

Michał Kędzierski*, Anna Fryškowska*
Rafał Dąbrowski*, Michalina Wilińska*

Naziemne skanowanie laserowe obiektów sakralnych z zastosowaniem technologii HDS

Terrestrial laser scanning of sacred buildings in HDS technology

1. Wstęp

W przeciągu ostatnich kilkunastu lat zauważalny jest bardzo dynamiczny rozwój technologii naziemnego skanowania laserowego (NSL). NSL jest technologią umożliwiającą dokonanie (w pełni automatycznie) precyzyjnego pomiaru obiektu przestrzennego poprzez skanowanie powierzchni budynku, rzeźby etc. W wyniku pomiaru otrzymuje się tzw. „chmurę punktów” (punkty o współrzędnych X, Y, Z oraz intensywność). Pozyskana zostaje w ten sposób informacja o geometrii obiektu, a także o intensywności powracającego sygnału. Na podstawie tak dużej liczby punktów możliwe jest wykonanie bardzo dokładnych modeli elewacji czy wnętrza kościołów, a także niezbędnych rysunków wektorowych czy przekroi, które często są wykorzystywane przez architektów i konserwatorów zabytków do odtworzenia stanu faktycznego obiektu sprzed renowacji lub wizualizacji geometrii obiektu.

W artykule przedstawione zostanie wykorzystanie w architekturze sakralnej technologii naziemnego skanowania laserowego na przykładzie opracowania zabytkowego kościoła drewnianego w Żukowie. Pomiar wykonany został skanerami: impulsowym SCSanStation2 oraz fazowym HDS6000.

2. Zastosowanie NSL do badania stanu obiektów zabytkowych

Dzięki NSL możliwy jest bezdotykowy pomiar, czy też badanie struktury lub geometrii obiektów przestrzennych. Wiąże się z to z możliwością wy-

1. Introduction

Recently, the use of terrestrial laser scanning (TLS) is more and more popular. TLS technology can be used to conduct (fully automatically) precise measurements of space objects by scanning the surface of buildings, sculptures, etc. As a result of the measurement you get so called “point cloud” (points with the X, Y, Z coordinates and the intensity value) This way you can get the information about the geometry of an object as well as about the intensity of the returning signal. On the basis of such a huge number of points it is possible to generate highly accurate models of the facades or interiors of churches as well as necessary vector drawings or cross sections which are often used by architects and art conservators to restore the original condition of buildings from before renovation or for visualization of the geometry of such objects.

In this paper we present the use of the terrestrial laser scanning technology in documenting sacred architecture heritage, based on example of the wooden church in Żukow. The survey was performed with two different types of scanners: pulsed scanner (ScanStation2) and phase-based scanner (HDS 6000).

2. The application of TLS in surveys of architectural heritage

With the use of TLS it is possible to remotely measure or study the structure and geometry of spatial objects. This results in a possibility of

konania pomiarów nie tylko w miejscach trudno-dostępnych (jak np. sklepienia kościelne), ale także pomiaru elementów o skomplikowanej budowie czy kształcie (ornamenty, filary, ołtarze itp.).

Ponadto, co jest szczególnie istotne z punktu widzenia architektów – dane te mogą być eksportowane do plików systemów typu CAD (formaty .dxf, .dgn itp.), gdzie na ich podstawie generowane są rysunki wektorowe czy też trójwymiarowe modele.

2.1. Pozyskiwanie danych

W ramach prac badawczych wykonane zostało skanowanie zabytkowego drewnianego kościoła w Żukowie k. Warszawy za pomocą dwóch typów skanerów: impulsowego – Leica ScanStation2 oraz fazowego – HDS6000. Skaner Leica ScanStation2 jest skanerem impulsowym o zasięgu kilkuset metrów umożliwiającym wykonanie pomiarów z milimetrową precyzją. Jego wysoka produktywność jest zapewniona poprzez wysoką dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów w przestrzeni (6 mm), pomiaru odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Jest to szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych lub przemysłowych. Przewagą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie bardzo dokładnego pomiaru tego elementu. Skaner posiada również wbudowaną kamerę cyfrową o rozdzielczości 6,4 mln pikseli. Z kolei skaner HDS6000 jest skanerem fazowym o prędkości skanowania do 500 tys. pkt/s i zasięgu do 80 m. Jest ultraszybkim skanerem nowej generacji i pozwala na wyznaczenie współrzędnych punktu z dokładnością do 6 mm na odległości 25 m i odpowiednio 10 mm na odległości 50 m.

Oba systemy skanujące sterowane są z wykorzystaniem oprogramowania Cyclon.

2.1.1. Zasada pomiaru

Obecnie wykorzystywanymi typami systemów skanujących są: impulsowy skaner laserowy i fazowy skaner laserowy. Pomiar laserowy polega na wyemitowaniu wiązki światła koherentnego, która odbija się od przeszkody (badany obiekt) i powraca do urządzenia. Wówczas pozyskiwana zostaje informacja o odległości (czasie przebiegu wiązki tam i z powrotem) oraz o kątach poziomym i pionowym do obiektu względem skanera. Następnie wyznaczone zostają współrzędne przestrzenne każdego punktu. Różnica pomiędzy skanerem impul-

making measurements not only in places with difficult access (such as church vaults) but also the measurements of elements with complicated structure or shape (ornaments, pillars, altars, etc.).

Furthermore, which is especially important from the point of view of the architects – the data can be exported to CAD system files (formats .dxf, .dgn, etc.), where 2D vector drawings or 3D models can be generated.

2.1. Data collection

The survey included scanning of the historical wooden church in Zukow near Warsaw with the use of two types of scanner: pulsed scanner – Leica ScanStation2 and phase-based scanner – HDS6000. Leica ScanStation2 is a pulsed scanner with the range of a few hundred meters whose precision is sufficient to conduct measurements with few millimeters precision. Its high productivity is assured by the high precision of calculation of the coordinates of spatial points (6 mm), measurements of distance (4 mm) and first of all the high scanning density which can be even below 1 mm. This is especially useful in precise measurements of small architectural or industrial details. Another advantage of this system is the possibility of visual location of a single, specific point or a chosen detail of an object on test area and conducting a very precise measurement of such an object. The scanner also has a built-in digital camera with the resolution of 6.4 million pixels. On the other hand, HDS6000 is a phase-based scanner with the scanning speed of up to 500 thousand points/s and the range of up to 80 m. This is a new generation ultra-fast scanner which can locate the coordinates of a point with the precision of up to 6 mm at the distance of 25 m or respectively 10 mm at the distance of 50 m.

Both scanning systems are supported by Cyclon software.

2.1.1. Measurement method

At present two types of scanning systems are used: pulsed laser scanner and phase-based laser scanner. Laser measurement consists in emitting a coherent light beam which reflects against any obstacle (object of study) and returns to the device. Then the information is collected about the distance (beam travel time) as well as horizontal and vertical angles from an object to the scanner. Next the spatial coordinates of each point are calculated. The difference between pulsed scanner and phase-based scanner is based on the method

sowym a fazowym sprowadza się do metody wyznaczenia odległości (pomiar czasu przebiegu impulsu lub pomiar fazy wiązki lasera).

Pozyskiwanie danych

Proces pozyskiwania danych z naziemnego skaningu laserowego składa się z kilku etapów:

- zaplanowania stanowisk pomiarowych,
- skanowania,
- rejestracji danych (połączenia poszczególnych skanów i ujednoczenia układu współrzędnych),
- przetwarzania danych: wektoryzacja, modelowanie itp.

2.1.2. Zaplanowanie stanowisk pomiarowych

Wcześniejsze rozplanowanie stanowisk pomiarowych jest szczególnie istotne szczególnie wtedy, gdy mówimy o pomiarze skanerem fazowym, charakteryzującym się niewielkim zasięgiem (zwłaszcza jeżeli kąt skanowania do obiektu jest duży).

Autorzy publikacji przeprowadzili już badania dotyczące wpływu kąta skanowania i odległości skanowania na ilość i jakość powracającego sygnału odbitego od różnego rodzaju struktur. Były to próbki materiałów takich jak: cegła, drewno, szkło witrażowe, beton, różnego typu skały, z jakich mogą być zbudowane zabytkowe kościoły. Z przeprowadzonych wcześniej badań dla skanera impulsowego wynika, iż dla materiałów typu drewno czy cegła liczba punktów odbitych spada wyraźnie już na odległości 200 m, a także przy kątach skanowania powyżej 45°.

W tabeli 1 przedstawione są wyniki dla przykładowych materiałów: cegły i drewna. Oprócz spadku liczby punktów zauważalne jest, iż przy odległości od obiektu rzędu 100 m i dla wartości kątów obrócenia próbek tylko do 45° wartość intensywności odbicia spada ponad dwukrotnie. Na odległościach powyżej 200 m, dla cegły liczba zarejestrowanych punktów spadła do zera, zatem nie można było zarejestrować intensywności odbicia, nawet dla niewielkich wartości kątów obrotu. Taka informacja o charakterze materiału jest szczególnie istotna przy wyborze i rozmieszczeniu stanowisk skanera.

Z kolei w przypadku skanera fazowego praktyczna odległość skanowania nie przekracza 50 m przy odpowiednim ustawieniu stanowisk (możliwe prostopadle do obiektu). Dla większych kątów padania wiązki (rzędu 30-40°), zwłaszcza dla powierzchni ciemnych (pokrycia dachowe), liczba zarejestrowanych punktów spada kilkakrotnie. W przypadku elementów drewnianych zasięg skanowania jest znacznie większy.

of calculating the distances (measurements of pulse travel time or the measurements of the laser beam phase).

Data collection

The process of data collection from the terrestrial laser scanner includes a few stages:

- planning the measurement stations
- scanning
- data registration (referencing of individual scans and unification of the system of coordinates)
- data processing: vectorization, modeling, etc.

2.1.2. Planning the measurement stations

Planning of the measurement stations is especially important in the case of measurement with the use of the phase-based scanner which has a small range (especially if the scanning angle is unfavorable).

The authors of the publication have already conducted research regarding the impact of the scanning angle and distance on the number and the quality of the returning signal reflected from different types of structure. The sample materials included brick, wood, stained-glass, concrete and different types of rock from which historical churches can be built. The tests conducted with the use of the pulsed scanner demonstrate, that when such materials as wood or brick were used, the number of reflected points drops significantly already at the distance of 200 m as well as with the scanning angles over 45°.

Table 1 presents the results for sample materials: brick and wood. Apart from the drop of the number of points, it is evident that with the distance from the object of about 100 m and for the values of the angles of rotation of the samples only up to 45°, the value of reflection intensity drops more than twice. For the distance of over 200 m, in the case of brick, the number of registered points dropped to zero, so it was impossible to register the reflection intensity even for low values of the angles of rotation. Such information about the nature of material is especially important when selecting and locating the scanner measurement stations.

On the other hand, in the case of the phase-based scanner the practical distance of scanning does not exceed 50 m with the correct distribution of stations (possibly perpendicular to the object). For scanning angles in a range about 30-40°, especially for dark surfaces (roofing claddings), the number of registered points drops several times. In the case of wooden elements, the range of scanning is much greater.

Tab. 1. Liczba punktów odbitych od próbki wraz z intensywnością odbicia od przykładowych powierzchni: cegła, drewno
Number of points reflected from the sample and reflection intensity. Examples: for the brick and wood

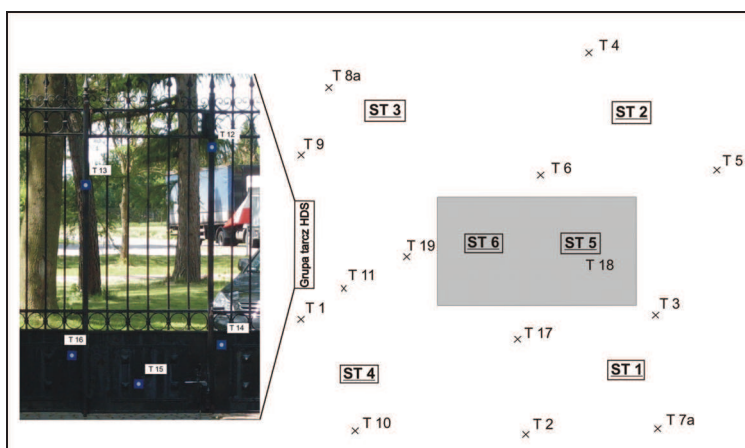
Odległość [m] <i>Distance [m]</i>	Kąt [°] <i>Angle [°]</i>	Cegła <i>Brick</i>		Drewno <i>Wood</i>	
		Liczba punktów odbitych <i>Number of reflected points</i>	Intensywność odbicia <i>Reflection intensity</i>	Liczba punktów odbitych <i>Number of reflected points</i>	Intensywność odbicia <i>Reflection intensity</i>
17	0	37213	0,4049	35153	0,5598
	22,5	30440	0,3981	34637	0,5558
	45	22385	0,3838	24245	0,5054
	67,5	9600	0,3587	11104	0,4065
50	0	35320	0,2816	39500	0,3685
	22,5	31279	0,2780	33040	0,3689
	45	19271	0,2723	22782	0,3411
	67,5	12283	0,2605	11971	0,2895
100	0	28394	0,1993	32239	0,2608
	22,5	29218	0,1957	32547	0,2609
	45	22623	0,1884	24832	0,2473
	67,5	10629	0,1693	12139	0,2059
200	0	241	0,1197	25817	0,1691
	22,5	0	0	27672	0,1702
	45	0	0	15164	0,1369
	67,5	0	0	0	0
290	0	0	0	1283	0,1195
	22,5	0	0	791	0,1125
	45	0	0	0	0
	67,5	0	0	0	0

Powyższe wyniki zostały uwzględnione podczas planowania rozmieszczenia stanowisk pomiarowych (rys. 1). Stanowiska zostały rozmieszczone tak, aby możliwe było zeskanowanie wszystkich elementów kościoła (zarówno wnętrza, jak i elewacji).

Zewnętrzna elewacja budynku pomierzona została z czterech stanowisk, wewnętrzna zaś na podstawie 2 stanowisk. Do połączenia obu części wykorzystano grupę tarcz celowniczych HDS. Tarcze ustawione zostały przed wejściem do kościoła, a także na bramie przed kościołem. Dodatkowo, z uwagi na konstrukcję kościoła, możliwy był pomiar tarczy HDS (punktu wiążącego) również przez drzwi boczne (tarcza T17, rys. 1).

The results presented above were taken into account when planning the location of the measurement stations (fig. 1). The stations were located in such a way as to enable the scanning of all details of the church (both inside and outside).

The facades of the building were measured from four stations, whereas the interior from two stations. In order to connect both parts, a group of HDS targets was used. The targets were placed in front of the church entrance, as well as on the gate in front of the church. Additionally, due to the construction of the church, it was possible to measure the HDS target (tie point) also through side doors (target T17, fig. 1).



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia stanowisk i tarcz celowniczych HDS dla pomiaru skanerem impulsowym. Oznaczenia: ST – stanowiska pomiarowe, T – tarcze celownicze HDS; kolorem szarym zaznaczono obiekt-kościół; na zdjęciu: widok rozmieszczenia grupy tarcz celowniczych na bramie wjazdowej

Fig. 1. Sketch of the pulsed laser scanner stations (ST) and HDS targets (T). Gray color represents the church and the photo on the left – the group of the HDS targets, located on the entrance gate

2.1.3. Skanowanie obiektu

Zewnętrzna część budynku zeskanowana została z rozdzielczością 5 mm (na zadanej odległości ok. 30 m). W wyniku pomiaru pozyskanych zostało ok. 10 mln punktów przedstawiających elewację budynku. Skany wykonane na poszczególnych stanowiskach zapisywane zostały w bazie danych w tzw. środowiskach skanowania (ang. *ScanWorlds*). Z każdego stanowiska widocznych było co najmniej 5 wspólnych sygnałów.

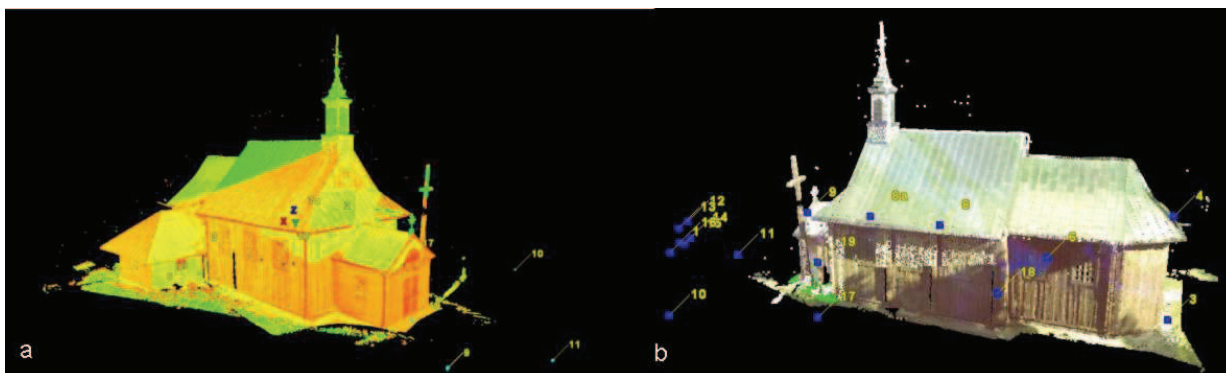
Podczas pozyskiwania informacji o położeniu punktów w przestrzeni pozyskuje się również bardzo ważną daną – mianowicie wartość intensywności powracającego sygnału. Na jej podstawie możemy stwierdzić jak silny był powracający do detektora sygnał. Rys. 2a przedstawia skan budynku w domyślnych barwach skanera. Czerwona barwa oznacza sygnał o małym albedo, z kolei niebieska o bardzo wysokim albedo. Na rys. 2b widoczne są te same chmury punktów, ale z teksturą pozyskaną na podstawie wbudowanej w skaner impulsowy kamery cyfrowej. Taka prezentacja danych bardzo często ułatwia interpretację, czy też odnalezienie konkretnych szczegółów na obiekcie.

2.1.3. Scanning of the church

The external part of the building was scanned with the 5 mm resolution (at distance of about 30 m). As a result of the measurement about 10 million points representing the facade of the building were acquired. The scans made from individual stations were recorded in the database in so called *ScanWorlds*. At least five common HDS targets were visible from each station.

During cloud point acquisition, some other very important information is obtained too – namely the value of intensity of the returning signal. It can be used to determine the strength of the signal returning to the detector. Fig. 2a shows the scan of the building in colors representing reflection intensity. Red color represents the signal with low albedo, whereas blue color represents very high albedo. In fig. 2b you can see the same point clouds but with the texture collected by the pulsed scanner built-in digital camera. Such a presentation of data very often facilitates the interpretation or finding specific details.

For comparison, the measurements of the same object were made with the use of the phase-based scanner HDS 6000.



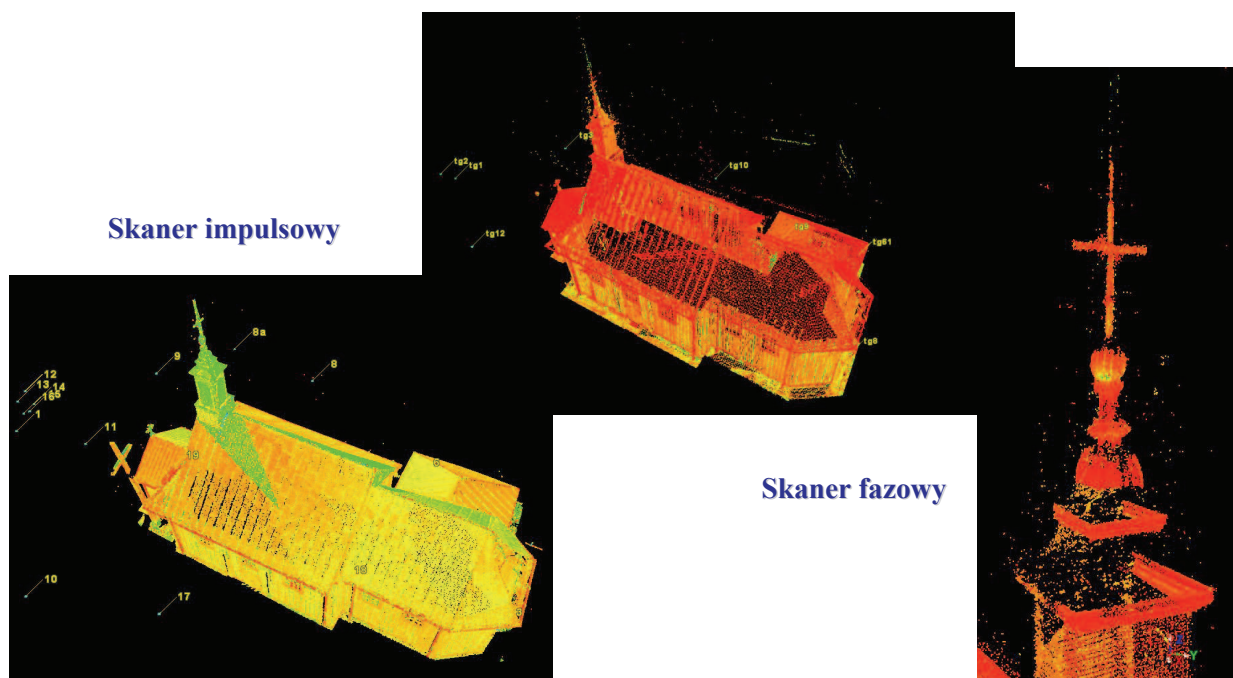
Rys. 2. Połączone skany kościoła w Żukowie: a) widok w barwach intensywności odbicia (barwy ze skanera), b) skany z nałożoną teksturą pozyskaną ze zdjęć cyfrowych

Fig. 2. Registered scans of the church in Zukow: a) intensity colors (colors from scanner) b) textured scans

Dla porównania przeprowadzono pomiary tego samego obiektu z wykorzystaniem skanera fazowego HDS 6000.

Pomimo faktu, że deklarowana rozdzielczość skanowania wynosiła 4 mm na odległości 30 m, a teoretyczny zasięg skanera to 80 m, widoczne są braki w danych. Szczególnie zauważalne jest to na dachu budynku oraz wieży, gdzie istotnym czynnikiem wpływającym na zakres skanowania był kolor pokrycia dachowego, odległość oraz kąt do stanowiska. W przypadku pomiarów elewacji obiektów sakralnych zdecydowanie korzystniejszy jest pomiar skanem impulsowym.

Despite the fact that the rated resolution of scanning was 4 mm at the distance of 30 m and the theoretical range of the scanner is 80 m, some data are missing. This is especially evident on the roof of the building and the tower, where the significant factors affecting the scan was the roof color, the distance and the station angle. In the case of the measurements of the facades of sacred buildings the pulsed scanner is definitely more useful.



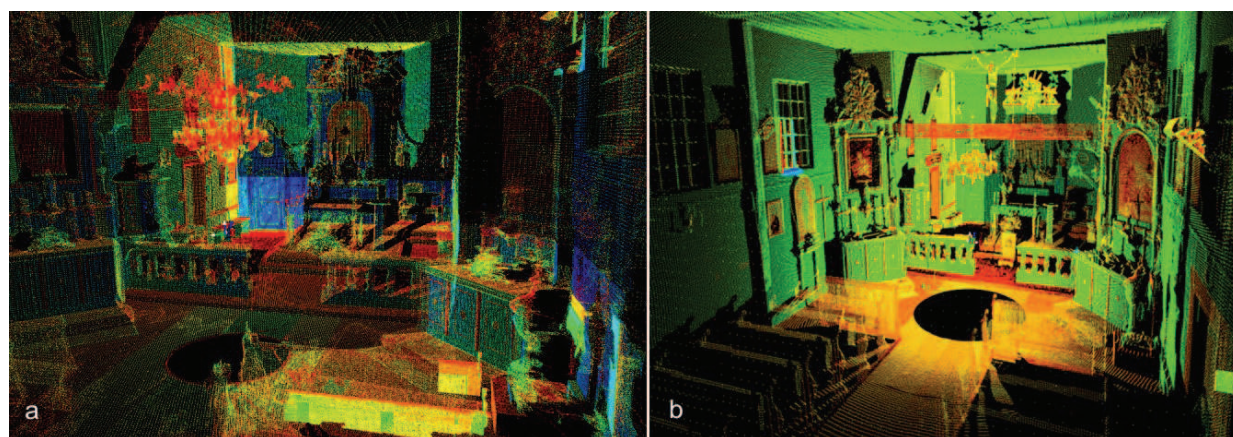
Rys. 3. Porównanie wyników pomiarów skanerami impulsowym i fazowym
 Fig. 3. Comparison of the measurements conducted by pulsed and phase-base scanner

2.1.4. Skanowanie wnętrza

Celem skanowania wnętrza kościoła było wykonanie dokumentacji szczegółów takich jak ornamenty, rzeźby, sklepienie, newralgiczne elementy konstrukcji itp. Skanowanie wnętrza wykonano z rozdzielczością 7 mm, a dla wybranych elementów gęstość ścieżki skanowania została zwiększona do 3 mm. Dzięki takiej liczbie punktów można wykonać dokładne trójwymiarowe modele i ortofotografie ścian, sufitu, okien oraz rzeźb. Rys. 4a i b przedstawia skany wnętrza kościoła wykonane odpowiednio skanerem fazowym i impulsowym.

2.1.4. Interior scanning

The objective of the scanning of the church interior was to create documentation of such details as ornaments, sculptures, vaults, critical elements of the construction, etc. The interior was scanned with the 7 mm resolution, and for selected elements the scanning path density was increased to 3 mm. With that number of points it is possible to generate detailed 3D models and orthophotos of the walls, ceiling, windows and sculptures. Fig. 4a and b show the scans of the interior of the church made with the phase-based and pulsed scanners respectively.



Rys. 4. Skany wnętrza kościoła wykonane: a) skanerem fazowym, b) skanerem impulsowym
 Fig. 4. The scans of the church interior: a) pulsed scanner, b) phase-based scanner

Już na etapie pozyskiwania danych zauważalna staje się jedna z podstawowych różnic pomiędzy skanerami impulsowymi i fazowymi – tj. zasięg i rozdzielczość skanowania. Skaner impulsowy po-

Already at the stage of data acquisition, one of the basic differences between the pulsed scanner and phase-based scanner becomes evident – the scanning range and resolution. The pulsed scanner

siada znacznie większe możliwości pomiaru obiektów wysokich (użyteczny zasięg do 200 m), a ponadto zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Z kolei skanery fazowe w zastosowaniach „wewnętrznych” są zdecydowanie bezkonkurencyjne w porównaniu ze skanerami impulsowymi. Dla porównania: skanowanie wnętrza kościoła w pełnym zasięgu (czyli 360 stopni na 270 stopni) skanera impulsowego trwało ok. 120 minut, natomiast fazowego 23 minuty, przy dużo wyższej rozdzielczości. Skaner fazowy umożliwia pomiar dużo większej liczby punktów w tym samym czasie.

2.1.5. Rejestracja danych

Pierwszym, wstępnym opracowaniem danych pomiarowych jest łączenie i wzajemne orientowanie skanów pozyskanych z pomiarów wykonanych na poszczególnych stanowiskach, czyli tzw. rejestracja. I tak, dla części zewnętrznej i wewnętrznej, rejestracja metodą „na tarczy”, gdzie punktami wiążącymi są właśnie tarcze HDS (zarówno dla skanera impulsowego, jak i fazowego) przeprowadzona została z błędem średnim nie przekraczającym wartości 3 mm. Warto zauważyć, że błędy na poszczególnych tarczach osiągają wartości na poziomie dokładności pomiaru skanera, rzędu 2-3 mm.

2.1.6. Przetwarzanie danych – wektoryzacja i modelowanie 3D

Z punktu widzenia opracowań architektonicznych coraz bardziej popularne stają się trójwymiarowe modele obiektów oraz rysunki wektorowe, najczęściej generowane w systemach typu CAD.

Dane pozyskane ze skanowania laserowego przedstawiają powierzchnię jako „nieuporządkowaną” chmurę punktów. Nie przedstawia ona jednak obiektu jako struktury o konkretnej geometrii. Do wizualizacji struktury wykorzystuje się rysunki wektorowe oraz modele przestrzenne.

Rysunek wektorowy może być utworzony manualnie, półautomatycznie lub automatycznie. Pierwsze dwie metody polegają na rysowaniu przez operatora „szkieletu” konstrukcji bądź poszczególnych elementów architektonicznych, poprzez zdefiniowanie przez operatora przebiegu linii, krawędzi oraz węzłów łączących poszczególne elementy z zachowaniem topologii obiektu. Jest to typowe podejście wykorzystywane w systemach CAD. Automatyczne generowanie „wektora” za pomocą zbudowanego wcześniej modelu 3D daje zdecydowanie pełniejszą informację na temat powierzchni „wypełniających” szkielet kon-

is much more useful in measuring tall buildings (usable range of up to 200 m) and furthermore its scanning path density can be set below 1 mm. On the other hand, the phase-based scanner, when used inside, is much better than the pulsed scanner. For comparison: the full range of scanning of the church interior (that is 360 by 270 degrees) with the pulsed scanner took about 120 min, whereas with the phase-based scanner – 23 minutes, with much higher resolution. The phase-based scanner measures many more points within the same time.

2.1.5. Data registration

The first, preliminary stage of data processing includes merging and mutual orientation of the scans acquired from separate stations – that is data registration. And so, for the external and internal parts the registration with the use of targets, where the tie points were HDS targets (for both the pulsed scanner and for the phase-based), resulted with the mean error below 3 mm. It is worth noting, that the errors on individual targets reach the values at the level of the scanner measurement accuracy of about 2-3 mm.

2.1.6. Data processing – vectorization and 3D modeling

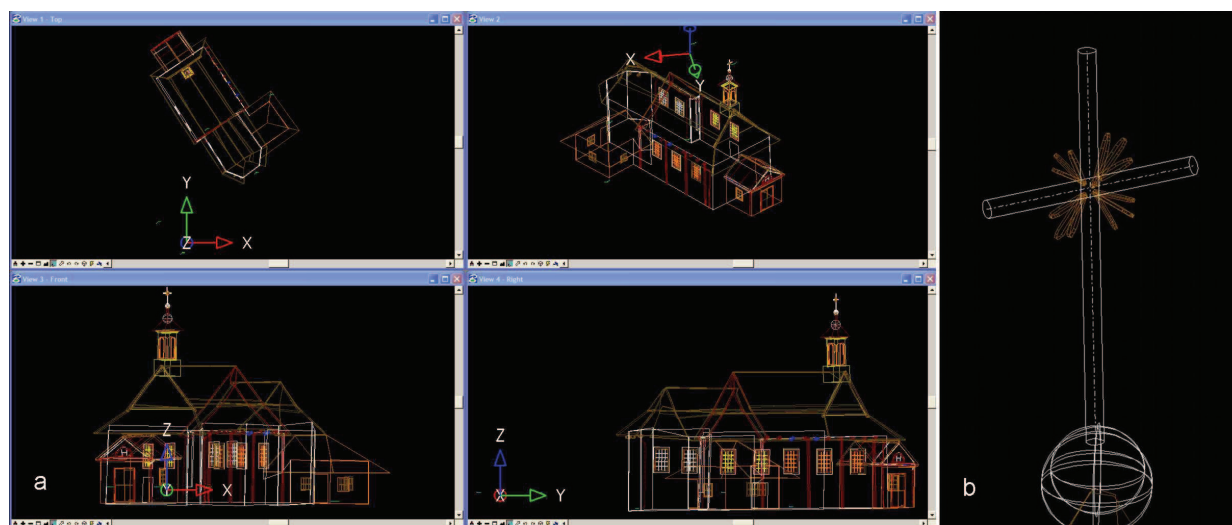
From the point of view of architectural studies, 3D models of objects as well as 2D vector drawings, most often generated in CAD systems, are more and more popular.

The data obtained from laser scanning present the surface as a “disorganized” point cloud. However, they do not present an object as a structure with specific geometry. The 2D vector drawings and 3D models are used to visualize the structure.

2D vector drawing can be generated manually, semi-automatically or automatically. In the first two methods the operator draws a “frame” of the construction or individual architectural details by defining the lines, edges and points connecting individual elements, maintaining at the same time the topology of the object. This approach is typically used with CAD systems. Automatic generation of 2D vector drawings directly from built earlier 3D model, provides much more complete information about the surfaces “filling” in the frame of the construction [3]. Fig. 5a and b show four views of the structure of the church in Zukow generated with the use of this method.

strukcji [3]. Rys. 5a i b przedstawia w czterech rzutach konstrukcję budynku kościoła w Żukowie wygenerowaną tą właśnie metodą.

The most common methods of generating 3D models include:



Rys. 5. a) widok budynku w czterech rzutach: z góry, z przodu, izometrycznie oraz z boku, b) widok krzyża na wieży kościoła
Fig. 5. a) Four views of the building: top, front, isometric and right side b) view of the cross at the church tower top

Najczęściej stosowanymi metodami generowania modeli 3D są:

- triangulacja (tzw. ang. *meshing*) wykorzystująca siatkę trójkątów o dokładności i wielkości zależnej od liczby punktów oraz złożoności obiektu, jednak ta metoda jest problematyczna w przypadku modelowania kształtów i powierzchni nieregularnych;
- modelowanie za pomocą brył geometrycznych (tzw. ang. *Constructive Solid Geometry*), wykorzystujące znane figury takie jak: stożki, prostopadłościany, walce, kule itp. Metoda ta cechuje się wysokim stopniem generalizacji oraz wymaga późniejszej weryfikacji ze strony operatora.

Rysunek 6a i b przedstawia model wygenerowany za pomocą brył geometrycznych, w części b rysunku widoczne są detale krzyża znajdującego się na wieży kościoła. Zamodelowane fragmenty wymagały wpasowania chmury punktów w zdefiniowane w programie płaszczyzny czy figury geometryczne. Najbardziej problematyczne są elementy o nieregularnym kształcie lub o złożonej strukturze takich jak: wieża kościoła, okna, elementy ozdobne rzeźby, figury itp.

- *Meshing* with the use of a network of triangles with the accuracy and size depending on the number of points and complexity of an object. This method, however, is problematic in the case of modeling shapes and irregular surfaces;
- *Constructive Solid Geometry* which uses simple solids such as: cones, cuboids, cylinders, spheres, etc. This method provides a high level of generalization and requires subsequent verification of the operator.

Fig. 6a and b show the model generated with the use of geometric solids. On the right (fig. 6b) you can see details of the cross on the church tower. The modeled fragments required fitting the planes or solids defined by the program into point clouds. The most problematic are the details with irregular shape or complex structure such as: church tower, windows, details of decorations, sculptures, figures, etc.



Rys. 6. a) trójwymiarowy model kościoła w Żukowie, b) model krzyża na wieży kościoła
Fig. 6. a) 3D model of the church in Żuków b) model of the church tower

cloud (17 million points) with the use of *Cyclon 5.8* and *Microstation CloudWorx* software.

Trójwymiarowy model kościoła wykonany został na podstawie chmury punktów (17 mln punktów) z wykorzystaniem oprogramowania *Cyclon 5.8* oraz *Microstation CloudWorx*.

3. Podsumowanie

W artykule Autorzy poruszyli najważniejsze aspekty pozyskiwania oraz przetwarzania danych z naziemnego skanowania laserowego w celu uzyskania informacji o geometrii obiektu na przykładzie drewnianego kościoła w Żukowie. Celem publikacji było również porównanie dwóch różnych typów skanerów: fazowego i impulsowego oraz ich wykorzystania w tworzeniu dokumentacji architektonicznej.

3. Summary

The authors of the paper presented the most important aspects of acquisition and data processing from the terrestrial laser scanner in order to achieve information about the geometry of an object based on example of the wooden church in Zukow. The objective of the paper was also to compare two different types of scanners: the phase-based scanner and the pulsed scanner as well as their practical use in developing architecture documentation.

Literatura • References

- [1] Chengl X.J., Jin W., *Study on Reverse Engineering of Historical Architecture Based on 3D Laser Scanner*, Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, China.
- [2] Monti C., Fregonese L., Achille C., *Laser scanner application on complex shapes of architecture. Profiles extraction processing and 3d modeling*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10.
- [3] Pfeifer N., Dorninger P., Nothegger C., *Surveying Structures and Buildings with Laser Scanning – Future Areas of Application*, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, TUV.
- [4] Ullrich A., Studnicka N. et al., *3D-Laser-Sensors and their Applications in archaeology and Modeling of Historic Buildings*, Workshop7 – Archäologie und Computer, Vienna 2002.
- [5] Kędzierski M., Sanecki J., Walczykowski P., Fryśkowska A., *Laser scanning of cultural heritage objects*, Polish Journal of Environmental Studies, vol.17, 1C, 2008.

* Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska
Military University of Technology, Warsaw, Poland

Streszczenie

W przeciągu ostatnich lat zauważalny jest dynamiczny rozwój badań architektonicznych z wykorzystaniem naziemnego skanowania laserowego (TLS.) Uzyskane dane mogą być wykorzystywane do tworzenia trójwymiarowych modeli oraz rysunków wektorowych, szczególnie przy tworzeniu dokumentacji architektonicznej. Jest to bardzo ważne w przypadku rzeźb czy też konstrukcji sakralnych, kiedy potrzebna jest taka dokumentacja do rekonstrukcji lub odbudowy zniszczonych elementów. W artykule przedstawione jest wykorzystanie technologii naziemnego skanowania laserowego na przykładzie kościoła drewnianego w Żukowie. Artykuł prezentuje także próbę porównania dwóch rodzajów skanera: impulsowego (ScanStation2) oraz fazowego (HDS6000).

Abstract

Recently, the use of terrestrial laser scanning has become more and more popular. Data acquired with the use of the terrestrial laser scanner can be used to generate 3D models and 2D vector drawings and especially, to create architecture documentation. It is very important in the case of sacred sculptures or buildings, when reconstruction of damaged elements or construction is needed. In this paper we present laser scanning of the wooden church in Zukow. We also make an attempt to compare two different types of scanners: the pulsed (ScanStation2) and the phase-based scanner (HDS 6000).