

Meltem Vatan*, M. Oğuz Selbesoğlu**, Bülent Bayram***

The use of 3D laser scanning technology in preservation of historical structures

Wykorzystanie technologii skanowania 3D w konserwacji obiektów zabytkowych

1. Introduction

Historical structures and monuments are symbols of the cultural identity and they constitute the most important part of the cultural heritage. Besides their artistic value those buildings are open to the public and to large assemble of people. Most historical buildings were made of masonry which is very complex. Depending on the construction period; geometrical typology, construction and organization of the structure, element size and type of construction material used are diverse.

Safety and stability of historical structures are of key importance when involved in conservation and preservation studies. The stability and structural behavior depend on the geometry of the building as well as its damage state. Before making any intervention decision, it is very important to make safety evaluation of the building with a multidisciplinary team of specialists on this field.

Geometrical survey of a structure is very important for both understanding the present state of the structure including its damages and material decays and modeling the structure for the structural analysis. Realistic modeling of historical masonry structures for those purposes is not easy. Deep knowledge of the geometry of the structure and its elements is required for implementing the appropriate model.

Different recording techniques exist to acquire an accurate geometric data and description of the building. Traditionally total stations are used to record data of the structures. This is useful for measuring edges or single point of interest but it is

1. Wprowadzenie

Obiekty historyczne i zabytki są symbolami tożsamości kulturowej i stanowią najważniejszą część dziedzictwa kulturowego. Posiadając wartość artystyczną są także dostępne dla publiczności i dużych zgromadzeń. Większość budynków historycznych to bardzo skomplikowane konstrukcje murowe. W zależności od okresu w którym powstały, mogą się różnić typologią geometryczną, budową i systemem konstrukcji, wielkością elementów i rodzajem stosowanego materiału budowlanego.

Problematyka bezpieczeństwa i stabilności konstrukcji historycznych jest niezwykle ważna w badaniach z zakresu konserwacji i ochrony. Stabilność i praca konstrukcji zależą od geometrii budynku oraz stanu jego zachowania. Przed podjęciem jakiegokolwiek decyzji o interwencji, trzeba koniecznie dokonać oceny bezpieczeństwa budynku z udziałem zespołu różnych specjalistów z tej dziedziny.

Badanie geometrii konstrukcji jest ważne zarówno dla zrozumienia obecnego stanu konstrukcji, włącznie z uszkodzeniami i zniszczeniem materiału oraz dla modelowania konstrukcji dla potrzeb analiz konstrukcyjnych. W tym ostatnim przypadku, dokładne modelowanie historycznych konstrukcji murowych nie jest zadaniem łatwym. Przed przyjęciem właściwego modelu analitycznego, konieczne jest dogłębne poznanie geometrii konstrukcji i jej poszczególnych elementów.

Istnieją różne techniki inwentaryzacji pozwalające na zebranie dokładnych danych geometrycznych i opisanie budynku. Tradycyjnie używa się w tym celu tachimetrów. Są one przydatne do pomiarów krawędzi

not easy to acquire complex surfaces by this method. Other techniques are close – range photogrammetry and laser scanning which are faster and precise methods and also there are extensive measuring and surveying techniques on this field [1, 2].

The aim of this study is to point out the importance of realistic geometric modeling of historic structures for evaluating the safety condition and to discuss data acquisition methods using in preservation of historical structures and stress particularly on the laser scanning technology.

2. Importance of Accurate Geometric Data for Evaluating the Safety Condition of Historical Structures

Historical buildings made of masonry are very complex and to make the realistic model of the overall geometry of a historical building is a difficult task. The geometry of those buildings as well as structural elements, transition elements and load transfer schemes vary depending on the construction period and organization of the structure (fig. 1). Because of this variety each historical building should be evaluated in its own condition. The basic principle of the conservation is to understand the building as a whole.

The structural typology is important to make a reliable approach and to choose the most appropriate intervention technique for the restoration and preservation of historical buildings. Different load bearing system, load transition system and behavior of the whole building is directly related to the structural typology. During the intervention decision all these parameters should be taken into account.

In seismic areas, beside the geometry of the individual building, if there exist, relation with the other structures is very important in the behavior of the historical structures. Even if the buildings constructed in the same age and have the same typology, isolated building has a different failure mechanism than buildings in a row [3].

The first step of the study of the structural performance of masonry is providing the true data of its geometry. Other parameters are dimension of the elements, shape of the blocks, masonry texture, mortar quantity and quality, characteristics of the section and homogeneity of the material [3].

It is obvious that almost all these required data for the evaluation of the structural condition and damage state of the building are related with the geometrical data. Consequently preservation works include (fig. 2):

istotnych punktów, ale trudno zbadać tą metodą złożone powierzchnie. Inne techniki to fotogrametria bliskiego zasięgu oraz skanery laserowe, które są szybsze i dokładne, a także pozwalają na rozległe pomiary i badania [1, 2].

Celem tego badania było wykazanie wagi realistycznego modelowania geometrycznego budynków historycznych dla oceny stanu bezpieczeństwa oraz omówienie metod pozyskiwania danych stosowanych w konserwacji historycznych konstrukcji, ze szczególną uwagą poświęconą technologii skanerów laserowych.

2. Znaczenie dokładności pomiarów geometrii dla oceny stanu bezpieczeństwa konstrukcji historycznych

Murowane budynki historyczne są bardzo skomplikowanymi konstrukcjami i przygotowanie wiernego i całościowego modelu historycznej budowli to bardzo trudne zadanie. Geometria tych budynków oraz ich elementy konstrukcyjne, wypełniające i schematy przenoszenia obciążeń są bardzo różne w zależności od okresu powstania i typu konstrukcji (rys. 1). Z powodu tej różnorodności każdy budynek historyczny powinien być analizowany indywidualnie. Podstawową zasadą konserwacji jest zrozumienie budynku jako całości.

Typologia konstrukcji jest istotna dla wyboru właściwego sposobu podejścia i wyboru optymalnej techniki interwencji w celu restauracji i konserwacji historycznych budynków. Różnorodne schematy obciążeń i systemy ich przenoszenia oraz zachowanie się całego budynku są bezpośrednio związane z typologią konstrukcji. Wszystkie te parametry należy uwzględnić przy podejmowaniu decyzji o interwencji.

Dla ochrony budynków historycznych położonych w obszarach sejsmicznych ważna jest nie tylko geometria konkretnego budynku, ale także – jeśli istnieje – powiązanie z sąsiednimi konstrukcjami. Nawet jeśli budynki zbudowano w tym samym okresie i mają one te same cechy typologiczne, wolno stojący budynek podlega innym mechanizmom niż budynek usytuowany w pierzei [3].

Pierwszy krok w badaniu stanu konstrukcji murowej to zebranie wiarygodnych danych o jej geometrii. Inne parametry to wymiary elementów, kształt bloków, faktura muru, ilość i jakość zaprawy, cechy przekroju i jednorodności materiału [3].

Jest oczywiste, że niemal wszystkie dane potrzebne do oceny stanu technicznego konstrukcji są związane z danymi geometrycznymi. Dlatego prace konserwatorskie obejmują (rys. 2):

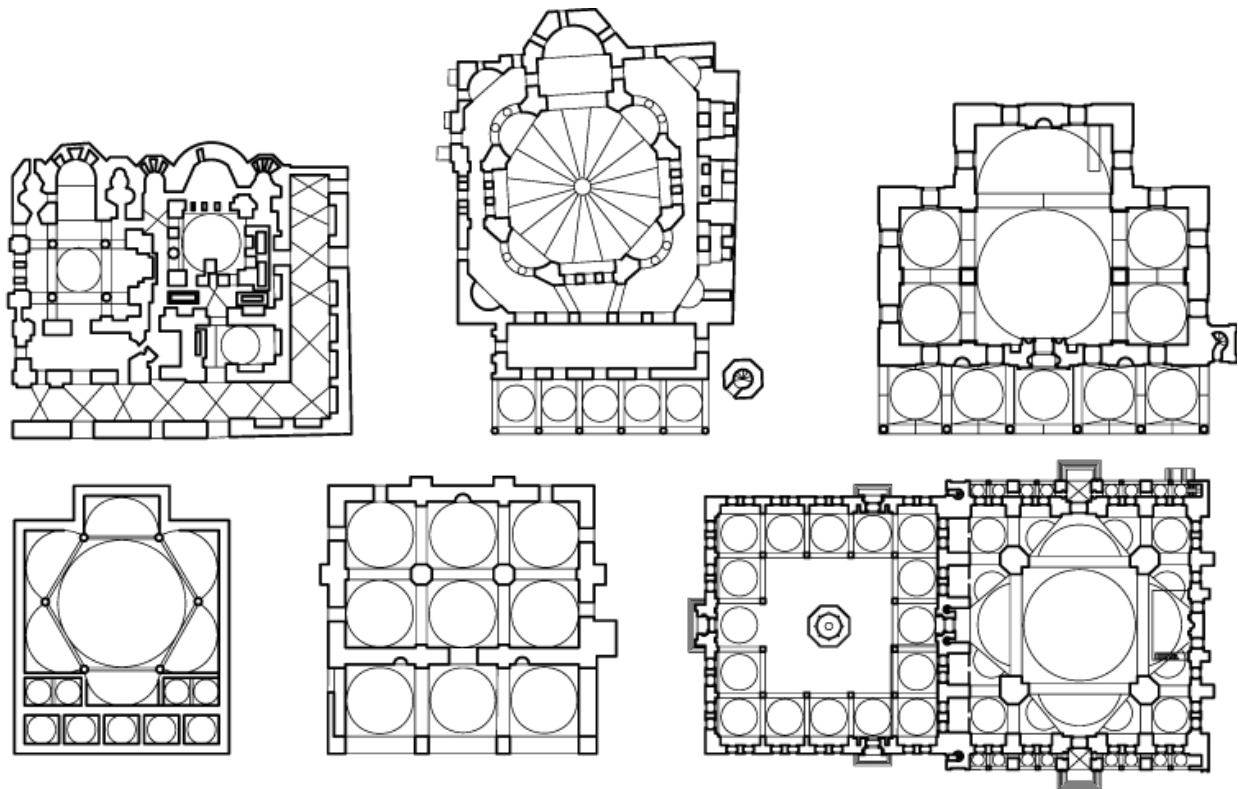


Fig. 1. Examples of diverse typology of historical masonry structures in Istanbul
Rys. 1. Przykłady typów historycznych konstrukcji murowych w Istambule

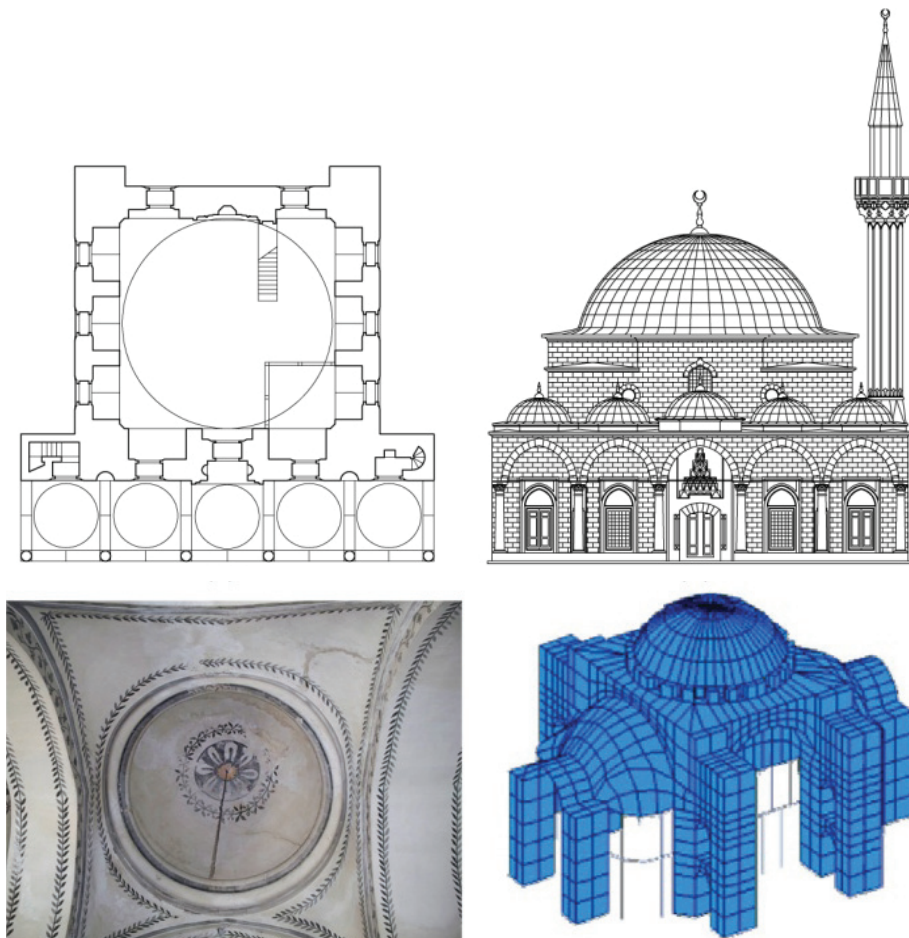


Fig. 2. (a, b) Plan drawing and façade drawing of the historic building; (c) Crack pattern of the dome of the historic building; (d) FEM model
Rys. 2. (a, b) Rzut i elewacja budynku zabytkowego; (c) Rysy na kopule historycznej budowli; (d) Model MES

- As built drawings of the existing building both in plan, sections and facades;
- The texture of the facades;
- Damage state of the building (e.g. crack pattern, deterioration);
- If the detailed inspection is necessary, structural analysis of the building (e.g. FEM).

In the following, exciting different recording techniques for obtaining those required data will be described.

3. Architectural Modeling of the Realistic Geometry of the Exciting Building

Numerical modeling of the real geometrical shape of the historic building as part of safety evaluation is the hardest step. Architects are traditionally used to draw all necessary drawings through photos and manual measurements. In the traditional method of numerical modeling of the existing building, all structural elements have to be drawn manually with several drawbacks. The process is time consuming and forced labor; first the architectural plan drawings should be made then if it is possible generating a 3D model through 2D drawings. Generally photos are used for generating the 3D model and inaccuracy of the photos could result with different facades' and section drawings. It is difficult to verify whether the result model is accurate or not [4].

Recently photogrammetry became a widespread method in architecture, with developing computer industry both software and hardware. In comparison with traditional drawing and modeling techniques, photogrammetry is faster and more precise.

Photogrammetry is based on processing of images by generating DTMs, DSMs, orthoimages, 2D and 3D reconstruction [5]. Total station, metric cameras and laser scanning are used as measurement techniques in photogrammetric method. Data collected from both of these techniques is useful in architecture. By this way, time and effort is reduced while making as built drawings in digital format.

Recently terrestrial laser scanning technology became widespread in the field of documentation of the historical heritage. Mobile and flexible optical 3D measuring systems based on techniques as photogrammetry, fringe projection, laser scanning and combinations of those image based or range based systems can successfully applied to the measurement and virtual reconstruction of cultural heritage [6]. 3D laser scanner is one of

- Dokumentację stanu faktycznego istniejących budynków: rzuty, przekroje i elewacje;
- Teksturę fasad;
- Stan niszczenia budynku (np. zarysowania, uszkodzenia);
- Jeżeli konieczne jest badanie szczegółowe, analizę konstrukcyjną budynku (np. MES).

W dalszej części artykułu zostaną opisane różnorodne dostępne techniki inwentaryzacji pozwalające na zebranie tych danych.

3. Modelowanie architektoniczne realistycznej geometrii istniejących budowli

Modelowanie numeryczne wiernego rzeczywistości kształtu geometrycznego budowli historycznej jest najtrudniejszym krokiem w procesie oceny bezpieczeństwa. Architekci są zwykle przyzwyczajeni do rysowania całej dokumentacji na podstawie zdjęć i ręcznych pomiarów. W tradycyjnej metodzie numerycznego modelowania istniejących budowli wszystkie elementy konstrukcyjne trzeba modelować ręcznie i to kilku wersjach. Jest to czasochłonny proces; najpierw trzeba przygotować rzut budynku, a następnie, jeśli to możliwe, z pomocą dodatkowych rysunków 2D (przekroje, elewacje), wygenerować model. Zasadniczo do tworzenia modeli 3D używa się zdjęć i ich niedokładność może prowadzić do błędów w dokumentacji elewacji i przekrojów. Trudno zweryfikować, czy stworzony w ten sposób model jest dokładny czy nie [4].

W miarę rozwoju sprzętu i oprogramowania komputerowego, w ostatnich latach popularną wśród architektów metodą stała się fotogrametria, która jest szybsza i dokładniejsza niż tradycyjne techniki inwentaryzacji i modelowania.

Fotogrametria opiera się na przetwarzaniu obrazów w celu tworzenia numerycznych modeli terenu, ortofotomap, rekonstrukcji dwu- i trójwymiarowych [5]. Totalstation, kamery metryczne i skanery laserowe to techniki pomiaru stosowane zwykle w metodzie fotogrametrycznej. Dane zebrane za pomocą tych technik są przydatne w architekturze: w ten sposób oszczędza się czas i wysiłek poświęcony na dokumentację stanu faktycznego w formie cyfrowej.

Ostatnio, w dziedzinie dokumentacji dziedzictwa historycznego popularną technologią stało się naziemne skanowanie laserowe. Mobilne i wygodne trójwymiarowe, optyczne systemy pomiarowe, oparte na takich technikach jak fotogrametria, triangulacja optyczna, skanery laserowe, a także połączenia technik pomiaru opartych na analizie obrazu i pomiarze odległości, mogą być doskonale stosowane do inwentaryzacji i wirtualnych rekonstrukcji

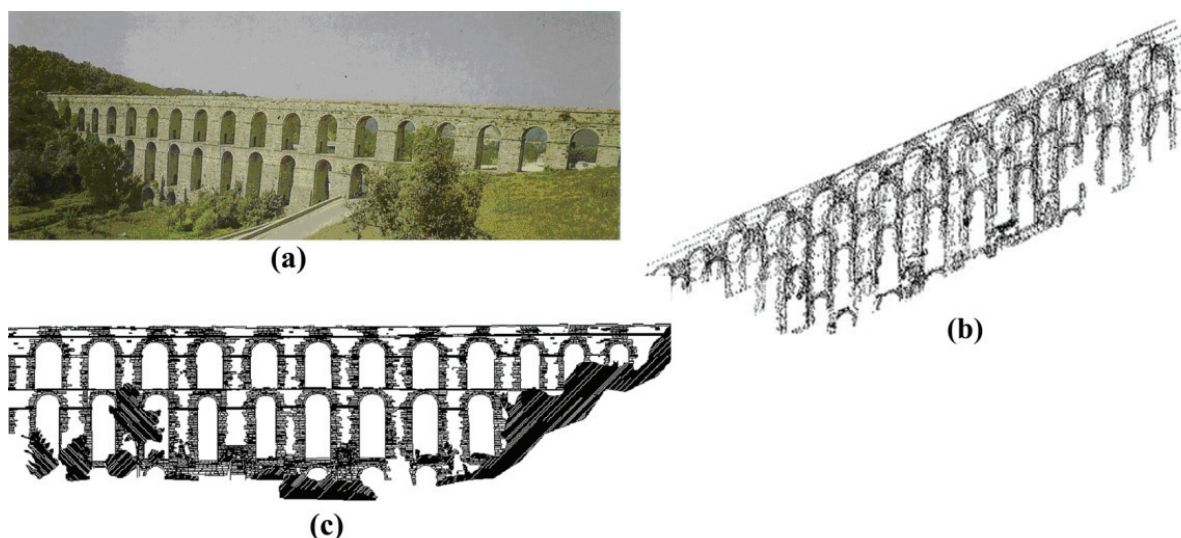


Fig. 3. The data set obtained from laser scanner of the Kovukkemer aqueduct (a) Photo of the aqueduct, (b) 3D point clouds, (c) The west façade of the aqueduct [7]

Rys. 3. Zestaw danych uzyskanych w procesie laserowego skanowania akweduktu Kovukkemer (a) Zdjęcie akweduktu, (b) chmura punktów 3D, (c) zachodnia elewacja akweduktu [7]

the tools for survey documentation of the overall building in the accurate way. The importance of 3D laser scanning is providing a full surface description instead of measuring some specific points. After an extensive processing phase, the collected data can be used to derive 2D drawings, 3D models useful for architectural drawings and numerical modeling of structural analysis (fig. 3).

3.1. Laser Scanners

Due to its simplicity, speed and capability of its use in the extensive applications; laser scanning is getting great interest recently. Laser scanners acquire realistic data of objects by measuring thousands of points with high accuracy in a time efficient way. By extensive processing phase the collected data can be used to construct 2D or 3D models useful in a wide variety of applications. Triangulation based, time of flight based and phase difference based laser scanner principles exist. Triangulation lasers are the devices that project a laser line or pattern onto an object and measure the deformation of that pattern using a visible sensor to determine the geometry of the object. Time of flight scanners compute by measuring the timeframe between sending a short laser pulse and receiving its reflection from an object. These two types of scanners are relatively slow but can measure points up to 1 km from the scanner without loss of accuracy. Phase based scanners use a modulated continuous laser wave instead of laser pulses allowing for faster measuring, but the range of these scanners is limited to approximately 50 – 80 m [2].

Laser scanners have been available for over ten years, but in the last three years their beneficial

dziedzictwa kulturowego [6]. Trójwymiarowy skaner laserowy to jedno z narzędzi pozwalających na sporządzenie dokładnej inwentaryzacji budynku jako całości. Ważne jest, że trójwymiarowe skanowanie laserowe pozwala na pełen opis powierzchni, a nie tylko pomiar specyficznych punktów. Po przetworzeniu, zabrane dane można wykorzystać do tworzenia rysunków 2D i modeli 3D, które mogą być pomocne w przygotowywaniu dokumentacji architektonicznej i modeli dla numerycznej analizy konstrukcji (rys. 3).

3.1. Skanery laserowe

Dzięki swej prostocie, szybkości i szerokim możliwościom zastosowania skanowanie laserowe budzi ostatnio ogromne zainteresowanie. Skanery laserowe dają realistyczne dane na temat obiektów dzięki bardzo dokładnym pomiarom tysięcy punktów wykonanym w stosunkowo krótkim czasie. W procesie przetwarzania, zebrane dane mogą być użyte do opracowania modeli dwu- i trójwymiarowych, przydatnych w bardzo wielu zastosowaniach. Skanery laserowe mogą opierać się na zasadzie triangulacji, na zasadzie czasu powrotu odbitego sygnału lub różnicy fazowej. Lasery triangulacyjne to urządzenia, które przenoszą laserową linię lub wzór na obiekt i mierzą stopień deformacji wzoru i w ten sposób ustalają geometrię obiektu. Skanery działające na zasadzie czasu powrotu odbitego sygnału opierają się o pomiar czasu pomiędzy wysłaniem krótkiego sygnału laserowego, a odebraniem jego odbicia od obiektu. Te dwa typy skanerów są stosunkowo wolne, ale mogą zmierzyć nawet punkty oddalone o 1 km, nie tracąc przy tym na dokładności. Skanery fazowe wykorzystują modulowaną ciągłą wiązkę laserową zamiast krótkich sygnałów, co pozwala na szybki pomiar, ale zasięg takich skanerów nie przekracza 50 – 80 m [2].

applicability and improvements move forward. The improvements in software applications to handle and visualize the point clouds in an effective and efficient way have created a new era in surveying which is called "High Definition Survey" – HDS. Using HDS technology the physical reality can be captured in an efficient, accurate and reliable way. Inaccurate or even wrong as built information was and still is a big problem for the architects. State of the art laser scanners are capable to generate today in a very short time huge data sets. In order to be able to manage this huge data set, totally new approaches and concepts are developed. HDS supporting generation of the data and results with solutions tailored specifically to the user and combines and integrates various scanning technologies and different software modules [8]. Figure 4 shows an example of HDS data obtained by Leica.



Fig. 4. Pink Pavilion
Rys. 4. Różowy Pawilon

The manner of using laser scanner is: filtering of every point for noise removal, removing of redundant points, generating a mesh and if there exist, filling of small holes by using curvature based filling algorithm [2].

3.2. The Case Study of the Pink Pavilion

In this paper Pink Pavilion is chosen as a case study which is one of the Yildiz Palace's buildings (fig. 5). Yildiz Palace is a vast complex of former imperial Ottoman pavilions and villas in Istanbul built in the late 19th and early 20th centuries. It was used as residence by the Sultan and his court. Pink Pavilion is a timber weekend dwelling constructed for Ottoman princes in the late 19th century [9].

In this study geodetic measurement and photogrammetric method are used and results are compared. 1/200 scaled stereo photos have taken by using Rolley Metric camera in the photogrammetric method and geodetic measurements have done by using 1+2 ppm precise Total Station.

The Pink Pavilion building has been scanned by Mensi GS100 laser scanner from 15,25m with 1cm point density by sending two pulses to each control point. Control points on the façade were

Skanery laserowe są dostępne od ponad dekady, ale ostatnie trzy lata przyniosły duży rozwój ich zastosowań i jakości. Rozwój oprogramowania służącego do efektywnej, wydajnej obsługi i wizualizacji chmur punktów zapoczątkował nową erę w dziedzinie pomiarów, zwaną „pomiarami wysokiej rozdzielczości” („High Definition Survey” – HDS). Za pomocą technologii HDS można dokumentować stan rzeczywisty w sposób wydajny, dokładny i wiarygodny. Niedokładne lub nawet błędne dane o stanie faktycznym były i nadal są poważnym problemem dla architektów.

Najnowocześniejsze skanery laserowe mogą dziś tworzyć ogromne zbiory danych w bardzo krótkim czasie. Opracowuje się zupełnie nowe podejścia i koncepcje, aby zarządzać tymi dużymi zbiorami. HDS wspomaga generowanie danych i wyników zindywidualizowanymi rozwiązaniami, łącząc i integrując różne technologie skanowania i moduły oprogramowania [8]. Rys. 4 przedstawia przykład danych HDS zebranych za pomocą Leica.

Tryb opracowywania danych uzyskanych w procesie skanowania laserowego jest następujący: filtrowanie chmury punktów w celu eliminacji szumów, usuwanie zbędnych punktów, generowanie modelu siatkowego oraz uzupełnienie nieciągłości w modelu za pomocą algorytmu wypełniania śledzącego zakrzywienia powierzchni [2].

3.2. Studium przypadku Różowego Pawilonu

W tym artykule, jako studium przypadku wybrano Różowy Pawilon, który jest jednym z budynków w zespole pałacowym Yildiz (rys. 5). Pałac Yildiz (*Palac Gwiazd*) to rozległy kompleks pawilonów i willi w Istambule, powstały pod koniec XIX i na początku XX w. Służył jako rezydencja otomańskiego sultana i jego dworu. Różowy Pawilon jest niewielką drewnianą budowlą wzniesioną jako pawilon rekreacyjny dla otomańskich książąt pod koniec XIX w. [9].

W ramach opisywanego projektu wykonano pomiary geodezyjne oraz fotogrametryczne, a następnie porównano wyniki. W ramach metody fotogrametrycznej wykonano zdjęcia stereo w skali 1/200 za pomocą kamery Rolley Metric, zaś pomiary geodezyjne wykonano za pomocą TotalStation o dokładności własnej 1+2 ppm.

Budynek Różowego Pawilonu został także zeska-

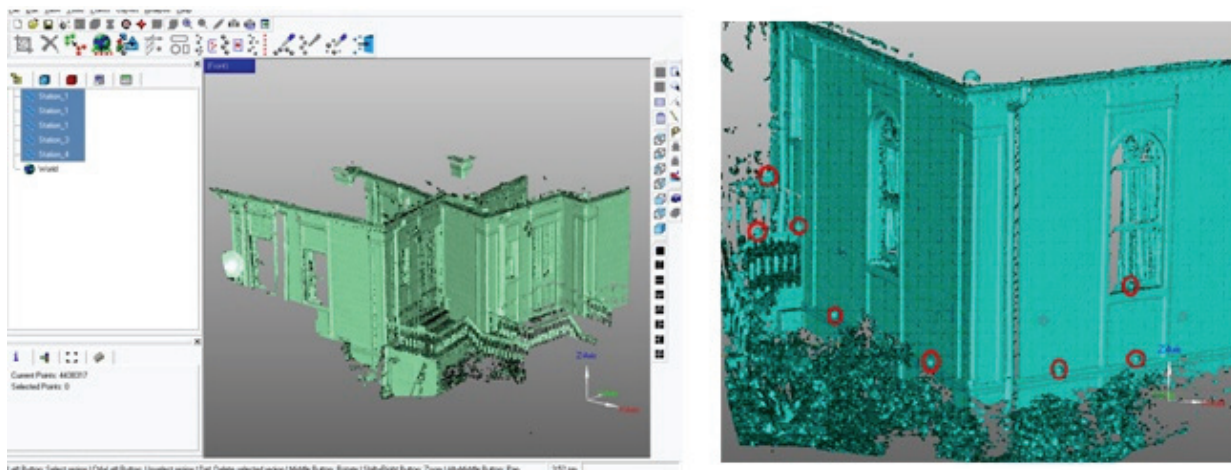


Fig. 5. Data obtained from the scanning process
Rys. 5. Dane uzyskane w procesie skanowania

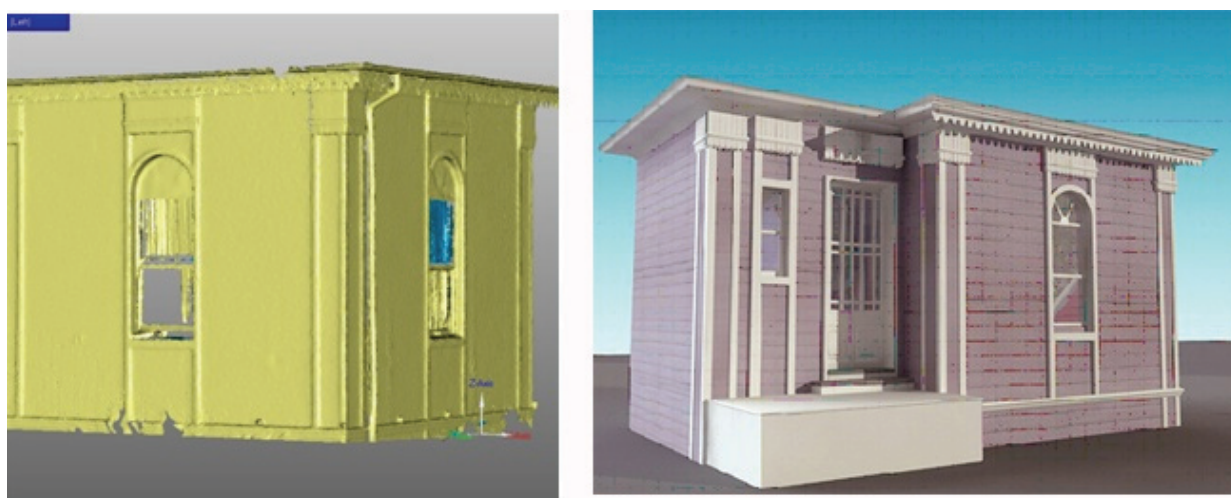


Fig. 6. Mesh generation model of the Pink Pavilion
Rys. 6. Model Różowego Pawilonu z wygenerowanej siatki

chosen by paying attention to the desired details and avoiding obstacles. Register process had made by using Mensi – Real Works software (figure 5) and the mesh generation was made by using trial version of Geomagic software (figure 6). Photogrammetric orientation and evaluation have made by Workstation software.

Through point clouds 3D model was generated by using 3D Studio Max software. All extent data of the building can be obtained from this model.

As a result of this study data obtained from geodetic measurements and photogrammetric method are compared. Consequently, geodetic point clouds in the stereo absolute orientation and point clouds in the registration process are different. Through the data of table 1 the formula (1) and (2) are calculated and differences of the accuracy between geodetic measurements and photogrammetric method are derived.

nowany skanerem laserowym Mensi GS100 z odległości 15,25 m przy gęstości punktów 1 cm poprzez wysłanie dwóch impulsów do każdego punktu kontrolnego. Punkty kontrolne na fasadzie zostały wyznaczone tak, aby uwzględnić istotne szczegóły i uniknąć przeszkód. W procesie rejestracji użyto oprogramowania Mensi – Real Works (rys. 5), a model siatkowy wygenerowano za pomocą ewaluacyjnej wersji oprogramowania Geomagic (rys. 6). Do orientacji i opracowania fotogrametrycznego wykorzystano oprogramowanie Workstation.

Z chmury punktów wygenerowano model 3D za pomocą oprogramowania 3D Studio Max. Z modelu tego można uzyskać wszystkie dane o wymiarach budynku.

Wynikiem badań było porównanie danych uzyskanych za pomocą pomiarów geodezyjnych z danymi uzyskanymi metodą fotogrametryczną. Jak należało przewidywać, otrzymane wyniki różniły się. Podstawiając dane z tabeli 1 do wzorów (1) i (2), wyliczyć można różnice w dokładności między pomiarami geodezyjnymi i metodą fotogrametryczną.

$$d_{xyz} = \sqrt{(x_{geo} - x_{pocl})^2 + (y_{geo} - y_{pocl})^2 + (z_{geo} - z_{pocl})^2} \quad (1)$$

$$d_{xyz} = \sqrt{(x_{stereo} - x_{pocl})^2 + (y_{stereo} - y_{pocl})^2 + (z_{stereo} - z_{pocl})^2} \quad (2)$$

Tab. 1. The difference between Geodetic coordinates and point clouds; and stereo model coordinates and point clouds
Różnice między geodezyjnymi współrzędnymi i chmurami punktów a współrzędnymi i chmurami punktów modelu stereo

Geodetic Coord-Point Cloud Coord Współrzędne geodezyjny-Współrzędne chmury punktów			Stereo Model Coord-Point Cloud Coord Współrzędne modelu stereo-Współrzędne chmury punktów		
dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)	dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)
-13	14	-12	-6	11	-5
11	-19	-16	6	-14	-2
11	-24	-21	3	-9	-5
15	-23	-13	10	-9	-4
18	24	11	8	17	14
14	-19	-12	22	-10	4
20	19	12	14	10	9
-23	-18	20	-10	-12	11
22	16	-14	4	13	-5
22	23	17	5	12	14
-17	17	15	-6	13	10
10	7	25	14	14	10
-12	8	21	8	-8	8
-26	-13	6	-10	-21	1
-22	19	5	-32	8	-7
12	21	17	-2	8	4
25	24	-11	13	17	-3
19	13	-5	10	1	7
-8	-24	-7	-14	-6	-11
-17	-11	12	-9	3	5
-12	-22	-21	4	-4	-9
-21	-25	-14	-9	-11	-8
20	-23	12	14	-15	6
-9	-13	15	-2	1	8
-16	-10	5	-2	-12	16

According to the calculation of the formulas above, the max difference between geodetic coordinates and point clouds is 26 mm; and the max difference between stereo model coordinates and point clouds is 42 mm. So, the average difference between geodetic measurements and photogrammetric method is 34 mm.

The main reason of those different resulting values is choice of 1 cm point density. Mensi GS100 laser scanner is capable to work with 2 mm point density. The choice of min value point density has advantages and disadvantages. Min point density value give more precise measures, but processing and 3D modeling are not time efficient procedures.

Due to the fact that the Pink Pavilion building is timber structure and has flat façade 1 cm point

Z powyższych wyliczeń wynika, że maksymalna różnica między współrzędnymi geodezyjnymi a chmurami punktów wynosi 26 mm, a maksymalna różnica między współrzędnymi modelu stereo a chmurami punktów wynosi 42 mm. Oznacza to, że przeciętna różnica między pomiarami geodezyjnymi a metodą fotogrametryczną wynosi 34 mm.

Główną przyczyną różnic w uzyskanych wartościach jest wybór gęstości skanowania jako 1 cm. Skaner laserowy Mensi GS100 może pracować przy gęstości punktów 2 mm. Wybór minimalnej wartości gęstości punktów ma swoje zalety i wady. Minimalna wartość gęstości punktów daje bardziej precyzyjne pomiary, ale przetwarzanie i modelowanie trójwymiarowe są bardziej czasochłonne. Ponieważ Różowy Pawilon jest konstrukcją drewnianą i ma płaską fasadę, gęstość skanowania 1 cm była wła-

density was appropriate in this study. If architectural as built drawings are required, it is obvious that in comparison with manual measures both results are satisfying.

4. Conclusion

Conservation of cultural heritage as well as historical heritage and forward it to the future generation is human imperative. Properly documentation is the main issue of the preservation.

Photogrammetric methods or techniques are successfully used to document historic buildings since many years. Many different recording techniques are available and widely used on this field. By the recent developments in the field of computer technology it is possible to create as built survey documentation in a very time efficient and accurate way. Especially, the emerging of laser scanning technology offers effective, accurate and fast capturing of as built information and subsequent efficient utilization of the captured data for engineering tasks and purposes. Laser scanning technology combines and integrates various data and different software modules which facilitate the digital reconstruction and making realistic models. This integration supports data handling and delivering of the results to the various applications in an effective way.

In this paper an attempt was made to explain the state of the art of documentation techniques and the importance of the accurate geometric survey in the field of preservation and conservation of cultural heritage. Photogrammetry as a tool for acquiring geometric data is being used for years. Nevertheless it is possible to say that there is necessity of much work and collaboration among researchers from different research disciplines involved in historical heritage. Progress, already performed studies and also requirement of the improvements on this field can be listed as follows:

- Lots of researches and studies have been carried out on the field of using photogrammetry in architecture, particularly for acquiring geometrical data, making 3D models and generating as built drawings. In the comparison between photogrammetric method and laser scanning method it is obvious that relatively those methods have advantages and disadvantages. More precise and accurate data could be obtained by integration of both methods.
- The use of accurate geometrical data for structural analysis objectives is the main application in case of preservation of historical structures. The main goal is to convert point cloud data to 2D or 3D model and into usable information for the structural analysis.

ściwa dla opisywanego przypadku. Jeśli wynikiem prac ma być architektoniczna dokumentacja stanu faktycznego, oczywiste jest, że w zestawieniu z pomiarami ręcznymi oba wyniki są satysfakcjonujące.

4. Wnioski

Ochrona dziedzictwa kulturowego i historycznego jako przekazywanie tego dziedzictwa kolejnym pokoleniom jest powinnością człowieka. Właściwa dokumentacja to główna kwestia w procesie konserwacji.

Metody lub techniki fotogrametryczne są od lat używane z sukcesem do dokumentowania historycznych budynków. W tej dziedzinie istnieje wiele technik inwentaryzacyjnych i są one powszechnie używane. W ostatnich latach, dzięki rozwojowi technologii komputerowej, możliwe jest efektywne czasowo tworzenie szczegółowej dokumentacji stanu istniejącego. Szczególnie nowa technologia skanowania laserowego umożliwia skuteczne, dokładne i szybkie zebranie informacji o stanie faktycznym, a następnie efektywne zastosowanie zebranych danych w zadaniach inżynierskich. Technologia skanowania laserowego łączy i integruje różne dane i różne moduły oprogramowania, które ułatwiają cyfrową rekonstrukcję i tworzenie wiernych rzeczywistości modeli. Taka integracja efektywnie wspomaga przetwarzanie danych i ich udostępnianie dla różnorodnych zastosowań.

W prezentowanym artykule podjęto próbę opisu aktualnego stanu wiedzy na temat technik dokumentacji i znaczenia dokładnych pomiarów geodezyjnych dla konserwacji i ochrony dziedzictwa kulturowego. Fotogrametria jest narzędziem pozyskiwania danych geodezyjnych używanym już od wielu lat. Można jednak powiedzieć, że potrzeba dużo pracy i współpracy naukowców z różnych dyscyplin związanych z ochroną dziedzictwa kulturowego. Postęp, wykonane już badania oraz potrzeby udoskonalania tej metody można podsumować następująco:

- Wielu badaczy i wiele badań podejmowało kwestię wykorzystania fotogrametrii w architekturze, szczególnie do uzyskiwania danych geometrycznych, przygotowania modeli 3D i rysunków inwentaryzacyjnych. Porównanie metody fotogrametrycznej z metodą skanowania laserowego dowodzi, że obie mają swoje zalety i wady. Integracja obu tych metod może dostarczyć więcej bardziej precyzyjnych danych.
- Wykorzystanie dokładnych danych geometrycznych do analizy konstrukcyjnej to główne zastosowanie w dziedzinie konserwacji budowli historycznych. Głównym celem jest przekształcenie danych z chmury punktów w modele dwu- i trójwymiarowe oraz w informacje przydatne w analizach konstrukcyjnych.

- It is possible to create as built survey documentation in a very time efficient and accurate way by using laser scanning technology, although the post processing of laser scan data still requires a lot of manual work. It is beneficial due to enabling a full surface description instead of measuring only specific points as with total station survey. Façade drawings and sections can be easily extracted.
- The use of acquired data by laser scanning is not limited to one application (e.g. as built drawings), but it can be integrated and exported to different software modules for using in different tasks (AutoCAD, MicroStation etc.). Behind, it can be used also for 3D virtual modeling, heritage archiving, deformation and damage monitoring of the historical structures. Integration between different tools and soft wares still need improvements. Integration of the methodology within a decision tool platform by means of a common platform is the focus for future research.
- Although laser scanning is an evolving technology, data processing and conversion is still time consuming task. Automation is possible but requires specific user algorithms.
- The development of the software functionality allows managing and visualizing billions of data points in an interactive mode. The capability to handle large data sets offer to combine data from different sources and measurement techniques in a single data set and make the resulting point clouds more valuable for many applications.
- Accurate and reliable data to be used in the FEM analysis can be generated through the laser scanning data. However, this process needs to develop through joint work of architects, civil engineers and photogrammetry specialists interested in this field.
- HDS is the new way in reality capturing and will change the way of interacting with a geometrically correct and complete representation of reality.
The development of computer technology, tools, workflows and methodologies in the field of accurate data acquisition and the way of capturing reality will continue. In the field of preservation of historical heritage, by means using of laser scanner data, interdisciplinary researches and studies are indispensable.
- Inwentaryzacja za pomocą technologii skanowania laserowego daje dokładne wyniki w krótszym czasie, pomimo iż późniejsze przetwarzanie danych ze skanowania jest nadal procesem czasochłonnym. Technologia ta jest pomocna, ponieważ pozwala na opis całej powierzchni, a nie tylko na pomiar poszczególnych punktów, jak w przypadku TotalStation. Można łatwo uzyskać widoki elewacji i przekroje.
- Wykorzystanie danych uzyskanych za pomocą skanera laserowego nie ogranicza się do jednego celu (np. dokumentacja stanu faktycznego), można je integrować i eksportować do różnych modułów oprogramowania i stosować do różnych zadań (AutoCAD, MicroStation itp.). Poza tym, można je wykorzystać do tworzenia wirtualnych modeli trójwymiarowych, archiwizacji dziedzictwa, monitoringu zniekształceń i uszkodzeń konstrukcji historycznych. Integracja różnych narzędzi i programów nadal wymaga wiele pracy. Integracja metodologii na poziomie narzędzi decyzyjnych na wspólnej platformie to centralny punkt przyszłych badań.
- Chociaż skanowanie laserowe to rozwijająca się technologia, przetwarzanie i konwersja danych to nadal czasochłonne zadanie. Możliwa jest automatyzacja, ale wymaga ona specyficznych i zindywidualizowanych algorytmów.
- Rozwijanie funkcjonalności oprogramowania pozwala na zarządzanie i interaktywną wizualizację miliardów punktów. Możliwość obsługi wielkich zbiorów danych umożliwia łączenie danych z różnych źródeł i technik pomiaru w jednym zbiorze danych, a uzyskane w ten sposób chmury punktów są przydatne w wielu zastosowaniach.
- Dokładne i wiarygodne dane do wykorzystania w analizach MES można uzyskać z danych skanowania laserowego, ale proces ten musi być rozwijany we współpracy architektów, inżynierów i specjalistów fotogrametrii pracujących w tej dziedzinie.
- HDS to nowa technologia dokumentowania stanu rzeczywistego, która odmieni sposób interakcji z geometrycznie poprawnym i wiernym odwzorowaniem rzeczywistości.
Rozwój technologii komputerowej, narzędzi, algorytmów i metodologii w dziedzinie pozyskiwania dokładnych danych i dokumentowania stanu faktycznego bynajmniej się nie zakończył. W dziedzinie ochrony historycznego dziedzictwa z pomocą danych ze skanerów laserowych niezbędne są dalsze interdyscyplinarne studia i badania.

References • Literatura

- [1] Boeykens S., Santana M., Neuckermans H., *Improving Architectural Design Analysis Using 3D Modeling and Visualisation Techniques*, In: Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia – VSMM, Cyprus 2008.
- [2] Schueremans L., Van Genechten B., *The Use of 3D Laser Scanning in Assessing the Safety of Masonry Vaults – A Case Study on the Church of Saint Jacobs*, Optics and Lasers in Engineering (Journal of Elsevier), 2009, 47, 329 – 335
- [3] L. Binda, A. Saisi, *Research on Historic Structures in Seismic Areas in Italy*, Journal of Wiley Inter science, 2005 (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/pse.194
- [4] Debevec P.E., *Modeling and Rendering Architecture from Photographs*, University of California – Berkeley, PhD Dissertation, 1996.
- [5] Baltsavias P.E., *A Comparison Between Photogrammetry and Laser Scanning*, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1999, 54, pp. 83-84.
- [6] Przybilla H.J., Peipe J., *3D Modeling of Heritage Objects by Fringe Projection and Laser Scanning Systems*, XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, 2007.
- [7] Vatan M., Arun G., *Using Photogrammetric Data for Establishing 3D Finite Element Model of a Masonry Aqueduct*, In: Proceedings of the XX. CIPA International Symposium, Torino, Italy, 2005.
- [8] Erwin F., Kung J., Bukowski R., *High – Definition surveying (HDS): A New Era in Reality Capture*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004, Vol. XXXVI – 8/W2.
- [9] Encyclopedia of Istanbul (Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi), Volume 7, History Foundation of Turkey and Ministry of Culture and Tourism (Tarih Vakfı ve Kültür ve Turizm Bakanlığı), Istanbul 1994.
- [10] Selbesoglu M.O., Demet A., *Yersel Lazer Tarayıcılar ile Üç Boyutlu Modelleme ve Uygulaması*, Yıldız Technical University, Civil Engineering Faculty, Division of Photogrammetry, Istanbul (graduation thesis), 2008.

* YTU Faculty of Architecture, Structural Systems Division
YTU Wydział Architektury, Zakład Systemów Konstrukcyjnych

** YTU Institute of Science and Technology
YTU Instytut Nauki i Technologii

*** YTU Civil Engineering Faculty, Division of Photogrammetry
YTU Wydział Inżynierii Cywilnej, Zakład Fotogrametrii

Abstract

Accurate geometric data is the most important issue in the field of safety evaluation and preservation of historical structures. Photogrammetry is successfully used to document historic buildings since many years. By the recent developments in the field of computer technology it is possible to create as built survey documentation in a very time efficient and accurate way. Traditionally total stations are used to record data of the structures and other techniques are close – range photogrammetry and laser scanning which are faster and precise methods. The aim of this study is to point out the importance of realistic geometric modeling of historic structures for evaluating the safety condition and to discuss data acquisition methods using in preservation of historical structures and stress particularly on the laser scanning technology.

Streszczenie

Dokładne dane geometryczne to najistotniejsza kwestia w dziedzinie oceny bezpieczeństwa i ochrony historycznych konstrukcji. Fotogrametrię od lat wykorzystuje się z sukcesem do dokumentowania historycznych budowli. Dzięki postępowi technologii komputerowej w ostatnich latach możliwe jest tworzenie dokumentacji stanu faktycznego bardzo dokładnie i w stosunkowo krótkim czasie. Tradycyjnie do zapisywania danych konstrukcji stosuje się total stations, zaś inne technologie to fotogrametria bliskiego zasięgu i skanowanie laserowe, które są metodami szybszymi i dokładniejszymi. Celem niniejszego badania było wskazać znaczenie realistycznego modelowania historycznych konstrukcji dla oceny stanu bezpieczeństwa oraz omówić metody uzyskiwania danych używane w dziedzinie konserwacji historycznych budowli ze szczególnym naciskiem na technologię skanerów laserowych.