



KAROL BARTOŠ
JANKA SABOVÁ
LUBOMIR KSEŇAK

The Technical University of Košice
e-mail: katarina.pukanska@tuke.sk

KATARINA PUKANSKÁ
PETER BLIŠTÁN
PAWEŁ FRĄCKIEWICZ

Kielce University of Technology
e-mail: pfrackiewicz@tu.kielce.pl

Manuscript submitted 2018.01.25 – revised 2018.12.13,
initially accepted for publication 2019.01.14, published in March 2019

3D MODELLING OF A COMPLEX CEILING CONSTRUCTION USING NON-CONTACT SURVEYING TECHNOLOGIES

MODELOWANIE 3D ZŁOŻONEJ KONSTRUKCJI STROPU PRZY ZASTOSOWANIU BEZDOTYKOWYCH METOD GEODEZYJNYCH

DOI: 10.30540/sae-2019-005

Abstract

Geodetic inventory of complex architectural complexes – technological facilities in industrial plants, refineries, complex constructions, buildings, etc. is a complex task. Inventory carried out with advanced measurement techniques requires synchronization of the apparatus, taking into account the specificity of the spatial structure of the object and local conditions, as well as the method of developing the results and visualizing the final effect. The article presents an example of surveying the complex structure of the ceiling in the „Food Court“ part of the Optima Shopping Center in Košice. The main purpose of this task was to demonstrate the usefulness of laser scanning, create a digital spatial model of a steel roof structure and make it available for further work. The measurement was made with a Leica ScanStation C10 laser scanner. The data processing was done in software: Leica Cyclone, Bentley Microstation V8i and Leica Cloudworx plug-in. The final effect of the inventory of the ceiling structure is presented in the form of a spatial CAD model.

Keywords: Terrestrial Laser Scanning (TLS), 3D Modelling

Streszczenie

Geodezyjna inwentaryzacja skomplikowanych kompleksów architektonicznych – obiektów technologicznych w zakładach przemysłowych, rafineriach, złożonych konstrukcjach, budynkach itp. jest złożonym zadaniem. Inwentaryzacja wykonywana zaawansowanymi technikami pomiarowymi wymaga zsynchronizowania aparatury, uwzględnienia specyfiki przestrzennej konstrukcji obiektu i lokalnych uwarunkowań, a także sposobu opracowania wyników i wizualizacji końcowego efektu. W artykule przedstawiono przykład geodezyjnego badania złożonej konstrukcji stropu w części „Food Court” w Centrum Handlowym Optima w Koszycach. Głównym celem tego zadania było wykazanie przydatności skaningu laserowego, stworzenie cyfrowego przestrzennego modelu stalowej konstrukcji dachowej i jego udostępnianie do dalszych prac. Pomiar został wykonany skanerem laserowym Leica ScanStation C10. Obróbka danych została wykonana w oprogramowaniach: Leica Cyclone, Bentley Microstation V8i i Leica Cloudworx plug-in. Końcowy efekt inwentaryzacji konstrukcji stropu przedstawiono w postaci przestrzennego modelu CAD.

Słowa kluczowe: naziemny skaning laserowy, modelowanie 3D

1. INTRODUCTION

Shopping centers are important objects of public space that concentrate various areas of human social life. Most of these objects are very complicated constructions with a lot of installations, decorations and various types of materials used.

The gallery space requires constant changes. Before making any decisions about the direction of works, you must have the documentation of an existing object. Design and as-built documentations are usually developed in paper form and do not coordinate all industries. The designer requires detailed information about the building being rebuilt to match all decorative elements to the existing structure while maintaining its safety and stability.

Inventory of the ceiling structure is traditionally performed with a spatial polar method that uses reflectorless total stations. The method is time-consuming and subjective. The disadvantage of the classical method is the risk of omitting characteristic points [2, 4].

The inventory of the objects in question are also of little use photogrammetric methods. However, they allow the measurement of large surface areas, but a large number of architectural elements, which are mutually obscuring, make it difficult to use.

An effective alternative to both methods is terrestrial laser scanning. The technology that can be defined as non-contact surveying method that uses a laser beam in the active non-selective way to measure a dense cloud points. The measurements are made in a short time and can be supplemented with photographic information. The scanning method allows you to study surfaces rather than individual points, and the data obtained is so extensive that it allows you to create a digital spatial structure model.

The aim of the work was to demonstrate the usefulness of laser scanning technology for measuring complex construction, 3D modeling and making results available for further project work in „open source“ software on the example of the ceiling at the Optima Shopping Center (Slovakia).

2. THE IMPORTANCE OF THE ACCURACY OF STRUCTURE MEASUREMENTS IN THE ASPECT OF ARCHITECTURAL DETAILS

Shopping centers are an example of complex constructions for which the preparation of a 3D model is a very difficult task. The structural layout

1. WPROWADZENIE

Centra handlowe są ważnymi obiektami przestrzeni publicznej, które koncentrują różne obszary życia społecznego człowieka. Większość takich obiektów to bardzo skomplikowane konstrukcje, z dużą ilością instalacji, dekoracji oraz różnego typu zastosowanych materiałów.

Przestrzeń galerii wymaga ciągłych zmian. Przed podjęciem jakichkolwiek decyzji o kierunku prac należy posiadać dokumentację istniejącego obiektu. Dokumentacje projektowe i powykonawcze z reguły opracowane są w formie papierowej i nie koordynują wszystkich branż. Projektant wymaga szczegółowych informacji o przebudowywanym obiekcie, aby dopasować wszystkie elementy dekoracyjne do istniejącej konstrukcji, przy zachowaniu jej bezpieczeństwa i stabilności.

Inwentaryzację konstrukcji stropu tradycyjnie wykonuje się przestrzenną metodą biegunową wykorzystującą tachimetry bezlustrkowe. Metoda jest czasochłonna i subiektywna. Wadą metody klasycznej jest ryzyko pominięcia charakterystycznych punktów [2, 4].

W inwentaryzacji przedmiotowych obiektów mało przydatne są również metody fotogrametryczne. Jakkolwiek pozwalają na pomiar rozległych powierzchni, ale duża ilość elementów architektonicznych, wzajemnie się przysłaniających, utrudnia jej stosowanie.

Efektywną alternatywę dla obu wymienionych metod stanowi metoda naziemnego skaningu laserowego. Technologię tą możemy zdefiniować jako bezkontaktową metodę geodezyjną, wykorzystującą aktywną wiązkę laserową w nieselektywny sposób do pomiaru gęstej chmury punktów. Pomiary są wykonane w krótkim czasie i mogą być uzupełniane o informacje fotograficzne. Metoda skaningu pozwala na badania powierzchni, a nie pojedynczych punktów, a pozyskane dane są na tyle obszerne, że pozwalają na utworzenie cyfrowego przestrzennego modelu konstrukcji.

Celem wykonanych prac było wykazanie przydatności technologii skaningu laserowego do pomiaru złożonej konstrukcji, modelowania 3D oraz udostępniania rezultatów do dalszych prac projektowych w oprogramowaniu „open source” na przykładzie stropu w Centrum Handlowym Optima (Słowacja).

2. ZNACZENIE DOKŁADNOŚCI POMIARÓW KONSTRUKCJI W ASPEKcie DETALI ARCHITEKTONICZNYCH

Centra handlowe stanowią przykład złożonych konstrukcji, dla których przygotowanie modelu 3D jest bardzo trudnym zadaniem. Układ konstrukcyjny takich budynków jest z reguły prosty i powtarzalny,

of such buildings is usually simple and repeatable, the construction of a detailed model complicates the number of decorative elements and running installations. Due to diversity, complexity and large area in order to carry out modernization works, it is recommended to treat the facility as a whole with its installations and equipment [1].

The scope of architectural inventory is regulated by technical guidelines, which indicate which structural elements should be measured [7, 8]. However, at the stage of operation in relation to a specific construction, this range is specified by the designer or designer who develops an opinion on the condition of the object.

Establishment of the object inventory is the responsibility of the owner of the building and is carried out on his behalf. In the case of a shopping center, its closure in order to carry out measuring works generates significant losses. The examination of the current object's condition must be carried out in a short time and often with the full functioning of this type of object.

3. LASER SCANNING

Terrestrial Laser Scanning (TLS) due to its availability and accuracy is now treated as a standard geodetic survey technique. With obvious advantages, this technique has several significant disadvantages which are different for each type, i.e. triangulation, pulse and phase scanners. There is no universal laser scanner for all possible applications and measurement conditions. The accuracy of distance measurement depends on the intensity of the laser beam, which is mainly affected by distance, angle of incidence and surface properties. An important factor are instrumental errors of scanners caused mostly by errors in angular resolution and distance accuracy. Additionally, the trend of production of geodetic instruments and their sale without checking them and minimizing instrumental errors leads to the need to examine the device. The device should be checked according to non-standard procedures [3, 5].

In acquiring scanning data, the technology of the High-Definition Surveying (HDS) precision measurement system, that is, high-resolution measurements, occupies a special place. Laser scanners create huge files in a very short time, which may contain inaccurate or incorrect data. That's why HDS technology helps generate the model with solutions, modules and scanning technologies tailored to the type of the object.

to zbudowanie szczegółowego modelu komplikuje ilość elementów dekoracyjnych oraz przebiegających instalacji. Z powodu różnorodności, stopnia złożoności oraz dużej powierzchni w celu prowadzenia prac modernizacyjnych zalecane jest traktowanie obiektu, jako całości wraz z jego instalacjami oraz wyposażeniem [1].

Zakres inwentaryzacji architektonicznej regulują wytyczne techniczne, które wskazują, jakie elementy konstrukcji należy pomierzyć [7, 8]. Jednak na etapie eksploatacji w odniesieniu do konkretnej konstrukcji zakres ten uściśla konstruktor lub projektant opracowujący opinię o stanie obiektu.

Sporządzenie inwentaryzacji obiektu spoczywa na właścicielu danego budynku i wykonywane jest na jego zlecenie. W przypadku centrum handlowego jej zamknięcie w celu przeprowadzenia prac pomiarowych generuje znaczne straty. Zbadanie stanu aktualnego obiektu musi być przeprowadzone w krótkim czasie i niejednokrotnie przy pełnym funkcjonowaniu tego typu obiektu.

3. SKANING LASEROWY

Naziemny skanowanie laserowe (Terrestrial Laser Scanning – TLS), z uwagi na swą dostępność i osiągi dokładnościowe, jest obecnie traktowany jako standardowa technika inwentaryzacji geodezyjnej. Przy oczywistych zaletach technika ta ma kilka istotnych wad, które są różne dla skanerów triangulacyjnych, impulsowych oraz fazowych. Nie ma uniwersalnego skanera laserowego do wszystkich możliwych zastosowań i warunków pomiaru. Dokładność pomiaru odległości zależy od intensywności wiązki laserowej, na którą głównie wpływa odległość, kąt padania i właściwości powierzchni. Istotnym czynnikiem są błędy instrumentalne skanerów spowodowane najczęściej błędami w rozdzielczości kątowej oraz dokładnością odległości. Dodatkowo trend produkcji instrumentów geodezyjnych i ich sprzedaży bez ich sprawdzenia oraz minimalizacji błędów instrumentalnych prowadzi do konieczności zbadania urządzenia. Sprawdzenie przyrządu należy wykonać według niestandardowych procedur [3, 5].

W pozyskiwaniu danych skanujących szczególne miejsce zajmuje technologia precyzyjnego systemu pomiarowego High-Definition Surveying (HDS), czyli pomiarów o dużej rozdzielczości. Skanery laserowe w bardzo krótkim czasie tworzą ogromne zbiory, które mogą zawierać niedokładne lub błędne dane. Dlatego technologia HDS wspomaga generowanie modelu rozwiązaniami, modułami i technologiami skanowania dopasowanymi do danego typu obiektu.

Among the advantages of scanning technology, although still of secondary importance, qualitative type information obtained from the intensity of the reflected laser signal deserves attention. In some cases, it is also effective to combine scanning measurements with observations and phototexture made with a built-in photographic camera [9].

4. SCANNING OF THE COMPOSITE CEILING STRUCTURE

The measurements were taken during the opening hours of the gallery. The measurement was made with a Leica ScanStation C10 panoramic impulse scanner (Fig. 1) measuring 50,000 points/sec (Tab. 1). The scanner's accuracy was checked and no irregularities in its functioning were detected.



Wśród zalet technologii skanowania, jakkolwiek wciąż o drugorzędym znaczeniu, na uwagę zasługują informacje typu jakościowego pozyskiwane na podstawie intensywności odbitego sygnału laserowego. W niektórych przypadkach efektywne jest również scalanie pomiarów skaningowych z obserwacjami i fototeksturą wykonaną wbudowaną kamerą fotograficzną [9].

4. SKANOWANIE ZŁOŻONEJ KONSTRUKCJI STROPU

Pomiary wykonano w godzinach otwarcia galerii. Wykonano je panoramicznym, impulsowym skanerem Leica ScanStation C10 (rys. 1) mierzącym z prędkością 50 000 punktów/sek. (tab. 1). Sprawdzone dokładność pracy skanera i nie wykryto żadnych nieprawidłowości w jego funkcjonowaniu.

Fig. 1. Terrestrial laser scanner Leica ScanStation C10
Rys. 1. Naziemny skaner laserowy Leica ScanStation C10

Table 1. Technical parameters of the Leica ScanStation C10

Tabela 1. Parametry techniczne Leica ScanStation C10

Technical specification of the laser scanner	
Accuracy of single measurement	
Position/Distance	6 mm/4 mm
Angle precision	
Horizontal/Vertical	12"/12"
Modeled surface precision	2 mm
Range	300 m \cong 90%; 134 m \cong 18%
Minimal step of scanning	1 mm
Scan rate	50 000/sec.
Laser class	3R, green ($\lambda = 532$ nm)
Spot size	0-50 m \approx 4,5 mm
Field of view	
Vertical/Horizontal	270°/360°

The scanning was carried out from 5 measuring stations arranged evenly around the perimeter of the shopping center area so that the least obscured areas were created. The forced centering method was used to eliminate centering errors and the racks

Skanowanie wykonano z pięciu stanowisk pomiarowych rozmieszczonych równomiernie na obwodzie obszaru centrum handlowego, tak aby powstało jak najmniej przysłoniętych obszarów. Zastosowano metodę wymuszonego centrowania w celu wylimi-

were secured during the entire measurement before moving through the metal holders. The location of the measurement stations is shown in Figure 2, where the blue arrows show the directions orientating from the measurement positions to the Leica HDS 6" shield targets. The measurement resolution was 2 x 2 cm / 10 m, to give a composite point cloud from around 60 million points. All measurements were developed in the local coordinate system, whose origin was specified in the first station No. 5001. The accuracy of the scanner orientation is shown in table 2. Coordinate vector differences and length between position and reference in comparison to HDS coordinates after loading into Leica Cyclone software. The maximum differences do not exceed 3 mm.

nowania błędów centrowania oraz zabezpieczono statywy podczas całego pomiaru przed przesuwaniem przez metalowe uchwyty. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych pokazano na rysunku 2, gdzie niebieskie strzałki przedstawiają kierunki orientujące ze stanowisk pomiarowych na tarcze celownicze Leica HDS 6". Zastosowano rozdzielczość pomiaru 2 x 2 cm / 10 m, uzyskując chmurę punktów złożoną z około 60 milionów punktów. Wszystkie pomiary zostały opracowane w lokalnym układzie współrzędnych, którego początek określono w pierwszym stanowisku nr 5001. Dokładność zorientowania skanera przedstawiono w tabeli 2. Zestawiono różnice wektorowe współrzędnych oraz długości pomiędzy stanowiskiem i nawiązaniem w porównaniu ze współrzędnymi HDS po wczytaniu do oprogramowania Leica Cyclone. Maksymalne różnice nie przekraczają 3 mm.

Table 2 Accuracy of position orientation and reference

Tabela 2 Dokładność zorientowania stanowiska i nawiązania

Station	Backsight	Δx [m]	Δy [m]	Δz [m]	Δd [m]
5001	5002	0,000	-0,001	0,003	0,003
5002	5001	0,000	0,000	0,000	0,000
5003	5004	0,000	0,000	0,000	0,000
5004	5005	0,000	0,000	0,001	0,001
5005	5001	0,000	0,000	0,000	0,000

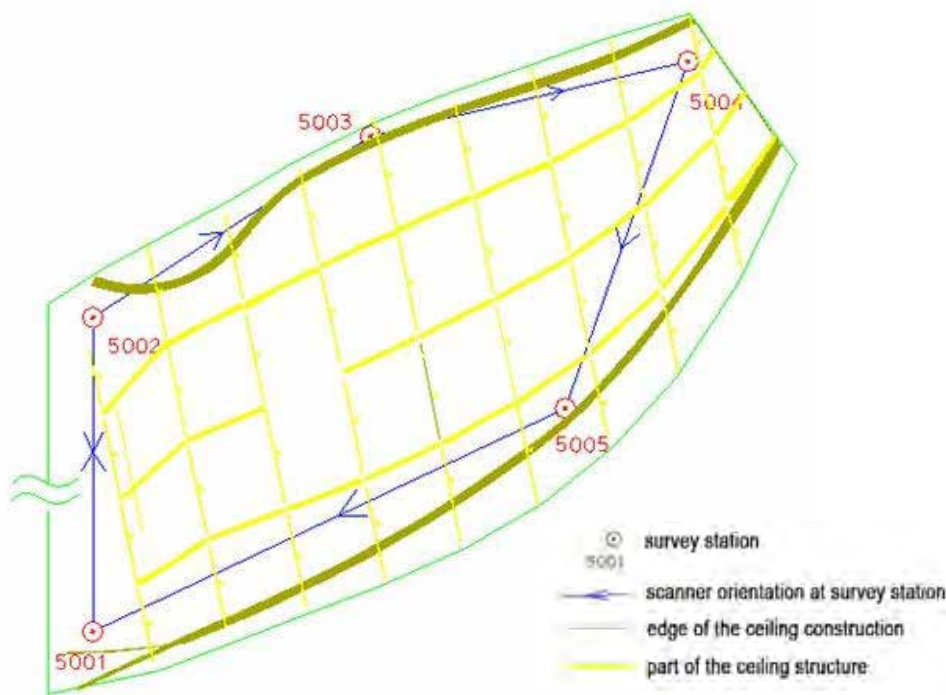


Fig. 2. The survey situation

Rys. 2. Sytuacja pomiarowa

5. DEVELOPMENT OF THE 3D MODEL

The registration of the point cloud in a common coordinate system, i.e. spatial transformation and database creation, was carried out in the Leica Cyclone 7.3 software. Computer modeling of the measured roof structure in the Microstation V8i software and Leica Cloudworx 4.0 (Fig. 3). Leica Cloudworx is a plug-in that allows you to work with a point cloud database - data import, trimming unnecessary points, generating cross-sections and computer modeling of digital models.

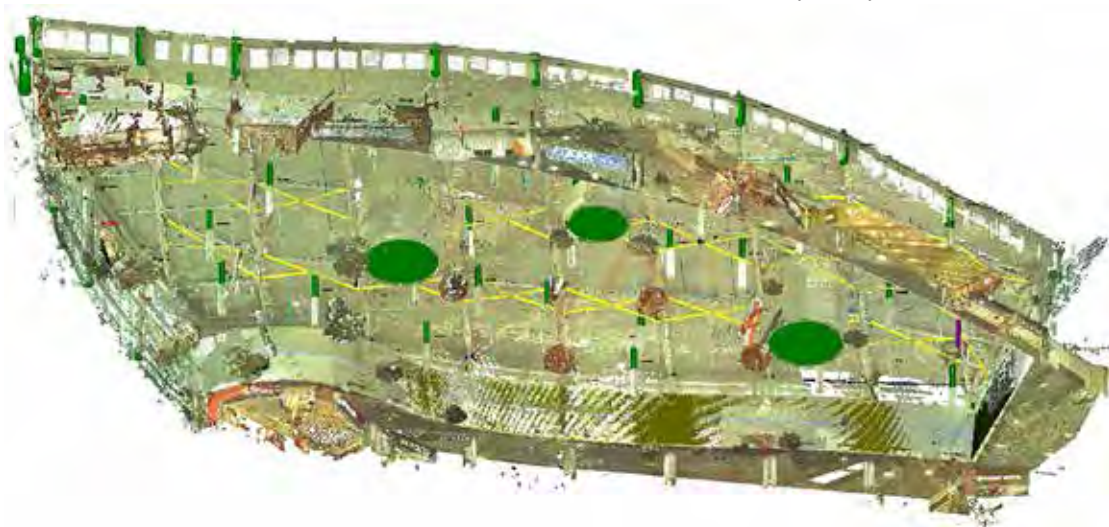


Fig. 3. Point cloud of the ceiling construction, isometric view

Rys. 3. Chmura punktów konstrukcji stropu, widok izometryczny

After importing the measured points, it was necessary to edit the point cloud and remove unnecessary points (equipment of individual stores and restaurants, decorations, visitors, etc.). The subject of CAD modeling were load-bearing parts of the steel structure of the ceiling, rods, location of fire detectors, size and location of lighting - chandeliers and a plastic decorative wall located above the restaurant area (Fig. 4, 5). The modeling itself was implemented as a fully automated process using the matching functions based on the least squares method. The applied software allows modeling of a specific type of surface (surface or cylindrical surface) based on a certain spatial accuracy. An accuracy of 6 mm has been applied because it is the measurement accuracy of a single measured point given by the manufacturer. Values exceeding the accepted criterion are treated as gross errors, which are mainly caused by repeated reflections of the laser beam, etc.

5. OPRACOWANIE MODELU 3D

Rejestrację chmury punktów we wspólnym układzie współrzędnych, tj. transformację przestrzenną i utworzenie bazy danych zrealizowano w oprogramowaniu Leica Cyclone 7.3. Modelowania komputerowego pomierzonej konstrukcji dachu wykonano oprogramowaniem Microstation V8i i Leica Cloudworx 4.0 (rys. 3). Leica Cloudworx to wtyczka umożliwiająca pracę z bazą danych chmury punktów – import danych, przycinanie niepotrzebnych punktów, generowanie przekrojów poprzecznych i komputerowe modelowanie cyfrowych modeli.

Po zaimportowaniu pomierzonych punktów konieczna była edycja chmury punktów i usunięcie zbędnych punktów (wyposażenie poszczególnych sklepów i restauracji, dekoracji, odwiedzających itp.). Przedmiotem modelowania CAD były części nośne konstrukcji stalowej stropu, pręty, położenie detektorów ognia, wielkość i położenie oświetlenia – żyrandole i plastikowa ściana dekoracyjna zlokalizowana nad obszarem restauracji (rys. 4, 5). Samo modelowanie zrealizowano jako w pełni zautomatyzowany proces wykorzystujący funkcje dopasowania oparte na metodzie najmniejszych kwadratów. Zastosowane oprogramowanie pozwala na modelowanie określonego typu powierzchni (płaszczyzny lub powierzchni walcowej) w oparciu o określoną dokładność przestrzenną. Zastosowano dokładność na poziomie 6 mm, ponieważ jest to dokładność pomiaru pojedynczego pomierzonego punktu podana przez producenta. Wartości przekraczające przyjęte kryterium są traktowane jako błędy grube, których źródłem są przede wszystkim wielokrotne odbicia wiązki laserowej itp.

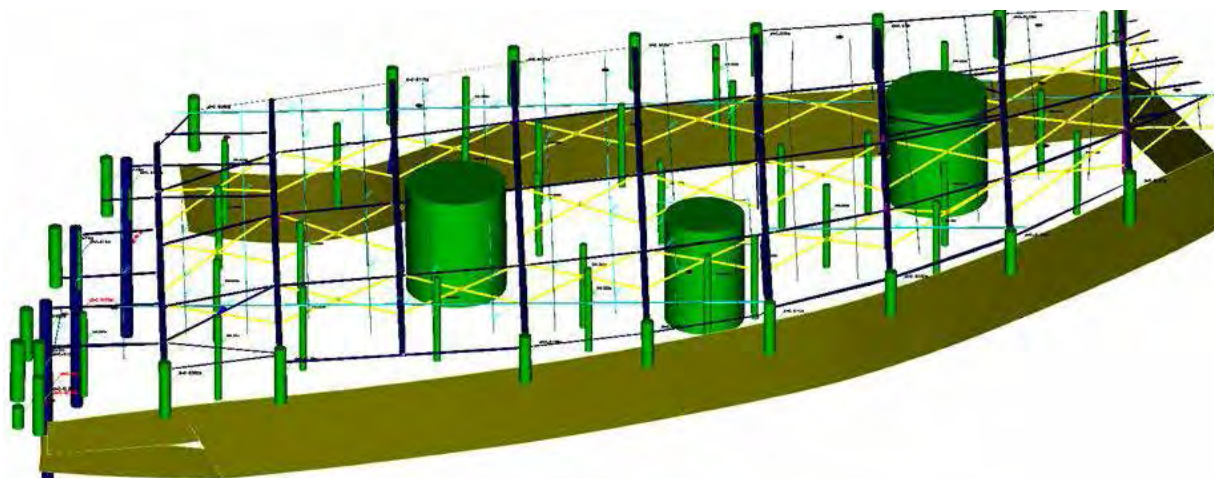


Fig. 4. Isometric view of the ceiling construction digital model
Rys. 4. Widok izometryczny cyfrowego modelu konstrukcji stropu

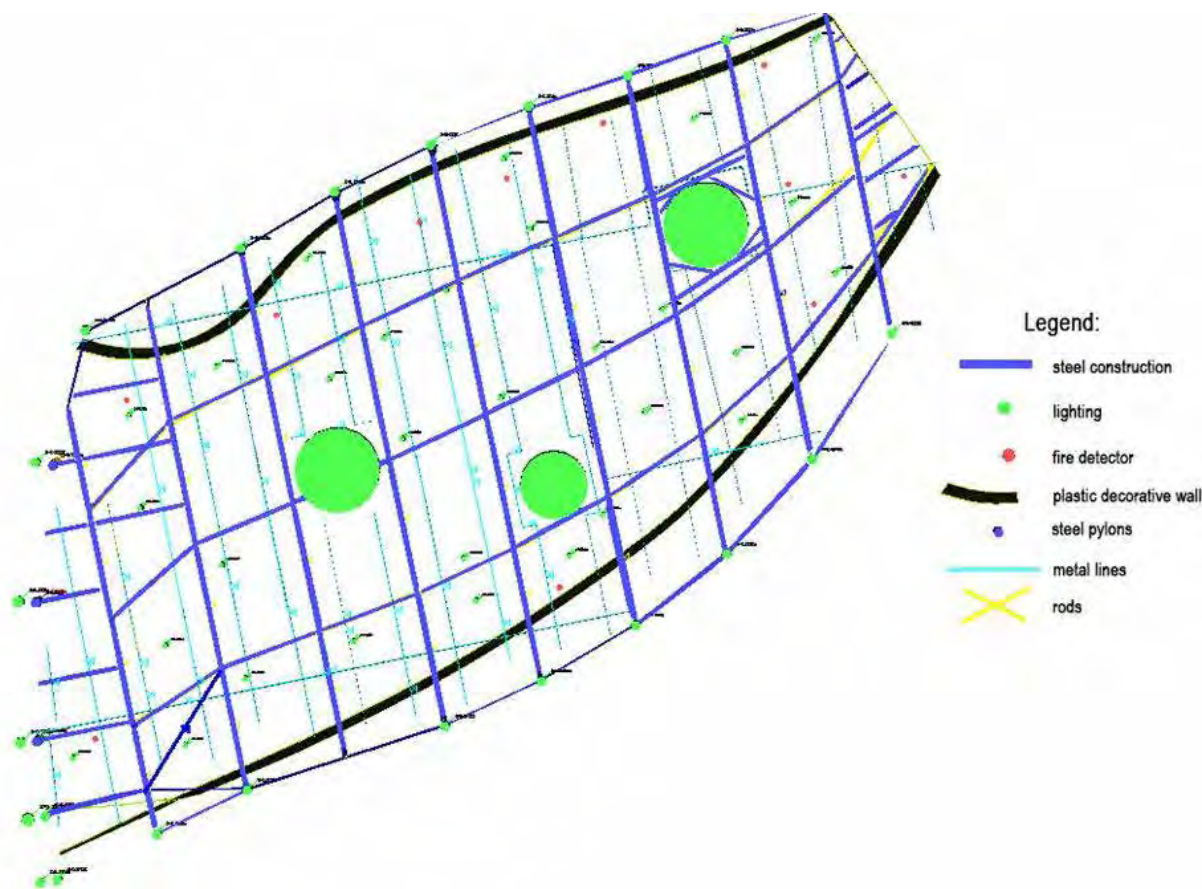


Fig. 5. Top view of the ceiling construction digital model
Rys. 5. Widok z góry cyfrowego modelu konstrukcji stropu

The accuracy control of the 3D model obtained from laser scanning can be carried out on the basis of control measures, eg coordinates of details, obtaining the absolute accuracy of the model or the length of sections, obtaining the mutual precision

Kontrolę dokładności modelu 3D uzyskanego ze skaningu laserowego można przeprowadzać na podstawie miar kontrolnych np. współrzędnych szczegółów, uzyskując dokładność bezwzględną modelu, lub długości odcinków, otrzymując dokładność wzajemną

of the elements [10]. Another option is to compare the received model with the reference model based on project documentation or other measurement methods [11]. The correctness of the generated 3D model was checked by comparing the length of the sections between the model and real measures. The difference in the tested measures in none of the cases exceed the accepted criterion of 6 mm accuracy.

6. PUBLISHING A 3D MODEL OF TRUEVIEW PUBLISHER

Leica Cyclone software allows to publish and share the measured and processed data using the TrueView Publisher and Windows Explorer for other co-workers without the need to have a licensed Leica Cyclone software installed on the computer. It uses a web interface where data intended for publishing are stored. The obtained model can be enlarged, moved, rotated from individual shots. Available tools allow you to read coordinates, distances between points, and you can write common notes about a project. After processing and supplementing the model with the necessary information, the TrueView software allows for distribution of the task principal model (Fig. 6).

elementów [10]. Inną możliwością jest porównanie otrzymanego modelu z modelem referencyjnym na podstawie dokumentacji projektowej lub innych metod pomiarowych [11]. Poprawność wygenerowanego modelu 3D sprawdzono, porównując długości odcinków pomiędzy modelem oraz miarami rzeczywistymi. Różnica w badanych miarach w żadnym z przypadków nie przekraczała przyjętego kryterium dokładności 6 mm.

6. PUBLIKOWANIE MODELU 3D W TRUEVIEW PUBLISHER

Oprogramowanie Leica Cyclone pozwala na publikowanie i udostępnianie pomierzonych oraz przetworzonych danych innym współpracownikom za pomocą TrueView Publisher i Windows Explorer bez konieczności posiadania zainstalowanego na komputerze licencjonowanego oprogramowania Leica Cyclone. Program wykorzystuje interfejs internetowy, w którym przechowywane są dane przeznaczone do publikacji. Otrzymany model może być powiększany, przesuwany, obracany z poszczególnych ujęć. Dostępne narzędzia umożliwiają odczytanie współrzędnych odległości między punktami oraz można zapisywać wspólne uwagi dotyczące projektu. Po przetworzeniu i uzupełnieniu modelu o potrzebne informacje oprogramowanie TrueView pozwala na dystrybucję modelu zleceniodawcy zadania (rys. 6).

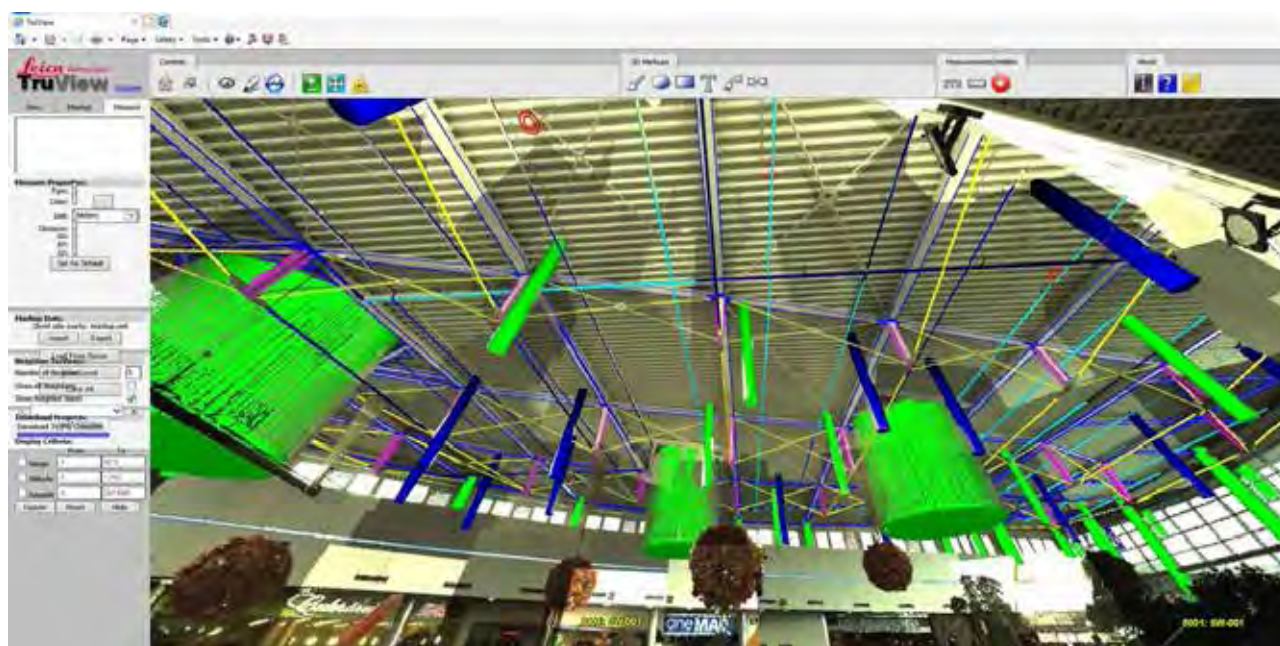


Fig. 6. Leica TrueView Publisher working environment

Rys. 6. Środowisko pracy Leica TrueView Publisher

7. CONCLUSION

Scanning technology is now a standard geodetic practice tool. It is irreplaceable in the case of dangerous, inaccessible or complex industrial facilities. It is constantly being improved in terms of measurement accuracy, scope of scanners and simplicity in the development of measured data.

The method of laser scanning is an effective method of object inventory, however labor-intensive at the stage of data processing. In a short time it makes it possible to describe the whole surface, not individual points. Generated 3D model published in the TrueView Publisher can be enriched with additional information at the stage of implementation of various works, it can be a reference model for subsequent measurements and to monitor damage and deformation.

The measurement confirmed the effectiveness of HDS technology. The use of HDS discs gives a good effect, provided that during the measurement they are visible from all positions of the scanner. In the first place, when creating the model, we combine scans based on the dials, and then based on the corresponding points, the so-called. homological points. The applied method allowed to achieve the accepted criterion of 6 mm accuracy.

The use of laser scanning for measuring complex, unusual construction, 3D modeling and sharing the obtained model is useful. Due to different types of scanners, instrumental errors should be made, because not always observations and tips for measuring non-standard structures will be helpful when using a different instrument.

7. WNIOSKI

Technologia skanowania jest obecnie standardowym narzędziem praktyki geodezyjnej. Jest niezastąpioną w przypadku niebezpiecznych, niedostępnych lub złożonych obiektów przemysłowych. Jest wciąż udoskonalana w zakresie dokładności pomiaru, zakresu skanerów i prostoty opracowywania mierzonych danych.

Metoda skaningu laserowego jest efektywną metodą inwentaryzacji obiektów, jakkolwiek pracochłonna na etapie przetwarzania danych. W krótkim czasie umożliwia opisanie całej powierzchni, a nie pojedynczych punktów. Wygenerowany model 3D opublikowany w TrueView Publisher można wzbogacać o dodatkowe informacje na etapie realizacji różnych prac, może stanowić model referencyjny dla kolejnych pomiarów oraz do monitorowania uszkodzeń i deformacji.

Wykonany pomiar potwierdził efektywność technologii HDS. Zastosowanie tarcz HDS daje dobry efekt, pod warunkiem że w trakcie pomiaru są widoczne ze wszystkich stanowisk skanera. W pierwszej kolejności przy tworzeniu modelu łączymy skany w oparciu o tarcze, a następnie w oparciu o punkty sobie odpowiadające, tzw. punkty homologiczne. Zastosowana metoda pozwoliła na osiągnięcie przyjętego kryterium dokładności 6 mm.

Zastosowanie skaningu laserowego do pomiaru złożonej, nietypowej konstrukcji, modelowania 3D oraz udostępniania otrzymanego modelu jest przydatne. Ze względu na różne typy skanerów, występujących błędów instrumentalnych należy prowadzić pomiary testowe, ponieważ nie zawsze spostrzeżenia i wskazówki dotyczące pomiaru nietypowych konstrukcji będą pomocne przy zastosowaniu innego instrumentu.

REFERENCES

- [1] Abmayr T., Hartl F., Reinkoster M., Frohlich C., *Terrestrial Laser Scanning – Applications in Cultural Heritage Conservation and Civil Engineering*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 2005, Vol. XXXVI, Part 5/W17.
- [2] Kraus K.: *Photogrammetry, Geometry from Images and Laser Scans. 2nd edition*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin Germany, 2007, s. 457.
- [3] Menna F., Troisi S., *Low Cost Reverse Engineering Techniques For 3D Modelling of Propellers*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2010, Vol. XXXVIII, Part 5, s. 452-457.
- [4] Pavelka K.: *Fotogrametrie 3. Digitálne metódy a laserové skenovanie*. ČVUT, Praha, 2008, s. 190.
- [5] Schulz T., Ingesand H., *Terrestrial Laser Scanning- Investigations and Applications for High Precision Scanning*, Konferencja FIG Working Week, 22-27 May 2004, Ateny.
- [6] Štroner M., Pospíšil J., Koska B., Křemen T., Urban R., Smitka V., Třasák P., *3D skenovací systémy*. ČVUT, Praha, 2013, s. 394.
- [7] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. z 2018 r., poz. 414, j.t.)
- [8] Ustawa nr 50/1976 Coll. – Prawo budowlane (Słowacja).
- [9] Vatan M., Oğuz Selbesoğlu M., Bayram B.: *Wykorzystanie technologii skanowania 3D w konserwacji obiektów zabytkowych*. „Wiadomości Konserwatorskie“, 26/2009.

- [10] Zámečníková M., *Testovanie terestrických laserových systémov*. Dizertačná práca, STU Bratislava, 2006, s. 165.
- [11] Zawieska D., Klimkowska A., *Analiza dokładności kształtu modelu elementu przemysłowego pozyskanego ze zdjęć cyfrowych i skaningu laserowego*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 2010, Vol. 21, s. 493-502.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 05.0.09.00/2.01.01.01.0014. MNISP.IKGG.14.001

This work was supported by project SKHU/1601/4.1/187 and by the Scientific Grant Agency of the Slovak Republic (VEGA – MŠVVaŠ SR) through project. No. 1/0844/18.

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracystatutowej nr: 05.0.09.00/2.01.01.01.0014. MNISP.IKGG.14.001

Praca była wspierana z projektu SKHU/1601/4.1/187 oraz przez Naukową Agencję Grantową Republiki Słowackiej (VEGA – MŠVVaŠ SR) za pośrednictwem projektu. Nr 1/0844/18.