EFEKTY

Przeprowadzenie badań na testowych obszarach pozwoli na:

- wykorzystanie nowoczesnych technologii obrazowania kamerą cyfrową do pozyskania wysokiej jakości produktów kartograficznych, a w efekcie umożliwi ocenę możliwości wykorzystania obrazów z WFKKC w alternatywie do zdjęć analogowych i satelitarnych jako danych zasilających SIP,
- przeprowadzenie analiz w zakresie uwarunkowań prawnych w zakresie obrazowania cyfrowego i wykorzystania obrazów cyfrowych w pracach geodezyjnych, kartograficznych, fotogrametrycznych i teledetekcyjnych.

Istotnym efektem przeprowadzenia eksperymentu będzie przygotowanie osób biorących udział w badaniach i współpracujących jednostek badawczych do podejmowania innych tematów związanych z lotniczymi zobrazowaniami cyfrowymi. Efekt ten jest szczególnie cenny wobec nieuniknionej perspektywy wejścia kamery cyfrowej na polski rynek pozyskiwania lotniczych danych fotogrametrycznych i oczekiwań co do istnienia w kraju zespołów zdolnych obsłużyć zagadnienia kartograficzne i fotogrametryczne związane z kamerą cyfrową.

LITERATURA

- [1] BRAUN J., *Aspects on True-Orthophoto Production*, Photogrammetric Week, Stuttgart 2003
- [2] CRAMER M., *Integrated GPS/inertial and digital aerial triangulation – recent test results*, Photogrammetric Week, Stuttgart 2003
- [3] DÖRSTEL C., TRAUB S., WUESCHER D., *Intergraph, Germany: Towards Fully Automated Processing of DMC Images*, ISPRS Hannover Workshop 2005
- [4] DÖRSTEL C., ZEITLER W., *Geometric Calibration of the DMC: Method And Results*, ISPRS komisja I, International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, Part 1, pp 324-333, Denver 2002
- [5] EICHSTÄDT H., *3D Modeling using DMC Data Input*, Photogrammetric Week 2003, Stuttgart 2003.
- [6] FERRANO G., NEUMANN K. J., DÖRSTEL C., *New Quality Standards For Digital Images*, ISPRS komisja II grupa robocza II/4, XX Kongres ISPRS, Istambuł 2004.
- [7] GRUBERA M., PERKOB R., PONTICELLIA M., *The All Digital Photogrammetric Workflow: Redundancy and Robustness.*: XX Kongres ISPRS, Istambuł 2004
- [8] JĘDRYCZKA R., *Pomiary GPS/IMU, a wyznaczanie elementów orientacji zewnętrznej*, AFKiT vol. 12, Białołęka k. Warszawy 2002
- [9] MADANI M., DÖRSTEL C., HEIPKE C., JACOBSEN K., *DMC Practical Experience And Accuracy Assessment*, ISPRS, Istambuł 2004.
- [10] NEUMANN K. J., *Operational Aspects of Digital Aerial Mapping Cameras*, ISPRS, Istambuł 2004.
- [11] REULKE R., *Film-based and Digital Sensors – Augmentation or Change in Paradigm?* Institute for Photogrammetry (ifp), on-line: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/reulke.pdf>
- [12] TANG L., KREMER J., Kohlhaas H., *Introducing DGPS/IMU-based Photogrammetry to China*, Photogrammetric Week , Stuttgart 2003
- [13] YAMADA K., ODAA M., *Discussion on the Generation Method of Simplified True Ortho at the Urban Area Using The Area Sensor Type Digital Aerial Camera “DMC”*, ISPRS, Istambuł 2004
- [14] *Ustawa z 17.05.1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne* (Dz.U. z 2000 r. Nr 100, poz. 1086, Nr 120, poz. 1268, z 2001 r. Nr 110, poz. 1189, Nr 115, poz. 1229, Nr 125, poz. 1363, z 2003 r. Nr 162, poz. 1568, Nr 166, poz. 1612, z 2004 r. Nr 10, poz. 76, Nr 141, poz. 1492)
- [15] *Ustawa z 22.01.1999 r. o ochronie informacji niejawnych* (Dz.U. z 1999 r. Nr 11, poz. 95, z 2000 r. Nr 12, poz. 136, Nr 39, poz. 462, z 2001 r. Nr 22, poz. 247, Nr 27, poz. 298, Nr 56, poz. 580, Nr 110, poz. 1189, Nr 123, poz. 1353, Nr 154, poz. 1800, z 2002 r. Nr 74, poz. 676, Nr 89, poz. 804, Nr 153, poz. 1271, z 2003 r. Nr 17, poz. 155, z 2004 r. Nr 29, poz. 257, z 2005 r. Nr 85, poz. 727).

QUALITATIVE ANALYSIS OF USE DIGITAL AERIAL CAMERA
IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Article embraces qualitative analysis of application large format digital aerial camera in geographic information systems (GIS) and contains description and project of photogrammetrics air-raid for Gdansk city and his environs.

Artykuł opiniował prof. dr hab. Andrzej Świętkiewicz