

Zastosowanie technologii skanowania laserowego 3D w inwentaryzacji istniejących obiektów budowlanych



dr inż.

MARIUSZ SZÓSTAK

Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego
i Wodnego

ORCID: 0000-0003-4439-6599



mgr inż.

PRZEMYSŁAW KIERSKI

Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego
i Wodnego

ORCID: 0009-0006-6867-1451

Na przestrzeni ostatnich lat techniki pomiarów i narzędzia wykorzystywane w trakcie inwentaryzacji znacznie ewoluowały. Stosowane nowoczesne i innowacyjne rozwiązania technologiczne pozwalają na szybsze i precyzyjniejsze gromadzenie dużych zbiorów informacji.

Inwentaryzacja obiektu budowlanego jest jedną z podstawowych czynności w istniejących obiektach budowlanych i odnosi się m.in. do wykonywania pomiarów oraz określenia lub weryfikacji stanu technicznego elementów konstrukcyjnych w obiekcie. Potrzeba wykonania inwentaryzacji wynika z przepisów Prawa budowlanego [1]. Realizowana może być zarówno po wzniesieniu obiektu budowlanego, jak również w przypadku planowanej przebudowy, robót remontowych czy nadbudowy budynku.

Obecnie bardzo dużo obiektów budowlanych, w tym budynków już istniejących i zabytkowych, nie ma pełnej dokumentacji projektowej. Dla zabytkowych obiektów budowlanych nie zawsze istnieje możliwość pozyskania dokumentacji projektowej z archiwum, ponieważ nie zawsze taka dokumentacja znajduje się w repozytorium lub jej stan uniemożliwia jej wykorzystanie. Ponadto pozyskana dokumentacja projektowa może nie odzwierciedlać stanu rzeczywistego z uwagi na wprowadzane zmiany w trakcie użytkowania obiektu budowlanego, co może wynikać z rozbudowy, nadbudowy obiektu czy prowadzonych działań naprawczych.

W związku z powyższym w momencie podjęcia przez inwestora decyzji o rozbudowie lub nadbudowie obiektu istniejącego pojawia się konieczność opracowania, tj. odtworzenia dokumentacji projektowej odpowiadającej zastanej sytuacji. W takim przypadku wykonywana jest inwentaryzacja budynku lub jego części, która zostanie poddana rozbudowie.

Inwentaryzacja obiektu budowlanego

Inwentaryzacja obiektu budowlanego polega na jak najdokładniejszym opisanie obiektu i jego elementów w formie opracowania projektowego analogicznego do projektu budowlanego. Podstawową korzyścią dokładnego rozpoznania obiektu i inwentaryzacji budowlanej jest opracowanie i/lub odtworzenie dokumentacji projektowej. Na podstawie dokładnie sporządzonej dokumentacji projektowej możliwa jest m.in. rzetelna wycena prac budowlanych, a także oszacowanie wartości nieruchomości niezbędnej dla celów jej zbycia. Sporządzona dokumentacja powinna zawierać takie informacje jak: przeznaczenie obiektu, wymiary budynku, liczba kondygnacji, rozkład pomieszczeń z ich przeznaczeniem oraz usytuowanie ciągów komunikacyjnych. W opracowanej dokumentacji inwentaryzacyjnej powinny znaleźć się również: informacje odnośnie do tego, z jakich materiałów został wzniesiony obiekt, opis konstrukcji, przekroje, szkice oraz rzuty poszczególnych elementów konstrukcyjnych i działki, na jakiej posadowiony jest budynek. W przebudowywanym obiekcie, w przypadku znacznej ingerencji w istniejące elementy, ważne jest dokładne rozpoznanie wszystkich istotnych elementów budynku do poprawnego oszacowania zakresu prac, kosztu i możliwości ich modyfikacji (w szczególności w obiektach zabytkowych). Zakres planowanych robót jest kluczowym wyznacznikiem zakresu realizowanej inwentaryzacji,

ponieważ w głównej mierze to od inwestora i projektanta zależy, na jakie elementy należy zwrócić szczególną uwagę.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami inwentaryzację może wykonać osoba posiadająca odpowiednią kwalifikację, tj. uprawnienia budowlane w odpowiedniej specjalności. W zależności od celów, jakim ma służyć inwentaryzacja obiektu budowlanego, jej wykonanie może być powierzone osobie mającej praktyczną i podstawową umiejętność mierzenia, obliczania i rysowania obiektów budowlanych bądź osobie, która w myśl ustawy Prawo budowlane [1] uzyskała jedną z wielu specjalności techniczno-budowlanych pozwalających na wykonywanie samodzielnych funkcji technicznych w budownictwie. Jeżeli przeprowadzenie inwentaryzacji obiektu budowlanego ma być podstawą do wykonania projektu przebudowy bądź dobudowy do istniejącego obiektu dodatkowych pomieszczeń, inwentaryzację obiektu budowlanego powinna przeprowadzać osoba posiadająca uprawnienia budowlane w zakresie projektowania. W przypadku gdy cel sporządzenia inwentaryzacji obiektu budowlanego nie jest połączony z projektowaniem, inwentaryzację może przeprowadzić osoba niekoniecznie posiadająca uprawnienia budowlane z zakresu projektowania, może tę inwentaryzację przeprowadzić każda inna osoba posiadająca podstawowe umiejętności z zakresu projektowania i budowy obiektów budowlanych. Podsumowując, inwentaryzacja może mieć różny charakter i zakres prac, stąd też wykorzystywany sprzęt i rodzaj pomiarów musi być każdorazowo dostosowany indywidualnie do potrzeb danego przedsięwzięcia.

Problem badawczy, jaki jest poruszony w niniejszej pracy, to odpowiedź na pytanie, w jaki sposób zastosowanie skanerów laserowych może wpłynąć na tempo i dokładność uzyskiwanych wyników podczas inwentaryzacji budowlanej. Cele szczegółowe pracy to

Inwentaryzacja obiektu budowlanego polega na jak najdokładniejszym opisaniu obiektu i jego elementów w formie opracowania projektowego analogicznego do projektu budowlanego.

przedstawienie przykładowej inwentaryzacji budowlanej wykonanej techniką skanowania 3D oraz określenie zalet stosowania tego typu pomiarów.

Inwentaryzacja obiektu budowlanego a zastosowanie elementów technologii BIM

Inwentaryzacja budowlana powinna być wykonana w formie opracowania składającego się z dwóch części: części opisowej oraz części rysunkowej, graficznej uzupełnionej zdjęciami stanu istniejącego.

Część opisowa inwentaryzacji obiektu budowlanego powinna obejmować m.in. opis techniczny budynku, opis materiałów budowlanych, z których zostały wykonane poszczególne elementy budynku, określenie lokalizacji geograficznej i lokalnej budynku, wskazanie charakteru i rodzaju budynku, określenie wysokości budynku. Natomiast część graficzna inwentaryzacji obiektu budowlanego powinna obejmować: graficzne rzuty działki z naniesionymi w jej obszarze obiektami budowlanymi, graficzne rzuty poszczególnych kondygnacji budynku, graficzne rzuty dachu z uwzględnieniem elementów więźby dachowej, graficzne przekroje wszystkich kondygnacji z zaznaczeniem wysokości charakterystycznych punktów, takich jak: rzędnych posadzek, półpięternakłatkachschodowych, tarasów, dachu i kominów.

W przypadku inwentaryzacji elewacji obiektu budowlanego dokumentację graficzną budynku powinna uzupełniać dokumentacja fotograficzna. Dokumentacja fotograficzna powinna zostać wykonana aparatem cyfrowym o dużej rozdzielczości, umożliwiając pokazanie tych elementów, które są uszkodzone, z przebarwieniami oraz wykwitami spowodowanymi działaniem warunków atmosferycznych. Wykonanie takiej dokumentacji stanowi również dowód i dokument pomocniczy w przypadku wystąpienia jakichkolwiek rozbieżności w opracowanej dokumentacji.

Tradycyjnie inwentaryzacje wykonywano się czy też wykonuje ręcznie, dlatego aby uzyskać dokładne pomiary, należało każdy element konstrukcyjny dokładnie zmierzyć [2]. Pomiar wiązał się z koniecznością dotarcia do każdego elementu, nawet tego najbardziej

Tabela 1. Parametry skanowania

Parametry skanu	Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3
Maksymalny zasięg (metry)	120	120	120
Czas skanowania dla trybu standardowego (minuty)	02:00	03:00	10:00
Odległość między punktami na 30 metrach (milimetry)	22,6	11,3	5,7
Liczba punktów	34 Mpkt	138 Mpkt	555 Mpkt

oddalonego i trudno dostępnego, co w przypadku elementów więźby dachowej było bardzo trudne, niekiedy bardzo pracochłonne i niebezpieczne. Dzięki rozwojowi technologii i wprowadzaniu coraz to nowszych urządzeń pomiarowych obecnie istnieje możliwość wykonania niezwykle dokładnego pomiaru obiektu czy pomieszczenia poprzez innowacyjne rozwiązania, np. skanowanie laserowe 3D. Zastosowanie technologii BIM w inwentaryzacji obiektów budowlanych umożliwia automatyzację opracowania dokumentacji, która staje się cyfrową reprezentacją obrazu całego procesu budowlanego [3]. Należy pamiętać, że zgodnie z ideą technologii BIM ważne jest nie tylko pozyskiwanie informacji, ale również upraszczanie informacji zawartych w modelu, systematyzowanie go i odpowiednie wykorzystywanie informacji zawartych w modelu [4].

Inwentaryzacja budynku przeprowadzona za pomocą skanowania laserowego pozwala na pozyskanie precyzyjnych danych dotyczących wymiarów pomieszczeń oraz obiektu budowlanego. Dzięki wykorzystaniu urządzeń pomiarowych dedykowanych do typu prac otrzymujemy chmurę punktów, która poprzez obróbkę staje się modelem obiektu wykorzystywanym do dalszych prac w zakresie inwentaryzacji, ale także innych prac inżynierskich czy deweloperskich [5].

Zaletą wykonywania pomiarów za pomocą techniki skanowania 3D jest oszczędność czasu dzięki szybkości zbierania danych oraz możliwości kompleksowego analizowania przestrzeni [6]. Dzięki wykorzystaniu skanowania laserowego możemy w szybszy sposób uzyskać dokumentację projektową opartą na wykonanych pomiarach oraz model 3D obiektu skanowanego [7]. Kolejną cechą, na którą należy zwrócić uwagę, jest uzyskiwana duża dokładność pomiaru dochodząca do milionów punktów w przestrzeni obiektu, co wpływa na zminimalizowanie błędów pomiarowych [8]. Zaletą opisywanej techniki jest również możliwość wykorzystania skanu do wygenerowania informacji na temat zniszczeń, deformacji oraz innego rodzaju uszkodzeń w obiektach o charakterze zabytkowym. Dzięki temu możemy podjąć decyzje pod względem ekonomicznym oraz konserwatorskim, czy dany element można jeszcze uratować, czy wręcz wymaga całkowitej zmiany [9]. Obiekty zabytkowe czy wymagające przebudowy nie są jedynymi, w których stosuje się inwentaryzację. Bardzo dobrą praktyką

jest wykonanie inwentaryzacji chociażby po zakupie mieszkania deweloperskiego, aby zweryfikować powierzchnię zadeklarowaną z powierzchnią rzeczywistą mieszkania, co może posłużyć do negocjacji ceny.

Przykład zastosowania technologii skanowania laserowego

Przedmiotem przeprowadzanego studium przypadku było zastosowanie opisanego w artykule techniki (skanowanie laserowe 3D) na potrzeby przeprowadzenia inwentaryzacji budowlanej poddasza budynku zlokalizowanego we Wrocławiu. Celem przeprowadzonej inwentaryzacji budowlanej było opracowanie modelu 3D budynku z wykorzystaniem technologii BIM do prac projektowych związanych z zaaranżowaniem poddasza na cele użytkowe. Dalej przedstawiono zakres wykonanych czynności.

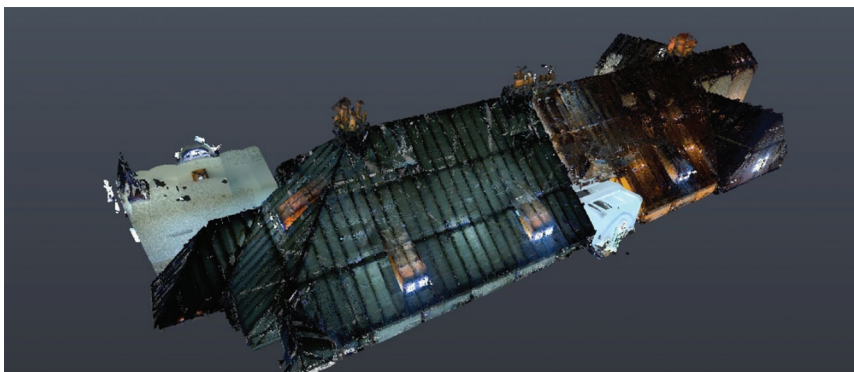
Skanowanie poddasza budynku rozpoczęto w momencie, gdy sprzęt do skanowania: skaner firmy Trimble® model TX8 został dostarczony na miejsce prowadzonych prac. Przyjęto 16 stanowisk pomiarowych, na których ustawiany był sprzęt służący do skanowania poddasza. Do celów prowadzonych prac pomiarowych rozwiązano tarcze geodezyjne. Dodatkowo w pracach pomiarowych wykorzystano teodolit, za pomocą którego odczytywano współrzędne tarcz, tak aby w fazie obróbki chmury punktów zachować odpowiedni układ współrzędnych. Wykonanie dodatkowych pomiarów pozwoliło na dopasowanie otrzymanych skanów z różnych stanowisk pomiarowych do siebie i opracowanie pełnej dokumentacji – chmury punktów.

Zastosowane urządzenie pozwala na pomiar nawet do miliona punktów (Mpkt) na sekundę, zachowując przy tym wysokiej jakości pomiary obiektów budowlanych. Skaner utrzymuje wysoką dokładność w zasięgu do 120 m, bez konieczności zmniejszania szybkości pomiaru. Błędy w pomiarach (błędy systematyczne skanowania) mogą oscylować w zakresie 1–2 mm w zależności od zasięgu pomiaru. Im większa odległość od obiektu skanowanego, tym może pojawić się większy błąd pomiarowy. Skaner wyposażony jest w skanowanie na 3 poziomach szczegółowości. Każdy poziom różni się szczegółowością pomiaru, liczbą zeskanowanych punktów i czasem pomiaru – w tabeli 1. przedstawiono podstawowe parametry skanowania.





Rys. 1. Stanowisko pomiarowe dla skanera laserowego



Rys. 2. Chmura punktów opracowana na podstawie skaningu laserowego



Rys. 3. Zdjęcie więźby dachowej wykonane za pomocą aparatu fotograficznego

Inwentaryzacja może mieć różny charakter i zakres prac, stąd też wykorzystywany sprzęt i rodzaj pomiarów musi być każdorazowo dostosowany indywidualnie do potrzeb danego przedsięwzięcia.

W trakcie analizowanego skanowania wykorzystano poziom 2, w którym czas skanowania wynosił 3 minuty, a liczba punktów, jakie zostały zeskanowane, to około 138 milionów. Jest to bardzo precyzyjny pomiar, który przy 16 stanowiskach pomiarowych pozwala uzyskać bardzo dokładne wyniki. Na rys. 1. przedstawiono przykładowe stanowisko pomiarowe skanowania.

Efektom skanowania 3D jest chmura punktów, która wiernie przedstawia geometrię budynku i stanowi podstawę do dalszego opracowania dokumentacji inwentaryzacyjnej (rys. 2.).

Przykładowo na rys. 3. i 4. przedstawiono to samo miejsce w rzeczywistości (zdjęcie wykonane za pomocą aparatu fotograficznego – rys. 3.) oraz wirtualne (chmura punktów uzyskana w wyniku skanowania – rys. 4.).

Na kolejnych etapach produktem konwersji chmury punktów może być model 3D opracowany np. w Autodesk Revit, ArchiCAD lub w innym oprogramowaniu umożliwiającym modelowanie trójwymiarowej dokumentacji projektowej oraz dokumentacja 2D, generowana na podstawie modeli 3D z możliwością ręcznego uszczegółowienia detali architektonicznych. Następnie opracowywana jest dokumentacja konserwatorska, inwentaryzacyjna obiektu budowlanego (m.in. rzuty kondygnacji, przekroje, widoki elewacji itp.) czy analiza przestrzenna (np. pionowość, ugięcia itp.).

Podsumowanie

Zastosowanie technologii 3D w inwentaryzacji istniejących obiektów budowlanych niesie ze sobą wiele zalet:

- Czas pozyskania danych przestrzennych obiektu oraz opracowanie chmury punktów do finalnego produktu są skrócone do minimum. Skanowanie laserowe jest kilka razy szybsze niż tradycyjne techniki inwentaryzacji.
- Dokładność pozyskanej przestrzennej chmury punktów sięga od 34 do 555 milionów punktów, a dokładność dla obiektów wielkogabarytowych wynosi +/- 1(2)mm.
- Pozyskane oraz opracowane dane bez problemu można wczytać do wszystkich profesjonalnych programów CAD.
- Zasięg pomiaru sięga 120 m, co znacząco wpływa na czas pozyskiwania danych.



Rys. 4. Chmura punktów opracowana na podstawie skanowania laserowego

DOI: 10.5604/01.3001.0053.6976

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
 Szóstak Mariusz, Kierski Przemysław, 2023, Zastosowanie technologii skanowania laserowego 3D w inwentaryzacji istniejących obiektów budowlanych, „Builder” 7 (312).
 DOI: 10.5604/01.3001.0053.6976

Streszczenie: Inwentaryzacja obiektu budowlanego jest jedną z podstawowych czynności w istniejących obiektach budowlanych i odnosi się do wykonywania pomiarów oraz określenia i weryfikacji stanu technicznego elementów konstrukcyjnych w obiekcie. W inwentaryzowaniu istniejących obiektów budowlanych i odzwierciedleniu ich rzeczywistej geometrii ważny jest czas niezbędny do zgromadzenia danych o obiekcie i precyzja wykonania pomiarów. Na przestrzeni ostatnich lat techniki pomiarów i narzędzia wykorzystywane w trakcie inwentaryzacji znacznie ewoluowały. Stosowane nowoczesne i innowacyjne rozwiązania technologiczne pozwalają na szybsze i precyzyjniejsze gromadzenie dużych zbiorów informacji. Zastosowanie skanera laserowego pracującego w technologii 3D do gromadzenia danych przestrzennych może rozwiązać problem niskiej precyzji pomiaru wykonywanego w sposób tradycyjny (tj. manualny) lub poprawić łatwość i wydajność wykonywanych pomiarów.

Słowa kluczowe: skanowanie 3D, inwentaryzacja, technologia BIM, chmura punktów.

Abstract: APPLICATION OF 3D LASER SCANNING TECHNOLOGY IN THE INVENTORY OF EXISTING BUILDINGS. An inventory of a building is one of the basic activities in existing buildings and refers to taking measurements and determining and verifying the technical condition of structural elements in the building. In making an inventory of an existing building and reflecting its actual geometry, the time required to collect data about the building and the precision of the measurements are important. Over the last few years, the measurement techniques and tools used during inventories have evolved considerably. The modern and innovative technological solutions used allow for a faster and more precise collection of large sets of information. The use of a laser scanner, working in 3D technology for the collection of spatial data, can solve the problem of low precision of measurements taken in the traditional way (i.e. manually) or improve the ease and efficiency of the measurements performed.

Keywords: 3D scanning, inventory, BIM technology, point cloud

- Pozyskane dane w postaci przestrzennej chmury punktów mają charakter niezmienności i jednoznaczności. Skanery 3D dają wiarygodne dane informujące o pełnej geometrii obiektów i zapewniają pełną informację 3D o obiekcie, a nie o poszczególnych punktach.
- Czas i kompletność danych przekłada się na niższe koszty projektu.

Główne korzyści zastosowania skanowania 3D do inwentaryzacji:

- Pełna, precyzyjna geometria 3D obiektu w odróżnieniu od ręcznych szkiców i pomiarów, które wykonywane zostały metodą klasyczną.
- Skomplikowana geometria lub elementy na wysokościach nie są problemem dla technologii skanowania 3D. Niepotrzebne są żadne rusztowania lub specjalistyczne wysięgniki jak w przypadku pomiaru metodą klasyczną.

Podsumowując: wykorzystanie techniki skanowania 3D ma niebagatelne znaczenie w szybkim pozyskiwaniu dokładnych danych dotyczących mierzonej przestrzeni w stosunku do metod klasycznych pomiarów inwentaryzacyjnych. Technika skanowania laserowego pozwala na zwizualizowanie oraz pomiar wszystkich elementów przestrzeni bez konieczności pomiaru każdego szczegółu osobno.

Podziękowania

Serdeczne podziękowania dla całego zespołu wykonującego inwentaryzację poddasza budynku Szkoły Podstawowej nr 1 im.

Marii Dąbrowskiej we Wrocławiu, a w szczególności: dr. inż. Piotrowi Grzempowskiemu, mgr. inż. Tomaszowi Nowobilskiemu, studentom Wydziału Architektury i Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, a także pracownikom biura projektowego Zarzeczki Konstrukcje Budowlane oraz dyrekcji Szkoły za umożliwienie przeprowadzenia prac pomiarowych.

Bibliografia

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414, z późn. zm.).
- [2] Bogustawa Kwoczyńska, 2012, Inwentaryzacja i wizualizacja obiektów architektonicznych wykonana na podstawie zdjęć metrycznych i niemetrycznych, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2, 53–66.
- [3] Agnieszka Leśniak, Monika Górka, Izabela Skrzypczak, 2021, Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects – The Polish Study, *Energies*, 14, 2090, doi: 10.3390/EN14082090.
- [4] Krzysztof Zima, Edyta Plebaniakiewicz, Damian Wieczorek, 2020, A SWOT analysis of the use of BIM technology in the Polish construction industry, *Buildings*, 10, doi: 10.3390/BUILDINGS10010016.
- [5] Hubert Markowski, 2020, Zastosowanie skanowania laserowego 3D w inwentaryzacji budynków zabytkowych, *Builder*, 275 (6), 50–53, doi: 10.5604/01.3001.0014.1378.
- [6] Nada Kadhim, A. D. Mhmood, A. H. Abd-Ulabbas, 2021, The creation of 3D building models using laser-scanning data for BIM modelling, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1105(1), 012101, doi: 10.1088/1757-899X/1105/1/012101.
- [7] Jovita Cepurnaite, Leonas Ustinovicius, Mantas Vainoras, 2017, Modernization with BIM technology through scanning building information, *Procedia Engineering*, 208, 8–13, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.11.014.
- [8] Izabela Skrzypczak, Grzegorz Oleniacz, Agnieszka Leśniak, Krzysztof Zima, Maria Mrówczyńska, Jan Kazak, 2022, Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements, *Building Research & Information*, 50(8), 859–880, doi: 10.1080/09613218.2021.2011703.
- [9] Ahmad Razali, Mohd Ariff, Zulkepli Majid, Norhadija Darwin, Anuar Aspuri, Mohd Salleh, 2020, Three-dimensional (3D) as-built reconstruction from laser scanning dataset, 2020 IEEE 10th International Conference on System Engineering and Technology, 150–155, doi: 10.1109/ICSET51301.2020.9265360.