



Analiza możliwości zastosowania skaningu laserowego 3D w inwentaryzacji obiektów i elementów konstrukcji o złożonym kształcie i powierzchni

Andrzej Kysiak¹

STRESZCZENIE:

W artykule przeanalizowano możliwość uzupełnienia dotychczas używanych metod inwentaryzacji obiektów budowlanych technologią skaningu laserowego, pozwalającą na szybkie określenie geometrii oraz właściwości powierzchni. Prace badawcze wykonane w ramach ekspertyzy budowlanej pomnika Bohaterów Bitwy pod Mokłą dowiodły, że wyniki obserwacji uzyskanych skanerem laserowym mogą istotnie wzbogacić podstawowe działania diagnostyczne prowadzone w ramach kontroli i oceny technicznej obiektów o złożonym kształcie i powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE:

skaner laserowy; chmura punktów; modelowanie 3D

1. Wprowadzenie

Skanowanie laserowe 3D to metoda pomiaru polegająca na przenoszeniu rzeczywistego kształtu trójwymiarowego obiektu do postaci cyfrowej. Problematyka wykorzystania danych pozyskanych tą technologią stwarza szerokie możliwości dla badań naukowych. Obszerny opis zastosowań naziemnego skaningu laserowego TLS (ang. terrestrial laser scanning) reprezentującego grupę technologii fotogrametrycznych przedstawił R. Pilecki [1]. Autor wskazywał na praktyczny aspekt pomiarów skanerem laserowym w górnictwie odkrywkowym przy określaniu objętości czerpanych zasobów. Niezwykle ważna w górnictwie podziemnym była możliwość wykorzystywania skanerów laserowych do pomiarów bez oświetlenia. Metodę skaningu laserowego wykorzystywano również do określania objętości hałd materiałów sypkich: kruszywa, węgla, rudy. Pomiarzy naziemnym skanerem laserowym stosuje się obecnie do monitorowania aktywnych osuwisk skarp i zboczy oraz do kontroli i oceny stanu technicznego budowli piętrzących wodę, mostów i tuneli. Wykorzystując możliwość wykonywania pomiarów w miejscach niedostępnych oraz bez ingerencji w badane środowisko, technologię skanowania laserowego stosuje się również do sporządzania dokumentacji wypadków i katastrof budowlanych.

W budownictwie szczególnie obiecujące są wyniki badań nad zastosowaniem tzw. chmury punktów pomierzonej metodą skanowania laserowego do sporządzania dokumentacji inwentaryzacyjnej. Najczęściej technologia ta wykorzystywana jest do inwentaryzacji złożonych konstrukcji obiektów przemysłowych, budowli wieżowych: masztów i kominów oraz elementów infrastruktury: dróg, wiaduktów, mostów, linii napowietrznych. Obecnie prowadzone są również prace związane z wykorzystywaniem pomiarów inwentaryzacyjnych metodą skanowania laserowego do tworzenia modeli obiektów w technologii BIM (ang. building information modeling/management) poprzez odtworzenie ich konstrukcji wraz z pełną informacją projek-

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: kysiak@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0002-0842-2051

tową w interaktywnym środowisku 3D [2]. Tak stworzony model obiektu ma umożliwić zarówno prowadzenie analiz konstrukcyjnych czy wytrzymałościowych, sprawne zarządzanie obiektem wraz z jego parametrami, jak i optymalne planowanie potencjalnych remontów.

Dokumentacja inwentaryzacyjna sporządzona w oparciu o pomiary metodą skanowania laserowego może być przedstawiona w postaci grafiki wektorowej, płaskich dowolnych rzutów, widoków, jak również trójwymiarowych modeli CAD. Modele te mogą zostać wykorzystane do wykonania makiet w technologii druku przestrzennego [3].

Technologia skanowania laserowego 3D jest obecnie również stosowana przy sporządzaniu dokumentacji inwentaryzacyjnej dla obiektów zabytkowych oraz złożonych detali architektonicznych, np. płaskorzeźb. Pierwsze wyniki pomiarów wykonywanych tachimetrami lub skanerami laserowymi do dokumentowania szczegółów architektonicznych przedstawili W. Mierzwa i A. Rzonca już w 2003 r. [4]. Prace testowe dotyczące pomiarów płaskorzeźby za pomocą tachimetru Leica TCRA 1102 potwierdziły zalety tej metody w stosunku do stosowanych dotychczas metod fotogrametrycznych. W stosunku do tradycyjnych metod bezpośrednich podstawową zaletą była wysoka dokładność pomiarów tachimetrem wynikająca z bardzo dużej ilości pomierzonych punktów powierzchni obiektu. Pomiary wykonywane tą metodą nie wymagały skomplikowanych prac przygotowawczych, obliczeń ani innych czynności pomiarowo-obliczeniowych, które dotychczas były często źródłem błędów przypadkowych oraz systematycznych [4–6].

Stosowane obecnie skanery 3D mają możliwość nie tylko obliczenia współrzędnych przestrzennych elementów otaczającej przestrzeni na podstawie rejestracji odległości oraz kątów poziomych i pionowych wysłanej i odbitej wiązki laserowej, ale również wyznaczają wartość intensywności odbicia na podstawie siły powracającego sygnału. Cechę tę wykorzystuje się do przeprowadzenia analizy zależności natężenia promieniowania odbitego od charakteru powierzchni odbijającej, jej barwy, szorstkości i zawartości wilgoci. Wykorzystując możliwości skanerów laserowych, A. Rzonca przedstawił wyniki inwentaryzacji malowideł ściennych w parafialnym kościele w Michalicach [7]. Wykonane pomiary dowiodły możliwości stosowania tej technologii jako narzędzia kompleksowej rejestracji geometrii oraz koloru obiektów.

2. Opis obiektu i zakres wykonanych prac

Przedmiotem inwentaryzacji i ekspertyzy budowlanej był pomnik Bohaterów Bitwy pod Moką wraz z elementami zagospodarowania przestrzennego bezpośredniego otoczenia pomnika. Pomnik znajduje się przy drodze lokalnej prowadzącej z m. Mokra do Miedźna. Otoczenie wyniesionego na nasypie pomnika stanowią pola uprawne i łąki, a wydzielony plac wokół monumentu jest utwardzony nawierzchnią bitumiczną i jest otoczony niewysokim murem (rys. 1). Formę pomnika stanowi wolno stojąca bryła składająca się z podstawy – trzonu w kształcie prostopadłościanu, stojącej na nim rzeźby z piaskowca i betonowego zwieńczenia symbolizującego skrzydło husarskie (rys. 2 i 3). W ramach prac inwentaryzacyjnych przewidziano wykonanie pomiarów rzeźby pomnika metodą skaningu laserowego 3D.



Rys. 1. Usytuowanie pomnika (źródło: <https://www.google.pl/maps>)

Inwentaryzacja architektoniczno-budowlana pomnika Bohaterów Bitwy pod Mokrą stanowiła etap wstępny prac badawczych niezbędnych do opracowania ekspertyzy stanu technicznego konstrukcji monumetu wraz z elementami zagospodarowania jego bezpośredniego otoczenia. Określenie wymiarów pomnika, a następnie na tej podstawie wyliczenie kubatury rzeźby kamiennej i elementów żelbetowych konstrukcji pomnika było niezbędne dla wykonania obliczeń warunków nośności podłoża gruntowego pod fundamentem i wyliczenia osiadania fundamentu.

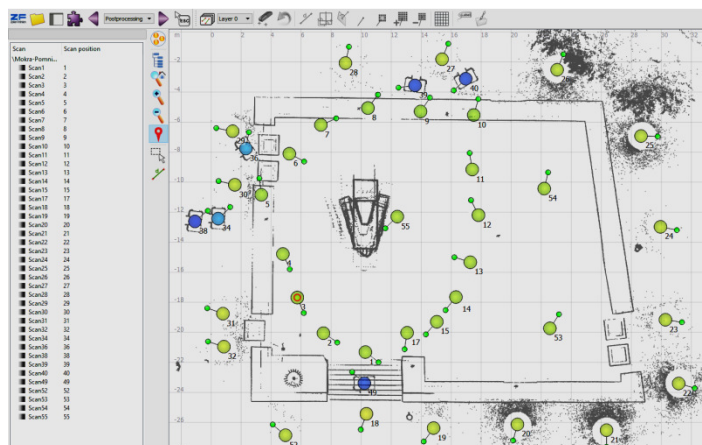


Rys. 2. Pomnik Bohaterów Bitwy pod Mokrą

Z uwagi na złożony kształt płaskorzeźby oraz znaczną wysokość pomnika pomiary inwentaryzacyjne zostały wykonane metodą skanowania laserowego 3D. Wyniki pomiarów w postaci tzw. chmur odczytanych z 55 stanowisk pomiarowych umożliwiły opracowanie trójwymiarowego modelu pomnika oraz przeglądarki skanów służącej do analizowania wyników z możliwością dokonania pomiarów odcinkowych i powierzchniowych.

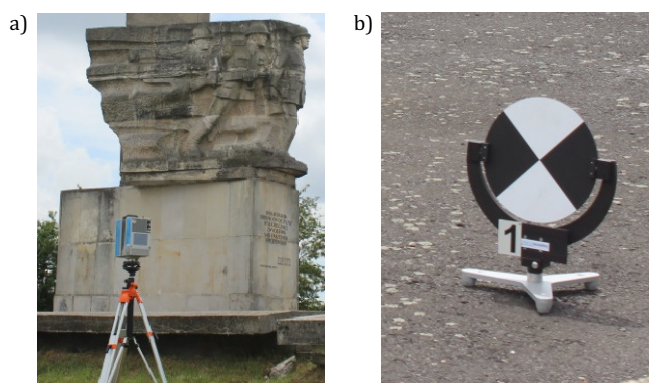
3. Opis metody wykonania pomiarów inwentaryzacyjnych

Przed przystąpieniem do pomiarów inwentaryzacyjnych pomnika zaprojektowano rozmieszczenie stanowisk pomiarowych i punktów dostosowania (tarcz referencyjnych) niezbędnych do połączenia pojedynczych skanów (rys. 3). Z uwagi na konieczność wykonania pomiarów górnej powierzchni pomnika przyjęto 6 stanowisk skanera usytuowanych w koszu podnośnika koszowego na wysokości około 15 m.



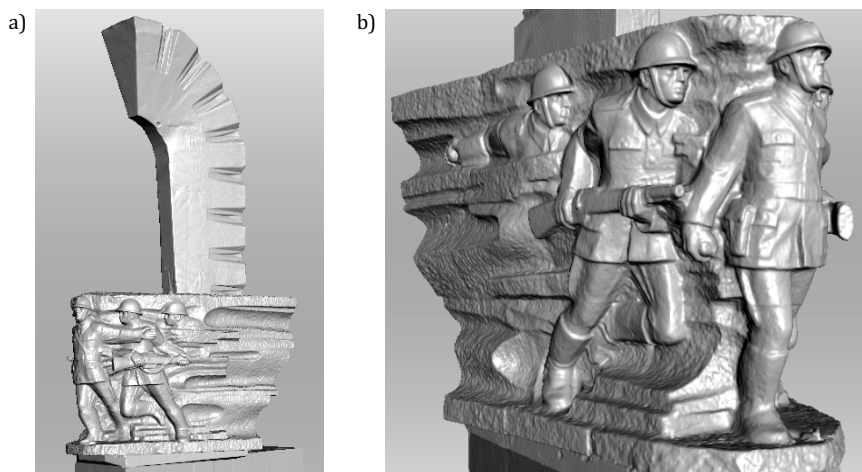
Rys. 3. Schemat rozmieszczenia stanowisk pomiarowych

W ramach badania na każdym z 55 stanowisk pozyskano chmurę punktów dla pełnego zakresu skanera. Identyfikacja punktów dostosowania (elementów referencyjnych) na pojedynczych skanach odbywała się w sposób półautomatyczny. Polegała na wskazaniu przybliżonej lokalizacji punktów dostosowania przez operatora, a następnie wyznaczeniu przez program jego dokładnego położenia. Jako elementy referencyjne wykorzystano tarcze w postaci szachownic, zapewniające najlepsze połączenie (rys. 4). Z każdego z zaprojektowanych stanowisk pomiarowych widoczne były co najmniej trzy nieliniowo ułożone sygnały. Wszystkie obserwacje kątowno-liniowe ze stanowisk do punktów referencyjnych zostały poddane procesowi wyrównania ścisłego, w wyniku którego uzyskano ostateczne wartości współrzędnych XYZ. Poszczególne skany zostały skalibrowane na grupę punktów referencyjnych. Pozwalało to na uzyskanie wszystkich punktów modelu dla całego obiektu w jednolitym układzie współrzędnych.



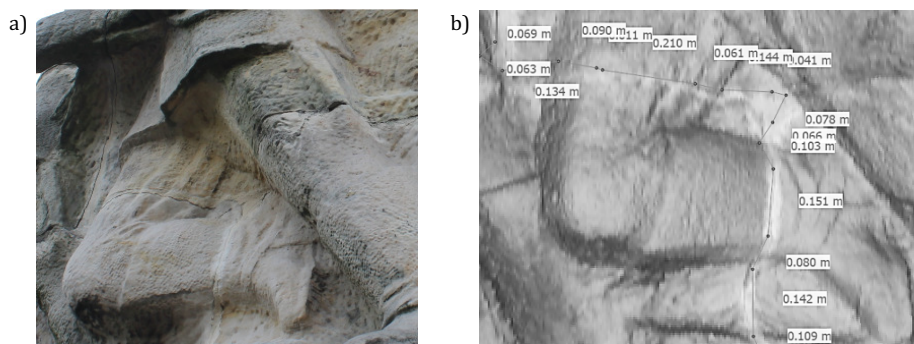
Rys. 4. Stanowisko pomiarowe skanera (a) i element referencyjny (b)

Pozyskane z pomiarów skany zostały skalibrowane i opracowane w programie Z+F-Laser Control. Wykorzystując przeglądarkę skanów (Project to go), przeprowadzono analizę chmur punktów i sferycznych zdjęć dla poszczególnych stanowisk pomiarowych skanera, dokonując pomiarów odcinkowych i powierzchniowych badanego obiektu. Bazując na danych z pomiarów zapisanych w formacie e57, opracowano trójwymiarowy model rzeźby pomnika o powierzchni siatki z trójkątów, a następnie na jego podstawie model z siatki mesh uzupełniony realistyczną teksturą (rys. 5).



Rys. 5. Widok modelu 3D pomnika (a) i widok płaskorzeźby (b)

Przeglądarka skanów została wykorzystana do sprawdzenia pionowości krawędzi części słupa o kształcie skrzydła husarskiego. Wyznaczone zostały odchyłki krawędzi cokołu i słupa względem przyjętego układu odniesienia. Aplikacja ta umożliwiła ponadto ustalenie wymiarów trudnodostępnych elementów pomnika oraz wyliczenie kubatury i masy pomnika. Skany laserowe uzupełnione zdjęciami cyfrowymi wykorzystano ponadto do wizualnej oceny stanu powierzchni budowli oraz zinwentaryzowania uszkodzeń pomnika: ubytków, spękań i zawilgoceń (rys. 6). Do diagnozy stopnia uszkodzeń i zawilgoceń obiektu wykorzystano pomierzoną wartość intensywności odbicia wiązki lasera.



Rys. 6. Zdjęcie cyfrowe fragmentu płaskorzeźby (a); pomiar długości pęknięcia w przeglądarce skanów (b)

4. Wnioski

Przedstawiony przykład inwentaryzacji pomnika Bohaterów Bitwy pod Mokłą dowodzi, że technika skaningu laserowego pozwala w szybki i dokładny sposób zarejestrować przestrzenne obiekty o złożonym kształcie i powierzchni. Dokumentacja inwentaryzacyjna wsparta dokładnym pomiarem laserowym i właściwą analizą budowlaną pozwala na sporządzenie precyzyjnego orzeczenia dotyczącego stanu technicznego powierzchni nadanych obiektów.

Pomiar skanerem laserowym 3D wszelkich obiektów i elementów konstrukcyjnych o skomplikowanych powierzchniach pozwala w szybki sposób uzyskać dokładną chmurę punktów i wyeksportować ją do środowiska CAD, np. Revit, ArchiCAD.

Wyniki skanowania laserowego mogą być prezentowane w formie kolorowych orto- i foto-planów oraz baz danych łączących grafikę z elementami opisowymi. Otrzymane z procesu skanowania punkty można wykorzystać do budowy trójwymiarowych modeli CAD i tworzenia wirtualnych prezentacji i animacji komputerowych.

Podziękowania

Autor dziękuje Pracowni Projektowej ArchiSkaning Beata&Rudolf SchnurPfeil za udostępnienie skanera laserowego oraz niezbędne oprogramowania na potrzeby niniejszego artykułu.

Literatura

- [1] Pilecki R., Zastosowania naziemnego skanera laserowego, Czasopismo Techniczne Politechnika Krakowska, Zeszyt 9–M/2012.
- [2] Uchański Ł., Karsznia K., Pomiar inwentaryzacyjnych obiektów przemysłowych przy użyciu naziemnego skaningu laserowego w aspekcie wdrażania technologii BIM, Architektura 2017, 16(4), 71–82.
- [3] Major M., Minda I., Zastosowanie technologii druku przestrzennego w budownictwie, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2016, seria Budownictwo 22, 238–247.
- [4] Mierzwa W., Rzonca A., Skanowanie powierzchni jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji 2003, 13, 427–434.

- [5] Kosiń M., Procesy technologiczne w produkcji elewacyjnych płyt kamiennych, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2015, seria Budownictwo 21, 101–106.
- [6] Kadela M., Pokorska-Silva I., Fedorowicz L., Badania in situ i symulacje numeryczne w ocenie zachowań termicznych obiektów budowlanych, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2017, seria Budownictwo 23, 126–137.
- [7] Rzonca A., Współczesne metody kompleksowej inwentaryzacji zabytków na przykładzie parafialnego kościoła w Michalicach, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Fotogrametria, teledetekcja i GIS w świetle XX kongresu ISPRS. Warszawa 2004.

The analysis of laser scanning 3D in which it might be applied in stocktaking of facilities and constructions elements of complex shape and surface

ABSTRACT:

The article presents the analysis of complementing all currently applied methods of stocktaking of constructions objects using laser scanning 3D which allows to determine geometry and properties of the surface very fast. Research works have been carried out within the framework of building expertise of the Monument to Honour the Heroes of The Battle of Mokra and prove that the results obtained by using laser scanning 3D can enrich diagnostics activities conducted within the framework of control and technical inspection of building with complex shape and surface significantly.

KEYWORDS:

laser scanning 3D; point cloud; modelling 3D