

Partner tematu wydania:

Immerbau Sp. z o.o.
www.immerbau.pl



mgr inż. Marlena Anna Jurczak¹⁾
ORCID: 0000-0003-2619-2699

Zastosowanie skaningu laserowego do inwentaryzacji obiektów zabytkowych

The use of laser scanning for the inventory of historic buildings

DOI: 10.15199/33.2022.05.06

Streszczenie. W artykule przedstawiono informacje dotyczące technologii BIM (*Building Information Modelling*), korzyści z jej zastosowania w budownictwie, a przede wszystkim skupiono się na przeprowadzaniu inwentaryzacji obiektów zabytkowych – wykonano prace wstępne wg technologii HBIM (*Heritage BIM*). Pokazano możliwości wykorzystania chmur punktów, otrzymanych ze skanowania laserowego 3D oraz sam proces ich obróbki. Głównym celem było zaprezentowanie kolejnych etapów opracowania danych ze skaningu i efektu końcowego, jakim był model geometryczny obiektu, na przykładzie zabytkowego dworca w Rokicinach. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że dzięki zastosowanej technice można wykonać prace w krótszym czasie niż za pomocą metod tradycyjnych, a dodatkowo w miejscach trudno dostępnych, z wymaganą dokładnością.

Słowa kluczowe: technologia BIM; skaningu laserowy 3D; chmura punktów; historyczny obiekt budowlany.

Abstract. The article presents information on BIM technology (*Building Information Modelling*), its benefits of use in construction, and in particular focuses on conducting an inventory of historic objects – preliminary work was carried out for HBIM technology (*Heritage BIM*). The possibilities of using point clouds obtained from 3D laser scanning and the process of their processing were shown. The main goal was to present the next stages of processing data from scanning and the final effect, which was the geometric model, on the example of the historic station in Rokiciny. Based on the obtained results, it was found that thanks to the used technique, it is possible to perform work in a shorter time than using traditional methods, and additionally in hard-to-reach places, with the required accuracy.

Keywords: BIM technology; 3D laser scanning; point cloud; historical building object.

Projektowanie budynków wymaga stałej współpracy i wymiany informacji między specjalistami poszczególnych branż na różnych etapach powstawania obiektu i jego eksploatacji. Zintegrowanie geometrii budynku z informacjami na jego temat jest nieodłączną częścią modelowania informacji o budynku BIM [1]. Dostosowując się do zmieniających się potrzeb, na początku XXI wieku rozwinęła się czwarta rewolucja przemysłowa – przemysł 4.0 w budownictwie. Wiąże się z nią modelowanie informacji o budynku BIM. W literaturze spotyka się wiele definicji BIM. Jest mowa m.in. o „modelu”, „procesie”, „metodzie”, „technologii”. Narodowy Instytut Nauk

¹⁾ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie; Wydział Geoinżynierii; marlena.jurczak@uwm.edu.pl

Budowlanych określa, że *BIM jest wspólnym źródłem wiedzy na temat obiektu, stanowiącym wiarygodną podstawę do podejmowania decyzji w trakcie jego cyklu życia; zdefiniowanym jako istniejący od najwcześniejszej koncepcji do rozbiórki* [2]. W BIM-ie każdy element ma swój cyfrowy odpowiednik, zawierający informacje o jego wymiarach, kształcie, ale również inne, dotyczące np. materiału, z jakiego został wykonany, koloru i wagi. Model BIM ułatwia zaplanowanie remontu budynku, dostosowanie go do aktualnych wymagań związanych z udogodnieniami dla osób niepełnosprawnych, bezpieczeństwem czy standardami budowlanymi. Pomaga przewidzieć kolizje lub uniknąć dodatkowych kosztów zmian [3]. Dodatkowym aspektem jest możliwość analizowania i symulowa-

nia obszaru budowy i późniejszej eksploatacji obiektu. W technologii BIM wykorzystywane jest oprogramowanie do przestrzennego modelowania budynku w czasie rzeczywistym, z uwzględnieniem współpracy specjalistów z różnych branż w dowolnej fazie życia obiektu [4]. Korzyści z wdrożenia BIM jest bardzo dużo, ale istnieją również ograniczenia, takie jak np. konieczność przeszkolenia pracowników, wysokie koszty wprowadzenia, niechęć do zmian.

W przypadku budynków zabytkowych coraz częściej stosowaną odmianą BIM jest HBIM (*Heritage BIM*) [5, 6]. Pozwala on na utworzenie bazy informacji na temat zabytkowego budynku. Trójwymiarowa technologia cyfrowa jest ważna w utrzymaniu i monitorowaniu obiektów dziedzictwa kul-

turowego [7]. Mówiąc o wprowadzaniu obiektów do wirtualnej rzeczywistości, używa się pojęcia inżynieria odwrotna lub inżynieria wsteczna. Ta technologia pozwala na budowę modelu geometrycznego, czyli jest wprowadzeniem do technologii BIM. Taki model stanowi pracę wstępną w sytuacji, gdy obiekt wymaga zmian konstrukcyjnych, np. wzmocnienia. Inżynieria odwrotna bazuje przede wszystkim na zastosowaniu skanowania 3D w parze ze specjalnym oprogramowaniem, wspomagającym tworzenie modeli przestrzennych. Skanowanie laserowe jest obecnie ważnym narzędziem w modelowaniu informacji o budynku, pozwalającym uzyskać precyzyjne dane na temat obiektu, wraz z pomiarami technicznymi o dużym stopniu dokładności [8]. Inżynieria odwrotna ułatwia projektowanie wtórne w procesie renowacji starych budynków. Ma również duże zastosowanie w przypadku budynków nowo powstających, gdy na etapie budowy pojawiają się wątpliwości lub problemy co do dalszej budowy. Integracja skanowania laserowego z technologią BIM może przynieść znaczne korzyści w porównaniu z podejściem tradycyjnym, szczególnie przez ułatwienie dokładnego i szybkiego pozyskiwania informacji [9, 10].

Techniki pomiarów i chmura punktów

Obecnie nie poprzestaje się na jednej technice pomiaru, ale wykorzystuje ich różne kombinacje, np. skanowanie laserowe, fotogrametrię, zdjęcia realistyczne, co pomaga wyeliminować pojawiające się problemy, takie jak np. słabe wykrywanie powierzchni przezroczystych, ciemnych, odblaskowych, czy też uchwycenie miejsc niedostępnych dla jednej z technik. Integracja różnych metod zdecydowanie poprawia jakość uzyskiwanych danych [11]. W artykule szczególną uwagę skupiono na skanowaniu laserowym 3D, które pozwala przekonwertować geometrię obiektu do postaci cyfrowej na podstawie milionów punktów. W budownictwie wykorzystuje się skanery bezdotykowe, które tworzą plik z chmurą punktów i określają ich lokalizację w przestrzeni trójwymiarowej. Wszystko to jest

opisane w trójwymiarowym układzie kartezjańskim. Następnie projektant ma możliwość wczytania danych do dowolnego systemu CAD i przekształcenia ich w gotowy model, możliwy do zapisania w formatach przestrzennych. W budownictwie chmury punktów są używane przede wszystkim w projektach renowacji do zamodelowania obiektów. Umożliwiają również odwzorowanie dokładnego położenia istniejących urządzeń, rurociągów lub krajobrazu, które muszą być uwzględnione na placu budowy, a także dokładne odczyty wymiarów bez konieczności tworzenia modelu przestrzennego. Na tej podstawie można analizować ugięcie stropów czy pionowość ścian. Chmury punktów wykorzystuje się również na etapie końcowym budowy, w celu porównywania efektu budowy z projektem.

Obróbka danych ze skanowania laserowego

Po uzyskaniu danych ze skaningu laserowego następuje proces łączenia – rejestracji chmur punktów. W tym celu zazwyczaj korzysta się z ustawionych domyślnych punktów referencyjnych. Dzięki temu, że kolejne pomiary „nachodzą” na siebie, można połączyć poszczególne chmury punktów w jedną całość, pomimo podziału na etapy powstawania obrazów z różnych stacji pomiarów. Taka jednolita chmura umożliwia rozpoczęcie procesu modelowania 3D. Do tego służy specjalne oprogramowanie, pozwalające sprostać współczesnym różnorodnym zadaniom, aby w jak najprostszy sposób i najszybciej dostosować istniejące obiekty do zmieniających się wymagań. Środowisko BIMcloud, które umożliwia pracę zespołową w chmurze w czasie rzeczywistym przez szybką platformę udostępniania i wymiany danych pomiędzy projektantami, pokazuje, jak skuteczna może być praca nawet z bardzo dużą liczbą danych pochodzących z modeli BIM czy z chmur punktów. Istniejące oprogramowania wspomagają tworzenie dokumentacji projektowej, co jest niezwykle wygodne i przyspiesza pracę, gdyż każda korekta jest skoordynowana i zgodna z wprowadzonym modelem.

Inwentaryzacja obiektu zabytkowego

Wykonano projekt inwentaryzacji zabytkowego dworca w Rokicinach o powierzchni ok. 1400 m², położonego w województwie łódzkim między stacjami Koluszki i Piotrków Trybunalski. Jest to obiekt historyczny, istniejący od 1846 r. Celem prac było stworzenie wirtualnego bliźniaka rzeczywistego obiektu. Zdecydowano się na wykonanie inwentaryzacji w sposób bezinwazyjny, nie naruszając struktury budynku. Do rozwiązania problemu zastosowano kilka narzędzi. Był to przede wszystkim skaner laserowy Trimble TX8 3D, mierzący do miliona punktów na sekundę, o zasięgu standardowym pomiaru do 120 m, osiągając szum pomiaru odległości < 2 mm [12]. O sumie pomiaru mówi się w przypadku nieidentyfikowalnych punktów pomierzonych w przestrzeni objętej skanem, mogących negatywnie wpłynąć na wynik interpolacji pomiaru. Takie parametry przyrządu umożliwiły bardzo krótki czas pomiaru – skanowanie dworca wykonały dwie osoby w ciągu jednego dnia, przy czym zachowano wysoką jakość uzyskanych danych. Dokładność pomiaru została sprawdzona przed wykonaniem właściwych pomiarów. Kolejny etap polegał na przetworzeniu otrzymanych danych w oprogramowaniu *Trimble Real Works*. Celem tego procesu było połączenie skanów poszczególnych stacji pomiarowych, wydzielenie zbędnych obiektów i obszarów oraz usunięcie powielających się punktów. W tym celu początkowo wykonano próbkowanie – Sampling, polegające na ujednoczeniu rozdzielczości wczytanych chmur punktów. Następnie dokonano autorejestracji, czyli sprowadzenia wszystkich chmur do jednego układu współrzędnych (fotografia 1). Kolejnym procesem było czyszczenie chmury punktów ze zbędnych elementów oraz dokonanie klasyfikacji obiektów w celu otrzymania bardziej klarownego efektu wizualnego. W celu poprawy komfortu pracy chmura została podzielona na mniejsze części składowe, z których każda nie przekraczała ok. 2 GB, co jest równoznaczne ze 140 mln punktów (zalecenie producenta oprogramowania). Tak otrzymaną chmurę punktów wczytano do programu Archicad, w którym roz-



Fot. 1. Dworzec w Rokicinach – połączona chmura punktów
Photo 1. Rokiciny railway station – a connected point cloud

poczęto proces modelowania, czego efekt pokazano na fotografii 2. W obecnym stanie model można zaklasyfikować jako model BIM, ale z podstawowym poziomem informacji dotyczącym tylko geometrii. W kolejnych etapach będzie można wzbogacić go o bardziej szczegółowe informacje o obiekcie, w tym również o cechy niematerialne, takie jak np. nasłonecznienie, świadectwa energetyczne budynku, zarządzanie obiektem czy ranga budynku. Takie postępowanie „podniesie” poziom informacji zawarty w modelu BIM i uczyni go użytecznym dla różnych branż.

Mimo wielu procesów przygotowania i obróbki danych, **skanowanie laserowe jest szybszą i bardziej precyzyjną techniką pomiarową niż tradycyjne metody**, a efekty pomiarów można wykorzystać do wielu analiz. W przeprowadzonej inwentaryzacji kluczowy jest fakt, że tzw. projekt „as-built” prezentuje obiekt rzeczywisty, tak jak został on wykonany fizycznie. Taka forma inwentaryzacji staje się często przydatnym narzędziem do weryfikacji istniejącej dokumentacji.

Podsumowanie i wnioski

W celu zilustrowania możliwości wykorzystania technologii HBIM (BIM dotyczący obiektów o znaczeniu historycznym) wykonano inwentaryzację zabytkowego dworca w Rokicinach. Dzięki zastosowaniu skaningu laserowego udokumentowano aktualny stan obiektu. Zaletą skaningu 3D jest to, że w o wiele krótszym czasie niż za pomocą metod tradycyjnych można przeprowadzić pomiary, dodatkowo w miejscach trudno dostępnych i na ich podstawie przygotować zbiór dokumentacji wieloetapowej. Na podstawie wykonanych pomiarów i analiz stwierdzono, że skanowanie laserowe jest przydatnym narzędziem do weryfikacji istniejącej dokumentacji. Stwierdzono, że BIM pomaga w analizie cyklu życia obiektów budowlanych. W nawiązaniu do obiektów zabytkowych, dzięki bogactwu informacji, jakie niesie ze sobą HBIM (aktualny stan zabytku oraz otrzymanie informacji w dalszych etapach dokumentowania), przeprowadzanie renowacji tych obiektów staje się łatwe oraz pozwala na analizę aktualnego stanu budynku.



Fot. 2. Dworzec w Rokicinach – model 3D
Photo 2. Rokiciny railway station – 3D model

Literatura

- [1] Argasiński K. HBIM w praktyce. Materiały Budowlane. 2021; 2: 49 – 50.
- [2] NIBS Frequently Asked Questions about the National Bim Standard-United States National Institute of Building Sciences, 2016.
- [3] Pawłowicz JA. Digital Survey of Damages on the Façade of a Historical Building. Acta Scientiarum Polonorum Architectura. 2021; 20: 41–50. <https://doi.org/10.22630/aspa.2021.20.2.13>.
- [4] Tomana A. BIM: innowacyjna technologia w budownictwie: podstawy, standardy, narzędzia. PWB Media Zdziełowski, Kraków; 2016.
- [5] Włochyński L. HBIM – inwentaryzacja. Materiały Budowlane. 2020; 11: 60 – 62.
- [6] Bruno S, Fino MD, Fatigoso F. Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. Autom. Constr. 2018; 86: 256 – 276; <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.009>.
- [7] Antón D, Medjdoub B, Shrahily R, Moyano J. Accuracy evaluation of the semi-automatic 3D modeling for historical building information models. Int. J. Archit. Herit. 2018; 12(5), 790-805; <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1415391>.
- [8] Ding Z, Liu S, Liao L, Zhang L. A digital construction framework integrating building information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects. Autom. Constr. 2019; 102: 45 – 58; <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.012>.
- [9] Jung J, Hong S, Jeong S, Ki S, Cho H, Hong S, Heo J. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. Autom. Constr. 2014; 42 (2): 68 – 77; <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>.
- [10] Tang P, Huber D, Akinci B, Lipman R, Lytle A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques. Autom. Constr. 2010; 19 (7): 829 – 843; <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>.
- [11] Jo YH, Hong S. Three-Dimensional Digital Documentation of Cultural Heritage Site Based on the Convergence of Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019, 8 (2), 53; <https://doi.org/10.3390/ijgi8020053>.
- [12] Arkusz danych Trimble TX8 Skaner laserowy <https://geotronics.com.pl/dokumenty/broszury/skanowanie-laserowe-3d/trimble-tx8-arkusz-danych.pdf> (06.03.2022).

Artykuł powstał w wyniku odbywania przez autorkę stażu w firmie STAN DESIGN – SCAN & BIM SP. z o.o. w Mrągowie, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego (Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój), zrealizowanego w projekcie Program Rozwojowy Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (POWR. 03.05.00-00-Z310/17).

Przyjęto do druku: 04.05.2022 r.