
SKANOWANIE LASEROWE DREWNIANEGO KOŚCIOŁA PW. WNIEBOWZIĘCIA NMP I ŚW. MICHAŁA ARCHANIOŁA W HACZOWIE

WIERZEJSKA Anna ¹ MARKOWSKI Wojciech ²

¹ Anna Wierzejska, VR Heritage, Łódź
<https://orcid.org/0000-0002-2950-6780>

² Wojciech Markowski, VR Heritage, Łódź
<https://orcid.org/0000-0003-4827-2972>

ABSTRAKT: Stale postępujący, nieodwracalny proces niszczenia materialnego dziedzictwa kulturowego skłania nas do zadania pytania, co można zrobić, aby zmniejszyć konsekwencje jego skutków.

Katastrofy, takie jak niedawno zniszczona przez pożar katedra Notre-Dame, uświadamiają nam jak realne jest zagrożenie utratą.

Artykuł wskazuje na rolę zaawansowanej technologicznie dokumentacji opartej na metodzie skanowania laserowego i możliwości tworzenia wizualizacji tj. modeli 3D uzyskanych z przetworzonej chmury punktów.

Metoda laserowego skanowania 3D oferuje możliwość opracowania naukowych danych nie tylko dla społeczności naukowej, ale również tworzenia aplikacji, służących szerokiemu upowszechnianiu wiedzy o zabytkach. Wizualizacje uzyskane z chmury punktów można udostępniać odbiorcom na całym świecie za pomocą platform internetowych.

Zabytkiem wybranym do przeprowadzenia modelowego skanowania laserowego był średniowieczny, drewniany kościół pw. Wniebowzięcia NMP i św. Michała Archanioła w Haczowie. Świątynia znajduje się na Liście Światowego Dziedzictwa UNESCO, co potwierdza uznanie jej wartości w skali globalnej.

SŁOWA KLUCZE: skanowanie laserowe, wirtualna rzeczywistość, dziedzictwo kulturowe, dokumentacja 3D, skany

1. Wprowadzenie

Od zawsze, wszelkie wysiłki zebrane pod mianem ochrony zabytków mają na celu ich zachowanie dla przyszłych pokoleń. Tradycyjne techniki, nadal powszechnie stosowane dziś w konserwacji, opierają się zasadniczo na wykorzystaniu zdobyczy nauki oraz na stosowaniu metod dawnego rzemiosła. To tradycyjne podejście niesie ze sobą ograniczenia. Bez względu na to, jak dobrze chronimy nasze materialne dziedzictwo, wciąż tracimy obiekty zabytkowe, także te o dużym znaczeniu. Musimy zmierzyć się z faktem, że nie jesteśmy w stanie zachować materii zabytkowej w dzisiejszym stanie zachowania na zawsze.

Nagle straty obiektów światowego dziedzictwa kulturowego są szczególnie tragiczne i skłaniają nas do zadania sobie pytania, czy można zrobić coś więcej, aby zmniejszyć konsekwencje utraty oryginalnej materii zabytkowej.

W 1992 r. romański kościół klepkowy w Fantoft w Norwegii został całkowicie zniszczony przez pożar w ciągu kilku godzin. Freski Giotta w Asyżu zostały poważnie uszkodzone podczas trzęsienia ziemi w 1997 roku. Setki starożytnych świątyń zostało zniszczonych podczas trzęsienia ziemi w Bagan w 2016 roku. Niedawno Notre-Dame pojawiła się na pierwszych stronach gazet, kiedy została częściowo zniszczona przez pożar. W Polsce, w ostatnich latach spłonęły bezcenne, drewniane kościoły w Libuszy¹ i Mileszkach². Tego typu katastrofy wstrząsają globalną opinią społeczną i narażają nas na bezpowrotną utratę obiektów dziedzictwa kulturowego.

Kluczowym elementem minimalizacji konsekwencji takich katastrofalnych strat jest odpowiednia dokumentacja³. Tradycyjne metody dokumentacji, takie jak rysunki i fotografie, mają jednak wiele wad prowadzących do powstania niedokładności i zniekształceń w dokumentacji. Zwykle są bardzo czasochłonne oraz podatne na błędy ludzkie⁴. Pojawienie się technologii cyfrowych, otworzyło nowe możliwości dla ochrony zabytków⁵. Jednym z nowych, dostępnych nam narzędzi cyfrowych jest skanowanie laserowe 3D. Dostarczając realistycznych, cyfrowych modeli 3D zeskanowanych zabytków, metoda ta daje nam narzędzia i tworzy szansę na utrzymanie naszego dziedzictwa w formie niezwiązanej z ograniczeniami świata materialnego, w „świecie wirtualnym”.

¹ <https://dzieje.pl/dziedzictwo-kulturowe/jest-opinia-bieglego-ws-pozaru-zabytkowego-kosciola-w-libuszy>, (dostęp 29.10.2020).

² <https://dzienniklodzki.pl/pozar-drewnianego-kosciola-w-mileszkach-splonal-zabytkowy-kosciol-zdjecia-film/ar/6517598>, (dostęp 29.10.2020).

³ <https://www.theartnewspaper.com/news/interpreting-a-laser-scan-that-may-one-day-aid-notre-dame-s-restorers>, (dostęp 20.10.2020).

⁴ Drobek K., Szostak B., Królikowski W., *Metody inwentaryzacji obiektów w stanie ruiny, Stocktaking methods of facilities in a state of ruin*, [w:] Budownictwo i Architektura, Lublin 2018, ss. 76, 78, 84.

⁵ Prarat, M., Schaaf U., *Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zabytków architektury drewnianej w procesie konserwatorskim – problemy i propozycja standaryzacji*, [w:] Budownictwo i Architektura, Lublin 2015, ss. 100-108.

2. Inne przykłady skanowania 3D w Polsce

Skaner laserowy 3D w ochronie zabytków na terenie Polski pojawił się na początku XXI wieku, a jednymi z najwcześniej zinwentaryzowanych z użyciem tego narzędzia obiektów były: drewniany kościół św. Michała Archanioła w Michalicach i Kaplica Zygmuntowska na Wawelu⁶. W kolejnych latach, metoda dokumentowania architektury zabytkowej z zastosowaniem skanowania laserowego 3D była rozwijana w Pracowni Badań Interdyscyplinarnych, gdzie skupiono się głównie na badaniach pałacu króla Jana III w Wilanowie⁷.

Pilną potrzebę przeprowadzania coraz większej liczby skanowań laserowych zabytków oraz pojawiającej się dzięki temu możliwości tworzenia dla nich nowoczesnej dokumentacji, dostrzegł w ostatnim czasie także Narodowy Instytut Dziedzictwa⁸. Instytucja ta realizuje zapisy “Programu digitalizacji dóbr kultury oraz gromadzenia i udostępniania obiektów cyfrowych w Polsce 2009-2020” oraz pełni funkcję Centrum Kompetencji w obszarze digitalizacji zabytków.

Chmury punktów oraz modele 3D zabytków są publikowane na platformie zarządzanej przez tę instytucję. Obrazy ich reprezentacji 3D są publikowane online na platformie zabytek.pl⁹. Skanowanie laserowe jest przeprowadzane sukcesywnie dla coraz większej liczby chronionych budynków i miejsc. Jednym z ostatnio wykonanych skanowań niezwykle cennego i zagrożonego obiektu było zlecone przez NID i przeprowadzone w sierpniu 2020 roku skanowanie laserowe 3D drewnianego kościoła w Obórkach. Dzięki temu, dane cyfrowe opisujące trójwymiarową przestrzeń kościoła, zostaną zarchiwizowane i staną się podstawą dla nowoczesnej dokumentacji obiektu. Narodowy Instytut Dziedzictwa opracował i opublikował też zalecenia dotyczące inwentaryzacji architektonicznych wykonywanych metodami cyfrowymi m. in. skaningu laserowego¹⁰.

Skanowanie laserowe 3D zabytków ma wiele przydatnych zastosowań. Tworzenie obiektywnej, dokładnej i do tego, nie jak dotąd dwuwymiarowej, ale trójwymiarowej dokumentacji jest bezcenne dla prowadzenia badań naukowych. Dzięki technologii skanowania laserowego można nie tylko badać wybraną fazę historii budynku, ale także z łatwością śledzić kolejne etapy zmian dokonujących się w przeszłości. Skanowanie laserowe 3D oferuje możliwość tworzenia aplikacji zawierających aktualny stan wiedzy o zabytku nie tylko dla społeczności naukowej, ale również w sposób egalitarny, zrozumiały powszechnie i to nawet w skali światowej. Wizualizacje uzyskane dzięki całkowicie obiektywnej informacji opartej na chmurze punktów i opracowane ze znajomością aktualnej wiedzy naukowej o przedstawianym zabytku, można udostępniać

⁶ Mitka B., *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17b, 2007.

⁷ Gołębniak A., *Rola nowych technik dokumentacyjno - pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo - konserwatorskich*, Wiadomości Konserwatorskie nr 40, 2014, s. 83.

⁸ https://nid.pl/pl/Informacje_ogolne/Aktualnosci/news.php?ID=3790, (dostęp 13.10.2020).

⁹ <https://zabytek.pl/pl/obiekty?media=cumulus>, (dostęp 13.10.2020).

¹⁰ https://www.nid.pl/pl/Informacje_ogolne/Digitalizacja_zabytkow/ZALECENIA%20DIGITALIZACYJNE/, (dostęp 13.10.2020).

odbiorcom na całym świecie za pomocą platform internetowych¹¹. Opracowania oparte na danych uzyskanych ze skanera laserowego wpisują się idealnie w cele szeroko pojętej ochrony zabytków, rjak również w cele edukacyjne¹². Niezależnie od znajomości języka czy posiadanej wiedzy, odbiorcy mogą w ciekawy, nowoczesny sposób poznawać wspólne kulturowe dziedzictwo z dowolnego miejsca na świecie. Wreszcie, skanowanie zabytkowej architektury może odegrać znaczącą rolę w odbudowie, jeśli budynek zostanie zniszczony. Skany 3D zabytkowych budynków są nieocenioną pomocą dla architektów i konserwatorów pracujących przy rekonstrukcjach.



Ryc. 1 Skanowanie laserowe obiektu (fot. Wojciech Markowski)

3. Skaner laserowy 3D i jego zalety

Mówiąc prosto, laserowe skanowanie 3D architektury oznacza określanie lokalizacji milionów punktów na powierzchni budynku z milimetrową dokładnością i z odległości nawet kilkuset metrów. Precyzyjnie zmierzone trójwymiarowe skany zapewniają w pełni obiektywną reprezentację budynku w momencie skanowania. Tak szczegółowo wykonane pomiary stanowią niezwykle solidną, łatwą do archiwizacji oraz udostępniania bazę danych o wyglądzie i stanie zachowania budynku.

Istnieje wiele powodów, dla których skanowanie 3D powinno stać się powszechnie stosowaną metodą służącą dokumentowaniu w ochronie zabytków. Po pierwsze, nie stwarza żadnego ryzyka dla skanowanych obiektów. Skanery 3D wyglądają jak kamery na statywie, a sprzęt nigdy

¹¹ <https://zabytek.pl/pl/obiekty?media=cumulus>, (dostęp 25.12.2019).

<https://sketchfab.com/store/3d-models/cultural-heritage-history?ref=header>, (dostęp 25.12.2019).

¹² Petty G., *Teaching Today. A practical guide*, Cheltenham 2009, s. 178.

nie dotyka obiektu ani nie emituje szkodliwego promieniowania. Technika ta zasługuje na miano w pełni nieinwazyjnej metody badania zabytkowych budynków. Po drugie, skanowanie 3D oferuje niezwykle dokładne odwzorowanie obiektu. Obiektownie dokumentuje wszelkie celowe oraz niezamierzone nieprawidłowości i deformacje powstałe w trakcie budowy czy użytkowania. Ponadto skanery 3D są w stanie dokumentować kolory i tekstury skanowanych powierzchni, co czyni je przydatnymi także w przypadku występowania warstw malarskich. Podczas skanowania laserowego budynku, zbierane są jednocześnie dane odnoszące się do otaczającej go przestrzeni. Wreszcie, metoda ta jest niezwykle szybka i wydajna, szczególnie w porównaniu z tradycyjnymi metodami pomiaru i tworzenia dokumentacji. Wykonanie modelu 3D budynku, bez skanowania laserowego, a tylko na podstawie zdjęć i tradycyjnych pomiarów, również wiąże się z olbrzymim nakładem czasu i pracy. Natomiast czas potrzebny na uzyskanie chmury punktów nawet bardzo skomplikowanego budynku to tylko kilka dni lub nawet kilka godzin, w zależności od przyjętej metody pracy. W przypadku prostych i małych budynków skanowanie laserowe zwykle zajmuje jeden dzień. Po zakończeniu skanowania laserowego 3D można z zebranych danych łatwo utworzyć dowolną liczbę potrzebnych rzutów poziomych i przekrojów. Trwale zarchiwizowane skany 3D stają się najlepszą dokumentacją zabytku, którą możemy dziś stworzyć.

4. Laserowe skanowanie 3D średniowiecznego drewnianego kościoła w Haczowie oraz wnioski wyciągnięte z tego procesu

Kościół w Haczowie - wybór obiektu

Drewniany kościół w Haczowie jest jednym z najstarszych i największych drewnianych gotyckich kościołów zbudowanych przy użyciu konstrukcji zrębowej w Europie. Świątynia wyróżnia się monumentalną bryłą, wybitną jakością rozwiązań konstrukcyjnych i charakterystyczną formą architektoniczną¹³. Drewniany kościół Wniebowzięcia Matki Bożej i Św. Michała Archanioła w Haczowie, wzniesiony na początku drugiej połowy XV wieku, jest jednym z najcenniejszych drewnianych zabytków architektury w Polsce.

Niepowtarzalna skala świątyni, wysoka jakość materiałów budowlanych oraz niezwykle wysoki poziom zastosowanych rozwiązań technicznych i architektonicznych sugerują, że mógł zostać zamówiony przez króla Kazimierza Jagiellończyka i wykonany przez profesjonalny, wysoce wyspecjalizowany warsztat budowlany. Figuralna dekoracja malarska odkryta w kościele jest obecnie największą kolekcją gotyckich malowideł ściennych z XV wieku w Polsce. Wszystko to stawia haczowską świątynię w gronie najcenniejszych budowli sakralnych nie tylko w Polsce, ale także w Europie¹⁴. Dodanie kościoła do Listy Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Naturalnego UNESCO (jako jeden z sześciu drewnianych kościołów w południowej Małopolsce) potwierdziło jego uznanie w skali globalnej.

¹³ <https://zabytek.pl/en/obiekty/haczow-kosciol-parafialny-pw-wniebowziecia-nmp-i-sw-michala-ar>, (dostęp 25.12.2019).

¹⁴ Łopatkiewicz, P., *Drewniany kościół w Haczowie*, Kraków 2015.

Świątynia była wnikliwie badana od dziesięcioleci. Do badania kościoła wykorzystano różne metody naukowe, w tym początkowo pomiary i rysunki odręczne, następnie fotografię, dendrochronologię i inne. Dopiero w 2018 roku przeprowadzono laserowe skanowanie 3D tego zabytku. Cyfrowe obrazy, uzyskane w wyniku skanowania laserowego świątyni, zostały opublikowane po raz pierwszy w tym artykule. Dalsze opracowanie zebranych danych pozwoli na opracowanie szczegółowej dokumentacji umożliwiającej ocenę stanu zachowania konstrukcji oraz malowideł. Autorzy niniejszego artykułu zabiegają aktualnie o uzyskanie finansowania na kontynuację badań nad obiektem, m. in. planują porównanie obrazów ze skanera z dokumentacją fotograficzną wykonaną podczas przeprowadzonych w przeszłości zabiegów konserwatorskich i wychwycenie ewentualnych zmian w stanie zachowania obiektu. W planach zespołu jest także opublikowanie wizualizacji dokumentujących ten zabytek oraz zapewnienie szerokiego dostępu on-line do tych materiałów.

Warto również nadmienić, że technika skanowania laserowego w sposób doskonały archiwizuje dane pomiarowe obiektu oraz badane powierzchnie w zakresie ich tekstur oraz kolorów. Wraz z innymi badaniami, wobec których jest komplementarna, powinna być standardem nowoczesnej archiwizacji w ochronie zabytków.

Opis kościoła

Kościół znajduje się w historycznym centrum wsi Haczów i stoi na zachodnim brzegu Wisłoka.



Ryc. 2 Chmura punktów z teksturą, przedstawiająca kościół od strony północnego zachodu (fot. Wojciech Markowski)

Świątynia w Haczowie została zbudowana na początku drugiej połowy XV wieku, nie wcześniej niż w 1459 roku¹⁵. Tak precyzyjne datowanie obiektu umożliwiła analiza dendrochronologiczna przeprowadzona w 1998 roku¹⁶.

Budynek kościoła składa się z prezbiterium ustawionego na prostokątnym planie podłogi, zakończonego trójbocznie od wschodu, z zakrystią od północy oraz szerszej nawy, wzniesionej na planie zbliżonym do kwadratu. XVIII-wieczna kaplica Matki Bożej Bolesnej, wzniesiona na planie prostokąta oraz skarbiec położony między zakrystią a wspomnianą wyżej kaplicą, przylegają do nawy również od północy. Wieża, wzniesiona na planie kwadratu, przylega do nawy od zachodu. Kościół i izbicową wieżę - dzwonnice otaczają wielokrotnie przebudowywane podcienia z XVII wieku. Ściany nawy, prezbiterium oraz częściowo strop ozdobione są gotyckimi figuralnymi i figuralno-ornamentalnymi malowidłami z 1494 r., które stanowią o niebywałej klasie obiektu i były istotnym czynnikiem decydującym o wpisie kościoła na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. Północna ściana prezbiterium przedstawia cykl Pasji Chrystusa, skomponowany w układzie strefowym, natomiast ściana południowa zawiera między innymi sceny męczeństwa św. Stanisława, koronację Marii (Ryc. 3) i wizerunek św. Michała Archanioła.



Ryc. 3 Koronacja Marii. Fragment gotyckiego malowidła ściennego (zdjęcie wykonane skanerem, fot. Wojciech Markowski)

¹⁵ Łopatkiewicz P., *Drewniany kościół w Haczowie*, Kraków 2015, s. 20.

¹⁶ Krapiec M., *Dendrochronologia. Kalendarz dziejów*, [w:] Ochrona środowiska, turystyka i dziedzictwo kulturowe Pogórza Dynowskiego. Materiały V Konferencji Naukowo - Technicznej "Błękitny San", Jabłonka 24 - 25 kwietnia 2008, Rzeszów 2008, ss. 116-117.

Nawa zawiera przedstawienia świętych i sceny z Księgi Rodzaju. Na stropie prezbiterium i częściowo na ścianach nawy znajduje się XIX-wieczna iluzjonistyczno-ornamentalna polichromia. W kościele eksponowane są liczne elementy wyposażenia historycznego, między innymi rzeźba Matki Bożej z Dzieciątkiem z około połowy XVI stulecia¹⁷, kamienna chrzcielnica z drewnianą barokową pokrywą z XVI wieku i ołtarz Chrystusa Miłosiernego z końca XVII wieku¹⁸.

Część zabytkowego wyposażenia została przeniesiona do nowego kościoła wzniesionego nieopodal, są to m.in. rzeźba Piety z początku XV w. oraz krucyfiks z tęczy kościoła ze schyłku XVII w. W kościele drewnianym, w barokowej nastawie ołtarza Matki Bożej Bolesnej, znajduje się obecnie kopia średniowiecznej Piety¹⁹.

Historia zmian architektonicznych kościoła

W chwili powstania kościoła składał się z dwóch podstawowych członów architektonicznych: prostokątnego prezbiterium zamkniętego od wschodu trójstronną apsydą oraz nawy, szerszej od prezbiterium, zbudowanej na planie kwadratu. Zakrystia, przylegająca do prezbiterium od północy, również należy do pierwotnego programu architektonicznego. Wieża została dodana do zachodniej fasady kościoła w XVII wieku. Na początku swojego istnienia, prawdopodobnie do XVI wieku, ściany zewnętrzne kościoła i dachy nie były pokryte drogimi gontami. Można założyć, że początkowo pokryciem dachu była słoma.

Najważniejszymi zmianami w sylwecie świątyni haczowskiej były następujące etapy: dodanie dzwonnicy do fasady zachodniej, budowa podcienia wokół budynku i wprowadzenie wieżyczki sygnaturki w kalenicy dachu. Podcienia, tzw soboty, z pewnością przekształcano co najmniej trzykrotnie. Przy budowie najstarszego systemu podcieni, nie było jeszcze kaplicy ani skarbcza. Dodanie tych elementów w drugiej połowie XVIII wieku i powiększenie zakrystii w drugiej połowie XIX wieku zmuszało do przeprowadzania kolejnych zmian w konstrukcji podcieni okalających całość budynku.

Dalsze prace budowlane zmieniające wygląd świątyni miały miejsce w XVIII wieku. W ścianach apsydy wycięto dwa nowe okna i trzecie w południowej ścianie nawy, doświetlające chór muzyczny. W drugiej połowie XVIII wieku do nawy od północy dodano kaplicę Matki Bożej Bolesnej oraz skarbiec. Zmiany dokonane w XVIII wieku spowodowały nieodwracalne zniszczenie fragmentów malarstwa gotyckiego we wnętrzu. Punktem kulminacyjnym przeprowadzonych w tym czasie remontów było pobielenie wnętrza świątyni. Zabieg ten spowodował ukrycie średniowiecznych polichromii pod warstwą pobiałą na około 150 lat.

W XIX wieku miało miejsce kolejne powiększenie zakrystii i wprowadzenie nowego dwuskrzydłowego wejścia z prezbiterium. W tym czasie średniowieczny strop zastąpiono nowym i wykonano na nim iluzjonistyczno-ornamentalną polichromię.

¹⁷ Łopatkiewicz P., *Drewniany kościół w Haczowie*, Kraków 2015, s. 120.

¹⁸ <https://zabytek.pl/en/obiekty/haczow-kosciol-parafialny-pw-wniebowzicia-nmp-i-sw-michala-ar>, (dostęp 25.12.2019).

¹⁹ Łopatkiewicz P., *Drewniany kościół w Haczowie*, Kraków 2015, s. 121.

Wybór skanera o odpowiednich parametrach

Do przeprowadzenia skanowania kościoła w Haczowie wybraliśmy skaner laserowy Faro Focus 350 ze względu na jego doskonałą specyfikację techniczną²⁰. Zastosowanie tego nowoczesnego narzędzia, gwarantowało uchwycenie chmury punktów oraz tekstur, co pozwoliło nam stworzyć wysokiej jakości trójwymiarowy model budynku.

Proces skanowania laserowego

Skanowanie laserowe umożliwia szybkie rejestrowanie prostych i dokładnych pomiarów złożonych obiektów i budynków. Wbudowana kamera HDR rejestruje szczegółowe detale w postaci zdjęć, zapewniając jednocześnie przeniesienia naturalnej, kolorowej tekstury powierzchni do skanowanych danych.

Kościół został zeskanowany 31.07.2018 r.. Budynek kościoła (wraz z jego bezpośrednim otoczeniem) i większość jego wnętrza zostały zeskanowane w ciągu zaledwie 6 godzin pracy w pochmurny i nieco deszczowy dzień. Użyliśmy statywu, skanera laserowego Faro Focus 350, dysków twardej i wydajnego komputera. Proces skanowania można przeprowadzać nawet w ekstremalnych warunkach pogodowych.

Aby właściwie uchwycić cały obszar i sam kościół, zeskanowaliśmy budynek z wielu punktów widzenia. Aby uzyskać optymalne wyniki, wybraliśmy 45 punktów ustawienia skanera wokół budynku oraz we wnętrzu kościoła. Pozostawialiśmy skaner w każdej lokalizacji na około 8 minut pracy. Czas skanowania zależy od wybranej dokładności i liczby szczegółów, które programuje się w ustawieniach urządzenia. Zdecydowaliśmy się na precyzyjny, ale jednocześnie szybki proces skanowania. Na podstawie pomiarów laserowych i zdjęć udało nam się stworzyć szczegółowy model kościoła wraz z teksturami skanowanych powierzchni. Po zakończeniu procesu skanowania, dane zostały zarchiwizowane na dyskach twardej. Następnie został

²⁰ Specyfikacja skanera Faro Focus 350 i specyfikacja procesu skanowania - dane zaczerpnięte ze strony internetowej Faro <https://www.faro.com/> informacja z dnia 2019-12-25:

Zasięg Focus 350 wynosi 350 m z wykorzystaniem zaawansowanych technologicznie czujników.

High Dynamic Range (HDR) - robienie zdjęć 2x/3x/5x

Szybkość pomiaru do 976 000 punktów na sekundę / do 2 milionów punktów na sekundę

Błąd zakresu: ± 1mm

Szczelna konstrukcja Klasa szczelności (IP) Klasa 54 zabezpieczyła przed wpływami środowiska zewnętrznego, umożliwiając skanowanie w trudnych warunkach atmosferycznych i przy wysokiej temperaturze.

Możliwe było ponowne skanowania odległych elementów w wyższej rozdzielczości oraz łączenie skanów na miejscu wykonywanego pomiaru.

Przetwarzanie i rejestracja skanowania możliwa jest w czasie rzeczywistym zapewniając wydajność i oszczędność czasu.

Dokładność kątowa wynosi 19 sekund kątowych dla kątów pionowych / poziomych.

Wbudowana kamera rejestrująca do 165 mln. pikseli

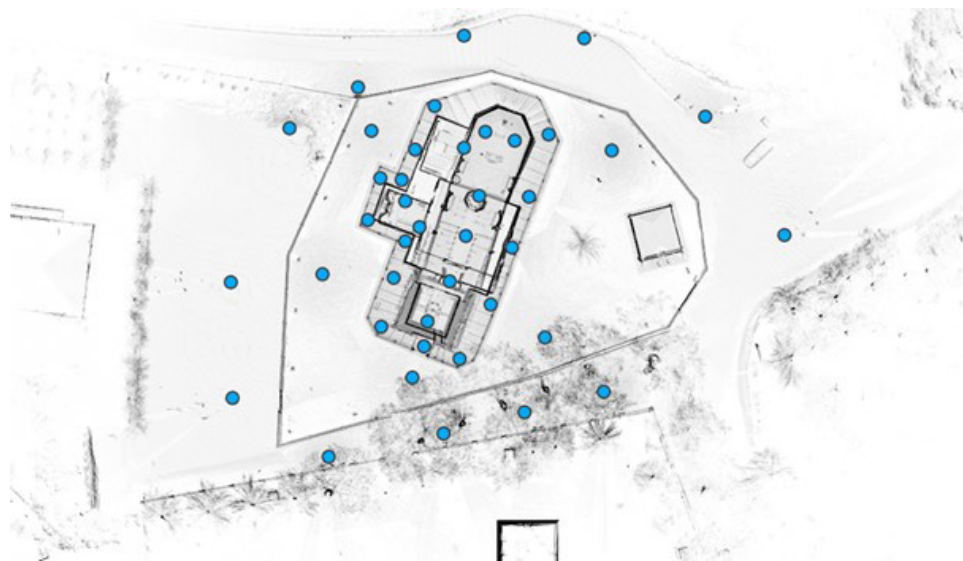
Waga 4,2kg, wymiary: 230 mm x 183mm x 103 mm

Klasa lasera 1

Multi-Sensor GPS, kompas, czujnik wysokości, kompensator dwuosiowy

Sterowanie skanerem za pomocą ekranu dotykowego i sieci WLAN.

wykonany model 3D całego obszaru. Za pomocą dedykowanego oprogramowania, 45 skanów z poszczególnych lokalizacji skanera zostało zaimportowanych, przetworzonych i zarejestrowanych. W wyniku tych procesów wszystkie skany zostały połączone w jedną poglądową mapę 3D i cały teren został wygenerowany komputerowo. Co ciekawe, można było zobaczyć model komputerowy jeszcze będąc na miejscu, co pozwoliło nam ustalić, czy konieczne będzie dodatkowe skanowanie. Mogliśmy zatem zobaczyć pierwsze wyniki procesu skanowania już w kilkadziesiąt minut po jego zakończeniu, będąc nadal przy obiekcie. Wykonanie szczegółowego modelu 3D i ukończenie projektu skanowania zajęło nam 6 godzin. Po wygenerowaniu wyników skanowania możemy z łatwością udostępniać skany za pośrednictwem chmury internetowej w czasie rzeczywistym. Możliwe jest natychmiastowe wysyłanie wstępnych wyników skanowania, gdy wciąż znajdujemy się na miejscu. Dane z chmury punktów zarejestrowane za pomocą skanerów laserowych mogą być używane z różnymi pakietami oprogramowania.



Ryc. 4 Widok kościoła z góry. Miejsca lokalizacji skanera zaznaczone na niebiesko. (oznaczenie punktów lokalizacji skanera oraz fot. Wojciech Markowski)

Skanowanie laserowe kilku części kościoła, w tym wnętrza wieży i oryginalnej więźby dachowej, przełożono w czasie i zostanie ono przeprowadzone w kolejnym etapie badań.

Niektóre lokalizacje skanera wymagały użycia znacznika. W takich przypadkach umieściliśmy białą kulkę o średnicy kilku centymetrów w polu skanowania. Kula służyła jako punkt odniesienia, w celu ułatwienia pracy na późniejszym etapie przetwarzania danych.



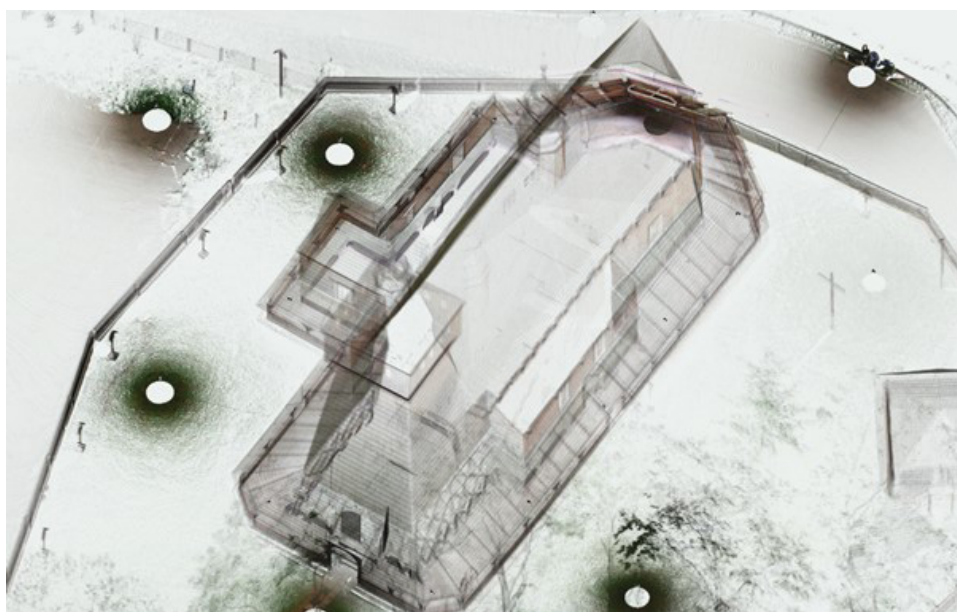
Ryc. 5 Znacznik ustawiony na granicy dwóch skanowanych laserowo pomieszczeń w drzwiach prowadzących z wieży do nawy (fot. Wojciech Markowski)

Wyniki skanowania laserowego haczowskiego kościoła

Podczas tworzenia dokumentacji za pomocą skanera laserowego, najprostszym oraz w pełni obiektywnym sposobem udostępniania wyników jest wygenerowanie obrazów za pomocą odpowiednio dobranego oprogramowania wprost z zebranych przez laser danych. W wyniku dalszego przetwarzania chmury punktów, można wygenerować potrzebne obrazy dokumentujące wygląd budynku z dowolnie wybranej strony. W formie takich właśnie wizualizacji prezentujemy wyniki naszego projektu. Unikanie opisów zawierających specjalistyczne słownictwo pozwala na dzielenie się wynikami w bardzo demokratyczny i przystępny sposób, publikując je w formie obrazu zrozumiałego dla szerokiej, wielojęzycznej publiczności .



Ryc. 6 Chmura punktów z teksturą. Widok z góry, przedstawiający przykrycie dachowe kościoła. (fot. Wojciech Markowski)



Ryc. 7 Wizualizacja kościoła od południowego zachodu. Skanowanie laserowe sprawia, że obrazy ścian wydają się przezroczyste. Taki rodzaj przedstawienia budynku umożliwia łatwe zrozumienie jego konstrukcji i struktury. Ponieważ skan jest zbiorem punktów danych, dostępne są różne rodzaje przezroczystości. (fot. Wojciech Markowski)



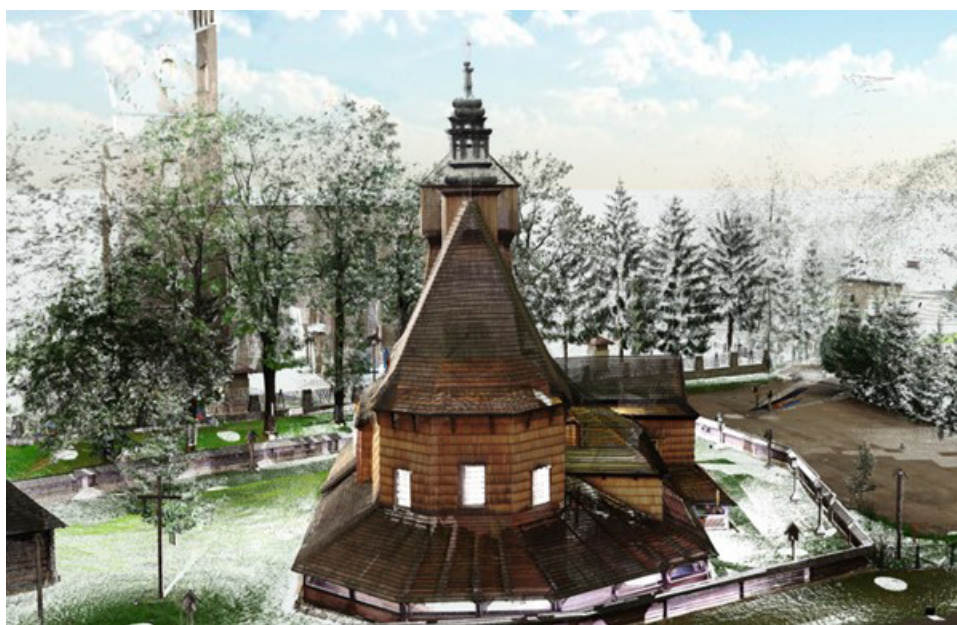
Ryc. 8 Wizualizacja północnej fasady kościoła (fot. Wojciech Markowski)



Ryc. 9 Wizualizacja południowej fasady kościoła (fot. Wojciech Markowski)



Ryc. 10 Wizualizacja zachodniej fasady kościoła (fot. Wojciech Markowski)



Ryc. 11 Wizualizacja kościoła od strony wschodniej. Widok na prezbiterium (fot. Wojciech Markowski)

5. Możliwości oferowane przez skanowanie laserowe 3D podczas tworzenia programów konserwatorskich, wykonywania dokumentacji i prezentacji architektury zabytkowej w wirtualnej rzeczywistości

Wizualizacja, tj. model 3D uzyskany po przetworzeniu chmury punktów, może wspierać badania naukowe obiektów zabytkowych, a jednocześnie ułatwiać intuicyjną dostępność i zaangażowanie odbiorców niebędących ekspertami w sposób, w jaki tekst pisany lub fotografia nigdy nie byłyby w stanie zapewnić.

Skanowanie laserowe 3D oferuje wiele możliwości wykorzystania pozyskanych danych w szeroko pojętej ochronie zabytków. Należą do nich między innymi inwentaryzowanie, dokumentowanie i monitorowanie stanu zachowania obiektów, projektowanie, badania konserwatorskie i architektoniczne, rekonstrukcje. Nie mniej ważną grupą zastosowań jest nowoczesna edukacja i promocja, gdzie wizualizacje zabytkowej architektury w wirtualnej rzeczywistości²¹ służą upowszechnianiu wiedzy o zabytkach, co w szczególności, aktywny sposób przyczynia się do ich ochrony.



Ryc. 12 Podgląd VR 360 stopni (fot. Wojciech Markowski)

Laserowe urządzenia skanujące oferują możliwość tworzenia szczegółowej dokumentacji 3D historycznej architektury (w tym ruin) oraz stanowisk archeologicznych. Dzięki integracji danych otrzymanych ze skanera z teksturą i kolorem dostarczonym przez aparat, można stworzyć fotorealistyczną reprezentację obiektów w czasie rzeczywistym. Kilka przykładowych zastosowań skanów 3D wymieniono poniżej:

²¹ Derwisz J., (2013). *Współczesne technologie multimedialne w wirtualnej rekonstrukcji oraz prezentacji historycznych obiektów architektonicznych*, *Modern multimedia technologies in virtual reconstruction and presentation of historic architecture*, *Wiadomości Konserwatorskie, Journal of Heritage Conservation*, 2013, ss. 82-91.

- Badania konserwatorskie: pozyskane, szczegółowe dane 3D umożliwiają naukową analizę budynku oraz zaplanowanie rekonstrukcji zniszczonych lub przebudowanych zabytkowych obiektów.
- Konserwacja i inwentaryzacja: dane ze skanera umożliwiają wykonanie bardzo precyzyjnej dokumentacji CAD 3D dla celów konserwatorskich, inwentaryzacyjnych oraz dla archiwizacji.
- Rekonstrukcje: możliwe jest tworzenie modeli 3D dla programów konserwatorskich, w tym także do celów projektowych. Możliwość zapoznania się z trójwymiarowym obrazem zrekonstruowanego cyfrowo budynku już na etapie planowania, ułatwia prawidłową ocenę skutków planowanej rekonstrukcji.

6. Podsumowanie i plany wykorzystania danych uzyskanych w wyniku skanowania

Wykonane skanowanie nie zostało do tej pory wykorzystane w zamierzony sposób, ze względu na brak środków finansowych na realizację kolejnego etapu projektu. Dalsze prace zespołu VR Heritage, uzależnione są od uzyskania środków finansowych na opracowanie danych oraz upowszechnienie opracowań za pomocą internetu. Planowane jest uzyskanie wyników możliwych do wykorzystania zarówno w pracy badawczej jak i w szeroko pojętej, nowoczesnej edukacji oraz promocji zabytków.

Dzięki nowatorskiemu, interdyscyplinarnemu podejściu, które będzie polegało na współpracy konserwatora z zespołem programistów, grafików komputerowych oraz specjalistów animacji komputerowej, pozyskany materiał zostanie wykorzystany do stworzenia zaawansowanych technologicznie obrazów dokumentowanego kościoła.

Zastosowane zostaną technologie rzeczywistości rozszerzonej (AR, Augmented Reality) i rzeczywistości wirtualnej (VR, Virtual Reality). Dzięki uzyskanym panoramicznym fotografiom 360 stopni istnieje możliwość opublikowania, na dedykowanej haczowskiemu kościołowi stronie internetowej, wirtualnego spaceru wokół i wewnątrz kościoła, podobnie jak w aplikacji Google Maps.

Zastosowanie wymienionych technologii umożliwi także oglądanie dokładnego obrazu powierzchni drewnianej konstrukcji oraz malowideł z dowolnie wybranej odległości. Otwiera to zupełnie nowe, nieznanne dotąd możliwości analizowania i monitorowania stanu zachowania zabytku.

Zespół planuje wykonanie następujących opracowań dla kościoła w Haczowie:

1. Aplikacja mobilna poszerzonej rzeczywistości - Augmented Reality – „Model kościoła w twoim smartfonie”.
2. Aplikacja wirtualnej rzeczywistości - Virtual Reality – „Rekonstrukcja historyczna”.
3. Strona internetowa – „Wirtualny spacer i cyfrowe zwiedzanie kościoła”.

Ad1. Aplikacja na urządzenia mobilne (oparta na systemach operacyjnych Ios i Android) wykorzystująca kamerę w smartfonie lub tablecie, ukazująca interaktywny model kościoła w technologii poszerzonej rzeczywistości.

Po uruchomieniu aplikacji i wykryciu terenu przez wewnętrzną kamerę, użytkownik będzie w stanie „umieścić” model kościoła w dowolnym miejscu obrazu na ekranie swojego urządzenia mobilnego. Możliwe będzie powiększanie i zmniejszanie modelu oraz uzyskiwanie szczegółowych informacji o wybranych elementach modelu kościoła. Wybór dokonywany będzie za pomocą dotknięcia ekranu dotykowego urządzenia, co spowoduje podświetlenie wybranego fragmentu zabytku. W ten sposób użytkownik uzyska dostęp do informacji o interesującym go fragmencie świątyni. Aplikacja ta może służyć do celów edukacyjnych oraz promocyjnych obiektu.

Ad2. Aplikacja na urządzenia typu gogle Virtual Reality pozwoli na swobodny lot po całej przestrzeni wewnątrz i na zewnątrz kościoła oraz eksplorację każdego detalu z bliskiej odległości i dowolnie wybranej perspektywy.

Dzięki technologii Virtual Reality możliwe będzie oglądanie szczegółów zabytku, zeskanowanych z dokładnością do 1mm, nawet z odległości kilku centymetrów. Aplikacja VR mogłaby być wykorzystana w edukacji i promocji obiektu, a także w konserwacji i naukach pokrewnych jako nowe, doskonałe narzędzie do analizy badawczej.

Ad3. Strona internetowa kościoła w Haczowie umożliwiłaby cyfrowe zwiedzanie kościoła odbiorcom, którzy nie zdecydują się na skorzystanie z aplikacji mobilnej lub gogli Virtual Reality. Strona pozwalałaby na wirtualne zwiedzanie za pomocą klawiszy klawiatury lub myszki. Możliwe byłoby odkrywanie dodatkowej warstwy informacji i grafiki w określonych punktach modelu kościoła. Opcja pobrania modelu 3D na własny komputer pozwoliłaby na pokazywanie mapy oraz obracanie i wykonanie zbliżenia trójwymiarowego modelu świątyni. Dodatkową opcją byłoby poruszanie się między punktami w przestrzeni kościoła oraz rozwijanie dodatkowych okien z informacjami i detalami obiektu.



Ryc. 13 Zespół, który wykonał skanowanie laserowe 3D kościoła w Haczowie (od lewej): Wojciech Markowski, VR Heritage; Tomasz Janas, Faro Polska; Anna Wierzejska, VR Heritage, (fot. Wojciech Markowski)

Podziękowania

Chcielibyśmy skierować specjalne podziękowania dla wszystkich osób i instytucji, które umożliwiły nam zrealizowanie projektu skanowania laserowego haczowskiej świątyni: Faro Poland; ks. proboszcz Adam Zaremba z parafii w Haczowie; Pani Beata Kot, Podkarpacki Wojewódzki Konserwator Zabytków; Pani Barbara Łosowska-Dudek z Delegatury w Krośnie Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków; Pan Sambor Gawiński, Kujawsko-Pomorski Wojewódzki Konserwator Zabytków.

Bibliografia

Derwisz J., *Współczesne technologie multimedialne w wirtualnej rekonstrukcji oraz prezentacji historycznych obiektów architektonicznych*, *Modern multimedia technologies in virtual reconstruction and presentation of historic architecture*, Wiadomości Konserwatorskie, Journal of Heritage Conservation, 2013, ss. 82-91.

Drobek K., Szostak B., Królikowski W., *Metody inwentaryzacji obiektów w stanie ruiny*, *Stocktaking methods of facilities in a state of ruin*, [w:] Budownictwo i Architektura, Lublin 209, ss. 76, 78, 84.

Dryden G., Vos J., *The Learning Revolution*, Torrance 1991, ss. 91, 101.

Gołębniak A., *Rola nowych technik dokumentacyjno - pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo - konserwatorskich*, Wiadomości Konserwatorskie nr. 40, 2014, s. 83.

Krapiec M., *Dendrochronologia. Kalendarz dziejów*, [w:] Ochrona środowiska, turystyka i dziedzictwo kulturowe Pogórza Dynowskiego. Materiały V Konferencji Naukowo - Technicznej "Błękitny San", Jabłonka 24 - 25 kwietnia 2008, Rzeszów 2008, ss. 116 - 117.

Łopatkiewicz P., *Drewniany kościół w Haczowie*, Kraków 2015.

Mitka B., *Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, 2007.

Petty G., *Teaching Today. A practical guide*, Cheltenham 2009, s. 178.

Prarat M., Schaaf U., *Inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa zabytków architektury drewnianej w procesie konserwatorskim – problemy i propozycja standaryzacji*, [w:] Budownictwo i Architektura, Lublin 2015, ss. 100-108.

<https://dzieje.pl/dziedzictwo-kulturowe/jest-opinia-bieglego-ws-pozaru-zabytkowego-kosciola-w-libuszy>, (dostęp 29.10.2020).

<https://dzienniklodzki.pl/pozar-drewnianego-kosciola-w-mileszkach-splonal-zabytkowy-kosciol-zdjecia-film/ar/6517598>, (dostęp 29.10.2020).

<https://blog.britishmuseum.org/a-new-dimension-in-home-shopping/>, (dostęp 25.12.2019).

<https://sketchfab.com/store/3d-models/cultural-heritage-history?ref=header>, (dostęp 25.12.2019).

<https://www.theartnewspaper.com/news/interpreting-a-laser-scan-that-may-one-day-aid-notre-dame-s-restorers>.

<https://zabytek.pl/en/obiekty/haczow-kosciol-parafialny-pw-wniebowziecia-nmp-i-sw-michala-ar>, (dostęp 25.12.2019).

<https://zabytek.pl/pl/obiekty?media=cumulus>, (dostęp 25.12.2019).

<https://www.faro.com/>, (dostęp 25.12.2019).

www.vrheritage.eu.