

## **Stereofotogrametryczna inwentaryzacja obiektu architektonicznego na podstawie niemetrycznych zdjęć cyfrowych średniej rozdzielczości**

*Piotr Sawicki, Justyna Rolka, Wojciech Urbański*

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
10-957 Olsztyn, ul. M. Oczapowskiego 1

### **Streszczenie**

*Stereofotogrametryczne opracowanie dużego obiektu architektonicznego przeprowadzono na podstawie niemetrycznych zdjęć cyfrowych o rozdzielczości  $2.2K \times 1.4K$ , które wykonano aparatem cyfrowym Kodak DC4800. Do opracowania zastosowano autograf cyfrowy Video Stereo Digitizer bazujący na komputerze klasy PC oraz system MicroStation 95. Orientację zdjęć niemetrycznych w autografie przeprowadzono metodą DLT. Przy orientacji skalibrowanych obrazów cyfrowych należy wprowadzić dodatkowe parametry modelujące wszystkie błędy systematyczne kamery cyfrowej. W wyniku stereodigitalizacji 3D otrzymano mapy wektorowe elewacji w skali 1: 50.*

### **1. Wstęp**

Współczesna fotogrametria architektoniczna coraz powszechniej stosuje obrazy cyfrowe do numerycznego trybu opracowania. Obrazy cyfrowe pozyskiwane są przez skanowanie zdjęć analogowych wykonanych przeważnie kamerą metryczną lub semimetryczną, albo w trybie bezpośredniej rejestracji obiektu kamerą cyfrową. Zastosowanie danych cyfrowych pozwala na znaczny stopień zautomatyzowania procesu opracowania numerycznego. Takie opracowanie wspomagane jest standardowo oprogramowaniem typu CAD. Wynik opracowania zapisywany jest w formie numerycznej, co pozwala na nowoczesną komputerową wizualizację, animację oraz modelowanie obiektu w zależności od wymagań zleceniodawcy.

Profesjonalne kamery i aparaty cyfrowe typu *still video* o dużej rozdzielczości są ciągle bardzo drogie. Natomiast amatorskie, fotograficzne aparaty cyfrowe oferowane są w przystępnej cenie na poziomie kilku tysięcy złotych, ale o rozdzielczości przeciętnie nie przekraczającej  $2.5K \times 1.5K$ . Powoduje to, że inwentaryzacja architektoniczna z zastosowaniem cyfrowych aparatów fotograficznych ograniczona jest do numerycznego opracowania obiektów o niewielkich wymiarach lub detali architektonicznych (IAPRS, 1966, 2000). Zastosowanie tego typu aparatów do rejestracji i opracowania obiektów wielkowymiarowych wymaga jeszcze prób i analiz dokładności.

Celem przeprowadzonego eksperymentu było zbadanie możliwości wykorzystania niemetrycznych zdjęć o rozdzielczości  $2160 \times 1440$ , zarejestrowanych cyfrowym aparatem fotograficznym Kodak DC4800, do inwentaryzacji obiektu zabytkowego o znacznych wymiarach, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganego zakresu i dokładności opracowania numerycznego.

## 2. Charakterystyka obiektu

Wybrany do testowego opracowania obiekt jest dwukondygnacyjnym budynkiem o wymiarach  $39\text{ m} \times 15,5\text{ m} \times 12\text{ m}$ , położonym na terenie Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie przy ul. R. Prawocheńskiego 1, który jest wpisany do rejestru zabytków. Ściany budynku wykonane są z cegły i zawierają elementy zdobnicze oraz wykończeniowe, stanowiące strukturalny wzór np. poziome rzędy jasnych cegieł. Na powierzchniach elewacji występują dodatkowo pęknięcia, zarysowania i ubytki. Zwieńczenie budynku stanowi dach o niewielkim kącie nachylenia, wykonany blachy.

## 3. Osnowa fotogrametryczna

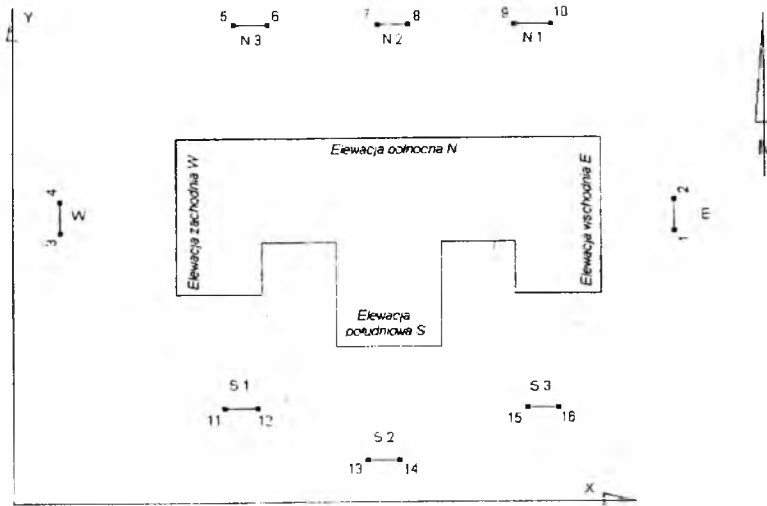
Projekt osnowy fotogrametrycznej wykonano z uwzględnieniem parametrów technicznych aparatu fotograficznego Kodak DC4800 oraz warunków opracowania na cyfrowym autografie analitycznym Video Stereo Digitizer AGH (Jachimski, Zieliński, 1998). Przy projektowaniu rozmieszczenia punktów osnowy kierowano się zasadą uzbrojenia każdego zdjęcia w min. 6 fotopunktów do orientacji metodą DLT. Starano się również zapewnić położenie w pasie pokrycia dwóch sąsiednich stereogramów 3 sygnalizowanych punktów, które w trakcie opracowania pełniły rolę punktów wiążących i kontrolnych. Punkty osnowy fotogrametrycznej sygnalizowano za pomocą specjalnie zaprojektowanego i wykonanego znaczka o wymiarach odpowiadających liczbie 5–7 pikseli w skali obrazu cyfrowego lub wybrano dobrze identyfikowane naturalne szczegóły sytuacyjne. Współrzędne przestrzenne 49 fotopunktów określono metodą wielokrotnych kątowych wcięć w przód z 7 punktów założonej i wyrównanej osnowy geodezyjnej. Fotopunkty otrzymały współrzędne w jednym globalnym układzie obiektu. Ich dokładność charakteryzuje średni błąd położenia  $m_p = \pm 8\text{ mm}$ . Zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej obiektu 20 dodatkowymi fotopunktami uzyskano przez rozwiązanie terratriangulacji metodą wiązek za pomocą programu PICTRAN B (Cieślik, Sobierańska, 2001).

## 4. Rejestracja zdjęć cyfrowych

Zdjęcia obiektu wykonano aparatem cyfrowym Kodak DC4800 zgodnie z wykonanym wcześniej projektem. Ogółem zarejestrowano 8 stereogramów (Rys. 1), których orientacja zbliżona była do przypadku zdjęć normalnych, lekko nachylonych.

Rejestrację wszystkich zdjęć przeprowadzono przy następujących ustawieniach aparatu cyfrowego: rozdzielczość  $2160 \times 1440$ , minimalna ogniskowa 6 mm, stałe ogniskowanie *Fix Focus* w przedziale  $0,5\text{ m} \div \infty$  oraz optyczny zoom = 1. Konfigurację zdjęć charakteryzowały następujące parametry fotogrametryczne: średnia odległość fotografowania  $Y_f = \sim 16\text{ m}$ , mianownik skali zdjęć  $M_z = \sim 2600$ , stosunek bazowy  $v = 1/4 \div 1/5$ , średnie pokrycie podłużne  $p_x = 83\%$ .

Opracowanie zdjęć cyfrowych na autografie VSD poprzedzono zamianą w programie Corel PHOTO-PAINT 9 palety kolorów z 24 na 8 bit oraz formatu zapisu z JPEG na TIFF bez kompresji. Przeprowadzono również dodatkowo wyostrzenie obrazów cyfrowych celem poprawy jakości obserwacji stereoskopowych.



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia stanowisk fotografowania

## 5. Orientacja i opracowanie zdjęć cyfrowych w autografie VSD

Orientacja wszystkich stereogramów niemetrycznych zdjęć cyfrowych wykonana została za pomocą bezpośredniej transformacji liniowej DLT (Kraus, 1997). Zaimplementowana w autografie VSD funkcja DLT wyznacza 11 współczynników przekształcenia rzutowego każdego obrazu. W następnym etapie wykonana zostaje orientacja bezwzględna modelu. Program podaje obliczone wartości współczynników transformacji, błędy średnie współrzędnych przestrzennych  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  oraz błąd średniokwadratowy punktu  $m_p$  w układzie odniesienia.

Wyniki wpasowania kolejnych modeli w fotopunkty przedstawia tabela 1. Otrzymane średnie wartości błędów na fotopunktach  $M_x = \pm 4.5$  mm,  $M_y = \pm 13.4$  mm,  $M_z = \pm 6.5$  mm oraz błędu średniokwadratowego punktu  $M_p = \pm 15.7$  mm świadczą o dużej dokładności wpasowania modeli w osnowę fotogrametryczną. Wyniki te uzyskano pomimo bardzo niekorzystnego, prawie współpłaszczyznowego położenia fotopunktów na elewacji zachodniej (max.  $\Delta Y = 0.15$  m) oraz elewacji północnej (max.  $\Delta Y = 0.75$  m). Błędy szczytkowe orientacji modelu w postaci paralaksy poprzecznej o wartości  $p_y \leq 2$  piksela obserwowano na obrzeżach stereogramów, poza właściwym obszarem opracowania wektorowego. Nie miało to wpływu na dokładność stereodigitalizacji treści modelu.

Stereogram	Błędy orientacji stereogramów metodą DLT [mm]			
	$m_x$	$m_y$	$m_z$	$m_p$
E	4.1	5.2	3.7	7.6
N1	2.0	4.0	1.1	4.6
N2	6.5	20.7	9.8	23.8
N3	6.7	19.2	10.8	23.0
S1	7.0	21.4	8.7	22.9
S2	5.3	21.0	5.3	22.3
S3	4.2	11.7	11.6	17.1
W	0.4	3.9	0.7	4.0
Obiekt	$M_x$	$M_y$	$M_z$	$M_p$
	4.5	13.4	6.5	15.7

Tab. 1. Zestawienie błędów orientacji stereogramów metodą DLT

Wszystkie stereogramy zorientowano również z zastosowaniem sekwencyjnej procedury orientacji zdjęć metrycznych. W procesie orientacji wewnętrznej wykorzystano tylko te dane z samokalibracji polowej aparatu Kodak DC4800 (Sawicki, 2001):

$c_K = 6.07461$  mm – stała kamery

$x'_0 = -0.03544$  mm – współrzędne punktu głównego

$y'_0 = 0.08078$  mm

$A1 = -0.239981D-02$  – współczynnik dystorsji radialnej

$A5 = -0.181519D-03$  – współczynnik dystorsji tangencjalnej, niesymetrycznej

$R_0 = 0.278400D+01$  mm – promień normalizujący,

które akceptowane były przez oprogramowanie autografu VSD.

Po wykonaniu orientacji bezwzględnej wszystkich modeli w trybie orientacji zdjęć metrycznych uzyskano przeciętny błąd średniokwadratowy położenia punktu  $M_p = \pm 54$  mm. Zaniechanie korekcji dystorsji radialnej i tangencjalnej zdecydowanie obniżyło dokładność orientacji bezwzględnej. Otrzymano bardzo duży, niemożliwy do przyjęcia błąd  $M_p = \pm 102$  mm.

Porównanie dokładności orientacji metodą DLT zdjęć niemetrycznych z jakością orientacji zdjęć cyfrowych traktowanych jako metryczne uzyskano również przez pomiar współrzędnych na punktach kontrolnych. Otrzymano różnice współrzędnych na podstawie, których obliczono wartość średniej odchyłki kwadratowej dla punktów kontrolnych. W przypadku zdjęć niemetrycznych otrzymano błąd  $M_p = \pm 30$  mm, natomiast dla zdjęć skalibrowanych  $M_p = \pm 45$  mm.

Zdjęcia niemetryczne zorientowane za pomocą transformacji DLT zapewniły wyższą dokładność orientacji bezwzględnej modeli. Wynika to z faktu, że metoda DLT wyraża liniowy związek między współrzędnymi każdego obrazu i obiektu, który opisany jest 11 współczynnikami przekształcenia rzutowego. Natomiast moduł orientacji wewnętrznej w autografie VSD nie uwzględnia dla zdjęć skalibrowanych parametrów modelujących błędy geometryczne sensora CCD. W omawianym przypadku nie

wprowadzono korekcji zmiany skali wzdłuż osi x, co w konsekwencji prowadziło do obniżenia dokładności orientacji modeli.

Wektoryzację treści sytuacyjnej poszczególnych elewacji wykonano w zdefiniowanych warstwach tematycznych, wykorzystując funkcje użytkowe autografu VSD. Pliki wektorowe zapisano w formacie DXF. Mapy wektorowe elewacji podano dalszej obróbce i opracowaniu w programie MicroStation 95. Na mapach umieszczono profile poziome i pionowe oraz rzędne charakterystycznych szczegółów obiektu. Profile wygenerowano poprzez zrzutowanie odpowiedniej warstwy pliku wyjściowego DXF na płaszczyzny poziome lub pionowe. Ponadto na mapach elewacji umieszczono siatki kwadratów wraz z opisami terenowego układu współrzędnych. Ostatecznie zredagowano mapy wektorowe elewacji w stopniu generalizacji odpowiadającym edycji w skali 1:50. Przykład wydruku mapy wektorowej dla elewacji wschodniej przedstawia rysunek 2.

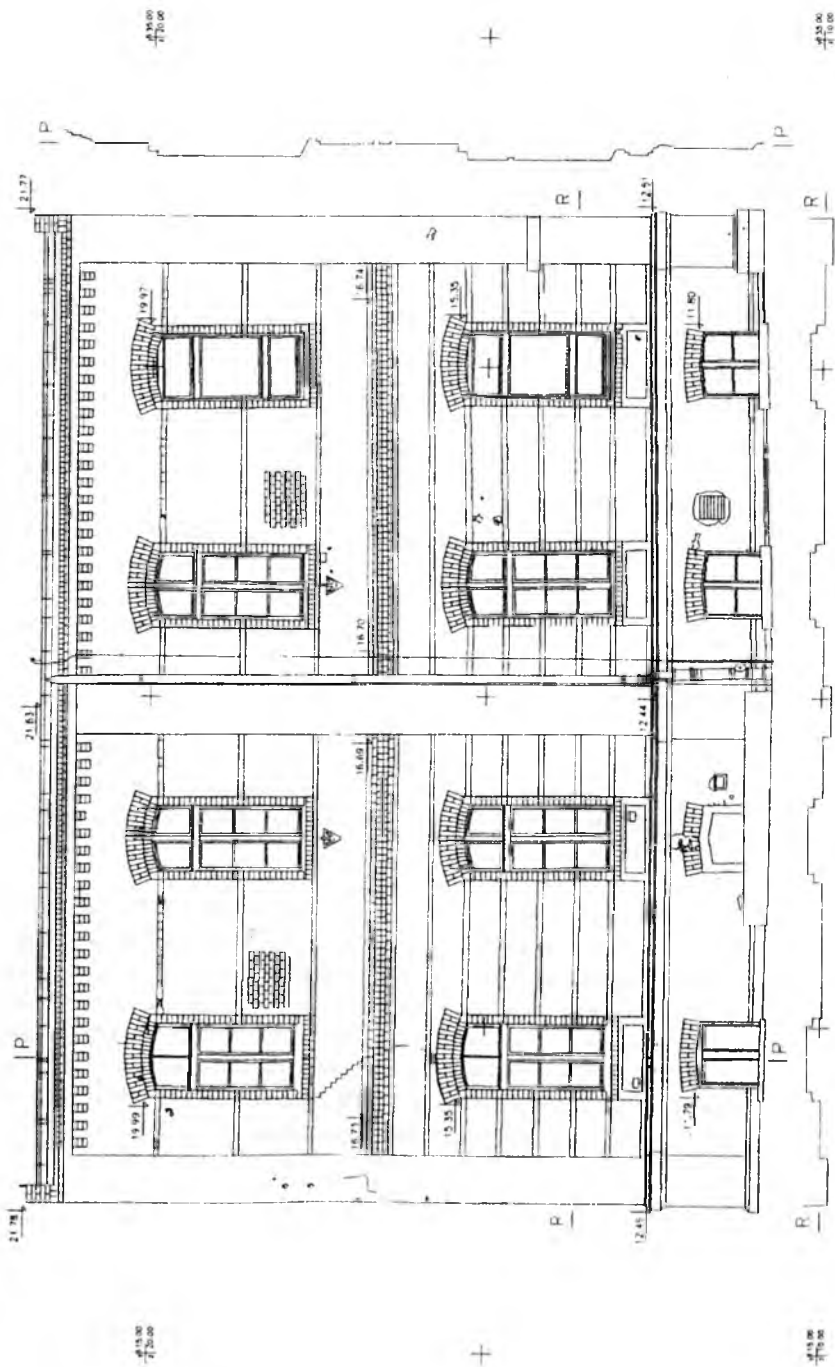
Dodatkową kontrolę dokładności opracowania przeprowadzono na punktach sytuacyjnych, znajdujących się na krawędziach sąsiednich elewacji. Różnice współrzędnych  $\Delta Z$  tych samych punktów nie przekroczyły wartości  $\pm 20$  mm. Ponadto pomierzono współrzędne sytuacyjne fotopunktów na mapie wektorowej i porównano je ze współrzędnymi fotogrametrycznymi modelu. Otrzymane różnice  $\Delta X, \Delta Z$  nie przekroczyły  $\pm 5$  mm. Wartości te świadczą o wysokiej dokładności stereodigitalizacji.

## 6. Podsumowanie

Przeprowadzony eksperyment pozwolił stwierdzić pełną przydatność niemetrycznych zdjęć cyfrowych średniej rozdzielczości ( $2160 \times 1440$ ) wykonanych fotograficznym aparatem cyfrowym Kodak DC4800 do inwentaryzacji architektonicznej obiektu zabytkowego o znacznej wielkości.

Orientację stereogramów niemetrycznych zdjęć cyfrowych należy wykonać metodą bezpośredniej transformacji liniowej DLT. Rozwiązanie to wymaga jednak wyznaczenia dużej liczby punktów osnowy fotogrametrycznej (min. 6 fotopunktów dla każdego zdjęcia). Dokładność orientacji bezwzględnej modeli uwarunkowana jest liczbą punktów dostosowania, ich rozmieszczeniem w przestrzeni obiektu i położeniem na zdjęciu. Zastosowanie do pomiarów stereoskopowych skalibrowanych obrazów cyfrowych jest możliwe, gdy autograf cyfrowy posiada moduł korekcji błędów systematycznych kamery cyfrowej – dystorsji i błędów geometrycznych sensora CCD.

BUDYNEK WYDZIAŁU  
OCHRONY ŚRODOWISKA I RYBACTWA  
Olsztyn – Kortowo  
ul. R. Prawocheńskiego 1  
elewacja wschodnia



Rys. 2. Elewacja wschodnia obiektu testowego

Stereofotogrametryczne opracowanie zdjęć cyfrowych zostało wykonane na autografie cyfrowym VSD AGH bazującym na komputerze klasy PC. Wynik stereodigitalizacji 3D wspomagany był na etapie redakcji pierworysów map wektorowych programem MicroStation 95. Dokładność numerycznego opracowania sytuacyjnego oszacowano na  $\pm 25$  mm. Wynikiem opracowania jest numeryczna, w pełni kartometryczna dokumentacja obiektu, zredagowana dla skali 1: 50, która obejmuje mapy wektorowe poszczególnych elewacji wraz z profilami poziomymi i pionowymi oraz opisami wysokości punktów.

Recenzował; dr inż. Adam Boroń

## Literatura

1. Cieślik M., Sobierańska D. Analityczne rozwiązanie fotogrametrycznej sieci cyfrowych zdjęć naziemnych. Praca magisterska, UWM Olsztyn, 2001.
2. Frenki D. MicroStation 95/J. Helion, Gliwice, 2000.
3. <http://www.bentley.com.pl>
4. <http://www.kodak.com>
5. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI Part B5, Com.V, 1996.
6. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII Part B5/1, B5/2, Com.V, 2001.
7. Jachimski J., Zieliński J.M. VSD w inwentaryzacji zabytków. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 8, 1998.
8. Kodak DC4800 – User’s Guide. Eastman Kodak Company, New York, 2000.
9. Kraus K. Photogrammetry. Dümmler, Bonn, 1997.
10. Sawicki P. Rozwiązanie terratriangulacji łącznie z samokalibracją połową aparatu cyfrowego Kodak DC4800. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 11, 2001.

## **Sterephogrammetric restitution of the architectural object based on non-metric digital images with mean resolution**

### **Abstract**

*Stereophogrammetric restitution of a large architectural object was carried out on the basis of non-metric digital images made by digital camera Kodak DC4800 with 2.2K x 1.4K resolution. Video Stereo Digitizer digital stereoplotter based on PC computer and MicroStation 95 system were applied in the elaboration. Non-metric images orientation was carried out in the stereoplotter with DLT method. It is necessary to include additional parameters modelling systematic errors of digital camera in inner orientation of metric digital images. Vector planes of facades in the 1: 50 scale were received as a result of 3D stereodigitizing.*

