

**ABSTRAKT:** W dobie zaawansowanych technologii pomiarów trójwymiarowych możliwe stało się precyzyjne odwzorowanie obiektów historycznych, co otwiera nowe możliwości w zakresie rekonstrukcji, badań naukowych oraz cyfrowej prezentacji. Technologie te pozwalają na tworzenie metrologicznej dokumentacji przestrzennej, która wiernie oddaje detale, tekstury i kształty obiektów, umożliwiając ich wirtualne przechowywanie i udostępnianie. Tym samym digitalizacja stanowi formę ochrony dziedzictwa przed zniszczeniem, utratą czy degradacją.

Uzyskanie wysokiej jakości i dokładności dokumentacji cyfrowej wiąże się jednak z pewnymi wyzwaniami. Niektóre obiekty, z uwagi na swoje skomplikowane kształty, powierzchnie, materiały lub rozmiary, mogą być trudne do precyzyjnego zmierzenia. Konieczne jest znalezienie równowagi między jakością pomiaru, skutecznością technologii a kosztami i pracochłonnością działań, aby umożliwić jak największej liczbie instytucji kultury digitalizację swoich zbiorów. Istotne jest również opracowanie standardów dokumentacji projektowych, które pozwolą na weryfikację jakości wytwarzanych danych.

Artykuł omawia znaczenie prawidłowego planowania procesu pomiarowego oraz wstępnie proponuje technologie pomiarowe dla różnych typów obiektów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** techniki pomiarów 3D, wykorzystanie danych 3D, proces pomiarowy

# DOSTOSOWANIE TECHNOLOGII I PARAMETRÓW TECHNICZNYCH POMIARÓW TRÓJWYMIAROWYCH W DIGITALIZACJI OBIEKTÓW DZIEDZICTWA KULTUROWEGO DO CELÓW WYKORZYSTANIA WYTWORZONYCH DANYCH

DOI: 10.5604/01.3001.0055.1366

*Jan Rutkiewicz*

*Immersive Space Jan Rutkiewicz*

Studia Wilanowskie

t. XXXI, 2024, s. 51–71

Rocznik, E-ISSN: 2720-0116

**ABSTRACT:** The dawn of the age of advanced technologies used for measuring three-dimensional objects ushered in new ways and methods of creating precise reproductions of historic artefacts, thus opening up new possibilities for reconstruction, studies and digital showcases. These technologies enable the development of metrological spatial documentation that faithfully reflects the details, textures and shapes of objects, which makes it possible for them to be stored and presented in a virtual form. As such, the process of digitisation protects heritage objects from destruction, degradation and loss. There are, however, numerous challenges that complicate the process of obtaining high-quality and accurate digital representations. Some of the artefacts can prove difficult to measure accurately due to their complex shapes, surfaces, materials and size. A balance needs to be struck between measurement quality, effectiveness of the technology used, the cost of the process and the work required in order to open up the opportunity to digitalise collections to as many cultural institutions as possible. Other crucial aspects include developing project documentation standards that enable validating the quality of the resulting data.

The paper outlines the significance of the proper planning of the measurement process and tentatively proposes measurement technologies to be used with different object categories.

**KEYWORDS:** 3D measurement techniques, spatial data use, measurement process

## Wstęp

W obecnej fazie rozwoju technologii pomiarów trójwymiarowych digitalizacja stała się niezwykle istotnym zagadnieniem, które wpływa na sposób, w jaki dokumentujemy i zachowujemy dziedzictwo kulturowe. Wykorzystanie zaawansowanych technologii pomiarów trójwymiarowych umożliwia precyzyjne odwzorowanie obiektów historycznych, otwiera nowe możliwości w zakresie prac rekonstrukcyjnych, badań naukowych oraz cyfrowej prezentacji. Jednym z głównych atutów technologii pomiarów trójwymiarowych jest jej zdolność do tworzenia metrologicznej, przestrzennej dokumentacji obiektów dziedzictwa kulturowego. Dzięki precyzyjnemu skanowaniu i modelowaniu 3D można uzyskać wiernie odwzorowanie detali, tekstur i kształtów obiektów, co pozwala na ich wirtualne przechowywanie i udostępnianie w sposób niedostępny wcześniej. Digitalizacja staje się przez to formą zabezpieczenia i archiwizacji naszego dziedzictwa, pozwalając na ochronę przed zniszczeniem, utratą lub degradacją<sup>1</sup>.

Niestety, osiągnięcie wysokiej jakości i dokładności tworzonej dokumentacji wiąże się z pewnymi wyzwaniami. Wymaga to korzystania z technologii oferującej najwyższe rozdzielczości odwzorowania, co często pociąga za sobą znaczne nakłady finansowe i czasochłonność procesu. Nie wszystkie instytucje muzealne czy organizacje kulturalne opiekujące się zabytkami mogą sobie pozwolić na realizowanie tak skomplikowanych projektów, co może stanowić przeszkodę w prowadzeniu takimi metodami masowej digitalizacji obiektów. Szukając środków finansowych instytucje muzealne zwracają się ku zewnętrznym źródłom finansowania (na przykład z Unii Europejskiej), przyznawanym na drodze konkursowej. Nawet jednak w takich sytuacjach liczne instytucje nie są w stanie realizować projektów wymagających wniesienia wkładu własnego.

Nie wszystkie obiekty nadają się ponadto do wykonania dokładnego pomiaru przy użyciu powszechnie dostępnych technologii. Skomplikowane kształty, powierzchnie charakteryzujące się wysokim współczynnikiem odbicia światła, obiekty wykonane z materiałów przezroczystych (przepuszczających światło) lub o bardzo delikatnej strukturze utrudniającej manewrowanie nimi, czy też duże rozmiary niektórych artefaktów mogą uniemożliwić precyzyjne zbieranie danych i ich modelowanie trójwymiarowe. W rezultacie, część informacji o obiekcie może zostać pominięta lub niedokładnie odwzorowana, co może wpływać na jakość i kompletność tworzonej dokumentacji cyfrowej.

1 Wytworzenie dokumentacji cyfrowej nie wpływa hamująco na postęp potencjalnego procesu degradacji obiektu zabytkowego i tym samym nie zwalnia jego opiekunów prawnych od dbania o zachowanie substancji zabytkowej. Tym niemniej posiadanie precyzyjnej dokumentacji trójwymiarowej może mieć znaczący wpływ na realizację prac konserwatorskich, zwłaszcza w przypadku konieczności prowadzenia prac rekonstrukcyjnych (przypis red.).

Wybór odpowiednich technologii pomiarowych do digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego staje się w związku z tym istotnym tematem do dyskusji. Konieczne jest znalezienie równowagi między jakością pomiaru, skutecznością i dojrzałością danej technologii oraz pracochłonnością i kosztem danego działania tak, aby umożliwić jak największej liczbie instytucji kultury digitalizację swoich kolekcji. Ważnym aspektem jest to, iż powinny zostać opracowane przystępne standardy do tworzenia dokumentacji projektowych umożliwiających weryfikację jakości wytwarzanych danych.

W pierwszej części artykułu zostanie opisane, jak ważne jest prawidłowe zaplanowanie procesu pomiarowego dla każdego obiektu. W drugiej części zostaną przedstawione propozycje użycia technologii pomiarowych dla przykładowych obiektów kultury materialnej.

### Proces pomiarowy w etapach

W celu uzyskania odpowiedniego rezultatu pomiarów trójwymiarowych należy odpowiednio zaplanować proces pomiarowy. Składają się na niego trzy etapy:

#### Etap I

Punkt wyjścia powinno zawsze stanowić precyzyjne określenie celu pomiaru danego obiektu. To, czy wyniki pomiarów będą wykorzystane do zaawansowanych badań naukowych, badań przy wykonywaniu konserwacji obiektu, prezentacji edukacyjnych czy publikacji w Internecie, ma istotny wpływ na określenie budżetu potrzebnego do przeprowadzenia procesu digitalizacji. Wybór odpowiedniej technologii pomiarowej jest bezpośrednio związany z wyznaczonym celem.

Proponowane zestawienie celów wykonywania pomiarów trójwymiarowych obiektów dziedzictwa kulturowego:

#### 1. Dokumentacja wieczysta pełnej geometrii obiektu

Polega na wykonaniu pomiarów trójwymiarowych z najwyższą precyzją dostępną w danym momencie rozwoju technologii, w celu rejestracji najbardziej nawet subtelnych cech powierzchni. Tego rodzaju dane są niezwykle przydatne do prowadzenia badań naukowych, planowania i wykonania prac konserwatorskich oraz dbania o zachowanie obiektu w jak najlepszym stanie dla przyszłych pokoleń.

#### 2. Dokumentacja wieczysta fragmentu obiektu

Czasami istnieje potrzeba udokumentowania jedynie konkretnego fragmentu obiektu, na przykład ze względu na jego unikalne cechy lub związane z nim badania. W takiej sytuacji podjęta zostaje decyzja o użyciu najbardziej zaawansowanej techniki pomiarowej, która umożliwi przeprowadzenie w oparciu o uzyskane dane szczegółowych analiz i badań. Jednak ze względu na ograniczenie kosztów i skrócenie czasu pomiarów

wykonuje się je tylko dla wybranych fragmentów powierzchni obiektu. Dla pozostałych partii powierzchni obiektu zaplanować należy wykonanie dokumentacji 3D o niższej jakości lub tylko dokumentacji fotograficznej 2D.

### 3. Dokumentacja pozwalająca na wykonanie fizycznego modelu z wykorzystaniem technik druku 3D w celach edukacyjnych

Często digitalizacja obiektu ma na celu stworzenie modelu 3D, który może być następnie wykorzystany do wykonania wydruku 3D. W takiej sytuacji nie zawsze konieczne jest zadokumentowanie najdrobniejszych szczegółów obiektu, gdyż i tak nie będzie możliwe ich odwzorowanie na etapie drukowania<sup>2</sup>. W takim przypadku dokumentacja może być wykonana z mniejszą rozdzielczością, skupiając się głównie na kształcie i ogólnych cechach obiektu, wystarczających do wykonania druku 3D.

### 4. Dokumentacja do celów prezentacyjnych

W sytuacji, w której instytucji kultury zależy wyłącznie na stworzeniu prezentacyjnego modelu 3D, mniej istotne staje się precyzyjne zarejestrowanie geometrii mierzonego obiektu. Dane trójwymiarowe zostaną w takiej sytuacji i tak w znacznym stopniu uproszczone, a metrologiczne niedoskonałości odwzorowania geometrii zamaskuje fotorealistyczna tekstura nałożona na powierzchnię modelu.

Jeśli celem jest zaawansowane badanie naukowe bądź badanie obiektu podczas wykonywania jego konserwacji, konieczne będzie zastosowanie precyzyjnych technologii pomiarowych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, które pozwolą na odwzorowanie nawet najdrobniejszych detali. Taki proces wymagać będzie odpowiednio dużych zasobów finansowych na zakup lub wynajem specjalistycznego sprzętu oraz zatrudnienie wyszkolonego personelu.

Jeżeli natomiast celem jest prezentacja edukacyjna, istotne staje się wykonanie efektownie wyglądającego i czytelnego modelu obiektu. W tym przypadku technologie o nieco niższej rozdzielczości mogą okazać się wystarczające, a co za tym idzie, budżet na digitalizację może być niższy, gdyż znacznie zmniejszy się ilość koniecznych do rejestracji i przetworzenia danych przestrzennych.

W przypadku publikacji w Internecie ważne jest zapewnienie dostępności i interaktywności modelu dla końcowych użytkowników. Równie istotne co wybór technologii pomiarowych jest uwzględnienie możliwości tworzenia wirtualnych prezentacji obiektu w projekcie digitali-

<sup>2</sup> Jakość przygotowywanego modelu przestrzennego powinna być dopasowana do poziomu odwzorowania geometrii w wybranej do danej realizacji technice druku trójwymiarowego (lub na przykład frezowania cyfrowego CNC, ang. *Computerized Numerical Control*), (przypis red.).

zacyjnym tak, aby móc opracować odpowiednią opowieść o obiekcie i w odpowiedni sposób ją udostępnić. Wybór technologii pomiarowej zależy więc w pierwszej kolejności od celu, który ma być osiągnięty poprzez digitalizację obiektu dziedzictwa kulturowego. Przy określaniu budżetu należy uwzględnić zarówno koszty użycia samej technologii (koszt sprzętu i stworzenia odpowiednich warunków pomiarowych), wykonania i opracowania wyników pomiarów, jak i związane z tym koszty szkolenia personelu (który będzie używał wytworzonych danych).

## Etap II

Drugim, a zarazem kluczowym etapem jest dokładna analiza obiektu.

Charakterystyka materiałowa, wielkość i liczba detali obiektu będą decydujące przy wyborze odpowiedniej technologii pomiarowej. Analiza powinna być przeprowadzona z należytą precyzją, aby dokładnie dobrać technologię i określić zakres niezbędnych prac.

W zależności od charakterystyki materiałowej obiektu, takiej jak tekstura, przezroczystość, porowatość czy refleksyjność, konieczne może być zastosowanie nie jednej, a kilku technologii pomiarowych w celu zakończenia z sukcesem całego procesu digitalizacyjnego.

Ważne jest także uwzględnienie wielkości i liczby detali obiektu. Obiekty o dużej liczbie detali, takie jak rzeźby czy ornamenty, będą wymagały technologii pomiarowej o wysokiej rozdzielczości, aby precyzyjnie odwzorować każdy detal. Natomiast obiekty wielkogabarytowe, np. budynki czy elementy architektoniczne, będą najczęściej mierzone przy użyciu technologii o nieco niższej rozdzielczości, ze względu na to, że i tak przy dużych mierzonych powierzchniach (obejmujących czasami setki metrów kwadratowych) liczba wytworzonych danych trójwymiarowych będzie bardzo duża, nawet przy znacznie mniejszej gęstości próbkowania. Duże obiekty, takie jak budynki czy pomieszczenia, będą wymagać skanowania laserowego (ToF, ang. *Time of Flight*), podczas gdy drobne elementy rzeźbiarskie bądź architektoniczne będą wymagały bardziej precyzyjnej technologii pomiarowej (np. skanowania z oświetleniem strukturalnym).

Niewłaściwe dobranie technologii pomiarowej może prowadzić do znaczącego wzrostu kosztów wykonania pomiarów lub nawet nieukończenia procesu pomiarowego ze względu na nadmierny poziom technicznego skomplikowania procesu. Jeśli technologia nie jest odpowiednio dostosowana do charakterystyki obiektu, może być trudno uzyskać dokładne i precyzyjne wyniki, co z kolei wpływa na jakość odwzorowania i zakres, w jakim będą mogły zostać wykorzystane wytworzone dane trójwymiarowe.

Przed wyborem technologii pomiarowej kluczowe znaczenie ma zatem dokładna analiza obiektu. Właściwe dobranie technologii pozwoli na

osiągnięcie optymalnej dla planowanego zakresu działań jakości wyników pomiarowych, minimalizując jednocześnie koszty i ryzyko błędów.

### **Etap III**

Trzeci etap polega na wykonaniu pomiarów trójwymiarowych na podstawie opracowanych założeń procesu digitalizacyjnego. Jest to etap, który wymaga precyzji i staranności, a także w wielu wypadkach udziału bardzo wysoko wykwalifikowanej kadry technicznej.

Na podstawie analizy obiektu oraz wybranych technologii pomiarowych, należy przystąpić do wykonania pomiarów (zebrania danych pomiarowych). W tym procesie ważne jest zachowanie odpowiednich procedur i metod pomiarowych, aby uzyskać wyniki optymalne dla wybranej metody pomiarowej.

Wykonanie pomiarów trójwymiarowych może obejmować różnorodne techniki i narzędzia, takie jak skanery laserowe (ToF), skanery światła strukturalnego, zestawy do rejestracji danych fotogrametrycznych czy inne specjalistyczne urządzenia. Ważne jest, żeby technologia była odpowiednio kalibrowana i skonfigurowana, a proces pomiaru prowadzony „zgodnie ze sztuką” i odpowiednio opisany w raporcie końcowym.

Podczas pomiarów trójwymiarowych należy zwrócić uwagę na aspekty takie jak odpowiednie warunki oświetleniowe, zapewnienie stabilnej pracy urządzeń, minimalizacja czynników zakłócających pomiar (np. drgania) czy dobór poprawnych ustawień parametrów sprzętu. Ważne jest również bezpieczeństwo dokumentowanego obiektu i zapobieganie jego ewentualnym uszkodzeniom<sup>3</sup>.

Wykonanie pomiarów trójwymiarowych z należytą starannością pozwoli na uzyskanie precyzyjnych danych dotyczących obiektu dziedzictwa kulturowego. Te dane mogą być następnie wykorzystane do stworzenia modeli cyfrowych, wirtualnych wycieczek, interaktywnych prezentacji czy innych form cyfrowej reprezentacji obiektu.

Ważne jest, aby na tym etapie zachować wysoką jakość pomiarów, ponieważ uzyskane wyniki będą stanowić podstawę dla dalszych działań związanych z digitalizacją i wykorzystaniem obiektu w środowisku cyfrowym.

### **Zestawienie celów, technologii oraz przykładowych algorytmów pomiarowych**

Jako podsumowanie pierwszego etapu opisywanego procesu digitalizacyjnego w poniższej tabeli zostały przedstawione proponowane technologie pomiarowe w zależności do celu, jaki chcemy osiągnąć:

3 Każdy projekt związany z wytworzeniem dokumentacji cyfrowej obiektów dziedzictwa kulturowego powinien być na etapie planowania konsultowany z odpowiedzialnym za dany zabytek konserwatorem dzieł sztuki. Niektóre działania będące normą w praktykach stosowanych w przemyśle mogą okazać się niedopuszczalne w odniesieniu do obiektu zabytkowego, (przypis red.).

Cel	Proponowane technologie pomiarowe
Dokumentacja wieczysta obiektu (dokumentacja, druk 3D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysokorozdzielcze skanery światła strukturalnego</li> <li>– skanery triangulacji laserowej</li> <li>– wysokorozdzielcza fotogrametria</li> <li>– wysokorozdzielcze skanery ręczne</li> <li>– skanery laserowe – TLS</li> </ul>
Badania naukowe, druk 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysokorozdzielcze skanery światła strukturalnego</li> <li>– skanery triangulacji laserowej</li> <li>– wysokorozdzielcza fotogrametria</li> <li>– wysokorozdzielcze skanery ręczne</li> <li>– skanery laserowe – TLS</li> </ul>
Dokumentacja wieczysta fragmentu obiektu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysokorozdzielcze skanery światła strukturalnego</li> <li>– skanery triangulacji laserowej</li> <li>– wysokorozdzielcza fotogrametria</li> </ul>
Prezentacja edukacyjna, edukacyjny druk 3D, wizualizacja webowa	<ul style="list-style-type: none"> <li>– skanery laserowe</li> <li>– ręczne skanery</li> <li>– fotogrametria</li> </ul>

Podsumowując drugi etap opisywanego procesu digitalizacyjnego, w poniższej tabeli zostały przedstawione proponowane technologie w zależności od właściwości fizycznych obiektu:

Rodzaj obiektu	Analizowany parametr	Proponowane technologie pomiarowe
Obiekty architektoniczne o dużych gabarytach, np. zamki, kościoły, budynki	wymiary obiektu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– skanery laserowe – TLS</li> <li>– fotogrametria naziemna</li> <li>– fotogrametria lotnicza</li> </ul>
Obiekty architektoniczne o średnich gabarytach, kapliczki, zespoły rzeźb	wymiary obiektu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– skanery laserowe – TLS</li> <li>– fotogrametria naziemna</li> <li>– fotogrametria lotnicza bliskiego zasięgu</li> </ul>
Tereny o dużych powierzchniach	wymiary obiektu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– skanery laserowe – TLS</li> <li>– fotogrametria lotnicza</li> </ul>

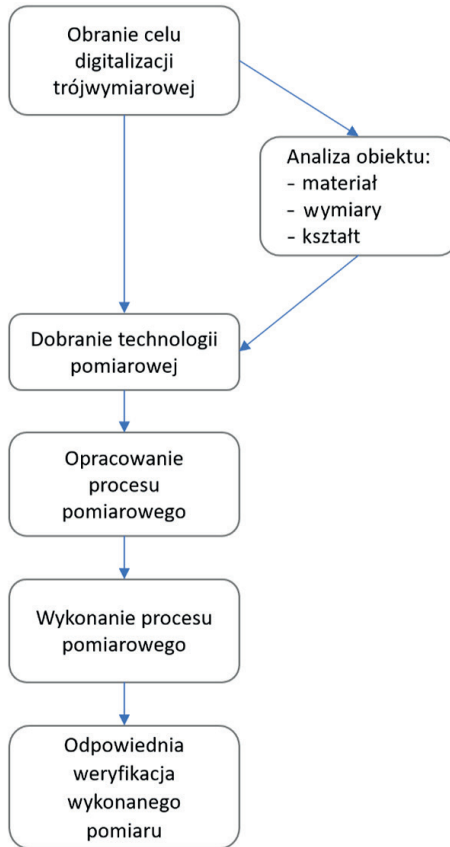
Rodzaj obiektu	Analizowany parametr	Proponowane technologie pomiarowe
Obiekty średnie: rzeźby wolnostojące, większe rzeźby – powyżej 2 m w którymś wymiarze	wymiary obiektu	– skanery laserowe – TLS – fotogrametria lotnicza bliskiego zasięgu – ręczne skanery – fotogrametria naziemna
Obiekty małe (rucho-me) – rzeźby o małych gabarytach	wymiary obiektu	– ręczne skanery – fotogrametria – skanery światła strukturalnego
Obiekty o dużym detalu	powierzchnia obiektu	– skanery światła strukturalnego – ręczne skanery – fotogrametria
Obiekty o jednolitej teksturze, powierzchnia chropowata	powierzchnia/materiał obiektu	– skanery światła strukturalnego – ręczne skanery – fotogrametria naziemna
Obiekty o jednolitej teksturze, połyskliwe <sup>4</sup>	powierzchnia/materiał obiektu	– skanery triangulacji laserowej – skanery światła strukturalnego – ręczne skanery – fotogrametria
Obiekty składające się z kilku obiektów/elementów charakteryzujących się różnymi materiałami	powierzchnia/materiał obiektu	– ręczne skanery – fotogrametria – skanery światła strukturalnego – skanery laserowe

W tabelach w wielu punktach technologie pomiarowe powtarzają się, wynika to głównie z faktu, iż zastosowanie, parametry, możliwości technologii w pewnym stopniu się pokrywają. Temat został uproszczony w celu przedstawienia różnych możliwości, a nie rozwiązywania szczegółowych zagadnień związanych z doбором technologii pomiarowych dla konkretnego obiektu. W większości przypadków to cel będzie nadrzędny przy doborze technologii w procesie digitalizacyjnym. Mogą się jednak pojawić przypadki, gdzie uzasadnione będzie odstępianie od tej zasady.

<sup>4</sup> Każdą metodą podaną w tabeli da się wykonać pomiar trójwymiarowy jednolitej/połyskliwej powierzchni, trzeba jednak odpowiednio zmodyfikować stanowisko pomiarowe/układ optyczny urządzenia. Na przykład dodać odpowiednią polaryzację światła oświetlającego i odbitego w celu redukcji odbłasków.



Schemat działania podczas pełnego procesu digitalizacyjnego powinien wyglądać następująco:



W zależności od celu mogą być potrzebne różne rodzaje dokumentacji trójwymiarowej. Należy przy tym pamiętać, że nawet wybór konkretnej techniki skanowania i urządzenia nie przesądza jeszcze o jakości generowanych danych pomiarowych. Większość metod pomiarowych zostawia możliwość regulacji parametrów pracy danego zestawu (w przypadku skanowania z oświetleniem strukturalnym jest to na przykład związane z założeniem na skaner innego zestawu optyki i przekalibrowaniem urządzenia do innej objętości pomiarowej).

### **Łączenie technologii pomiarowych w celu optymalizacji procesu digitalizacji**

W opisie drugiego etapu procesu digitalizacyjnego wspomniano o konieczności doboru odpowiedniej technologii pomiaru w zależności od gabarytów, materiału oraz ilości detalu. Warto dodać, że czasami w przypadku przygotowywania dokumentacji konkretnego obiektu należy rozważyć pomiar różnymi technologiami w celu optymalizacji procesu digitalizacyjnego oraz zapewnienia odpowiedniej jakości pomiaru.

Przykładem może być zabytkowa budowla o dużych gabarytach, która posiada także wiele małych płaskorzeźb o drobnych detalach. W zależności od celu pomiaru można zastosować technologię skanu laserowego do zinventaryzowania budowli jako całości, a wysokorozdzielcze pomiary fotogrametryczne skanerami światła strukturalnego lub laserowymi do dokładnego pomiaru płaskorzeźb. Kombinacja tych technik pozwoli uzyskać w wybranych miejscach zarówno wysoką jakość tekstury, jak i odwzorowania geometrii.

Innym przykładem może być rzeźba wykonana z monochromatycznej połyskliwej ceramiki, która może być trudna do pomiaru ze względu na brak punktów charakterystycznych, umożliwiających dokładną rekonstrukcję geometrii. W tym przypadku najlepiej zastosować aktywną technologię pomiarową, taką jak triangulacja laserowa, oraz techniki fotogrametryczne do opracowania tekstury.

Istnieje wiele innych przypadków, gdzie warto łączyć różne technologie pomiaru. Najczęściej dotyczy to dużych lub skomplikowanych obiektów, w których niektóre elementy mogą być mierzone z niższą rozdzielczością, podczas gdy inne wymagają wysokiej rozdzielczości w celu dokładnego odwzorowania drobnych detali.

Kombinacja różnych technik może być niezbędna w celu uzyskania pełnego i dokładnego wyniku skanowania obiektu.

### **Dokładność oraz jakość, zdefiniowany proces pomiarowy a opracowanie standardów wykonywania pomiarów trójwymiarowych**

Powszechnie uznaje się, że rozdzielczość chmury punktów oraz stworzonej na jej podstawie siatki trójkątów jest bardzo ważna. Im więcej punktów na 1 mm<sup>2</sup> lub cm<sup>2</sup> powierzchni, tym więcej informacji o geometrii obiektu zostanie zapisane w postaci cyfrowej. Nie jest to jednak jedyny parametr dający gwarancję dokładności oraz jakości wykonania pomiaru trójwymiarowego. Każdy pomiar przeprowadzony najdokładniejszym systemem pomiarowym może zostać zepsuty w taki sposób, że nie będzie nadawał się do dalszych prac. Dlatego rozdzielczość oraz parametry techniczne sprzętu nie powinny być jedynym kryterium w tworzeniu dokumentów przetargowych oraz przy odbiorach wykonanych prac. Równie ważnymi parametrami są:

- precyzyjne odwzorowanie skali obiektu,
- odwzorowanie wybranych najmniejszych detali na obiekcie (wskazanie, które detale muszą być widoczne na skanie); poprzez ten parametr można także zdefiniować odpowiednią rozdzielczość pomiaru,
- wymiary obiektu w charakterystycznych punktach geometrii (dzięki temu podczas procesu weryfikacyjnego można zweryfikować lokalne wymiary obiektu oraz jego części),

- stopień pokrycia pomiarem, wartość podana w procentach (ważne szczególnie w przypadku obiektów architektury),
- dla każdej metody oddzielnie powinno się wykonywać weryfikację urządzeń pomiarowych na metrycznych wzorcach.

Opracowanie standardów wykonywania digitalizacji trójwymiarowej dla obiektów dziedzictwa kulturowego jest niezwykle ważne w celu umożliwienia odpowiedniego tworzenia dokumentów przetargowych. Inaczej instytucjom będzie trudno przygotowywać projekty digitalizacyjne oraz uzyskiwać materiały o odpowiedniej jakości.

Wdrożenie jako standardu formułowania pełnego opisu procesu pomiarowego w trakcie podejmowania decyzji o wykonywaniu digitalizacji obiektu znacząco przyczyni się do optymalizacji procesu uzyskiwania materiałów trójwymiarowych oraz jak najlepszej jakości tych materiałów.

## JAN RUTKIEWICZ

<https://orcid.org/0009-0004-8757-146X>

Programista, specjalista ds. pomiarów trójwymiarowych w kilkudziesięciu projektach komercyjnych, a także badawczo-rozwojowych. Wieloletni pracownik pracowni pomiarów trójwymiarowych w Muzeum Króla Jana III w Wilanowie. Ekspert w wykonywaniu dokumentacji trójwymiarowej zarówno wewnątrz historycznych, jak i struktur przemysłowych, takich jak elektrownie, tartaki. Wykonuje pomiary 3D przy użyciu metod laserowych, jak też pomiary skanowania z oświetleniem strukturalnym oraz fotogrametrycznymi SfM. Programista automatycznego systemu do szpachlowania desek (na sprzęcie Mitsubishi).

Twórca aplikacji Webowej wykorzystywanej w kioskach multimedialnych w Muzeum Archidiecezji Warszawskiej. W latach 2016–2019 wykładowca na studiach podyplomowych „Akademia 3D” na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, gdzie uczył podstaw pomiarów i technik pomiarowych 3D.

Opracowanie wykonano w ramach prac własnych autora.

Kontakt: [kontakt@janrutkiewicz.pl](mailto:kontakt@janrutkiewicz.pl)

