Skanowanie naziemne w badaniach i inwentaryzacji zabytkowej architektury

NARODOWY PROGRAM ROZWOJU HUMANISTYKI

Laser w służbie dziedzictwa

Skanowanie laserowe jest już od lat chętnie stosowane do inwentaryzacji krajowych zabytków. Postęp technologiczny stale otwiera nowe możliwości w tym zakresie, co pokazuje zakończony niedawno interdyscyplinarny projekt.

Rafał Zapłata,
Dorota Zawieska,
Jakub Markiewicz

Jak najnowsze technologie pomiarowe mogą udoskonalić inwentaryzację zabytków? Znalezienia odpowiedzi na to pytanie podjął się interdyscyplinarny zespół specjalistów z Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego oraz Politechniki Warszawskiej, a także firm Laser-3D Jacek Krawiec i Leica Geosystems. Za poligon badawczy posłużyły ruiny zamku w Iłży, gdzie wcześniej analizowano zalety m.in. lotniczego skanowania laserowego (GEODETA 3/2014). Prace zrealizowano w latach 2012-16 w ramach projektu „Zastosowanie skaningu laserowego oraz teledetekcji w ochronie, badaniu i inwentaryzacji dziedzictwa kulturowego. Opracowanie nieinwazyjnych, cyfrowych metod dokumentacji i rozpoznawania zasobów dziedzictwa architektonicznego i archeologicznego" finansowanego ze środków Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki MNiSW. W jego ramach przeprowadzono pierwszą tak kompleksową inwentaryzację fotogrametryczną ruin zamku w Iłży oraz włączono do prac najnowsze dostępne techniki pomiarowe. Było to prawdopodobnie pierwsze przedsięwzięcie w kraju uwzględniające tak zróżnicowane pomiary i wieloźródłowe dane.

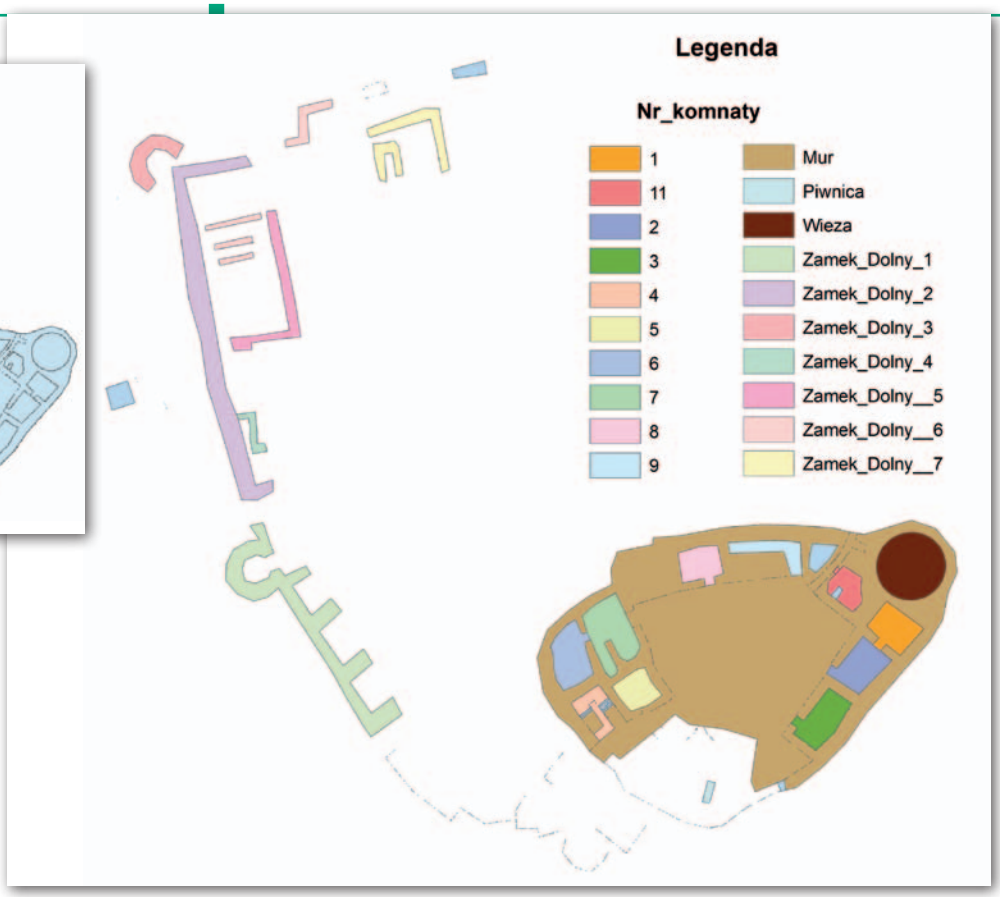
Ruiny zamku biskupów krakowskich w Iłży to swoista perła nie tylko pośród licznych zabytków architektury województwa mazowieckiego, ale i Polski. Niestety, jest to obiekt niszczejący, wymagający opieki konserwatorskiej, a przede wszystkim dokładnej dokumentacji umożliwiającej analizę i zdiagnozowanie jego stanu. Do dzisiaj zachowały się jedynie szczątkowo elementy dawnego założenia, które rozkwitało w średniowieczu, a później w epoce renesansu było okazałym kompleksem rezydencjalno-obronnym. Obecnie obiekt ten z dominującą nad okoli-

Fot. R. Zapłata

Rys. 1. Ruiny zamku biskupów krakowskich w Iłży – wieża zamkowa od strony północnej w zimowej szacie

Rys. 2. Skanery Riegl VZ-400 oraz Z+F Imager 5010X podczas prac pomiarowych

Rys. 3. Mapa podkładowa powstała w wyniku przetworzenia danych TLS (oprac. J. Markiewicz)



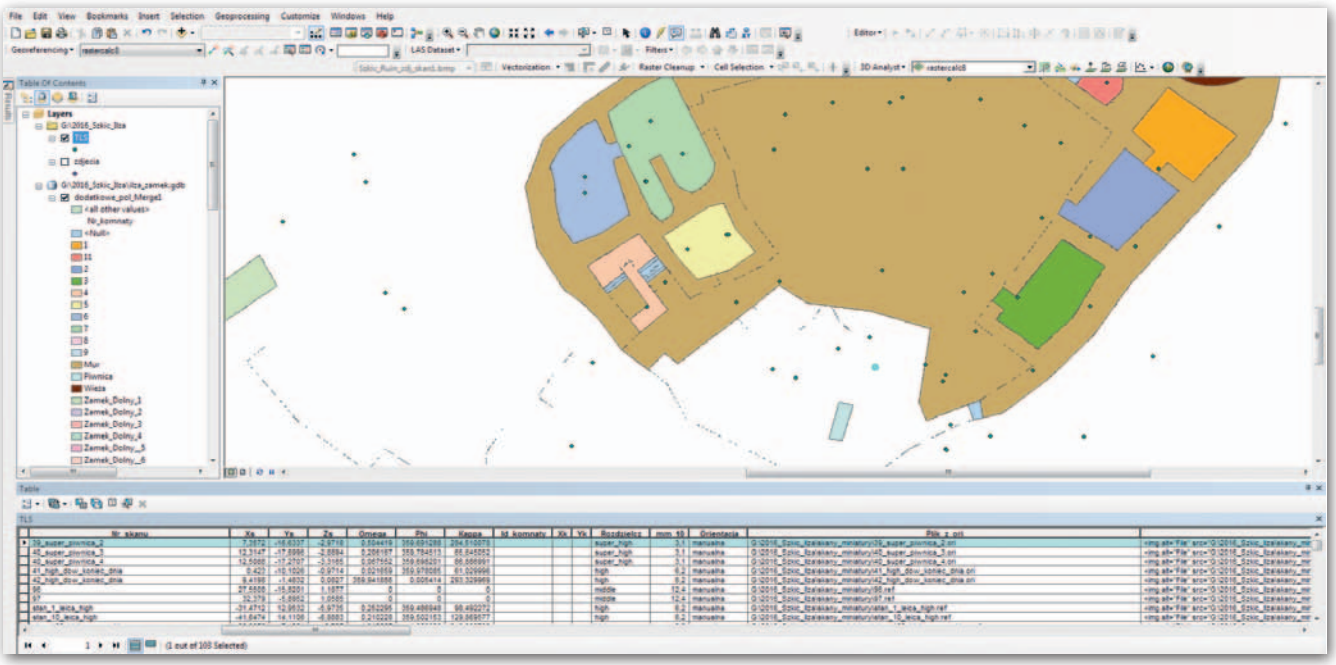
Rys. 4. Szkic podziału zamku na warstwy (oprac. J. Markiewicz)

cą wieżą jest w stanie trwałej ruiny. Składa się z zamków dolnego oraz wybudowanego na naturalnym wyniesieniu zamku górnego.

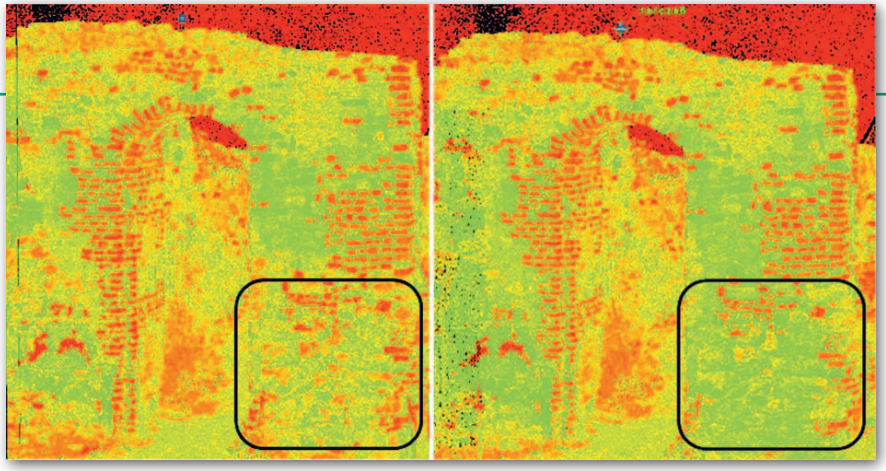
W celu zgromadzenia nowych i dokładnych informacji o tym zabytku stworzono koncepcję wielośródłowego przetwarzania danych i ich pozyskiwania w formie pomiarów nieinwazyjnych, kształtując tym samym podstawy do wzajemnej współpracy pomiędzy przedstawicielami geodezji i środowiska związanego z ochroną zabytków. Z dzisiejszej perspektywy można ocenić, że ten interdyscyplinarny eksperyment zakończył się pomyślnie. Pozyskano bowiem ogromny zasób danych o zabytku, w tym dokładne odwzorowanie geometrii powstałe w wyniku użycia kilku skanerów laserowych: Z+F 5006h, Z+F Imager 5010X, Leica ScanStation C10 oraz Riegl VZ-400. Efektem tych prac jest m.in. dokumentacja fotogrametryczna, zbiór zaleceń metodycznych uwzględniających nowe rozwiązania technologiczne w inwentaryzacji zabytków, baza danych o obiekcie w formie systemu informacji przestrzennej (SIP), a także jego modele 3D wraz z numerycznym modelem terenu dla najbliższego otoczenia.

W stronę nowoczesnej dokumentacji

Zasadnicze pomiary w ramach projektu wykonano w 2013 r., stopniowo uzupełniając je o dodatkowe dane, m.in. poprzez testowanie w kolejnych latach przydatności nowych rozwiązań technologicznych. Wszystkie



Rys. 5. Baza danych komnat wraz ze współrzędnymi środka poligonu (oprac. J. Markiewicz)



Rys. 6. Iłża – fragment ruin zamku górnego. Obrazy intensywności odbicia wygenerowane na podstawie TLS: powierzchnia sucha (kwadrat po lewej), powierzchnia zwilżona (kwadrat po prawej). Ściana wzniesiona z kamienia wapiennego w układzie warstwowym spojonego zaprawą wapienno-piaskową – wejście na dziedziniec (XVI w.) zamknięte łukiem, wykończone cegłą (pomiar: Leica Geosystems, oprac. R. Zapłata)

te działania stanowiły podstawę prac kameralnych polegających na: przetworzeniu zasobu cyfrowego, analizie jakości danych oraz ich integracji w celu uzyskania produktu końcowego, jakim jest dokumentacja zamku w Iłży.

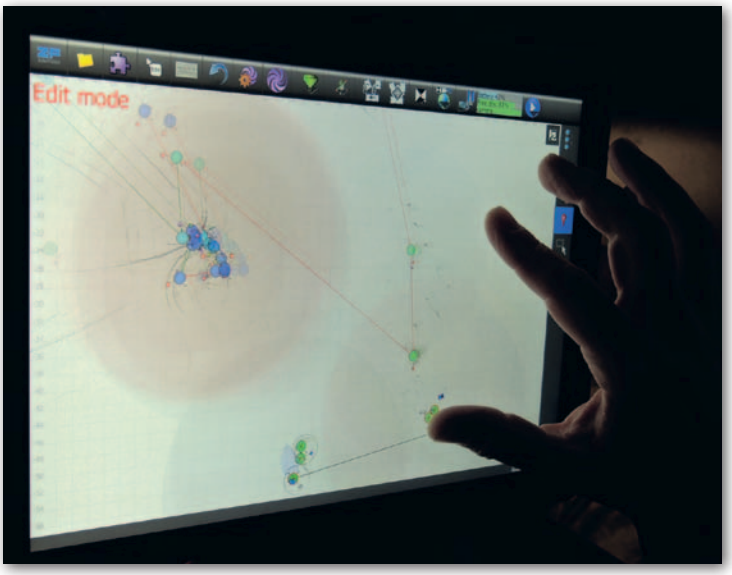
Na potrzeby orientacji danych z naziemnego skanowania laserowego (TLS) stworzono autorskie oprogramowanie bazujące na wykrywaniu w przetworzonym zbiorze danych cech charakterystycznych, dzięki czemu możliwe było zorientowanie w przyjętym lokalnym układzie odniesienia około 80% skanów. W przypadku pozostałych 20% do orientacji wykorzystano oprogramowanie LupoScan. Jako punkty wiążące posłużyły znaki naklejone na obiekcie oraz obrotowe tarcze celownicze rozmieszczone na statywach. Dane zorientowano, wykorzystując metodę *Target Based-Registration*. W ten sposób osiągnięto dokładność orientacji na poziomie 2-5 mm. W wyniku pomiarów uzyskano chmurę punktów o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, a także cyfrowe obrazy, których użyto do wygenerowania kolorowej chmury punktów, kolorowych ortoobrazów oraz fotorealistycznych modeli 3D.

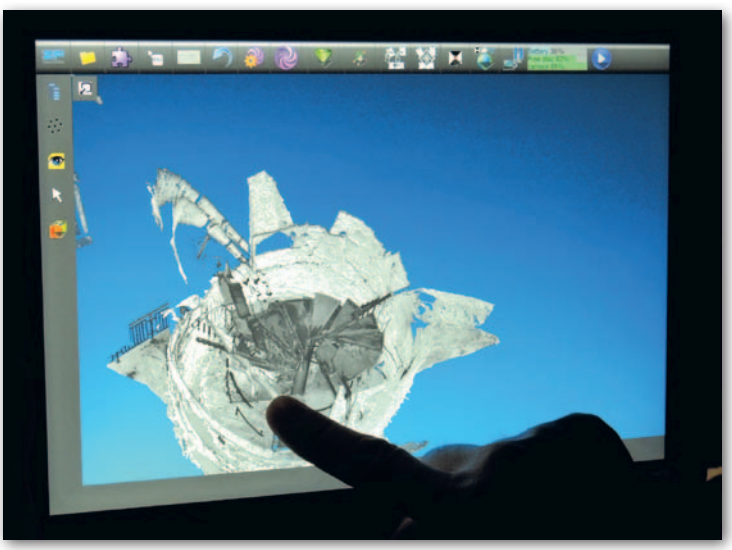
Częścią projektu było również opracowanie Systemu Informacji o Zamku Biskupów Krakowskich w Iłży (Ilza_GIS). Zawiera on: dane z TLS, ortoobrazy powstałe z danych TLS (prezentujące intensywności odbicia oraz kanały RGB), kolorowe chmury punktów z TLS, bazę zdjęć fotogrametrycznych wykonanych w 3 seriach, chmury punktów powstałe w wyniku przetworzenia zdjęć cyfrowych oraz modele 3D wybranych fragmentów zamku.

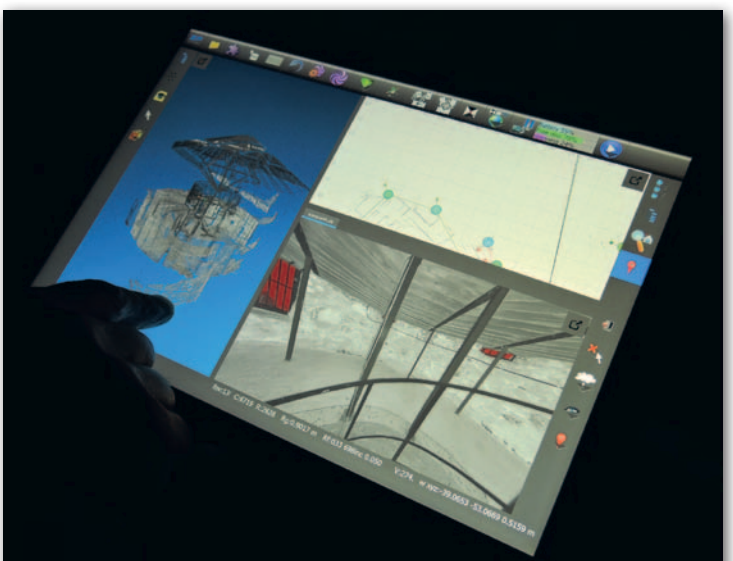
Na podstawie danych z naziemnego skaningu i ortoobrazów wykonano dokumentację wektorową wybranych fragmentów ruin zamku. Jako postawa do stworzenia Ilza_GIS posłużyła mapa numeryczna. Powstała ona dzięki przetworzeniu zorientowanych chmur punktów z TLS (rys. 3). Otrzymane dane CAD zostały podzielone na dwie grupy – zamek dolny oraz zamek górny, a ta druga została dodatkowo podzielona na komnaty oraz warstwę muru (rys. 4). Każdej warstwie nadano unikatową nazwę (*Nr_komnaty*) oraz współrzędne środka poligonu (*Xk*, *Yk* – rys. 5). Dzięki tym informacjom możliwe było połączenie istniejących warstw z nowymi bazami oraz nadanie im georeferencji. Tak powstały zbiór danych stanowi podstawę prac analitycznych i znakomite źródło do dalszych działań związanych z konserwacją i wirtualną rekonstrukcją obiektu.

Czwarty wymiar też się przydaje

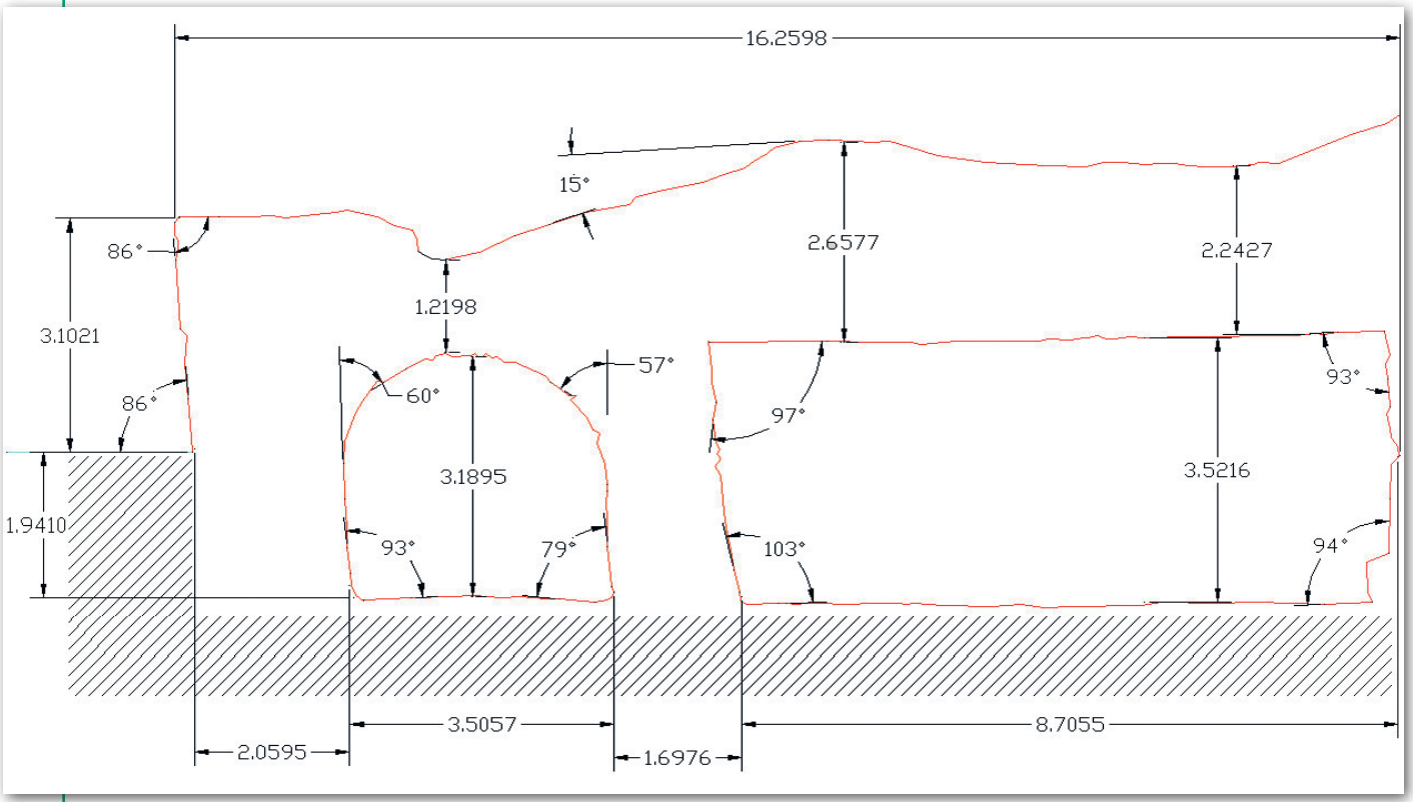
W ramach badań wykonano również liczne pomiary ukierunkowanie na testowanie przydatności tzw. czwartego wymiaru, czyli intensywności odbicia powracającej wiąz-







Rys. 7. Integracja danych podczas prac terenowych w 2016 r. za pomocą procedury Blue Workflow. Widok rejestracji chmury punktów dla wieży zamkowej – część wewnętrzna (wykonawca pomiarów: Laser-3D Jacek Krawiec)



Rys. 8. Iłża – zamek górny. Przekrój podłużny piwnic. Widoczne kilku-, a nawet kilkunastostopniowe różnice kątów – potencjalne odchylenia muru oraz ściany wewnętrznej w kierunku NW. Widok od strony W (pomiar i wektoryzacja: Politechnika Warszawska, oprac. R. Zapłata)

ki lasera. Choć zagadnienie to wymaga dalszych badań oraz nowszych rozwiązań sprzętowych, to już teraz przynajmniej kilka argumentów przemawia za wykorzystaniem tych danych w inwentaryzacji zabytków. Umożliwiają one np. uzupełniającą identyfikację różnic powierzchniowych, takich jak wilgotność czy występowanie zasoleń na murach. To kolejny duży krok w stronę rozbudowy warsztatu konserwatorskiego.

W wielu sytuacjach okazało się, że skaner laserowy rejestruje to, czego nie widzi ludzkie oko, umożliwiając dodatkową analizę zabytku. Potencjał ten udało się potwierdzić zarówno dla obiektów murowanych oraz drewnianych, jak i dla nieskonsolidowanych warstw odpowiadających wypełniskom (warstwom) z obiektów archeologicznych. Co istotne, w tego typu pomiarach można z powodzeniem wykorzystywać zarówno skanery fazowe, jak i impulsowe.

Doskonałym polem do zastosowania tych obserwacji może być opracowanie dokumentacji powykonawczej z prac konserwatorskich, gdzie np. określone powierzchnie zabytkowej architektury drewnianej pokryto środkami konserwującymi. Dzięki rejestrowaniu intensywności można bowiem badać zróżnicowanie stopnia (czasu) wchłaniania się środków konserwujących i wykrywać wilgoć pozostającą dłużej na określonych powierzchniach. Pozwala to poddawać obiekt dodatkowej analizie oraz monitorować przebieg i rezultaty zabiegów konserwacyjnych. Dodatkowym atutem rejestracji intensywności jest możliwość analizowania zawilgoceń w trudnodostępnych miejscach.

Od tarczy do Blue Workflow

W odniesieniu do pomiarów laserowych i obróbki danych dla zabytków pewne zastrzeżenia budziły dotąd prowadzone w zaciszu gabinetów prace kameralne, które siłą rzeczy separowały dokumentalistę od obiektu. Sytuację zmienia zastosowane w tym projekcie (w Polsce pierwszy raz przy zabytkowej architekturze) stworzonej przez firmę Z+F procedury Blue Workflow i skanera Imager 5010X. Technologia ta pozwala na rejestrację i integrację danych w trakcie pomiaru oraz bieżące zestawianie ich wyników z obserwacją powierzchni mierzonej. Jest to możliwe dzięki wbudowaniu w skaner odbiornika GPS oraz sensorów orientacji.

Tego typu rozwiązanie posiada dodatkowe atuty. Dla złożonych, trudnych do pomiaru konstrukcji, jaką jest m.in. wieża zamku w Iłży (owalna konstrukcja z wewnętrznymi, metalowymi, wijącymi się schodami wewnątrz obiektu), możliwość wykonywania pomiaru bez konieczności integracji danych z użyciem tarcz stanowi znakomite ułatwienie. Diagnostyka zabytkowej architektury zyskuje dzięki takim rozwiązaniom możliwość analizy i reagowania na procesy destrukcyjne chwilę po pomiarze, co wydaje się szczególnie przydatne przy obiektach grożących katastrofą budowlaną.

Jeden zbiór, wiele możliwości

Dzięki tym laserowym pomiarom zamku biskupów krakowskich w Iłży rozpoznano liczne, poważne uszkodzenia obiektu, w tym efekty procesu osiadania piwnic, co przy użyciu dotychczas stosowanych technologii było niemożliwe. Wygenerowany zasób danych geometrycznych już teraz budzi zainteresowanie osób i środowisk planujących cyfrową rekonstrukcję zamku.

Z pewnością taki zbiór pozwoli również na promocję i popularyzację obiektu w wirtualnej odsłonie. Z uwagi na trudny dostęp zarówno do samego zamku, jak i jego wieży jedną z idei jest udostępnienie modelu osobom niepełnosprawnym. Wykonane pomiary mogą posłużyć także do monitorowania zachodzących zmian, w tym efektów nieustannych procesów destrukcyjnych obiektu.

Rafał Zapłata
UKSW, kierownik projektu,
Dorota Zawieska i Jakub Markiewicz
PW