

Jacek Kościuk*

3D scanning and modeling of the upper terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari as an example of architectural heritage documentation for restoration purposes

Skanowanie i modelowanie 3D górnego tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari jako przykład dokumentacji dla celów konserwatorskich

1. Organizacja i cele projektu

W odpowiedzi na uprzejme zaproszenie Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej w Polsce zespół Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D (LabScan3D) i Leica Geosystems Polska wziął udział w marcu 2009 r. w polsko-egipskiej misji archeologiczno-konserwacyjnej do świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari¹ i rozpoczął pilotażowy projekt skanowania 3D. W zespole pracującym na miejscu znaleźli się Waldemar Kubisz z Leica Geosystems Polska i Jacek Kościuk z LabScan3D. Zespół otrzymał także pomoc przedstawicieli Leica Geosystems w Egipcie i oraz Łukasza Żaka Instytutu Geodezji i Kartografii, który wykonał osnowę geodezyjną składającą się z 31 punktów referencyjnych.

Głównym celem projektu było sprawdzenie możliwości i przydatności najbardziej zaawansowanych metod pozyskiwania danych przestrzennych i wizualnych do dokumentacji Górnego Tarasu świątyni Hatszepsut w Deir el-Bahari. Na podstawie aktualnego planu pracy misji, do skanowania wybrano dwa obszary – tak zwany Komplex Królewskiego Kultu Pośmiertnego w południowej części tarasu i Komplex Kultu Słońca po jego przeciwnej, północnej stronie. Dodatkowo, dwa uzupełniające stanowiska skanowania w środkowej części Górnego Dziedzińca łączyły ze dane z obu kompleksów. W sumie projekt obejmował 33 stanowiska skanowania, pokrywające w całości wybrany obszar badań.

1. Project organization and its objectives

Following the kind invitation from the Polish Centre of Mediterranean Archeology, a team of Laboratory of 3D Scanning and Modeling (LabScan3D) and Leica Geosystems Poland joined in March 2009 the Polish-Egyptian Archeological and Conservation Mission at the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari¹ and launched a pilot 3D scanning project. The field team consisted of Waldemar Kubisz from Leica Geosystems Poland and Jacek Kościuk from LabScan3D. Additionally the team was backed up by local Leica Geosystems representative from Egypt and Łukasz Żak – from the Institute of Geodesy and Cartography who established on the field a network of 31 reference points.

The main aim of this test was to check abilities and suitability of the most advanced methods of spatial and visual data collection for documenting the Upper Terrace of the Hatshepsut Temple in Deir el-Bahari. According to the current working plan of the Mission, two areas of the Upper Terrace has been chosen for scanning – the so called Complex of the Royal Mortuary Cult located at the southern part of the terrace and the Complex of the Sun Cult situated on the opposite northern part of the area. Additionally, two supplementary scanner positions has been added on the central area of the Upper Courtyard to combine both the complexes. All together, the project ended with 33 scanner positions fully covering the both main areas in question.

Cały projekt składał się z dwóch faz – skanowania, które zajęło 5 dni roboczych, a następnie dokumentacji skanowanych wcześniej ścian za pomocą zdjęć cyfrowych wysokiej rozdzielczości. Ta druga faza trwała 2 tygodnie. Już jednak po pierwszym tygodniu pracy na miejscu zespół był w stanie przedstawić pierwsze wyniki, które omówiono na dwóch wykładach w Muzeum Mumifikacji w Luksorze i w Polskim Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej w Kairze. Te wstępne wyniki były także prezentowane w czerwcu 2009 r. podczas dorocznej konferencji “Polacy nad Nilem” na Uniwersytecie Warszawskim. Dalsze opracowanie zebranych w terenie danych wykonywano już w LabScan3D. Choć proces ten nie jest jeszcze w pełni ukończony, przyniósł on wiele ciekawych obserwacji, które stanowią przedmiot niniejszego artykułu.

2. Sprzęt

Podstawowym elementem wyposażenia używanego w terenie był skaner Leica HDS 6000 używany przez Leica Geosystems². Specyfikacja techniczna skanera Leica HDS 6000 jest następująca:

- typ urządzenia – skaner fazowy z pełnym polem widzenia
- pole widzenia (na skan) – w poziomie 360° (maksimum), w pionie 310° (maksimum)
- zasięg – 79m @90%; 50 m @18 % albedo
- prędkość skanowania – maksymalnie do 500.000 pkt./sek
- czas skanowania (pełna panorama) – wstępny widok: 25 s; średnia rozdzielczość: 1 min 40 s; wysoka rozdzielczość: 3 min 22 s; bardzo wysoka rozdzielczość: 6 min 44 s; ultra wysoka rozdzielczość: 26 min 40 s
- rozdzielczość skanowania przy odległości 10 m – 1,6 mm dla ultra wysokiej rozdzielczości
- rozdzielczość skanowania przy odległości 50 m – 7,9 mm dla ultra wysokiej rozdzielczości
- dokładność pojedynczego pomiaru
 - położenie: 6 mm (zasięg 1 m do 25 m)
 - 10 mm (zasięg do 50 m)
 - odległość ≤ 4mm przy 90% albedo przy 25 m
 - ≤ 5mm at 18% albedo przy 25 m
 - ≤ 5mm at 90% albedo przy 50 m
 - ≤ 6mm at 18% albedo przy 50 m
 - kąt (H/V) – 125 μrad/125 μrad, 1 sigma
- dokładność modelowanej powierzchni – 2 mm przy 25 m; 4 mm przy 50 m
- dokładność rejestracji tarcz celowniczych – 2 mm odchylenia standardowego
- skupienie wiązki – 3 mm na wyjściu; 8 mm @25 m; 14 mm @50 m

The whole project consisted of two phases – scanning, which took 5 working days and following it, recording of all the previously scanned walls on high resolution digital pictures. This second phase lasted for 2 weeks. However, already after the 1st week of the field work, the team was able to show up with first results which has been displayed during two lectures held at the Museum of Mumification in Luxor and at the Polish Centre of Mediterranean Archeology in Cairo. Further presentation of these preliminary results took place in June 2009 in Warsaw during conference “Polacy nad Nilem” which is annually held at Warsaw University. Further data evaluation took place at LabScan3D and although not fully finished, jelled with many interesting observations which are main subject of this paper.

2. Hardware equipment

The core item of the equipment engaged on the field was Leica HDS 6000 scanner kindly provided by Leica Geosystems². The technical specification of Leica HDS 6000 scanner is as follows:

- instrument type – phase-based, scanner with full field-of-view
- field-of-view (per scan) – horizontal 360° (maximum), vertical 310° (maximum)
- range – 79m @90%; 50 m @18 % albedo
- scan rate – up to 500,000 points/sec, maximum
- scan time (full dome) – preview: 25 sec; middle resolution: 1 min 40 sec; high resolution: 3 min 22 sec; super high resolution: 6 min 44 sec; ultra high resolution: 26 min 40 sec
- point spacing at range 10 m – 1.6 mm at ultra high resolution
- point spacing at range 50 m – 7.9 mm at ultra high resolution
- accuracy of single measurement
 - position: 6 mm (1 m to 25 m range)
 - 10 mm (to 50 m range)
 - distance ≤ 4mm at 90% albedo up to 25 m
 - ≤ 5mm at 18% albedo up to 25 m
 - ≤ 5mm at 90% albedo up to 50 m
 - ≤ 6mm at 18% albedo up to 50 m
 - angle (H/V) – 125 μrad/125 μrad, 1 sigma
- modeled surface accuracy – 2 mm at 25 m; 4 mm at 50 m
- target acquisition – 2 mm std. deviation
- scan resolution – spot size 3 mm at exit; 8 mm @25 m; 14 mm @50 m

– waga urządzenia – 14 kg (włącznie ze zintegrowaną baterią); 2,5 kg zasilacz; ok. 24 kg waga całości w skrzyni transportowej.

Do fotografii cyfrowej użyto kamery FujiFilm S5 Pro z kalibrowanym³ zestawem obiektywów od 8 mm (rybie oko) do 55 mm dostarczonych przez LabScan3D wraz ze wszystkim adapterami potrzebnymi, aby połączyć kamerę ze skanerem HDS 6000. Rozdzielczość kamery wynosiła 12 mln pikseli.

– instrument weight – 14 kg (includes integrated battery); 2,5 kg AC Power Supply; ca. 24 kg shipment weight in the transportation box.

For digital photographing FujiFilm S5 Pro with calibrated³ set of lenses ranging from 8 mm (Fish Eye) to 55 mm has been supplied by LabScan3D, together with all adaptors necessary to combine the camera with HDS 6000 scanner. The camera resolution is 12 mln of pixels.



Rys. 1. Skaner Leica HDS 6000 ustawiony na spodarcie
Fig. 1. Leica HDS 6000 scanner mounted on tribrach

3. Oprogramowanie użyte w projekcie

Proces skanowania oraz przetwarzania wszystkich danych oparto o zestaw oprogramowania Leica Cyclone. Do opracowania danych i zestawienia wyników użyto Bentley MicroStation (główna platforma CAD w LabScan3D) oraz Bentley Descartes (do przetwarzania danych rastrowych). Poza tym zastosowano PTGui Pro do łączenia obrazów z kamery w panoramy sferyczne i odwzorowania walcowe równoodległościowe (tzw. obrazy *equirectangular*), oraz Panotools – niezbędny dodatek do PTGui. Z kolei Pano2QTVR Gui używany był do konwersji odwzorowań walcowych na tzw. *Cube Maps*, które w środowisku Leica Cyclone, pozwalały wprowadzić do chmury punktów informacje o wartościach RGB. Wszystkie licencje na oprogramowanie dostarczyło LabScan3D.

W ostatniej fazie projektu przetestowano inny zestaw oprogramowania, aby znaleźć najlepsze narzędzia modelowania powierzchni ścian oraz przekrojów

3. Software used in the project

The scanning process as well as processing all the recorded data has been governed by Leica Cyclone software set. Bentley MicroStation (the main CAD platform at LabScan3D) and Bentley Descartes (for raster data manipulation) were used for further data evaluation and deliverables production. Additionally, PTGui Pro was used for stitching the camera images into spherical and equirectangular images, as well as Panotools – a necessary plug-in for PTGui. Pano2QTVR Gui was used for conversion of the equirectangular image into Cube Maps which were ported to Leica Cyclone to supply the point cloud with color RGB information. All the software licenses were provided by LabScan3D.

During last phase of the project another set of software has been tested in order to find best tools for modeling walls surfaces and sections (vertical and horizontal) production. For this purposes JRC



Rys. 2. Kamera FujiFilm S5 Pro ustawiona na spodarce za pomocą przystawki Nodal Nina
 Fig. 2. FujiFilm S5 Pro mounted on tribrach with the Nodal Ninja bracket



Rys. 3. Zdjęcie wykonane za pomocą obiektywu „Rybie Oko” (pole widzenia 180°)
 Fig. 3. Full frame, fisheye (180° field of view) image

pionowych i poziomych. W tym celu użyto oprogramowania JRC 3D Reconstructor oraz 3D Reshaper udostępnionego do testów przez firmę Technodigit.

4. Przebieg prac

Jak już wspomniano, cały projekt składał się z dwóch faz – skanowania oraz zbierania dodatkowej informacji o kolorze za pomocą fotografii cyfrowej. Już w czasie tej pierwszej fazy prac wykonywano jednak zdjęcia cyfrowe które uzupełniały chmurę punktów rejestrowaną przez skaner o informacje o kolorze RGB. Po ukończeniu skanowania na poszczególnych stanowiskach, skaner (rys. 1) zdejmowano ostrożnie ze spodarki i umieszczano na specjalnie zaprojektowanym adapterze – przystawce Nodal Nina (rys. 2), która gwarantowała, iż ognisko obiektywu kamery odpowiadało dokładnie ognisku wiązki laserowej.

Na każdym stanowisku rejestrowano cztery obrazy o horyzontalnych interwałach kątowych równych 90° i dodatkowo jeden obraz skierowany w stronę zenitu, aby ułatwić zestawienie wszystkich zdjęć do formy równoodległościowego odwzorowania walcowego. W tej fazie, wszystkie zdjęcia wykonywano za pomocą obiektywu 8 mm, co dawało

3D Reconstructor was used as well as 3D Reshaper kindly supplied for tests by Technodigit.

4. The work flow

As already stated, the whole project consisted of two phases – scanning and digital photo recording. However, already during the first phase, some digital images has been colleted to supply the point cloud data resulting from the laser scanner with RGB colour information. After scanning on the particular scanner station has been completed, the scanner (fig. 1) has been carefully removed from its tribrach and replaced with a specially designed adapter -Nodal Ninja bracket which assure that the nodal point of the digital camera corresponds exactly with laser beam aperture (fig. 2).

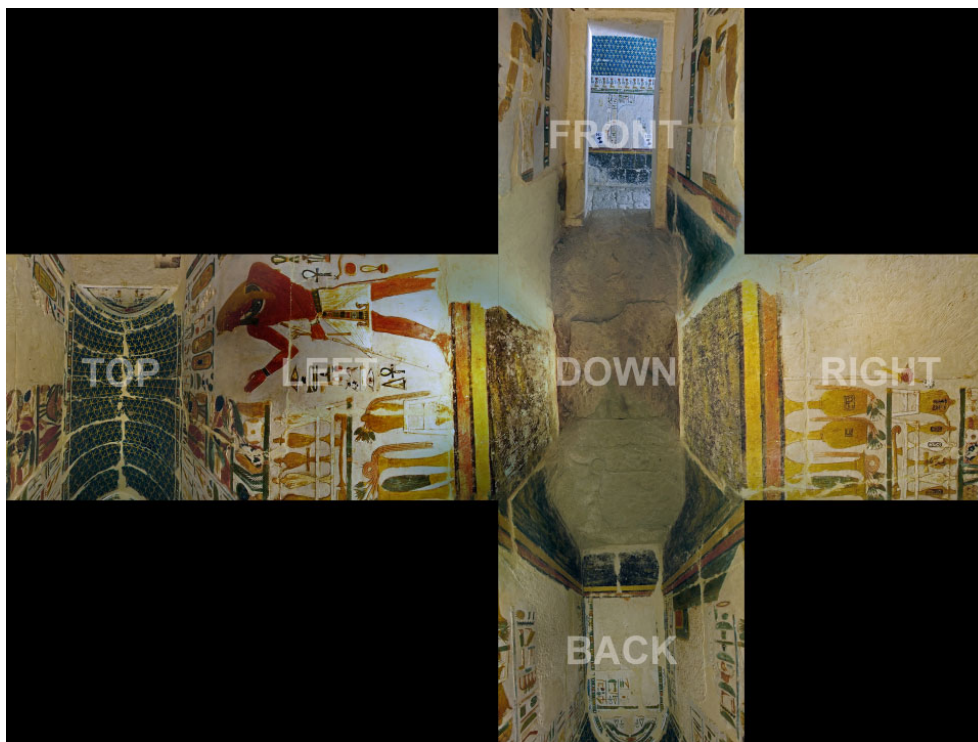
Four pictures at 90° horizontal interval has been taken from each scanner position, plus additionally one zenith oriented picture to help combining all the photos into equirectangular image. All the pictures were taken with the use of full frame 8 mm lenses resulting in fisheye (180° coverage) field of view (fig. 3). The resulting equirec-

pełne pole widzenia obejmujące 180° (rys. 3). Równoodległościowe odwzorowanie walcowe (rys. 4) przekształcano następnie w tzw. *Cube Maps* (rys. 5), które wprowadzone do Leica Cyclone, dostarczały informację o kolorze RGB dla chmury punktów zarejestrowanej skanerem.

Equirectangular image (fig. 4) was transformed into six Cube Maps (fig. 5) which were ported to Leica Cyclone to supply the point cloud with color RGB information.



Rys. 4. Odwzorowanie walcowe równoodległościowe stworzone z pięciu ujęć o polu widzenia 180°
Fig. 4. Equirectangular image resulting from five full frame images



Rys. 5. Tzw. „Cube Maps” utworzonych z obrazu równoodległościowego
Fig. 5. Six Cube Maps resulting from equirectangular image

W przypadku, kiedy ustawienie skanera względem dokumentowanych ścian było niekorzystne⁴ lub w przypadku szczególnie interesujących fragmentów, w drugi etapie prac wykonywano dodatkowy zestaw zdjęć cyfrowych. Jeśli tylko było to możliwe, zdjęcia te były w zasadzie równoległe do głównej powierzchni dokumentowanych ścian.

For areas where position of the scanner in respect to walls being documented was not favorable⁴, or the walls in question were of particular interest, an additional set of photos was collected during second phase of the project. Whenever possible, this photos were done roughly parallel to the main surface of documented walls.

5. Dane zebrane podczas prac na miejscu i wyniki

W sumie podczas całego trzytygodniowego projektu zebrano 62 GB (*sic!*) danych zarejestrowanych w ponad 5.000 plikach. Główną część stanowiła 23 GB baza danych chmury punktów. Pozostałe pliki to przede wszystkim zdjęcia cyfrowe w formacie RAW, TIFF i JPG dokumentujące około 1.500 fragmentów ścian i poszczególnych ciosów. Ten ogromny zbiór danych będzie stanowił podstawę do opracowania końcowej dokumentacji w wielu wariantach. Poniżej przedstawiono krótkie opisy wszystkich możliwych rodzajów opracowań, które mogą powstać z zebranych danych.

5.1. Tzw. TrueView

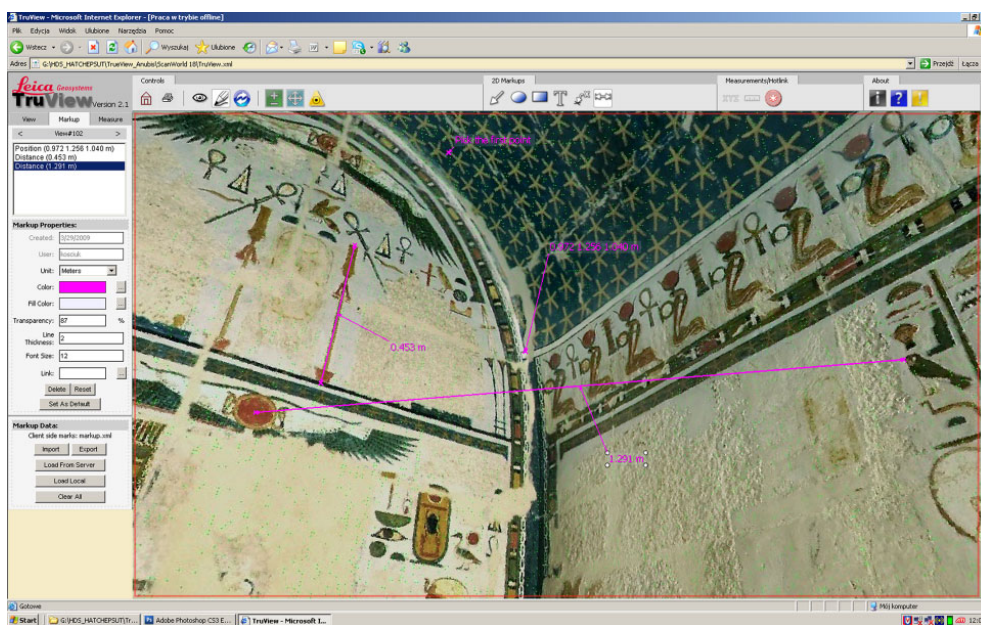
Zarejestrowana chmura punktów wraz z informacją o kolorach RGB może zostać udostępniona wszystkim zainteresowanym w formacie Leica TrueView i przeglądana za pomocą MS Internet Explorer. Leica Geosystems dystrybuje nieodpłatnie wtyczkę do MS IE niezbędną do przeglądania danych w tym trybie.

5. Data collected during the field work and deliverables

All together nearly 62 GB (*sic!*) of data in over 5.000 data files has been collected during the whole project which lasted for 3 weeks. The main part of it is 23 GB point cloud data base. Remaining files constitute mostly of digital photos in RAW, TIFF and JPG format, representing images of ca. 1.500 walls and blocks fragments. This vast amount of data can be used to produce several different kinds of final documentation. Below, a brief description will follow of all the possible types of deliverables which might results from all the data collected.

5.1. TrueView

The recorded point cloud data base, together with RGB colour information can be distributed among interested parties in form of Leica TrueView format and viewed with help of MS Internet Explorer only. The necessary MS IE plugin is distributed by Leica Geosystems free of charge.



Rys. 6. Trójwymiarowa chmura punktów w formacie TrueView w programie Internet Explorer
Fig. 6. 3D point cloud in TrueView format viewed in Internet Explorer

Po otwarciu pliku TrueView za pomocą MS IE wyświetlony zostaje nawigator TrueView, który przedstawia wszystkie dostępne stanowiska ScanWord⁵. Kiedy jedna z nich zostanie wybrana, otwiera się okno TrueView (rys. 6), które przedstawia całą scenę wokół skanera. Istnieją pełne możliwości powiększania, przesuwania i obrotu poszczególnych ujęć panoramicznych. Dodatkowo narzędzia pomiarowe umożliwiają odczytanie współrzędnych X, Y,

After opening the TrueView file with MS IE, one is presented with TrueView Navigator which shows all available ScanWord positions⁵. After choosing one of them, TrueView window (fig. 6) opens in which all the scene surrounding the scanner is represented. Possibilities to magnify, pan and rotate the view are fully granted. Additionally, by picking measuring tools one can read X, Y, Z coordinates of any point chosen on the picture, as well as measure

Z dowolnie wybranego punktu na obrazie, a także zmierzenie przestrzennej odległości między wybraną parą punktów. Wszystkie pomiary można zapisywać i eksportować w formacie XML.

Technologia ta umożliwi także tzw. *pomiary wirtualne*, w którym część procesu pomiarowego można przenieść z terenu do biura. Leica Geosystems oferuje także rozwiązania serwerowe, które pozwalają na dystrybucję danych TrueView za pośrednictwem intranetu lub internetu.

5.2. Sferyczne obrazy panoramiczne

Walcowe odwzorowania równoodległościowe uzyskiwane się w trakcie opisanego wyżej procesu uzupełniania bazy danych chmur punktów informacjami o kolorach RGB pozwalają także przygotować sferyczne obrazy panoramiczne w formacie MOV (rys. 7). Podobne są one do panoram TrueView, ale w tym przypadku nie ma możliwości wykonywania pomiarów na ekranie. Przeglądając za pomocą Apple QuickTime Player, panoramy sferyczne MOV można dowolnie powiększać, przechylać i obracać. Ponieważ rozdzielczość obrazu jest o wiele wyższa niż w przypadku TrueView, panoramy MOV można wykorzystywać jako dodatkową dokumentację fotograficzną dającą wrażenie wirtualnego pobytu na obiekcie. W naszym przypadku typowy rozmiar pliku MOV w pełnej rozdzielczości wyniósł od 40 do 50 MB. Zmniejszając jednak

real distances between any chosen pair of points. All the measurements can be recorded and exported in XML format.

This technology renders possible the so called *virtual surveying*, when part of a process of the survey can be brought from the field into the office. Leica Geosystems offers also server solutions which enable distributing TrueView data through Intranet or Internet.

5.2. Spherical panorama pictures

Since equirectangular images are received during described above process of supplying point cloud data base with RGB colour information, there is an easy way to produce spherical panorama pictures in MOV format (fig. 7). Similar to TrueView panoramas, although without possibility to take measurements on screen, MOV panoramas can be viewed by Apple QuickTime Player. Again, such the panorama picture can be magnified, tilt, pan and rotate at will. Since the quality of the image is much higher than in case of TrueView, MOV panoramas can be used as supplementary photo documentation of the site, giving nearly a feeling of being *on the spot*. In our case, typical size of full resolution MOV files oscillates between 40 and 50 MB of data. Slimming resolution down, or better,



Rys. 7. Przykłady panoram sferycznych
Fig. 7. Examples of spherical panoramas

rozdzielczość lub – co jest lepszym rozwiązaniem – konwertując dane do formatu Flash, panoramy MOV można także publikować w internecie.

5.3. Rzut Górnego Tarasu świątyni

Jednym z celów projektu było przygotowanie rzutu Górnego Tarasu świątyni. Postanowiono, że rzut będzie przedstawiał przekrój poziomy na wysokości najwyższych nisz, czyli mniej więcej 2 metry powyżej progu portalu wejściowego prowadzącego na Górny Taras. Ponieważ powierzchnie niektórych ścian, jak to się często zdarza w egipskich świątyniach, są pochyle, a wiele teoretycznie pionowych ścian wykazuje znaczne odchylenia od pionu, rzut zawiera także linie widokowe reprezentujące podstawy wszystkich ścian [4].

Błąd rejestracji wszystkich skanów do wspólnego układu współrzędnych nie przekraczał 8 mm w obrębie całego projektu. W przypadku rzutu Górnego Tarasu świątyni należy więc spodziewać się podobnej dokładności. Dla pojedynczych pomieszczeń, zwłaszcza jeśli były one skanowane z jednego lub dwóch stanowisk skanera, dokładność sięga 2-4 mm. Nowy rzut Górnego Tarasu świątyni wykazuje wyraźne różnice w porównaniu z wcześniejszymi planami.

5.4. Modelowanie 3D i generowanie przekrojów

Proces skanowania 3D dokumentował nie tylko ściany Górnego Tarasu, ale także całe jego otoczenie w promieniu około 75 m od pozycji skanera, objęło więc swoim zasięgiem również dużą część skalnego urwiska rozpościerającego się nad świątynią. W ten sposób po raz pierwszy pojawiła się możliwość dokładnej analizy niedostępnych dotychczas szczegółów – zboczy, fragmentów wysuniętych i nadwieszonych. Te dodatkowe informacje były szczególnie przydatne w przypadku przekrojów pionowych prowadzonych w poprzek Górnego Tarasu na liniach wschód-zachód i północ-południe [4]. Na tym etapie projektu rzut i przekroje wschód-zachód i północ-południe wyłącznie przy zastosowaniu oprogramowania Leica Cyclone.

Ostatnia, jeszcze nie ukończona, faza całego projektu, koncentruje się na wytypowaniu najbardziej przydatnych, zważywszy na specyfikę danych, narzędzi modelowania 3D i generowania szczegółowych przekrojów. Nie można w tym celu stosować typowych aplikacji AEC CAD służących do modelowania brył lub powierzchni, a to z powodu olbrzymiej ilości danych pomiarowych i wymaganego poziomu szczegółowości modelu 3D. Wydaje się, że jedyne dostępne w tej chwili rozwiązanie to

converting them into Flash format, enables publishing MOV panoramas in Internet.

5.3. General plan of the Upper Terrace of the Temple

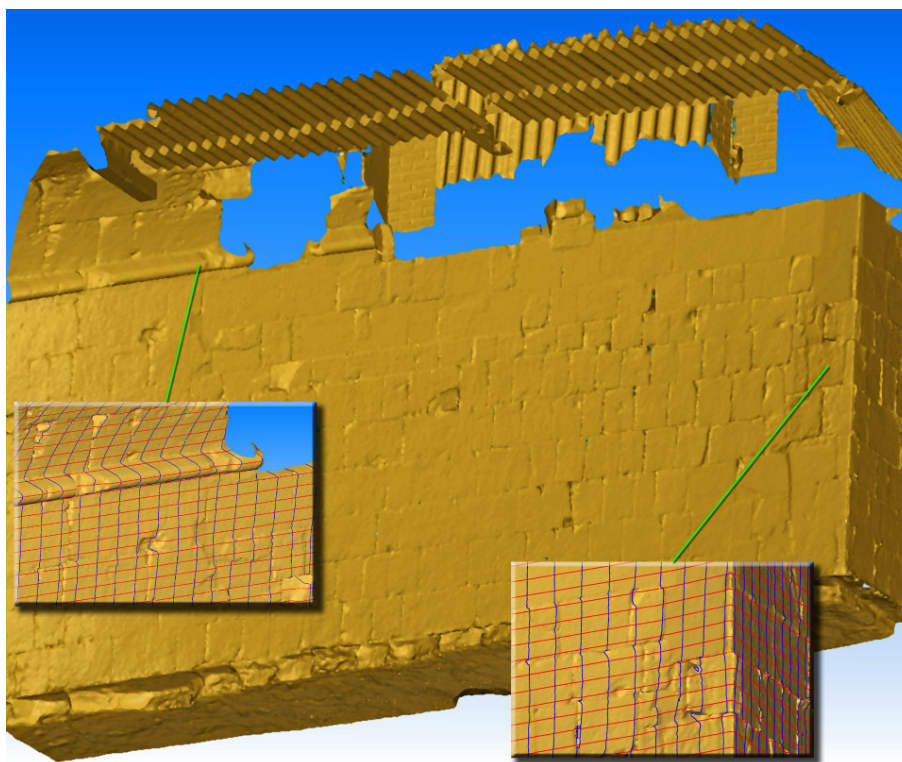
One of the main aims of this project was however to establish a new general plan of the Upper Terrace of the Temple. It has been decided that this plan will represent horizontal section on a level corresponding with the highest niches. This is roughly 2 meters above the threshold of the Upper Terrace entrance gate. Since some of the walls faces, as often in case of Egyptian temples, are sloping, and many nominally vertical walls show noticeable irregularities, the general plan also includes view lines of bottom parts of all the walls [4].

In view of the fact that accuracy of registering separate scans into common point cloud resulted in a mean error not greater than 8 mm over the whole area, the similar overall accuracy can be expected in case of the Upper Terrace general plan. In case of single rooms, especially those which were scanned from one or two scanning stations, an accuracy between 2 and 4 mm has been reached. The new plan of the Upper Terrace shows noticeable differences if confronted with the one which existed until now.

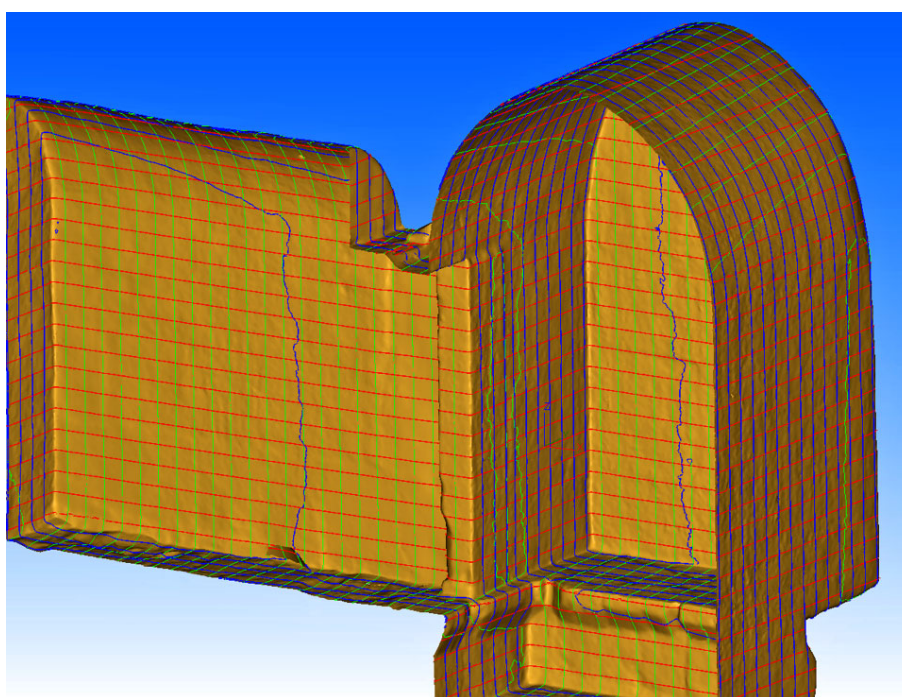
5.4. Modeling 3D and sections production

Since 3D scanning recorded not only all walls of the Upper Terrace but also whole surroundings within radius of ca. 75 meters from scanner stations, a good part of the *gebel* overlooking the site has been also included. This way, for the first time, it is also possible to see in details the *gebel* itself – its slopes, its exposed and overhanging areas. General E-W and N-S sections across the Upper Terrace are particularly benefiting from this additional information [4]. At this stage of the project, preparing of the general plan and general E-W and N-S sections has been accomplished entirely in Leica Cyclone software.

Still unfinished, the last phase of our project concentrates on finding the most suitable tools for 3D modeling and detailed sections production. Typical AEC CAD applications for solid or surface modeling can not be used there for the reason of waste scanning data amount and demanded accuracy of the 3D model. The only solution there is using point cloud data to produce mesh models. Two already mentioned applications were tested. Both have very similar functionality and both proved to be also very efficient. JRC 3D Reconstructor seems to be especially useful in filtering the data and generating fea-



Rys. 8. Model siatkowy północnej ściany kaplicy Hatszepsut
 Fig. 8. Mesh model of the Hatshepsut Chapel northern wall



Rys. 9. Fragment modelu siatkowego Północnej Kaplicy Anubisa wraz z liniami przekrojowymi
 Fig. 9. Fragment of mesh model of the Northern Anubis Chapel with detailed section lines

wykorzystanie danych z chmury punktów do tworzenia modeli siatkowych. W tej fazie projektu testowano dwie wspomniane już poprzednio aplikacje. Obie wyposażone są w podobne funkcje i obie okazały się równie skuteczne. JRC 3D Reconstructor wydaje się przy tym szczególnie pomocny w filtrowaniu danych i automatycznym generowaniu krawędzi, natomiast

ture lines, while 3D Reshaper proved to be excellent tool in meshing point clouds and automatically generating detailed section lines in any desired direction.

Since 3D point cloud data collected in very dusty conditions of Upper Egypt needed to be carefully filtered, still another application – Mesh-

3D Reshaper okazał się bardzo skutecznym narzędziem tworzącym modele siatkowe na podstawie chmur punktów, a także był wyjątkowo efektywny w przypadku generowania linii przekrojowych prowadzonych w dowolnie wybranym kierunku.

Typowe dla Górnego Egiptu warunki skanowania (wysoka temperatura i znaczne zapylenie), wymagały starannego filtrowania danych. Przetestowano więc także jeszcze jedną aplikację: MeshLab⁶. Zastosowano wiele filtrów, które okazały się przydatne nie tylko w filtrowaniu chmur punktów, ale także w czyszczeniu, naprawie i wygładzaniu modeli siatkowych.

5.5. Fotomozaiki i ortofotomapy ścian

Generalnie możliwe są dwa rodzaje widoków elewacyjnych – ortofotomapy i fotomozaiki. Pierwszy typ to wierny obraz danej sceny ze wszystkimi elementami we właściwej skali i bez zniekształceń perspektywicznych. Tworzenie, na dostawie skanów 3D, takiej ortofotomapy z wymaganą dla tego projektu rozdzielczością, czyli wielkością piksela poniżej 0,5 mm wymaga jednak bardzo gęstego skanowania i precyzyjnego generowania modeli siatkowych. Z drugiej

Lab⁶ has been also successfully tested. Many filters implemented there proved to be very useful not only in filtering point clouds, but also in cleaning, repairing, remeshing and smoothing meshed models.

5.5. Photomosaics and orthophoto of walls

Generally two kinds of wall facades plans are possible – orthophotos and photomosaics. The first one is the true representation of a given scene where all entities are in a right scale and without any perspective distortions. Such the orthophoto production with demanded pixel resolution below 0,5 mm involves very dense scanning and careful meshing. On the other hand, only representation of the main surface of the wall was the most important



Rys. 10. Ortofotomapa jednej ze ścian świątyni użyty jako dokument referencyjny przy generowaniu fotomozaiki
Fig. 10. Orthophoto image of one of temple walls used as reference for photomosaic production

strony, podstawowym zadaniem tej fazy projektu była dokumentacja głównej płaszczyzny ściany. Na szczęście, większość ścian świątyni można uznać za niemal idealne płaskie powierzchnie. Wybrano więc inne rozwiązanie problemu – fotomozaiki, gdzie tylko główną płaszczyznę ściany przedstawia się w prawidłowej skali bez żadnych geometrycznych zniekształceń. W tym przypadku wszystkie elementy, które znajdują się za główną płaszczyznę ściany są repre-

issue of this project and fortunately most of the temple walls could be considered as nearly planar surfaces. Therefore a more simple approach has been chosen – photomosaics, where only the main surface of walls is represented in a right scale and without any geometrical distortions. In this case, all items which are behind the plane of the main surface of the wall are represented in a slightly smaller scale and with perspective distortions and

zentowane w nieco mniejszej skali i ze zniekształceniem perspektywicznym. Odpowiednio, wszystkie elementy przed główną płaszczyzną ściany będą odwzorowane w większej skali. Różnice głębokości między główną płaszczyzną ściany a elementami położonymi przed nią i za nią, nie przekraczały w naszym przypadku 15 mm. Zdjęcia wykonano zwykle z odległości około 2 metrów uzyskując wielkość piksela nie przekraczającą 0,3 mm. Przewidywany teoretyczny błąd wynikający z faktu iż powierzchnia ściany nie jest idealną płaszczyzną (różnice głębokości +/- 15 mm) wynosi więc około 0,75% i był do zaakceptowania w naszym przypadku.

Pierwszym krokiem było wygenerowanie za pomocą Leica Cyclone, bezpośrednio z chmury punktów 3D, czarno-białych ortofotomap poszczególnych ścian (rys. 10). Ich rozdzielczość nie przekraczała 2 mm, ale była wystarczająca do znalezienia zestawu analogicznych punktów na szczegółowych zdjęciach cyfrowych i czarno-białych ortofotomapach. Posłużyły one jako punkty referencyjne pozwalające na przekształcenie obrazów rastrowych⁷ za pomocą Bentley Descartes.

W zależności od rozmiaru detali, które miała przedstawiać końcowa dokumentacja, rozdzielczość stworzonych fotomosaik wyniosła od 0,3 do 0,5 mm. Pozwala to na wydruk fotomosaik w skali 1 : 10 z rozdzielczością 600 dpi, która całkowicie odpowiada potrzebom nowoczesnego procesu wydawniczego. Fotomosaiki o najwyższej rozdzielczości (0,3 mm) i wykonane w korzystnych warunkach oświetleniowych⁸ pozwalają na powiększenia, edycję i druk nawet w skali 1:1 (rys. 11).

respectively all those projecting in front of the main surface of the wall will appear bigger. Depth differences between main surface of the wall and items which are in front or behind were not exceeding in our case 15 mm. Pictures were taken with pixel resolution 0,3 mm at a distance of typically 2 meters. Therefore, expected theoretical errors resulting from main wall surface being not exactly a planar (depth differences +/- 15 mm) should be around 0,75% and were acceptable for this project.

As the first step, using 3D point clouds, rough black and white, orthophoto images of walls plans were produced from Leica Cyclone (fig. 10). Their resolution did not exceeded 2 mm but it was enough to find suitable set of analogical points represented on digital photos and on black and white orthophotos. They served as reference points upon which pictures were warped⁷ with help of Bentley Descartes.

Depending from the size of details which were to be represented on the final documentation, the resolution of resulting photomosaic pictures is between 0,3 and 0,5 mm. This permits publishing photomosaics in a scale 1 : 10 with 600 dpi resolution which is fully suitable for modern publishing process. Photomosaic images of highest resolution (0,3 mm) and recorded in favorable lighting conditions⁸ permit also enlarging, viewing and printing of chosen fragments up to 1:1 scale (Fig.11).



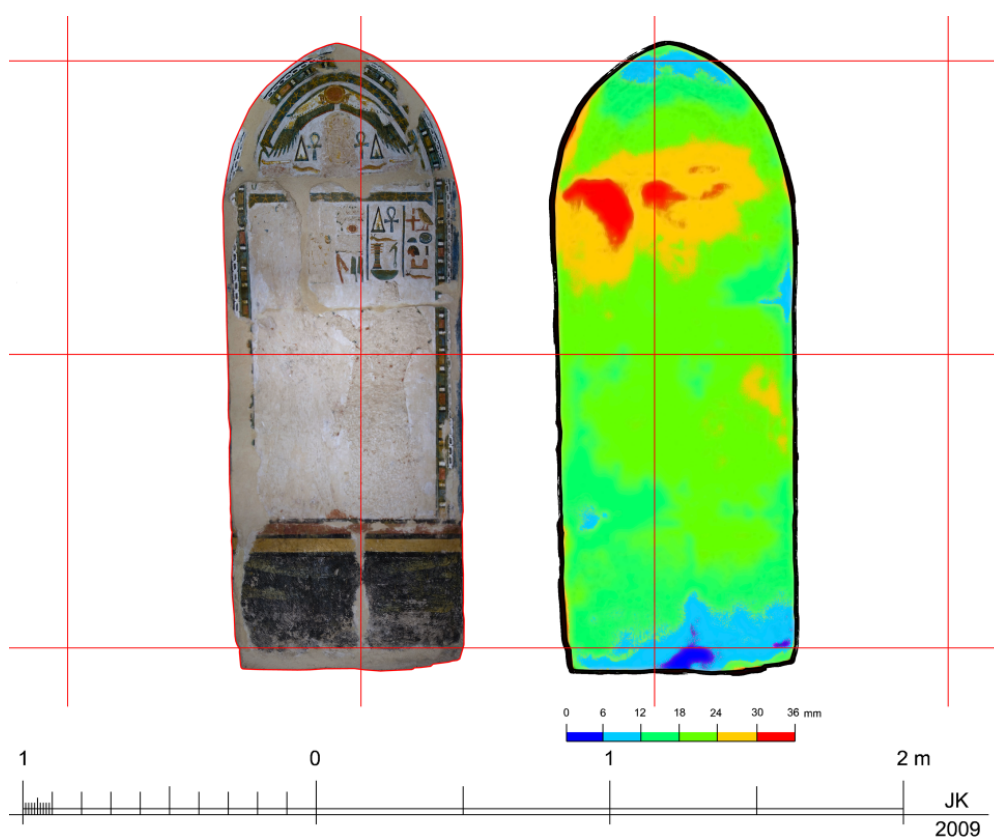
Rys. 11. Przykład fotomosaiki z rozdzielczością pikseli 0,3 mm
Fig.11. Photomosaic example with pixel resolution 0,3 mm

5.6. Mapy wgłębień

W przypadku wielu ścian widoczne były nieregularności powierzchni, a ich fasady bynajmniej nie stanowiły idealnej płaszczyzny. Podjęto więc próbę dokumentacji tych cech w formie tak zwanych *map wgłębień*. W tym przypadku, elewacje poszczególnych ścian przedstawiono w sposób przypominający hipsometrię na planach topograficznych, gdzie różnice (wysokości i głębokości) powierzchni ścian symbolizuje odpowiedni kod kolorów⁹ (rys. 12). Ten rodzaj prezentacji danych przestrzennych może być potencjalnie niezwykle przydatny dla inżynierów zajmujących się badaniem stabilności ścian, których część uległa poważnym przesunięciom z powodu niestabilności podłoża, trzęsień ziemi i licznych innych powodów.

5.6. Walls surface displacement plans

Since many of walls show noticeable irregularities, their facades being far from an ideal flat surface, an attempt was made to show this features in form of so called *walls surface displacement plans*. In this case walls facades are represented in a way similar to hypsometry on topographical plans, where differences (heights and depths) in the wall surface is symbolized by colour coding⁹ (Fig.12). This kind of spatial data presentation can be potentially of a great interest to civil engineers when examining stability of walls which underwent serious dislocation of blocks due to ground instability, earthquakes or any other reasons.



Rys. 12. Przykład mapy wgłębień
Fig. 12. Example of displacement map

6. Wnioski i wstępna propozycja kontynuacji projektu w sezonie 2010

W konkluzji trzeba stwierdzić, że metoda dokumentacji świątyni Hatszepsut za pomocą skanowania 3D potwierdziła swoją przydatność, zarówno jeśli chodzi o efektywność, jak i dokładność. Główną przeszkodą, jaką napotkał zespół, był brak zawodowego fotografa. Ponieważ jakość fotomosaik zależała

6. Conclusions and preliminary proposal of project continuation during 2010 season

To conclude, one must state that the idea of documenting the Hatshepsut Temple by means of 3D scanning proved to be both very efficient and very accurate. The main obstacle which the field team faced during the whole project was lack of professional photographer. Since the quality of photomo-

w ogromnym stopniu od jakości zdjęć zebranych w terenie, planuje się, szczególnie w obszarach zadaszonych, gdzie potrzebne jest sztuczne oświetlenie, dokooptować do zespołu zawodowego fotografa z doświadczeniem w fotografowaniu ścian zdobionych reliefami. Przewiduje się, że prace będą kontynuowane wiosną 2010 r. Do dokumentacji wybrano cztery kolejne obszary Górnego Tarasu:

- Południowa Kaplica Amuna wymagająca 2 stanowisk skanera
- Północna Kaplica Amuna wymagająca 4 stanowisk skanera
- Główne Sanktuarium Amuna wymagające 16 stanowisk skanera
- wewnętrzne fasady Portyku Ptolomejskiego wymagające 3 stanowisk skanera.

Ogólnie szacuje się, że potrzebne będzie około 25 stanowisk skanowania, co oznacza minimum 3 dni pracy w terenie. Należy jednakże przewidzieć dodatkowy dzień lub dwa na wypadek nieprzewidywanych problemów.

saics greatly depends on quality of pictures collected on the field, it is advisable, particularly on the roofed areas where artificial lighting must be engaged, to supply the field team with professional photographer with good experience in shooting relief decorated walls. It is anticipated that the work will be continued during spring 2010. Four further areas of the Upper Terrace has been already chosen to be documented. This are:

- the Southern Chapel of Amun involving 2 scanner stations required
- the Northern Chapel of Amun involving 4 scanner stations required
- the Main Sanctuary of Amun involving 16 scanner stations required
- the inner facades of Ptolemaic Portico involving 3 scanner stations required.

All together 25 scanner positions are estimated, what results in 3 full days of scanning. However, one additional day or two should be added in anticipation of any unexpected problems.

Literatura • References

- [1] Z. Szafranski (ed.), *Królowa Hatshepsut i jej świątynia 3500 lat później*, Warszawa 2001.
- [2] Z. Wysocki (ed.), *The temple of Queen Hatshepsut. Vol. 4. The report of the Polish-Egyptian archaeological and preservation mission Deir el-Bahari 1980-1988*, Warszawa 1991.
- [3] T. Kaczor, *Teoria i praktyka w konserwacji starożytnych zespołów zabytkowych w Tebach*. Raporty Inst. Hist. Archit Proc. 2007, Ser PRE nr 422, <http://www.dbc.wroc.pl/publication/1563>, 97-101, 2007.
- [4] J. Kościuk, T. Kaczor, B. Chmielewski, T. Waligórski, P. Srokowski. *Skanowanie 3D fragmentów świątyni Hatshepsut w Deir el-Bahari w Egipcie*, Raporty Instytutu I-12 Serii Sprawozdania nr 19/09 (raport nie publikowany), 2009.

*Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska
Laboratorium zorganizowane zostało przy Instytucie Historii Architektury, Sztuki i Techniki na Wydziale Architektury w ramach działania SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464.

¹ Historię świątyni można znaleźć w [1]. Historię restauracji świątyni i polskiego udziału w tym zadaniu można znaleźć w [2] i [3].

² Zespół serdecznie dziękuje panu Lotharowi Assenmacherowi – Dyrektorowi Generalnemu Leica Geosystems, który udzielił ogromnego wsparcia projektowi i umożliwił jego realizację.

³ O znanych parametrach równania soczewek, które umożliwiło korekcję dystorsji i innych wad obiektywu.

⁴ Zbyt daleko do ściany lub pod niekorzystnym kątem.

⁵ Poszczególne stanowiska skanera w trakcie skanowania.

⁶ Visual Computing Lab – ISTI – CNR;
<http://meshlab.sourceforge.net/>

⁷ Obraz rastrowy przeliczono ponownie za pomocą odpowiednich wielomianów.

⁸ Najlepiej na zewnątrz w bezpośrednim świetle słonecznym.

⁹ Wgłębienia reprezentowane są w kolorach niebieskich, a wypukłości w czerwieniach.

*Laboratory of 3D Scanning and Modeling, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland
The Laboratory was organized at the Institute of History of Architecture, Arts and Technology at Faculty of Architecture (project SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464).

¹ For the temple history see [1]. For history of restoration of the temple and Polish contribution see [2] and [3].

² The team would like to express special thanks to Lothar Assenmacher – the General Director of Leica Geosystems who greatly supported this project and rendered it possible.

³ With known lens equation parameters permitting us to remove distortion and other lens errors.

⁴ To far from the wall or in unfavorable angle of view.

⁵ Particular locations of the scanner during any scanning process.

⁶ Visual Computing Lab – ISTI – CNR;
<http://meshlab.sourceforge.net/>

⁷ Raster image metrics has been recalculated with polynomial equations.

⁸ Preferably outdoors with direct sun light.

⁹ Depths are show in blue while heights in red colors.