

**REKONSTRUKCJA DETALI 3D OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH
NA PODSTAWIE ZDJĘĆ ARCHIWALNYCH**

**RECONSTRUCTION OF DETAILS OF 3D HISTORICAL MONUMENTS
ON THE BASIS OF ARCHIVAL PHOTOS**

Dorota Zawieska

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: Rekonstrukcja , zdjęcie, modelowanie 3D.

STRESZCZENIE: W ramach niniejszego referatu zostaną zaprezentowane wyniki pracy, gdzie wykorzystano zdjęcia archiwalne obiektu sakralnego, którym był ołtarz Najświętszego Sakramentu w kościele Św. Krzyża w Warszawie. Podstawowym źródłem, wykorzystanym przy rekonstrukcji detali ołtarza Najświętszego Sakramentu, pod względem metrycznym, był zachowany bliźniaczy ołtarz Świętej Felicissimy, który został wykonany przez tego samego autora, Tylmana van Gamerena. Kompozycje obu ołtarzy są bardzo podobne, cały plan ołtarzy, rozkład i wielkość kolumn, proporcje pomiędzy poszczególnymi elementami ołtarzy są niemal identyczne.

W niniejszym artykule zostaną zaprezentowane wyniki pracy, gdzie wykorzystano zdjęcia archiwalne, wykonane w 1926 i 1939 roku. W prezentowanym opracowaniu do wykonania szkieletowego modelu bliźniaczego ołtarza św. Felicissimy oraz identyfikacji punktów osnowy wykorzystano stereogram zdjęć wykonanych kamerą metryczną UMK i opracowano na autografii analitycznym P-3 w systemie MicroStation. Zeskanowane zdjęcia archiwalne - przedstawiające ołtarz Najświętszego Sakramentu - wykorzystano do rekonstrukcji 3D wybranych detali zniszczonego ołtarza, wykorzystując program PhotoModeler. Zdjęcia pochodzą z różnych okresów, wykonane są amatorskimi aparatami niemetrycznymi, o nieznanym elementach orientacji. Po wykonaniu kalibracji dla każdego archiwalnego zdjęcia, wykonano rekonstrukcję 3D wybranego detalu ołtarza. Wektoryzację opracowanych figur 3D i ich zwymiarowanie wykonano w programie AutoCAD.

1. WPROWADZENIE

Dokumentacja fotogrametryczna przedstawia przestrzenny stan obiektu oraz pozwala na wykonywanie pomiarów na utworzonym modelu. Geometryczna dokumentacja jest nieodłączną częścią dokumentacji zabytku dziedzictwa kulturowego (Georgopoulos, et al, 2005). Dokumentacja fotogrametryczna może stanowić podstawę rekonstrukcji zabytku, lub być materiałem porównawczym w rekonstrukcji obiektu podobnego, jeśli nie istnieje jego oryginalna dokumentacja.

Opisane znaczenia modelowania 3D zostały zdefiniowane o wiele wcześniej, niż metody fotogrametrii cyfrowej stały się popularne. Wiele zabytków architektury, w tym rzeźb, a także obiektów archeologicznych zostało pomierzonych i udokumentowanych w oparciu o analogowe metryczne kamery pomiarowe (mono lub stereometryczne) i graficzne, bądź analityczne opracowania. W latach 80- tych i 90-tych

elewacje architektoniczne wciąż wykonywane były w skali 1:50, 1:100. Te opracowania elewacji wykorzystywane były przez architektów do utrzymania i zachowania stanu historycznego. Dzisiaj, kompletne rekonstrukcje obiektów 3D są głównie wykonywane, poprzez zastosowanie fotogrametrii cyfrowej bliskiego zasięgu.

2. METODYKA MODELOWANIA

Pojęcie „modelowanie 3D” ma kilka interpretacji, które można określić w dwóch definicjach (Bujakiewicz, *et al.*, 2004):

- opis kształtu obiektu poprzez określenie jego szkieletu i jeśli jest to niezbędne, stworzenie tekstury obiektu dla wybranych powierzchni konstrukcji
- ustalenie kształtu obiektu poprzez wygenerowanie Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (*Digital Surface Model*), czyli opisanie jego powierzchni poprzez dużą liczbę punktów.

Jedną z form modelowania, jest stworzenie modelu szkieletowego, który jest prostą formą przedstawienia reprezentacji 3D, która opisuje główne zależności struktury budowli. Jest to najprostsza forma prezentacji 3D modelu. Składa się jedynie z linii szkieletowych budowli. Daje ogólne pojęcie o obiekcie, znany jest kształt obiektu, ale powierzchnie nie są wypełnione teksturą. Model szkieletowy wystarcza jednak do wielu zastosowań, jak na przykład obliczenie objętości, wymiarowania detali stworzonego modelu 3D. Taka forma jest wystarczająca również dla planowania i monitoringu obiektu. W przypadku szczegółowej analizy detali obiektu architektonicznego (płaskorzeźby, zdobienia) niezbędny jest jednak model rzeczywisty, który zawiera teksturę obiektu.

Dla tego typu zadań, jak tworzenie modelu szkieletowego czy rzeczywistego, fotogrametria cyfrowa bliskiego zasięgu, bazująca na fotografiach cyfrowych wykonanych amatorskimi aparatami cyfrowymi, staje się powszechna i popularna ze względów ekonomicznych. Metoda ta wymaga jednak pewnych zabezpieczeń, aby zostały zachowane odpowiednie dokładności i zależności geometryczne.

W celu uzyskania żądanej szczegółowości i dokładności i zrekonstruowanego obiektu należy spełnić następujące warunki:

- aparat niometryczny, jeśli takim wykonywane są zdjęcia, musi być sprawdzony pod kątem stabilności orientacji wewnętrznej i błędów systematycznych obrazu; zazwyczaj aparaty takie mają nieznaną orientację wewnętrzną, różną stabilność, dlatego też muszą być skalibrowane.
- wymagana jest identyfikacja wszystkich punktów na zdjęciach, niezbędnych do odtworzenia konstrukcji szkieletowej i definiowania powierzchni do tworzenia tekstur.
- podczas ekspozycji zdjęć musi być zapewniona geometria, która zapewni odpowiednią dokładność opracowania.
- dla uzyskania modelu szkieletowego niezbędne są punkty osnowy założone na obiekcie w układzie odniesienia; punkty te (sygnalizowane lub naturalne) muszą być odpowiednio wyznaczone wokół, bądź na powierzchni obiektu i zidentyfikowane na zdjęciach; wymagana jest identyfikacja wszystkich punktów na zdjęciach, niezbędnych do odtworzenia konstrukcji szkieletowej i definiowania powierzchni do tworzenia tekstu.

- należy wybrać odpowiedni program (pakiet) umożliwiający opracowanie zdjęć wykonanych niemetrycznym aparatem, rekonstrukcję wiązek, odpowiedniej ich orientacji do układu odniesienia i wykonanie modelu.

Zarówno dokładność jak i stopień szczegółowości detali obiektu zależą od zdefiniowanych parametrów opracowania. W przedstawionym eksperymencie do rekonstrukcji detali 3D wykorzystano program PhotoModeler a do ich wymiarowania wykorzystano program AutoCAD.

3. RYS HISTORYCZNY OPRACOWYWANEGO OBIEKTU SAKRALNEGO

Niniejszy artykuł dotyczy opracowania modeli 3D wybranych detali ołtarza Najświętszego Sakramentu w kościele Świętego Krzyża w Warszawie, - na podstawie niemetrycznych zdjęć archiwalnych, (wykonanych w 1926, 1939r).

Kościół Świętego Krzyża, w wyniku Powstania Warszawskiego, uległ prawie całkowitemu zniszczeniu (rys.1). Jego odbudowa rozpoczęła się już w 1945 roku i trwa do dnia dzisiejszego. Ostatnim rekonstruowanym elementem kościoła, jest barokowy ołtarz pw. Najświętszego Sakramentu. Ołtarz został wykonany w XVIII wieku przez dwóch znakomitych mistrzów stolarskich i snycerskich Jana Söffrensa oraz Michała Brozena, na podstawie projektu Tylmana van Gamerena.

W 2004 roku Jan Paweł II podpisał akt erekcyjny odbudowy ołtarza Najświętszego Sakramentu oraz wyraził wolę, aby został on nazwany Ołtarzem Ojczyzny i pełnił taką funkcję, ze względu na wyjątkowe znaczenie Kościoła Świętego Krzyża, zarówno dla Warszawy, jak i dla całej Polski.



Rys. 1. Ruiny kościoła Św. Krzyża po Powstaniu Warszawskim w 1944 roku

Zaprojektowana rekonstrukcja ołtarza Najświętszego Sakramentu mogła zostać wykonana dzięki dostępnym źródłom (Górecka, 2006), które stanowią:

- źródła ikonograficzne – w szczególności cztery fotografie pokazujące ołtarz Najświętszego Sakramentu w stanie przed zniszczenia.

- drugim źródłem są rysunki projektowe Tylmana van Gameren. Trzy projekty nastaw ołtarzy zostały znalezione wśród zespołu ponad 1300 rysunków architektonicznych w Ośrodku Dokumentacji Zabytków Ministerstwa Kultury i Sztuki, w Gabinetcie Rycin Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego. Projekty nastaw ołtarzowych powstały przed 1696 rokiem. Dwie z nich dotyczą ołtarza Najświętszego Sakramentu, a trzecia ołtarza Św. Felicissimy. Są to jedynie warianty wstępne tych dwóch transeptowych ołtarzy. Wzniesione ołtarze różnią się od projektów głównie rozmiarami i proporcjami, ale zasadnicza idea ich architektury i dekoracji została zrealizowana według istniejących szkiców projektowych.
- trzecim źródłem – jest zachowany in situ niemal identyczny ołtarz Św. Felicissimy. Jest to ołtarz bliźniaczy nieistniejącego obecnie ołtarza Najświętszego Sakramentu. Jak wynika z analizy materiałów źródłowych i ikonograficznych kompozycje obu ołtarzy są zbliżone.



Rys.2. Ołtarz Świętej Felicissimy



Rys.3. Projekt rekonstruowanego Ołtarza Najświętszego Sakramentu

Ołtarz Św. Felicissimy (rys.2) jest podobny do ołtarza Najświętszego Sakramentu. Projekty nastaw obu ołtarzy są dziełem tego samego autora i musiały powstać jako jeden zespół w podobnym czasie t.j. przed 1696 rokiem. Ich bliźniaczy charakter wynika z jednorodności w zakresie struktury architektonicznej oraz układu proporcji i proporcji rzeźby figuralnej, jak również w zakresie szczegółowych rozwiązań ornamentalnych. Świadczy o tym również identyczny obrys obu ołtarzy, plan i rozwiązanie elewacji oraz to, co najistotniejsze czyli rozmiary i wzajemne proporcje części.

Poza wyżej wymienionymi podobieństwami, ustalono, że oba ołtarze zostały wykonane przez ten sam warsztat Jana Söffrensa z Elbląga. Dzięki temu rekonstruując rzeźby figuralne i ornamenty ołtarza Najświętszego Sakramentu można wzorować się na ołtarzu św. Felicissimy. Powyższe ustalenia dowodzą, że obie nastawy były na tyle do siebie podobne, iż zachowany ołtarz św. Felicissimy może służyć jako podstawa do rekonstrukcji zniszczonego ołtarza Najświętszego Sakramentu.

Dlatego podstawowym źródłem, wykorzystanym przy rekonstrukcji ołtarza Najświętszego Sakramentu (rys.3), detali ołtarza, pod względem metrycznym, jest zachowany bliźniaczy ołtarz Świętej Felicissimy, który został wykonany przez tego samego autora, Tylmana van Gamerena.

Fotogrametryczne opracowanie szkieletu ołtarza św. Felicissimy (Górecka, 2006), dostarczyło danych metrycznych do rekonstrukcji ołtarza Najświętszego Sakramentu. Dokumentacja fotogrametryczna została opracowana na autografie analitycznym P3 na podstawie stereogramu zdjęć wykonanych kamerą UMK.

4. REKONSTRUKCJA DETALI OŁTARZA NAJŚWIĘTSZEGO SAKRAMENTU

4.1. Zdjęcia archiwalne

Rekonstrukcja modelu 3D detali ołtarza wykonana została na podstawie trzech zeskanowanych zdjęć archiwalnych (rys.4, rys.5), przedstawiających ołtarz Najświętszego Sakramentu. Pochodzą one z różnych okresów, wykonane są amatorskimi aparatami niemetrycznymi, o nie znanych elementach orientacji. Są to bardzo stare pocztówki, które przypuszczalnie nie stanowią odbitek stykowych, lecz kadry zdjęć. Dwa zdjęcia przedstawiają ołtarz w całości, natomiast jedno jedynie jego dolną część. Fakt ten powodował trudności w odpowiednim rozplanowaniu osnowy na ołtarzu, oraz ograniczeniem do pomiaru na dwóch zdjęciach wybranego detalu górnej części ołtarza.



Rys.4. Archiwalne fotografie ołtarza Najświętszego Sakramentu – rok 1926

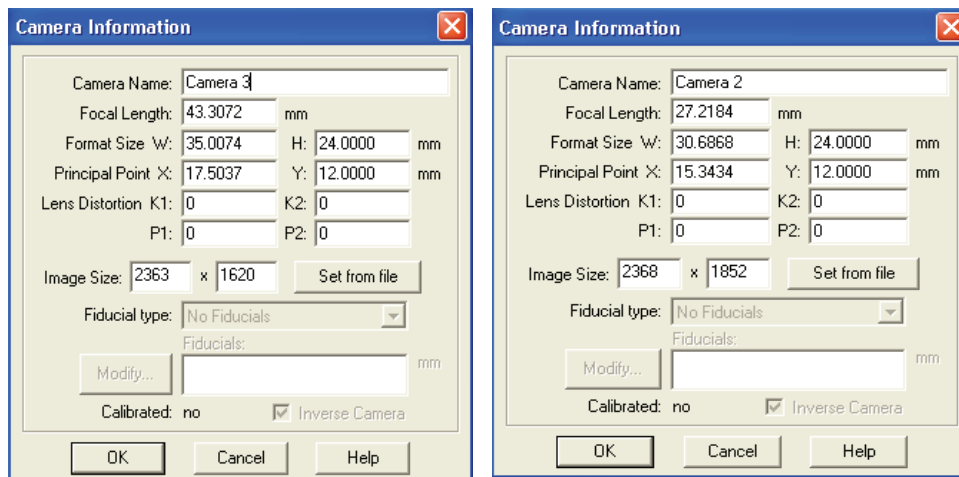


Rys.5. Fotografia archiwalna fragmentu ołtarza Najświętszego Sakramentu - 1939 r

4.2. Kalibracja obrazów archiwalnych

Dla kalibracji każdego zdjęcia wykorzystano odpowiednio wybrane punkty osnowy z opracowania fotogrametrycznego ze stereogramu zdjęć metrycznych wykonanych kamerą UMK bliźniaczego ołtarza św. Felicissimy (Górecka, 2006).

W pierwszym etapie zidentyfikowano 9 fotopunktów, które były widoczne na zdjęciach archiwalnych i na stereogramie. W programie PhotoModeler dla każdego obrazu archiwalnego został założony oddzielny projekt. Na podstawie osnowy, metodą fotogrametrycznego wcięcie wstecz, wyznaczone zostały podstawowe parametry kalibracji każdego zdjęcia (rys. 6), (Ryt, 2007).



Rys. 6. Przykładowe wyniki kalibracji obrazów archiwalnych

4.3. Modelowanie 3D detali ołtarza

Modelowanie w programie PhotoModeler wykonano w oparciu o osnowę. Do rekonstrukcji fragmentów ołtarza wykorzystano trzy zdjęcia archiwalne (rys. 4, 5), gdzie wybrano trzy różne detale (rys. 7).

Pomiar punktów określonej figury stosując funkcję *Point Mode*, wykonywano pomiar punktów na danym detalu, na jednym zdjęciu. Następnie, aby te same punkty na pozostałych zdjęciach otrzymały te same identyfikatory, użyto modułu referencyjnego *Reference Mode*. Wykonano proces wyrównania i uzyskano przestrzenne położenie wyznaczanych punktów. Rysunek 8 przedstawia przykład opracowania 3D wybranej figury ołtarza.

Po tym etapie, można było przystąpić do eksportu punktów do formatu *dxf*, aby można było dokonać ich edycji w programie AutoCAD.

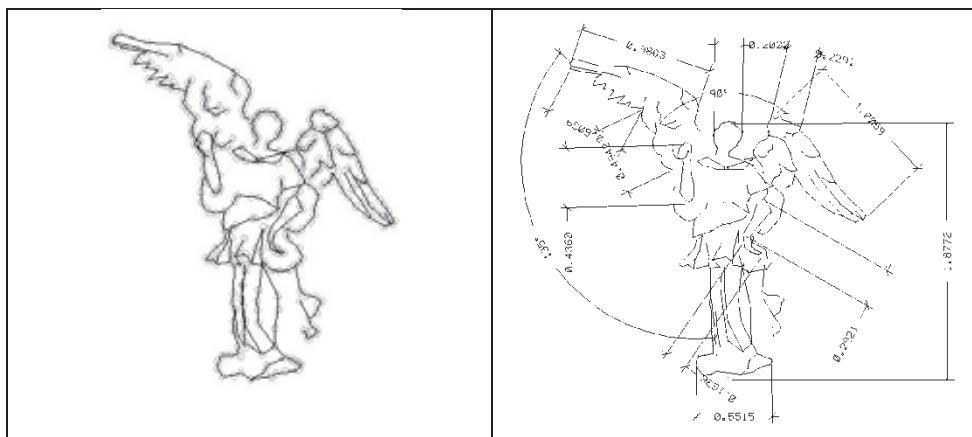


Rys.7. Wybrane opracowane modele figur



Rys.8. Model 3D wybranej figury

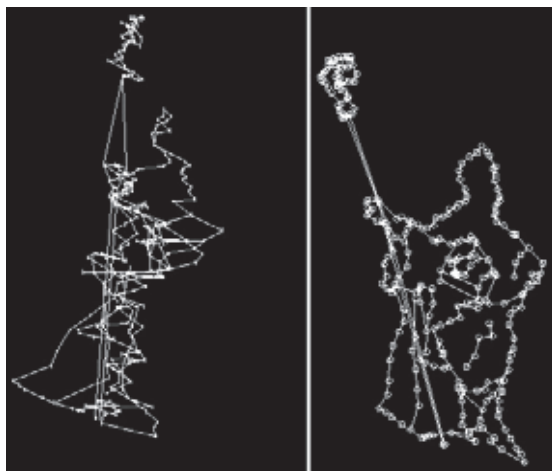
W programie AutoCAD połączono wyeksportowane punkty a następnie połączono je tworząc wektory poszczególnych figur ołtarza (rys.9). Końcowym etapem było zwymiarowanie opracowanych modeli.



Rys.9. Zwymiarowane figura ołtarza Najświętszego Sakramentu

4.4. Analiza wyników

Jak już wcześniej wspomniano, w rozdziale 4.1, jedna z figur widoczna jest jedynie na dwóch zdjęciach, których geometria nie jest korzystna (wykonane z tego samego kierunku), posiadają zbliżone elementy orientacji zewnętrznej. Spowodowało to duże niedokładności w wyznaczeniu przestrzennych punktów tej figury. Figura po obrocie o 90° , powinna tworzyć mniej więcej równomierną postać. Niestety ze względu na ostry kąt wcinający wybrana figura ołtarza została opracowana z dużym przybliżeniem (rys.10), (Bartosik, 2008). Dokładność modelowania w takim przypadku wynosiła kilkanaście centymetrów, w porównaniu z wymiarami figur z bliźniaczego ołtarza.



Rys.10. Ocena dokładności wyznaczonych przestrzennych współrzędnych punktów figury.

Analizując dokładność modelowania pozostałych figur i innych wybranych detali, porównując z miarami rzeczywistymi (przyjętymi z bliźniaczego ołtarza), uzyskano różnice na kontrolnych odcinkach na modelu rzędu $1 \div 3$ cm.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wykazano, że istnieje możliwość tworzenia modeli 3D w na podstawie zdjęć archiwalnych o nieznannej orientacji.

W prezentowanym opracowaniu do wykonania szkieletowego modelu bliźniaczego ołtarza i identyfikacji punktów osnowy wykorzystano stereogram zdjęć wykonanych kamerą metryczną UMK i opracowano na autografie analitycznym P-3 w systemie MicroStation. Zeskanowane zdjęcia archiwalne – przedstawiające zniszczony ołtarz Najświętszego Sakramentu - wykorzystano do rekonstrukcji 3D wybranych detali zniszczonego ołtarza wykorzystując program PhotoModeler. Wektoryzację opracowanych figur 3D i ich zwymiarowanie wykonano w programie AutoCAD.

Najważniejszym problemem w opracowaniu zdjęć archiwalnych była odpowiednia interpretacja punktów osnowy i punktów wyznaczanych. W tym przypadku omyłkowa interpretacja punktu osnowy wpływa również na kalibrację kamery, której błędy przenoszą się na jakość odtworzenia modelu. Otrzymane dokładności rzędu 1÷3cm - z opracowania zdjęć archiwalnych są zadowalające dla konserwatorów. Uzyskane dane metryczne ze stereogramu zdjęć metrycznych, w połączeniu z wykorzystaniem zdjęć archiwalnych, są cennymi danymi wyjściowymi dla rzeźbiarzy i architektów do tworzenia replik zniszczonych detali elementów ołtarza.

6. LITERATURA

Bartosik A., 2008. Rekonstrukcja modelu 3D detali obiektu na podstawie zdjęć archiwalnych. Praca przejściowa, Politechnika Warszawska.

Bujakiewicz A., Kowalczyk M., Podlasiak P., Zawieska D., 2004. Modelling and Visualization of Three Dimensional Objects using Close Range Imagery, Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XX Congress of ISPRS, Istanbul, Vol. Part B5. p.442.

Georgopoulos A.; Makris G.N.; Dermentzopoulos A., 2005. An Alternative Method for Large Scale Orthophoto Production. CIPA XX International Symposium, 26 Sept.– 01 Oct., Torino, Italy.

Górecka A., 2006. Analityczne opracowanie fotogrametryczne wybranego obiektu sakralnego. Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Warszawska.

Ryt I., 2007. Rekonstrukcja modelu 3D detali obiektu sakralnego na podstawie zdjęć archiwalnych. Praca przejściowa, Politechnika Warszawska.

**RECONSTRUCTION OF DETAILS OF 3D HISTORICAL MONUMENTS
ON THE BASIS OF ARCHIVAL PHOTOS**

KEY WORDS: Reconstruction, Photos, 3D Modelling.

Summary

This paper is aimed at presenting results of reconstructing, based on archival photos taken in 1926 and 1939, selected details of a sacral object - the Holy Sacrament altar in the St. Cross church in Warsaw. Another, twin altar (devoted to St. Felicissima), built by the same artist (Tilman van Gameren) has been preserved. Since both altars were similar in size and shape, and also in various details, the St. Felicissima altar was used as the basic source of information and a model for reconstructing the Holy Sacrament altar. To develop a model of the entire altar, photographs of the St. Felicissima altar were taken with a UMK metric camera and the altar's vector product was compiled using the P3 analytical plotter in the MicroStation system. This made it possible to use some of the features as reference data in the subsequent 3D model reconstruction of details of the Holy Sacrament altar, aided by the archival photos.

The paper describes results of 3D model reconstructions of the altar details. The models were developed from three scanned archival photos showing the Holy Sacrament altar. The photographs date back to different times and were taken by amateur (non-metric) cameras with unknown orientation elements. Each archival photograph was calibrated and the 3D models of selected altar details were reconstructed and measured with the PhotoModeler software; the dimensions were determined using the AutoCAD programme.

dr Dorota Zawieska,
e-mail: dorotaz8@wp.pl
tel. 605458134