



Regina Tokarczyk, Magdalena Brodzińska

**FOTOGRAMETRYCZNA REKONSTRUKCJA ODWACHU
NA RYNKU W KRAKOWIE NA PODSTAWIE ZDJĘĆ
ARCHIWALNYCH**

**PHOTOGRAMMETRIC RECONSTRUCTION OF ODWACH
ON MAIN MARKET SQUARE IN CRACOW BASED ON
ARCHIVAL PHOTOGRAPHS**

*Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Wydział Geodezji Górniczej
i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Department of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics, Faculty of Mining
Surveying and Environmental Engineering, AGH University of Science and Technology*

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono przebieg prac mających na celu wykonanie przestrzennej rekonstrukcji nieistniejącej już budowli, jaką był Odwach na Rynku Głównym w Krakowie. Archiwalnym materiałem fotograficznym, na którym bazowała rekonstrukcja było siedem zdjęć wykonanych nieznanymi kamerami fotograficznymi. Dla rozwiązania zagadnienia – obliczenia przestrzennych współrzędnych wybranych punktów budowli, wykorzystano metodę DLT. Dla porównania współrzędne punktów rekonstruowanej budowli obliczono niezależnie wykorzystując system obliczeniowy ORIENT. Po uzyskaniu odpowiedniej liczby punktów budowli, dla uzyskania efektu fotorealistycznego, skonstruowano w MicroStation95 jej model *wire frame*, który pokryto rastrem ze zdjęć.

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria analityczna, bezpośrednia transformacja liniowa DLT, trójwymiarowa rekonstrukcja

1. WSTĘP

Archiwalne materiały fotograficzne są źródłem różnego rodzaju informacji o czasie minionym, między innymi niezastąpionym świadectwem wyglądu nieistniejących już zabytków architektury. Dzięki starym zdjęciom udało się zrekonstruować wiele budowli, przy czym w większości przypadków zdjęcia służyły raczej do odtworzenia wyglądu budowli, a nie dokładnego usytuowania jej punktów w przestrzeni. Tej informacji mogą dostarczyć metody fotogrametrii analitycznej; wynikiem może być stosowana coraz częściej w inwentaryzacji zabytków wirtualna fotorealistyczna trójwymiarowa rekonstrukcja.

W pracy tej przedstawiono metodykę pomiaru fotogrametrycznego zmierzającego do komputerowego modelowania 3D nieistniejącego obecnie budynku Odwachu na Rynku w Krakowie.

Obiekt ten, powstał w 1882 roku w miejsce zburzonego w roku 1879 wcześniejszego klasycystycznego Odwachu, w XIX wieku był posterunkiem wojsk austriackich, wojsk Księstwa Warszawskiego, milicji „wolnego miasta Krakowa”, a w okresie międzywojennym siedzibą straży pożarnej i straży miejskiej. Zbudowano go obok Wieży Ratuszowej od strony ulicy Brackiej i Wiślniej, w stylu późnogotyckim, z wieżyczkami i podcieniami. Został zburzony w 1946 roku.

Do rekonstrukcji fotogrametrycznej użyto siedmiu zdjęć znajdujących się w zbiorach Muzeum Historii Miasta Krakowa, do weryfikacji wyników użyto mapę Rynku w Krakowie z lat 30-tych XX w. oraz archiwalne plany Odwachu udostępnione przez Oddział Archiwum Państwowego w Krakowie.

2. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH WYKORZYSTANYCH DO REKONSTRUKCJI

Podstawą fotogrametrycznej rekonstrukcji budynku było siedem fotografii czarno-białych, odbitek stykowych i powiększeń, a także kopii wykonanych metodą „fotografia z fotografii”. Trzy spośród nich zostały wykonane przez pracownię fotograficzną Ignacego Kriegera w latach 1880–1900. Są to zdjęcia formatu 29.5 × 21.5 cm oraz 26.0 × 20.5 cm – odbitki stykowe z negatywów wykonanych na kliszach szklanych. Charakteryzuje je doskonała ostrość oraz wysoka rozdzielczość wynikająca z małej czułości stosowanych wówczas (początki fotografii!) materiałów negatywowych.

Pozostałe cztery zdjęcia pochodzą z późniejszego okresu. Jedno, wykonane przez Pawlikowskiego, pokazuje Odwach w 1924 r. podczas uroczystości państwowych. Dwa pochodzą z roku 1938, pierwsze prawdopodobnie przedstawia obchody Święta Bożego Ciała, o drugim wiadomo dodatkowo, że autorem był Kolowiec. Na temat ostatnich dwu zdjęć brak jakichkolwiek informacji.

Ze względu na wiek oraz historyczną wartość negatywów, muzeum udostępnia jedynie papierowe odbitki zdjęć i to tylko na swoim terenie. Zostały one więc poddane procesowi skanowania na skanerze nieprofesjonalnym BowerPow, pixelem o rozmiarze 21µm i zapisane w postaci cyfrowej w formacie *.tif, w skali szarości.

3. KONCEPCJA POMIARU FOTOGRAMETRYCZNEGO

Materiał archiwalny – zdjęcia niemetryczne, o nieznanym kierunku orientacji wewnętrznej i zewnętrznej, wiązkach zdeformowanych błędami obrazu – tworzą sieć fotogrametryczną o bardzo niekorzystnym kształcie. Fotografie wykonano praktycznie z dwu rejonów Rynku (rys. 1), toteż przyjęto koncepcję wyznaczenia orientacji dla pojedynczych zdjęć, w oparciu o fotopunkty pomierzone metodą geodezyjną w lokalnym układzie odniesienia. Najkorzystniej, aby punkty osnowy fotogrametrycznej rozmieszczone były na całej powierzchni zdjęcia i znajdowały się zarówno w planie bliskim, jak i dalekim.

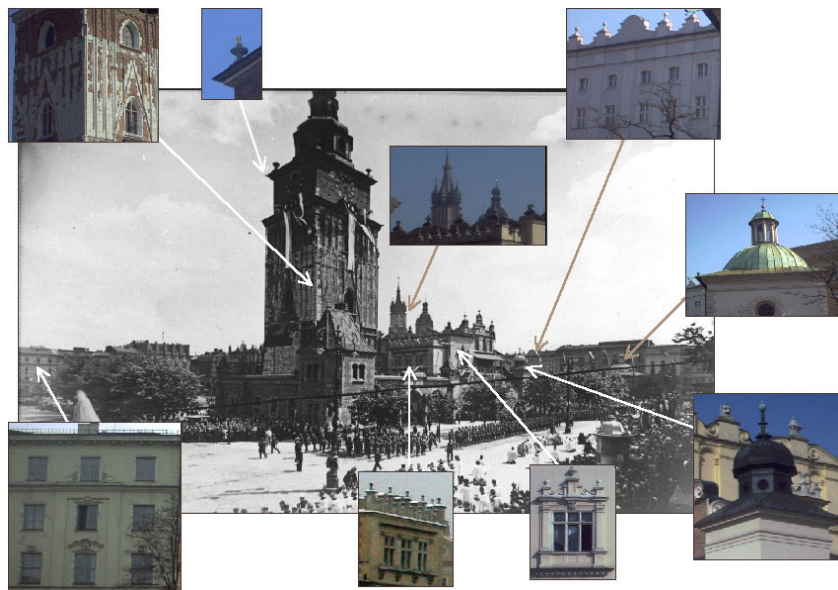


Rys. 1. Szkic orientacji zdjęć archiwalnych
 Fig. 1. Orientation of archival images

Kraków należy do nielicznych miast w Polsce, których zabudowa (zwłaszcza w obrębie Plant) prawie nie zmienia się od wieków. Na zdjęciach archiwalnych oprócz Odwachu znajdują się też istniejące obecnie budynki, zatem ich szczegóły architektoniczne skonfrontowane z teraźniejszością posłużyć mogą jako fotopunkty (rys. 2).

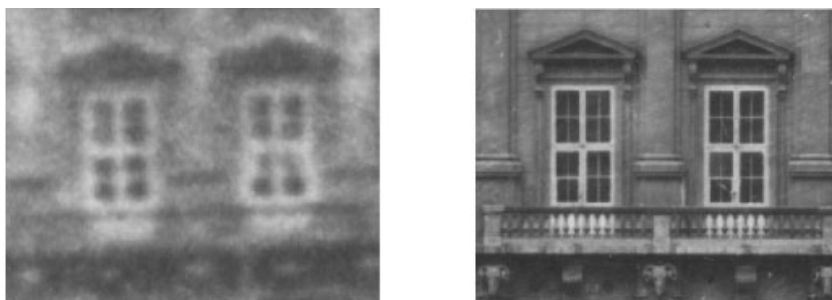
Istnieje oczywiście obawa, że w trakcie licznych remontów, rekonstrukcji i renowacji położenie fotopunktów mogło się jednak zmienić, utrudniając wiarygodne odtworzenie wiązek ze starych fotografii.

Po wywiadzie terenowym okazało się, że rozmieszczenie osnowy fotogrametrycznej uwarunkowane treścią zdjęć dalekie jest od optymalnego dla wyznaczenia ich orientacji, na dwu zdjęciach znajduje się praktycznie tylko sam budynek Odwachu, bez obiektów istniejących współcześnie. Jakość zdjęć jest też bardzo różna, przykładowo rysunek 3 przedstawia porównanie tych samych obiektów na dwu różnych zdjęciach. Rozpiętość czasowa wykonania zdjęć oraz fakt, że rekonstruowany obiekt był kilkakrotnie przebudowywany sprawiły, że należało się spodziewać znacznych trudności przy odtworzeniu niektórych fragmentów budynku. Zatem zadanie, jakiego się podjęto nie było zadaniem łatwym.



Rys. 2. Wybór fotopunktów dla zdjęcia 5 (1938 r., autor nieznany, własność Muzeum Historyczne Miasta Krakowa). Małe zdjęcia pokazują współczesny wygląd detali architektonicznych wybranych jako fotopunkty

Fig. 2. Controlpoints localisation for image no. 5 (1938, unknown author, property of Museum of History of the City of Cracow). The little images show present-day architectural details, chosen as controlpoints



Rys. 3. Porównanie jakości fotograficznej zdjęcia 4 i 9
Fig. 3. Comparison of photographic quality of images no. 4 and 9

Przede wszystkim należało wybrać taką metodę analityczną, która zapewni rozwiązanie zagadnienia: pozwoli na obliczenie orientacji zdjęć i wiarygodnych współrzędnych wybranych punktów Odwachu, tworzących jego przestrzenny model. Do osiągnięcia celu pomiaru postanowiono zbadać wykorzystanie funkcji DLT i porównać z rozwiązaniem metodą równoczesnego wyrównania wiązek z samokalibracją.

Podstawą do obliczeń były współrzędne punktów na zdjęciach pomierzone na autografie cyfrowym VSD odniesione do środka formatu zdjęć, zeskalowane do wymiaru rzeczywistego, biorąc pod uwagę rozmiar piksela przy skanowaniu.

4. WYZNACZENIE PUNKTÓW REKONSTRUOWANEGO OBIEKTU METODĄ DLT

Bezpośrednia transformacja liniowa DLT (1) pozwala na wyznaczenie parametrów pośrednio opisujących orientację zdjęcia bez znajomości przybliżeń tych elementów, jak to jest wymagane przy wykorzystaniu równania kolinearności (2).

$$x + \Delta x = \frac{B_{11}X + B_{12}Y + B_{13}Z + B_{14}}{B_{31}X + B_{32}Y + B_{33}Z + 1}$$

$$y + \Delta y = \frac{B_{21}X + B_{22}Y + B_{23}Z + B_{24}}{B_{31}X + B_{32}Y + B_{33}Z + 1}$$
(1)

x, y – współrzędne na obrazie,
 X, Y, Z – współrzędne w przestrzennym układzie odniesienia,
 $\Delta x, \Delta y$ – poprawki do współrzędnych obrazu wynikające z błędów rejestracji,
 $B_{11}, \dots, B_{14}, B_{21}, \dots, B_{24}, B_{31}, \dots, B_{33}$ – współczynniki DLT

$$x - (x_0 + \Delta x) = -c_k \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - (y_0 + \Delta y) = -c_k \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$
(2)

$x, y, X, Y, Z, \Delta x, \Delta y$ – jak wyżej,
 x_0, y_0, c_k – elementy orientacji wewnętrznej kamery,
 $a_{11}, \dots, a_{33}, X_0, Y_0, Z_0$ – współczynniki transformacji zdjęcia i współrzędne środka rzutów.

Jej zaletą jest również to, że parametry DLT zawierają w sobie wpływ niektórych błędów obrazu, zatem w Δx i Δy (1) nie trzeba ich uwzględniać. Wadą natomiast silna korelacja między współczynnikami i „elastyczność” transformacji: przy niewielkiej nadmiarowości obserwacji nawet błędy grube niekiedy dają rozwiązanie z niewielkimi odchyłkami na fotopunktach i małym błędem m_0 na zdjęciach. Biorąc to pod uwagę, należało więc przyjąć jakiś sposób sprawdzenia wiarygodności obliczanych dla zdjęć współczynników DLT. Do tego celu wybrano kontrolę obliczanych z parametrów DLT elementów orientacji zdjęć.

Obliczenia wykonywano w zaplanowanej kolejności, najpierw obliczono parametry dla tych zdjęć, gdzie rozmieszczenie fotopunktów było najlepsze i które tworzyły możliwie korzystne wcięcia w przód. Wyznaczone z nich punkty Odwachu posłużyły jako fotopunkty dla zdjęć, gdzie było ich zbyt mało lub gdzie ich dystrybucja była niekorzystna. Dla wzmocnienia rozwiązania jako dwa fotopunkty przyjęto punkty Odwachu, dla których współrzędne wyznaczono za pomocą archiwalnego planu. Po sekwencyjnym obliczeniu parametrów DLT dla każdego zdjęcia, w końcowym etapie zostały obliczone wielokrotnym wcięciem w przód współrzędne punktów budowli. W wyniku obliczeń otrzymano (tabela 1) średnie błędy współrzędnych dla poszczególnych zdjęć:

Tabela 1.

Table 1.

Zestawienie błędów na zdjęciach po obliczeniach metodą DLT z wykorzystaniem programu Aerosys
Comparison RMS on archival images, DLT method, Aerosys

Numer zdjęcia	v_x [mm]	v_y [mm]
2	0.22	0.36
3	0.81	0.99
4	0.21	0.14
5	0.19	0.12
6	0.61	0.5
7	0.38	0.47
9	0.22	0.29

Średnie odchyłki (RMS) na fotopunktach wyniosły: $dX_{\text{sr}} = 0,35$ m, $dY_{\text{sr}} = 0,92$ m, $dZ_{\text{sr}} = 0,10$ m

5. WYKORZYSTANIE METODY WIĄZKI DO OBLICZENIA PUNKTÓW ODWACHU

Równanie kolinearności jest modelem funkcjonalnym wykorzystywanym dla obliczenia i wyrównania sieci fotogrametrycznej w programie ORIENT (TU Wiedeń). Program pozwala na dowolne wagowanie obserwacji (pseudoobserwacji) współrzędnych na zdjęciach i terenowych dla fotopunktów. Już na początku obliczeń wystąpiły trudności z otrzymaniem wyników orientacji dla poszczególnych zdjęć, o ile w większości przypadków można było wyznaczyć elementy orientacji zewnętrznej na podstawie fotopunktów, to po włączeniu jako niewiadome elementów orientacji wewnętrznej proces iteracyjny tylko dla jednego zdjęcia był zbieżny. Zatem nie można było określić nawet przybliżeń odległości obrazowej i położenia punktu głównego. Jedynym wyjściem okazało się przyjąć orientację wewnętrzną wyznaczoną ze współczynników DLT. Kolejność obliczeń była analogiczna jak przy DLT, najpierw wyznaczano orientację dla

zdjęć z najlepiej rozłożonymi fotopunktami, potem wykonywano wcięcie w przód dla najkorzystniej rozmieszczonych zdjęć i obliczano punkty obiektu, które stopniowo pozwalały na obliczenie orientacji tych zdjęć, dla których źle rozmieszczone fotopunkty nie pozwalały na wyznaczenie orientacji. W końcowym etapie równoczesnego wyrównania nie udało się włączyć jako niewiadome elementów orientacji wewnętrznej zdjęć, proces iteracyjny był rozbieżny. To samo dotyczyło parametrów funkcji aproksymujące błędy obrazu. Zatem te elementy nie zostały wyznaczone. W tabeli 2 zamieszczono średnie błędy na zdjęciach po wyrównaniu ORIENTEM.

Tabela 2.

Table 2.

Zestawienie błędów na zdjęciach po obliczeniach metodą wiązki z wykorzystaniem programu ORIENT

Comparison RMS of archival images, bundle method, ORIENT

Numer zdjęcia	v_x [mm]	v_y [mm]
2	0.25	0.40
3	0.09	0.21
4	1,26	1,41
5	0.26	0.31
6	0.95	0.59
7	0.69	0.54
9	0.26	0.36

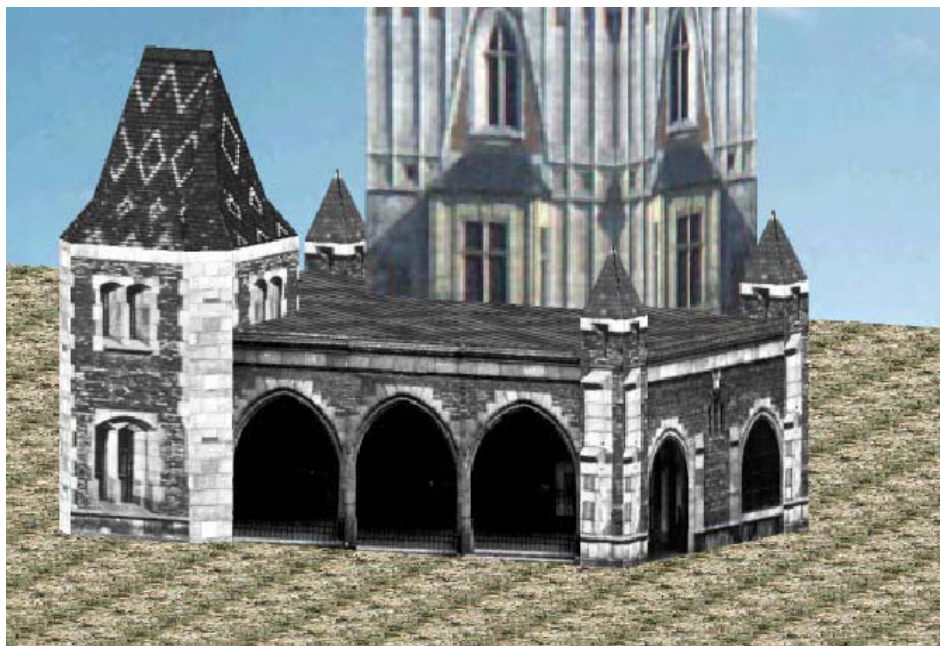
Dokładności tu uzyskane są nieco mniejsze niż w przypadku metody DLT, przyczyną tego jest zapewne nieuwzględnienie błędów obrazu oraz przyjęcie parametrów orientacji wewnętrznej obliczonych ze współczynników DLT zamiast samokalibracji.

6. KOMPUTEROWA REKONSTRUKCJA ODWACHU

Plik z obliczonymi współrzędnymi punktów Odwachu za pomocą programu Aerosys został zamieniony na format .dxf i wczytany do programu MicroStation SE. Po weryfikacji punktów przeprowadzonej na podstawie mapy i planów archiwalnych, sporządzono model *wire frame* budynku. Niewidoczne lub niemożliwe do rekonstrukcji na podstawie zdjęć fragmenty Odwachu zostały wykreślone zgodnie z planami architektonicznymi i oczywistymi cechami budynku (ściany pionowe, przecinające się pod kątem prostym krawędzie, regularny kształt bryły).

Model szkieletowy został pokryty przetworzonymi fragmentami zdjęć, przyciętymi do formatu poligonów, które miały pokrywać. Na tekstury do renderingu wybrano fragmenty zdjęć o dobrej jakości oraz takie, gdzie budynek nie jest przysłonięty fragmentami otoczenia. Na podstawie posiadanych materiałów nie była możliwa pełna fotorealistyczna wizualizacja Odwachu. Niektóre elementy nie były uwidocznione na zdjęciach, przykładowo nie wiadomo jak wyglądał dach – nie została mu przypisana żadna tekstura pozyskana ze zdjęć. Dodatkowo orientacja zdjęć oryginalnych ogranicza plastyczność przedstawienia Odwachu z innych widoków. Rysunek 4 przedstawia

docelową fotorealistyczną rekonstrukcję budynku, którego dach pokryto fikcyjną teksturą, dodano uproszczoną bryłę Ratusza, pokrycie płyty Rynku, niebo.



Rys. 4. Fotorealistyczna wizualizacja Odwachu z otoczeniem
Fig. 4. Photorealistic visualisation of Odwach with surroundings

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Trójwymiarowa rekonstrukcja staje się na świecie główną metodą prezentacji wyników inwentaryzacji architektonicznej. Szybki i wielostronny rozwój technik komputerowych zaowocował pojawieniem się szerokiego wachlarza oprogramowania przydatnego do opracowań fotogrametrii architektonicznej – coraz tańszego i łatwiej dostępnego.

Rekonstrukcja nieistniejącego obecnie obiektu jest zadaniem trudnym i zależnym w decydującej mierze od zebranych materiałów. Na podstawie naszych badań można stwierdzić, że do rekonstrukcji fotogrametrycznej na podstawie zdjęć archiwalnych można polecić metodę DLT, prostą obliczeniowo, nie wymagającą znajomości przybliżeń orientacji zdjęć. Pomiary współrzędnych na zdjęciach można wykonywać w dowolnym ortogonalnym układzie – to oraz fakt, że DLT uwzględnia niektóre błędy obrazu czyni tą metodę szczególnie przydatną do opracowania zdjęć niometrycznych.

Pełna rekonstrukcja musi być podparta wszelkimi dostępnymi materiałami dotyczącymi obiektu. Im więcej różnorodnych materiałów obrazujących obiekt, tym końcowy efekt pełniejszy i bardziej wiarygodny. Podstawowym materiałem źródłowym w tej

pracy były archiwalne zdjęcia, okazały się jednak niewystarczające do wykonania pełnego modelu Odwachu. Ich wzajemne usytuowanie oraz różnice w jakości uniemożliwiły odtworzenie części budynku. Mapa Rynku oraz miary kontrolne pobrane z archiwalnych planów architektonicznych stanowiły cenne uzupełnienie zdjęć.

Uzyskany wynik zachęca do dalszych prac bazujących na materiałach archiwalnych w opracowaniach fotogrametrii architektonicznej.

PHOTOGRAMMETRIC RECONSTRUCTION OF ODWACH ON MAIN MARKET SQUARE IN CRACOW BASED ON ARCHIVAL PHOTOGRAPHS

S u m m a r y

The purpose of research presented in this paper was to obtain a 3D photogrammetric reconstruction of non-existing architectural object – Odwach on Main Market in Cracow. This reconstruction was based on seven archival images, made with unknown photographic cameras. To solve this problem, which was calculation of coordinates of building points, the DLT method with AEROSYS was used. The bundle method with ORIENT was applied for comparison. After obtainment of proper number of building points, its wire frame model was constructed with using of MicroStationSE software. The wire frame was rendered by samples of archival images for obtain a photorealistic object visualization.

KEY WORDS: analytical photogrammetry, Direct Linear Transformation, 3D reconstruction

Recenzent: dr inż. Adam Boroń, AGH, Kraków