

Zastosowanie skanowania laserowego 3D w inwentaryzacji budynków zabytkowych



dr inż. arch.
HUBERT MARKOWSKI
Politechnika Warszawska
Wydział Architektury
ORCID: 0000-0002-9372-2963

Dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii pozwala dzisiaj na projektowanie urzędzeń, które zmieniają dotychczasowe podejście do projektowania i inwentaryzacji budynków. Jak wykorzystać w tym zakresie skanowanie laserowe 3D w inwentaryzacji budynków zabytkowych?

Pomiary budynków od dawna stanowią wyzwanie dla budowniczych i projektantów. Dokładność pomiarów nabiera szczególnego znaczenia przy przebudowach, rozbudowach i nadbudowach budynków. Prawidłowa inwentaryzacja determinuje wykonanie precyzyjnej dokumentacji budowlanej. Narzędzia, którymi dotychczas dysponowali projektanci, były dość prymitywne. Stalowa miarka, a później dalmierz laserowy nie dawały wystarczającej dokładności i powodowały, że geometria przekształcanego obiektu na rysunkach inwentaryzacyjnych znacznie różniła się od tej rzeczywistej. Oczywiście pozostawały metody geodezyjne pomiaru budynku, lecz wymagały one specjalistycznego sprzętu i wiedzy. Były czasochłonne i kosztowne, co często wykluczało je z praktycznego zastosowania.

Zasady pomiaru skanerem 3D oraz wykonywania chmury punktów

Rozwiązaniem powyższych problemów jest zastosowanie skaningu laserowego 3D (ang. *Terrestrial Laser Scanning*), zwanego w skrócie TLS. Dzięki zamontowaniu skanera laserowego na nieruchomym statywie możliwe jest pobieranie, w sposób automatyczny, precyzyjnych informacji o geometrii badanego budynku. Przestrzenna informacja obrazująca badany obiekt nosi nazwę „chmury punktów”. W czasie pomiaru skanerem laserowym każdemu pojedynczemu punktowi z chmury przypisywane są współrzędne X, Y, Z odnoszące się do miejsca ustawienia skanera¹. Dodatkowo w trakcie jednego pomiaru otrzymujemy informację o intensywności odbicia lasera, mówiącą nam o jasności płaszczyzny, którą mierzymy. Dzięki złożeniu

wspomnianych czterech parametrów możliwe jest uzyskanie rzeczywistego obrazu trójwymiarowego badanego obiektu widzianego w skali szarości. Dokładność pomiarów uzyskuje się poprzez zwiększenie gęstości chmury punktów (od 1 mm do 1 cm). Wyższa dokładność wymaga wydłużenia czasu pojedynczego skanu pomieszczenia, który może trwać od 1 do 10 min. Skaner umożliwia także uzyskanie informacji o kolorystyce RGB badanego budynku. Jest to możliwe dzięki wbudowaniu w skaner aparatu fotograficznego, który, wykonując serie zdjęć, nakłada barwny obraz powierzchni na wykonany skan. Chmura punktów powstaje poprzez rzucanie światła lasera w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Umożliwia to obrotowa głowica, wykonując skanowanie w poziomie po pełnym okręgu oraz w pionie, obejmując kąt 270 stopni². Pomiarom nie zostanie objęty niewielki okrąg znajdujący się w okolicach statywu. Ten obszar mierzy się, wykonując następny skan w pobliżu. Liczba koniecznych pomiarów oraz ich dokładność zależy od stopnia skomplikowania badanego budynku i liczby pomieszczeń, stopnia nasycenia detalami architektonicznymi elewacji budynku oraz wewnątrz. Przyjmuje się, że jeden skan o czasie trwania 1,5 min wystarczy na pomiar jednego pomieszczenia o wielkości około 20 metrów kwadratowych. Przy elewacjach o średnim stopniu nasycenia detalem konieczne jest wykonanie jednego skanu na każde 15 metrów elewacji w odległości 3 metrów od fasady budynku. W przypadku gdy obiekt ma cztery kondygnacje lub więcej, wykonywany jest drugi skan w odległości 12 metrów od budynku.

Pojedyncze skany nie zawierają jeszcze informacji o całym budynku. Należy je ze sobą połączyć. Wykonuje się to poprzez zorientowanie wszystkich skanów przez punkty po-

miarowe zamontowane na budynku w formie kul lub znaczników wydrukowanych na kartkach. Ponadto oprogramowanie komputerowe, które służy do łączenia skanów, wyszukuje punkty wspólne poszczególnych skanów, t.j. płaszczyzny ścian. W ten sposób dokonuje wzajemnej orientacji. Poza tym osoba wykonująca złożenie wszystkich skanów w jedną chmurę punktów może wskazać ręcznie wspólne punkty w poszczególnych skanach, co znacznie ułatwia oprogramowaniu wykonanie pracy składania całej chmury punktów. Kolejnym wyzwaniem związanym z wykonaniem inwentaryzacji cyfrowej budynku jest rozplanowanie stanowisk pomiarowych oraz ich liczby tak, aby poszczególne skany miały części wspólne. Skany po połączeniu tworzą chmurę punktów. Informacje takie jak widok samochodów, drzew i krzewów lub przechodzących ludzi są projektantom niepotrzebne i należy je usunąć z modelu. Po złożeniu wszystkich wykonanych skanów oraz oczyszczeniu chmury punktów otrzymujemy surowy model cyfrowy budynku (rys. 1.). Jednym z programów służących do składania skanów i przygotowywania modelu budynku jest oprogramowanie firmy Autodesk o nazwie ReCap. Taka surowa chmura punktów jest podstawą do wykonania pomiarów inwentaryzacyjnych. Programem, który znacznie bardziej ułatwia analizę pobranych danych, jest Scene firmy FARO. Po złożeniu chmury punktów w programie Scene możemy oglądać poszczególne skany wykonane w wybranych przez nas pomieszczeniach.

¹ J. Pawłowicz, Skaner laserowy 3D jako urządzenie do rejestracji nieprawidłowości występujących w konstrukcjach budowlanych, „Logistyka” 2014, nr 5, s. 1240-1246.

² Borkowski Szymon Andrzej, 2019, Model BIM z chmury punktów, „Builder” 01 (270). DOI: 10.5604/01.3001.0013.6405



Rys. 1. Widok chmury punktów 3D budynku



Rys. 2. Widok modelu 3D fragmentu elewacji z wykorzystaniem parametru intensywności odbicia promienia lasera

Dzięki takiemu podejściu widzimy obraz wybranej kondygnacji i możemy się po niej poruszać, oglądając poszczególne pomieszczenia. Wybrane elementy budynku możemy mierzyć, wykorzystując wirtualną miarkę. Model budynku oglądany z użyciem oprogramowania firmy FARO ma tę zaletę, że wykorzystuje dodatkowy parametr intensywności odbicia promienia lasera od powierzchni. Dzięki temu oglądane skany są rzeczywistym odzwierciedleniem obiektu i przypominają realistyczne zdjęcia wykonane w skali szarości (rys. 2.).

Dzięki metodzie skaningu laserowego projektant wykonujący inwentaryzację nie tyl-



PODSTAWOWE DANE TECHNICZNE ZESPOŁU BUDYNKÓW

powierzchnia zabudowy – 872,06 m²
 powierzchnia netto – 3016,79 m²
 powierzchnia użytkowa – 2368,31 m²
 kubatura brutto – 15600,98 m³
 wysokość budowli – 18,00 m
 wymiary zewnętrzne maks. – 60,10 x 15,16 m

Rys. 3. Przedmiotem pomiarów inwentaryzacyjnych były zabytkowe budynki Zespołu Placówek Europejski Dom Spotkań Młodzieży zlokalizowane przy ul. Długiej 18/20 na Starym Mieście w Warszawie (www.google.maps.com)

ko otrzymuje model cyfrowy budynku o niezwykłej dokładności, ale także posiada możliwość „powrotu” w dowolnym momencie do analizowanego obiektu i wykonania dodatkowego pomiaru elementu budynku, o którym mógł zapomnieć.

Opis obiektów poddanych analizie z wykorzystaniem skaningu 3D

Przedmiotem pomiarów inwentaryzacyjnych były zabytkowe budynki Zespołu Placówek Europejski Dom Spotkań Młodzieży zlokalizowane przy ul. Długiej 18/20 na Starym Mieście w Warszawie. Pierwotnie budynki były odrębnymi kamienicami. Przepuszczalnie powstały w XIX wieku. Historyczne nazwy obiektów to Kamienica Gaszyńskiego, (Bockmana, Jentysa) oraz Bursa pod Herbami Miast Polskich. W czasie II wojny światowej obydwa kamienice zostały w znacznym stopniu zniszczone. Całkowitemu uszkodzeniu uległy konstrukcje dachów wraz z wnętrzami budynków. Ocalały ściany konstrukcyjne.

Powojenna odbudowa zachowała układ ścian nośnych. Rozebrane zostały ruiny oficyn. Tylne ściany budynków zostały przeprojektowane w celu dostosowania architektury budynku do wyżej wymienionych zmian. Przeprojektowano wystrój elewacji frontowej budynku pod numerem 20 oraz zmieniono ostatnią kondygnację z pełnej na poddasze użytkowe. Budynek pod numerem 18 zachował swoją pierwotną elewację. Jediną zmianą było dodanie dużej lukarny w osi elewacji (rys. 3.).

Budynki Zespołu Placówek Europejski Dom Spotkań Młodzieży w Warszawie skła-

dają się z czterech kondygnacji naziemnych oraz jednej podziemnej. Do obiektu prowadzą dwa wejścia zlokalizowane w bramach przejazdowych. Budynek usytuowany jest elewacją frontową równoległą do ul. Długiej. Obiekty pełnią funkcje hotelowe. W budynku znajduje się także stołówka z zapleczem kuchennym, sale dydaktyczne i rekreacyjne dla młodzieży oraz część administracyjna.

Komunikację pionową budynku zapewniają trzy klatki schodowe, z czego dwie boczne schodzą do piwnicy. Komunikacja pozioma realizowana jest przez korytarz biegnący przez całą długość środkowej części budynku. Jedinie piwnica podzielona jest na dwie oddzielne części. Obiekt posiada układ dwustruktowy, komunikowany wewnętrznym korytarzem. Cały zespół jest wpisany do gminnej ewidencji zabytków oraz do wojewódzkiego rejestru zabytków.

Zadaniem projektantów było wykonanie dokumentacji inwentaryzacyjnej i dostarczenie jej do zamawiającego w formie rysunków płaskich wraz z ich wersją elektroniczną.

Model cyfrowy budynku i chmura punktów posłużyły jako zbiór danych, które zostały wykorzystane do stworzenia dokumentacji płaskiej, wymaganej przepisami ustawy Prawo budowlane i związanych z nią rozporządzeń.

Zasady wykonania skaningu 3D oraz inwentaryzacyjnej dokumentacji płaskiej

W pierwszej kolejności, przystępując do wykonania inwentaryzacji tak dużego budynku, należy rozplanować ustawienie stanowisk pomiarowych. W opisywanym przykładzie było ich ponad czterysta. Czas pojedynczego skanu wahał się od 1,5 do 2,5 minuty. Skanowanie wnętrza budynku wraz z elewacjami zajęło cztery dni robocze pracy operatora skanera.

Do pomiarów wykorzystano skaner stacjonarny FARO Focus (rys. 4.).

Następnie przystąpiono do składania pojedynczych skanów w jeden model w progra-



Rys. 4. Skaner stacjonarny FARO Focus



Rys. 5. Złożony model jednej kondygnacji w rzucie



Rys. 6. Ściany wewnętrzne z podziałem na konstrukcyjne i działowe



Rys. 7. Widok połączenia dwóch zabytkowych kamienic, widoczne ściany wybudowane pod różnymi kątami

mie firmy FARO Scene. Układano pojedyncze kondygnacje oraz oddzielne elewacje, tak aby na końcu powstał model całego budynku (rys. 5.).

Istotnym problemem, który pojawia się przy inwentaryzacji wykonywanej ręcznie, jest właściwe określenie grubości ścian nośnych i działowych. Szczególnie tych, w których nie ma otworów drzwiowych i okiennych. W przypadku inwentaryzacji ręcznej wymiary ww. elementów uzyskiwało się jako wynikowy pomiar pomieszczeń przylegających do badanej ściany. Prowadziło to często do otrzymywania nieprawidłowych wyników,

a w efekcie do podejmowania błędnych decyzji projektowych. Określenie rzeczywistej grubości ścian, w szczególności nośnych, jest niezwykle istotne w przypadku budynków zabytkowych, gdzie stosowano różnego rodzaju materiały o nieznanymi projektantom wymiarach i właściwościach wytrzymałościowych. Na rysunku 6. widoczne są ściany wewnętrzne z bardzo wyraźnym podziałem na nośne i działowe. W dolnej części zdjęcia przedstawiającego rzut budynku widać współczesną przebudowę wykonaną nowoczesnymi metodami. Ściany działowe są równe i mają tę samą grubość.

Drugim istotnym parametrem, który często umyka podczas wykonywania inwentaryzacji tradycyjnej, jest właściwe określenie kształtu pomieszczenia w sytuacji, gdy nie posiada ono kątów prostych. Bardzo trudne jest w tym przypadku odwzorowanie rzeczywistego kształtu bez użycia specjalistycznego sprzętu geodezyjnego. Częste pomyłki wynikające z określenia nieprawidłowej geometrii budynku prowadziły do podejmowania błędnych decyzji przez projektantów oraz do problemów podczas rozbudowy i przebudowy obiektów.

Problem ten dotyczy przede wszystkim obiektów zabytkowych, budowanych z wykorzystaniem prymitywnych metod pomiarowych. Dzięki wykorzystaniu skaningu laserowego otrzymujemy rzeczywisty obraz powiązanych ze sobą pomieszczeń budynku. Na rysunku 7. widoczne jest połączenie dwóch kamienic pod numerem 20 po lewej stronie i numerem 18 po prawej stronie. Na rysunku

można zauważyć odchylenia od kątów prostych ścian wewnętrznych i zewnętrznych pomieszczeń.

Następnym istotnym wyzwaniem jest wykonanie prawidłowej inwentaryzacji elewacji. W budynkach zabytkowych bardzo często występują gzymsy, różnego rodzaju boniowania, ornamentyka oraz elementy detalu architektonicznego o charakterze rzeźbiarskim. Elewacje budynków Europejskiego Domu Spotkań Młodzieży w Warszawie posiadały bogaty detal architektoniczny w postaci licznych gzymsów, metalowych bram wjazdowych oraz ornamentyki rzeźbiarskiej przedstawiającej medaliony z herbami polskich miast. Z powodu występujących ograniczeń technicznych inwentaryzacja elewacji zabytkowego budynku jest bardzo trudna, a prawidłowe odwzorowanie skomplikowanych detali rzeźbiarskich praktycznie niemożliwe. Skaningu laserowego rozwiązuje wszystkie te problemy (rys. 8 i 9.).

Kolejnym etapem pracy projektanta jest wykonanie rysunków dokumentacji inwentaryzacyjnej zgodnie z obowiązującą ustawą Prawo budowlane oraz jej rozporządzeniami (rys. 11.).

Rysunki wykonuje się w programie AutoCAD na podkładzie, który jest obrazem rzutu budynku przeniesionym z chmury punktów (rys. 10.). W przypadku wątpliwości co do interpretacji widzianego obrazu projektant ma możliwość „wejść” do każdego pomieszczenia i wykonać brakujące pomiary (rys. 12.).

Ostatnim etapem przygotowania dokumentacji jest wykonanie rysunków elewacji, do których wykorzystuje się podkład wygenerowany z wirtualnego modelu budynku oraz pomiary bezpośrednio z chmury punktów (rys. 13. i 14.).

Podsumowanie i wnioski

Skaning laserowy, jak każda technologia, ma swoje wady i zalety. Do zalet możemy zaliczyć szybkość wykonywania pomiarów i ich wysoką dokładność. Wadą jest duży koszt urządzenia skanującego oraz konieczność wykorzystywania komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Jednak przedstawione wady wraz z rozwojem technologii będą zanikać, a zalety pozostaną. W przypadku budynków zabytkowych, wymagających niezwyklej dokładności i jakości pomiarów, stosowanie innej technologii niż skaningu laserowego wydaje się obecnie anachroniczne. W przyszłości wspomniana technologia w inwentaryzacji budynków, w tym budynków zabytkowych, będzie jedyną powszechnie stosowaną. Szczególnie że można ją w pełni połączyć z technologią BIM.



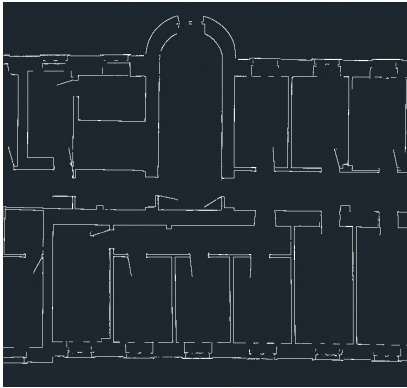
Rys. 8. Zdjęcie bramy wejściowej badanego budynku

DOI: 10.5604/01.3001.0014.1378

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Markowski Hubert, Zastosowanie skanowania laserowego 3D w inwentaryzacji budynków zabytkowych 2020, „Builder” 06 (275). DOI: 10.5604/01.3001.0014.1378



Rys. 9. Model 3D bramy wejściowej wraz z pomiarami elementów elewacyjnych



Rys. 10. Widok podkładu rzutu kondygnacji wyciętego z chmury punktów (www.google.maps.com)

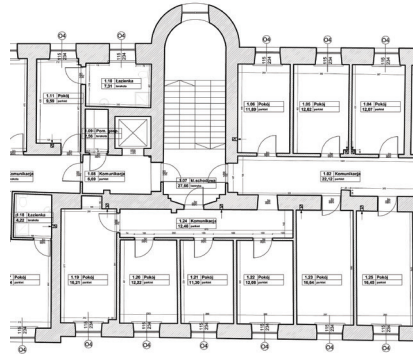
Literatura

- [1] J. Pawłowicz, Skaner laserowy 3D jako urządzenie do rejestracji nieprawidłowości występujących w konstrukcjach budowlanych, „Logistyka” 2014, nr 5, s. 1240-1246.
 [2] Borkowski Szymon Andrzej, 2019, Model BIM z chmury punktów, „Builder” 01 (270). DOI: 10.5604/01.3001.0013.6405

Streszczenie: Dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii pozwala na projektowanie urządzeń, które zmieniają dotychczasowe podejście do projektowania i inwentaryzacji budynków. Artykuł dotyczy zastosowania skaningu laserowego 3D w inwentaryzacji budynków zabytkowych. Na wstępie przedstawiono syntetyczny opis technologii skaningu laserowego. Następnie, na przykładzie zabytkowego kompleksu budynków zlokalizowanych na Starym Mieście w Warszawie, opisano i przeanalizowano zasady przeprowadzania inwentaryzacji, obróbki wykonanych skanów oraz zasad przygotowywania dokumentacji płaskiej z wykorzystaniem pozyskanych informacji 3D. W artykule wyjaśniono także, dlaczego wykorzystanie wspomnianej technologii jest szczególnie ważne w przypadku inwentaryzacji budynków zabytkowych. Całość jest zakończona wnioskami wynikającymi z wad i zalet zastosowania skaningu laserowego, a także bibliografią wykorzystanych źródeł.

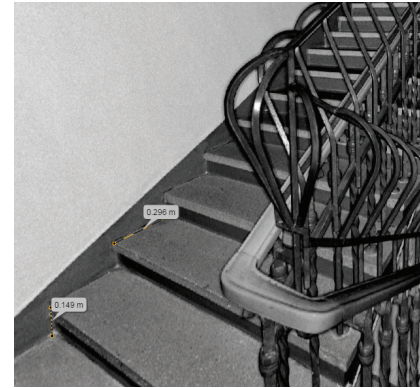
Słowa kluczowe: architektura, budownictwo, inżynieria lądowa, skanowanie laserowe 3D, inwentaryzacja, zabytki, projektowanie, TLS

Abstract: THE USE OF TERRESTRIAL LASER SCANNING 3D IN THE INVENTORY OF HI-



Rys. 11. Widok gotowego rysunku rzutu części budynku

STORIC BUILDINGS. The dynamic development of modern technologies allows the design of devices that change the current approach to the design and inventory of buildings. The article concerns the use of Terrestrial Laser Scanning 3D in the inventory of historic buildings. At the beginning a synthetic description of TLS 3D is presented. The rest of the article presents an example of an inventory of the historic building complex located in the Old Town in Warsaw, the rules for carrying it out, processing scans made and finally the rules for pre-



Rys. 12. Widok sposobu określania wymiarów schodów z modelu 3D

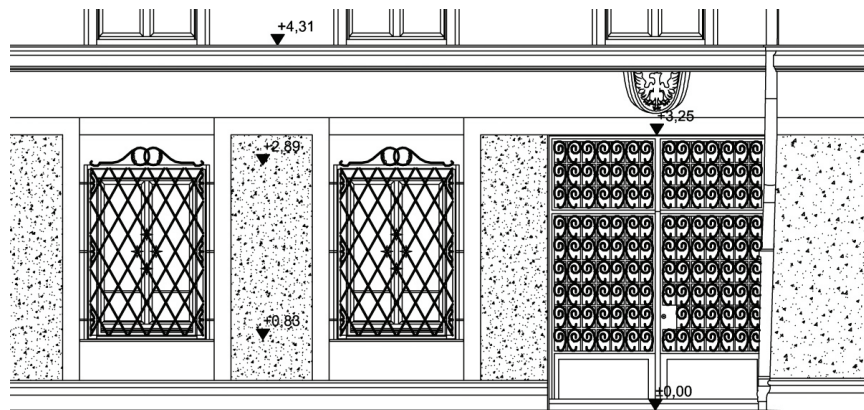
paring flat documentation using the obtained 3d information.

In the article we will also find out why the use of this technology is particularly important in the case of an inventory of historic buildings. The whole article is concluded with conclusions resulting from the advantages and disadvantages of using laser scanning and a bibliography of sources used.

Keywords: Architecture, Construction, Civil Engineering, Terrestrial Laser Scanning 3D, inventory, historical buildings, design, TLS



Rys. 13. Widok skanu 3D fragmentu elewacji badanego budynku



Rys. 14. Widok rysunku fragmentu elewacji wykonanego na podstawie modelu wirtualnego budynku