

Wideotachimetria w inwentaryzacji architektonicznej

Droga zabawka czy coś więcej



Jak racjonalnie wykorzystać tachimetr kombajn: bezlustrkowy, zmotoryzowany, skanujący, zintegrowany z odbiornikiem GNSS i aparatem fotograficznym? Dwoje dyplomantów zmierzyło się z tym problemem przy okazji inwentaryzacji architektonicznej Pałacu Krasińskich w Warszawie.

Agnieszka Porządna
Wojciech Masiakowski

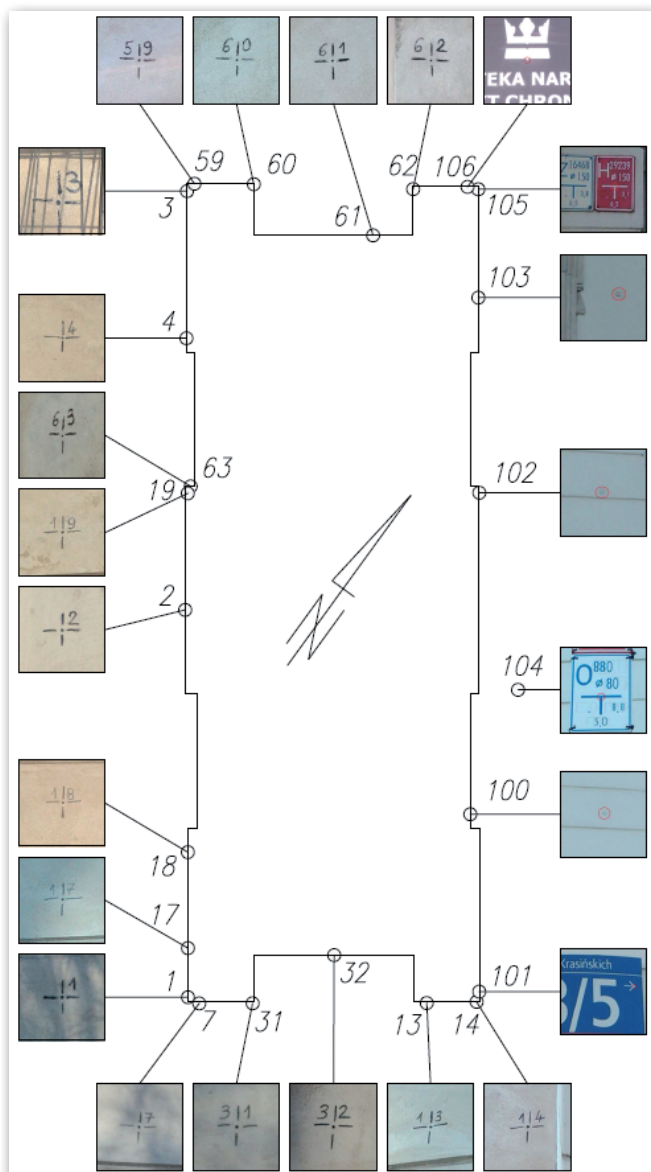
Wideotachimetria jest nowoczesną technologią pomiarów geodezyjnych, która dynamicznie wchodzi na rynek, wprowadzając nową jakość pracy. Łączy zaawansowane możliwości rejestrowania danych w postaci zbioru współrzędnych wybranych punktów przestrzeni pomiarowej (w tym zakresie jest technologią alternatywną dla naziemnego skanowania laserowego) z obrazami cyfrowymi wszystkich szczegółów obiektu. Generowanie zdjęć z georeferencją sprawia, że każdy punkt jest jednoznacznie definiowany w przestrzeni. Wideotachimetria umożliwia szybki pomiar, jednocześnie rejestrując kształt, położenie i kolor inwentaryzowanego obiektu.

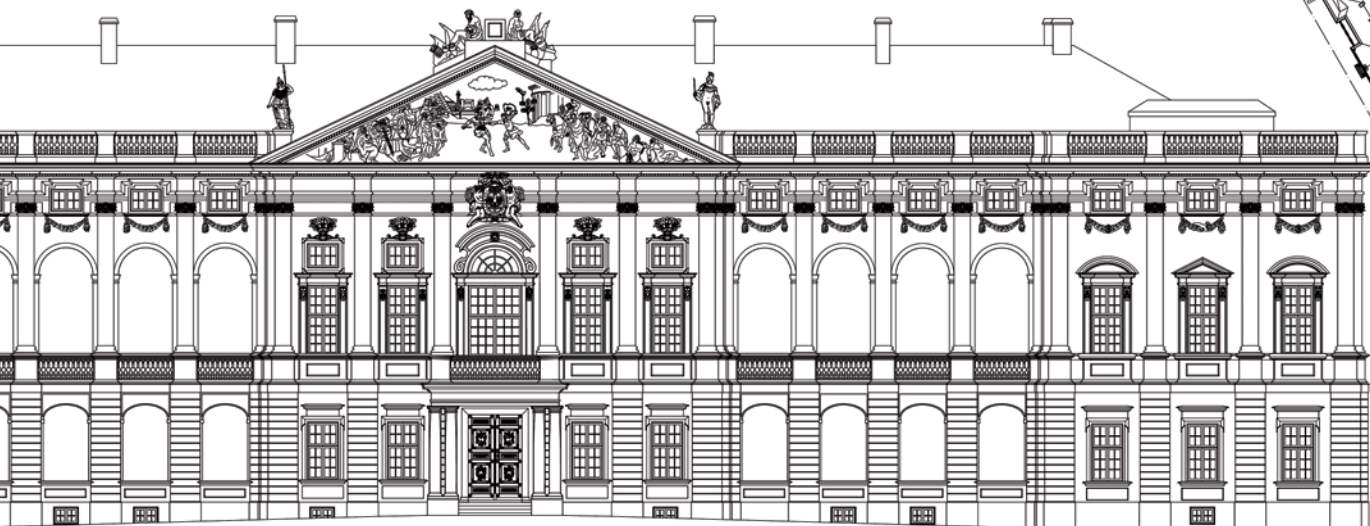
Postanowiliśmy sprawdzić przydatność wideotachimetru w inwentaryzacji architektonicznej. Obiektem pomiaru eksperymentalnego była cała elewacja Pałacu

Krasińskich mieszczącego się przy placu Krasińskich 3/5 w Warszawie. Obiekt ten posiada wyjątkową wartość historyczną i architektoniczną. Wykonanie dokładnej i szczegółowej inwentaryzacji może być przydatne do wielu celów i wiąże się ze zwróceniem szczególnej uwagi na elementy charakterystyczne dla danego budynku, takie jak rzeźby czy gzymsy. W opracowaniu podjęliśmy próbę zbadania całej elewacji obiektu, a także wygenerowania jej modelu.

Do pomiaru wykorzystaliśmy jeden z najnowocześniejszych wideotachimetrów – Leica Nova MS50. Łączy on w sobie możliwość wykonywania pomiarów tachimetrycznych i GNSS ze zobrażeniami cyfrowymi oraz skanowaniem laserowym 3D. Technologia mergeTEC zastosowana w tym urządzeniu gwarantuje użytkownikowi spójność zebranych trójwymiarowych danych bez dodatkowych pomiarów wykonanych przez inny przyrząd

Rys. 1. Osnowa pomiarowa





geodezyjny. Dwie kamery (szerokokątna i telekamera) wykonują obrazy o rozdzielczości do 5 Mpx, umożliwiając panoramiczny podgląd miejsca pomiaru, wspomagając realizację projektu, a także ułatwiając tworzenie wysokiej jakości dokumentacji pomiarowej. Umieszczona w osi optycznej telekamera z 30-krotnym powiększeniem zapewnia poprawny wybór punktów na ekranie monitora instrumentu zastępującego tradycyjny szkicownik.

Wbudowane serwomotory gwarantują automatyczne przesuwanie osi celowej lunety w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Technologia automatycznego rozpoznawania celu umożliwia dokładne śledzenie poruszającego się przyzmatu. Różne opcje komunikacji, takie jak Bluetooth i WLAN, zapewniają szybki transfer danych oraz zdalną pracę nawet na odległość do 1000 m.

Leica Nova MS50 jest wyposażona w zintegrowany odbiornik GNSS. Dysponuje także czterema trybami skanowania z maksymalną częstotliwością do 1000 pkt/s. Automatyczne łączenie chmur punktów pozwala na weryfikację wykonanego pomiaru bezpośrednio w terenie. Do kolorowania chmury można wykorzystać natężenie powracającej wiązki, kolory pobrane ze zdjęcia obiektu albo inne parametry wybrane samodzielnie przez użytkownika.

Inwentaryzacja architektoniczna wymaga dużej szczegółowości pomiaru charakterystycznych elementów składających się na wygląd zabytkowego obiektu. Eksperyment składał się z trzech etapów: założenia osnowy pomiarowej, zeskanowania całej elewacji budynku i stworzenia na podstawie zarejestrowanych obserwacji trójwymiarowego modelu krawędziowego Pałacu Krasieńskiego.

Ponieważ celem inwentaryzacji było jedynie określenie geometrii budynku, założyliśmy lokalną osnowę pomiarową, nienawiązaną do żadnego układu współrzędnych (rys. 1). Wykorzystaliśmy 24 punkty osnowy rozmieszczone na zewnętrznych ścianach budynku. Na północnej, zachodniej i południowej ele-

wy charakter obiektu. Punktami osnowy na tej elewacji były wyłącznie charakterystyczne elementy budynku lub jego otoczenia dobrane w taki sposób, aby były łatwe do identyfikacji i nie sprawiały kłopotu przy precyzyjnym celowaniu.

Osnowa pomiarowa została pomierzona z 7 niestabilizo-

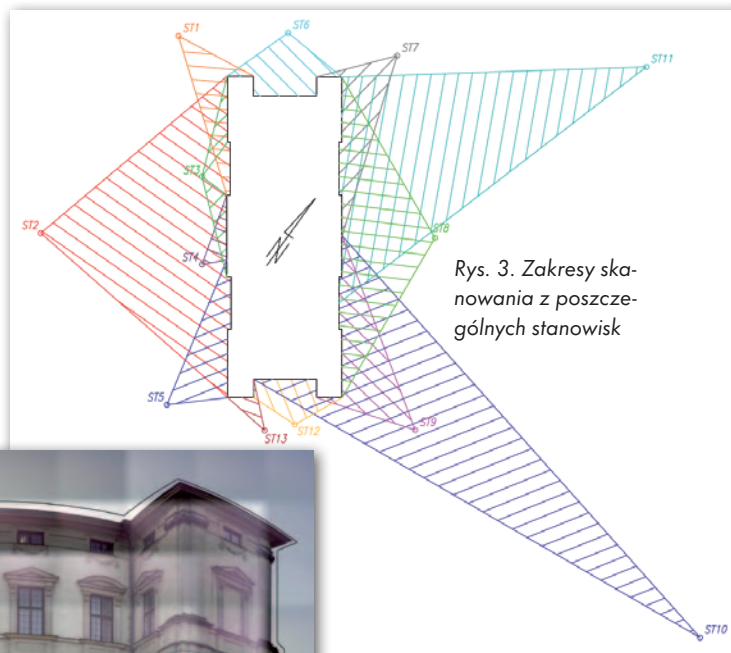
niezbędne było, aby stanowiska powiązane były wzajemnie między sobą poprzez pomiar kierunku i odległości do co najmniej dwóch tych samych punktów. Pomiar kierunków przeprowadzono w jednej serii. Odległości zostały pomierzone dwukrotnie w dwóch położeniach lunety.



Rys. 2. Zakres skanowania elewacji północnej ze stanowiska 6

wacji punkty pomiarowe już istniały, gdyż zostały założone przy renowacji obiektu. Na wschodniej części Pałacu Krasieńskiego nie stabilizowaliśmy nowych znaków pomiarowych ze względu na zabytko-

wanych stanowisk usytuowanych dookoła obiektu. Z każdego stanowiska wykonano pomiar do jak największej liczby punktów osnowy. Do wyrównania całej sieci w jednym układzie współrzędnych

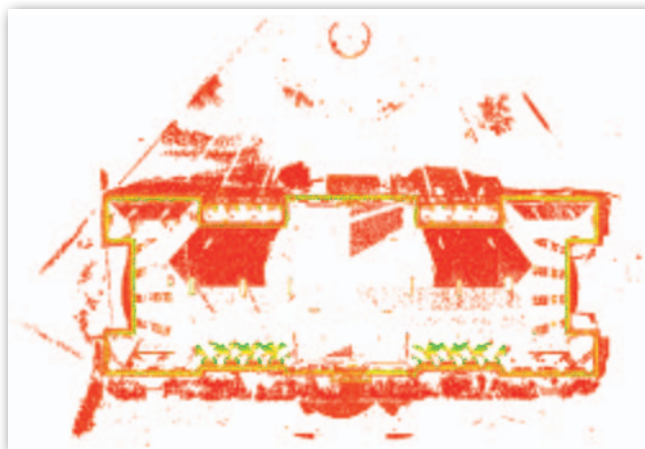


Rys. 3. Zakresy skanowania z poszczególnych stanowisk

Wyrównanie swobodne obserwacji poziomych wykonaliśmy przy użyciu programu PXY 2 wersja 1.28 metodą ścisłą. Wyrównanie obserwacji wysokościowych osnowy pomiarowej przeprowadziliśmy metodą ścisłą w programie C-Geo. Otrzymane błędy średnie współrzędnych punktów osnowy nie przekraczają: 3,7 mm (X), 3,0 mm (Y) oraz 0,6 mm (Z).

Skanowanie przeprowadziliśmy z 13 swobodnych stanowisk rozmieszczonych dookoła badanego obiektu. Dobraliśmy je w taki sposób, aby zapewnić najlepszą wizurę oraz umożliwić nawiązanie do jak największej liczby punktów osnowy. Łącznie pomierzono około 22 mln punktów.

Ponieważ chodziło o szczegółową inwentaryzację elewacji obiektu, do skanowania ustawiono gęstą siatkę punktów (co 1 cm w pionie i 2 cm w poziomie). Wielkość oczka siatki wynikała z konstrukcji wideotachimetru Leica, który skanuje siatkę liniami pionowymi. Na każdym stanowisku pomiarowym zaznaczano obszar objęty skanowaniem (rys. 2). Zakres skanowania z poszczególnych stanowisk przedstawia rys. 3. Stanowiska 10 i 11 są znacznie oddalone od obiektu, ponieważ to z nich odbyło się skanowanie wschodnich połaci dachu. Ze stanowiska 2 oprócz elewacji zeskanowano także zachodnią część dachu. Uzyskaliśmy w ten sposób dokładny zarys charakterystycznych elementów budynku, takich jak: gzymsy, kolumny, otwory drzwiowe i okienne czy schody. Dzięki osnowie pomiarowej założonej na ze-



Rys. 4. Chmura punktów z błędnymi obserwacjami

wewnętrznych ścianach budynku wszystkie punkty zostały wyznaczone w jednolitym, trójwymiarowym układzie współrzędnych.

Opracowanie obserwacji uzyskanych przy pomiarze zostało podzielone na trzy etapy. Najpierw zaimportowaliśmy chmury punktów ze wszystkich stanowisk do programu Leica Infinity, gdzie zostały opracowane wcięcia wyznaczające poszczególne stanowiska. Błędy średnie otrzymanych współrzędnych nie przekraczały: 7,4 mm (X), 10,6 mm (Y) oraz 4,0 mm (Z). Następnie w programie Leica Cyclone chmura punktów została oczyszczona z błędnych obserwacji. Jest to konieczne,

gdyż nie wszystkie zarejestrowane punkty są reprezentacją inwentaryzowanego obiektu. Występują tzw. szumy, czyli sygnały odbite od różnych przeszkód między stanowiskiem a budynkiem znajdujące się w polu skanowania. Rzut z góry chmury punktów wraz z obserwacjami błędnymi przedstawia rys. 4.

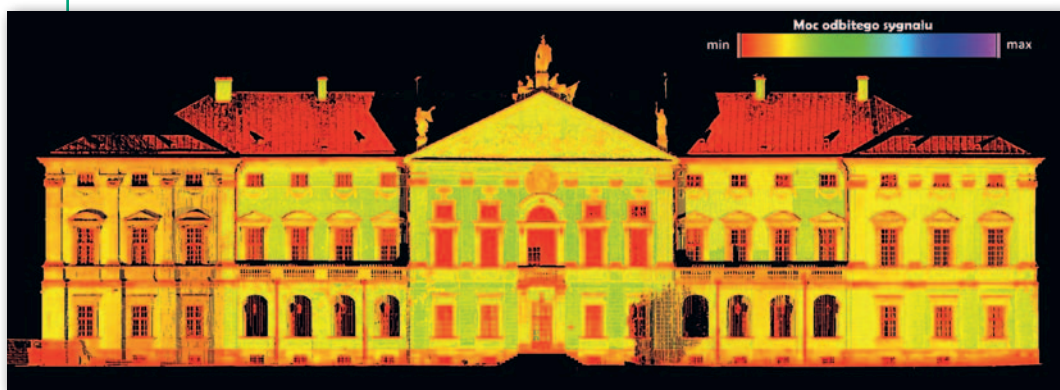
Ostatnim, a zarazem najbardziej pracochłonnym etapem, było wykonanie wektoryzacji i zbudowanie modelu 3D całego obiektu. Rys. 5 przedstawia widok chmury punktów elewacji zachodniej zaimportowanej do programu AutoCAD w barwach natężenia odbitego sygnału i w barwach naturalnych.

Na podstawie barwy poszczególnych punktów możli-

we jest określenie jakości odbitego sygnału. Główne czynniki wpływające na różnice w odbitych wiązkiach laserowych to rodzaj struktury powierzchni, na którą pada wiązka, jej chropowatość oraz odległość między stanowiskiem a badanym obiektem. Analizując rys. 5, można stwierdzić, że wpływ na moc sygnału odbitego ma również kąt padania wiązki na powierzchnię. Odcienie koloru czerwonego oznaczają najmniejszą moc odbitego sygnału. Kolor fioletowy charakteryzuje wiązkę w całości odbitą od powierzchni obiektu. W chmurze punktów badanego obiektu dominuje kolor zielony odpowiadający odbiciu na poziomie 40%. Minimalną moc wiązki wideotachimetru rejestrował w przypadku odbicia od powierzchni dachu oraz dla obiektów znajdujących się za oknami.

Model zbudowaliśmy w programie AutoCAD 2014. Punkty z chmury łączyliśmy odpowiednio ze sobą, wspomagając się rejestracją fotograficzną wykonaną przez wideotachimetr. Każda elewacja obiektu była tworzona na osobnej warstwie. Rys. 6 przedstawia proces wektoryzacji jednej z kolumn. Elementem najbardziej kłopotliwym do modelowania był dach. Dla tej części obiektu dysponowaliśmy niewielką liczbą danych pomiarowych, co było związane ze zbyt małą odległością między stanowiskiem a obiektem. Geometrię dachu udało się odtworzyć na podstawie spadków wyznaczonych przez pomierzone punkty oraz zdjęć satelitarnych pałacu.

Inwentaryzacji podlegały wszystkie obiekty znajdujące się w elewacji pałacu. Niektóre z nich, takie jak rzeźby i inne charakterystyczne detale, mają bardzo złożoną strukturę i geometrię. Niestety, przyjęta siatka skanowania okazała się niewystarczająca do przepro-



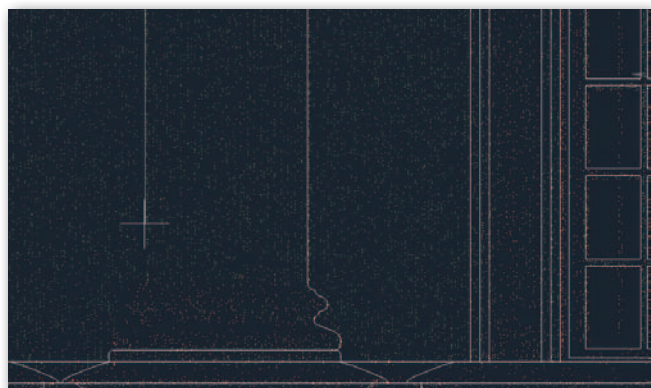
Rys. 5. Elewacja zachodnia. Od góry: natężenie odbitego sygnału i barwy naturalne

wadzenia wektoryzacji tych elementów, dlatego wykonaliśmy ją na podkładzie w postaci zdjęcia. Na rys. 7 przedstawiono fotografię drzwi oraz ich wektoryzowany model. Uzyskane w ten sposób modele są dwuwymiarowe.

W Pałacu Krasińskich ujawniły się różnice geometrii powtarzających się elementów, jak kolumny czy okna. Prawdopodobnie projekt zakładał ich jednolitość, a różne wymiary i niesymetryczne rozmieszczenie spowodowane są niedokładnością prac budowlanych. Przyczyną takich nieprawidłowości może być również osiadanie terenu, zły

ła rzeczywisty stan pałacu w sposób dopuszczalny. Nie można tak jednak postępować automatycznie, nie zważając na czynniki wpływające na zmianę geometrii obiektu.

O szczególności i skomplikowanej architekturze pałacu świadczą dane uzyskane podczas wektoryzacji (patrz tabela). Elewacja północna i południowa są mniejsze i nie mają ozdobnych rzeźb czy tympanonów. W związku z tym zawierają zdecydowanie mniej zwektoryzowanych elementów niż pozostałe. Najwięcej krzywych pochodzących z wektoryzacji detali architektonicznych pojawi-



Rys. 6. Wektoryzacja jednej z kolumn



Rys. 7. Drzwi pałacu i ich model 2D

stan techniczny budynku, jego liczne deformacje, zniszczenia bądź spękania. W przypadku niniejszej pracy dokonano przetworzenia, w wyniku którego wszystkie powtarzające się elementy są określone na podstawie jednego wzorcowego, najmniej zniszczonego elementu. Podjęta próba inwentaryzacji zmodyfikowa-

Liczba elementów wyznaczonych na poszczególnych elewacjach przy tworzeniu modelu 3D

Elementy	Płn.	Wsch.	Płd.	Zach.	Suma
Łuki	330	1281	324	1205	3140
Okręgi	96	531	96	279	1002
Elipsy	32	181	32	239	484
Linie	14 194	56 518	14 312	45 671	130 695
Krzywe	5252	19 184	5246	16 234	45 916
Suma	19 904	77 695	20 010	63 628	181 237

ło się na ścianie wschodniej. Rys. 8 przedstawia krawędziowy model elewacji północnej i zachodniej pałacu. W celu zapewnienia lepszej czytelności zaprezentowano jedynie dwie widoczne elewacje.

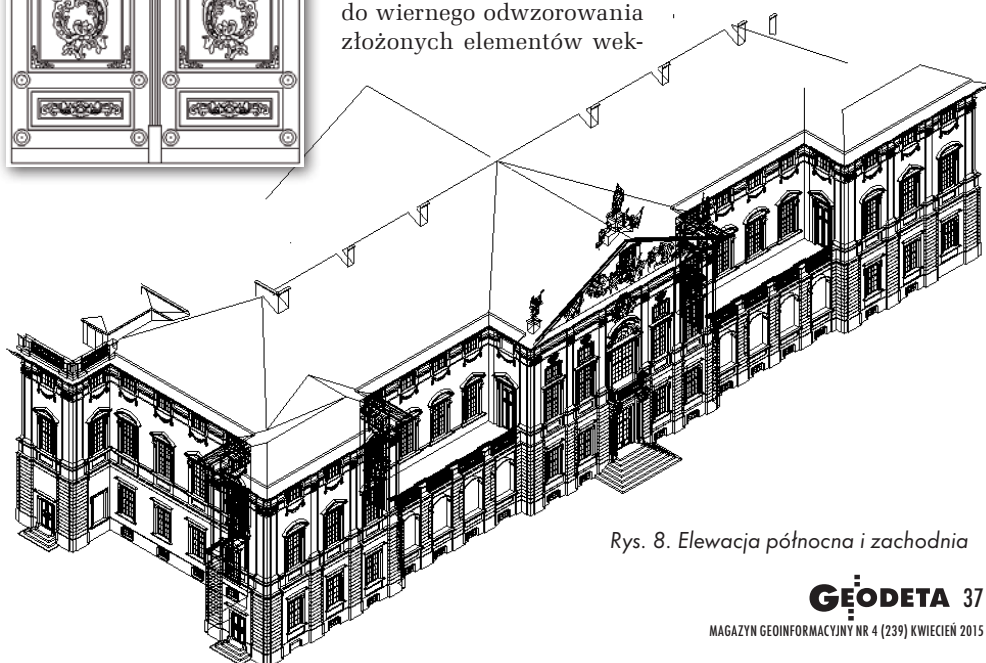
Przeprowadzony eksperyment pomiarowy ukazał przydatność wideotachimetrii przy wykonywaniu inwentaryzacji bardzo złożonych obiektów architektonicznych, a w szczególności przy tworzeniu dokumentacji wektorowej. Dokładność pomiarów oraz późniejszego ich opracowania pokazuje, że uzyskane w ten sposób materiały są wystarczające do stworzenia rzutów elewacji w skali 1:50. Efekt pomiarów wideotachimetrycznych stanowi spójną chmurę punktów, a dzięki możliwości rejestracji fotograficznej obiekt był łatwo identyfikowalny. Jednak zadana gęstość skanu w opracowaniu okazała się zbyt mała, aby wszystkie detale architektoniczne były zwektoryzowane, dlatego też wykonano dodatkowe zdjęcia cyfrowe, które pozwoliły na opracowanie całkowitej dokumentacji. Stąd wniosek, że do wiernego odwzorowania złożonych elementów wek-

toryzacja manualna wymaga bardzo gęstej siatki punktów.

Wideotachimetria jest technologią umożliwiającą opracowanie praktycznie każdego elementu dokumentacji architektonicznej. Największą jej zaletą jest rejestracja cyfrowa pozwalająca na kontrolowanie na bieżąco wyników pomiarów, co eliminuje problemy z interpretacją poszczególnych elementów podczas opracowywania danych.

Na podstawie analizy wykonywanej pracy oraz spostrzeżeń stwierdzono, że nowa technologia – łącząca skaning laserowy i fotogrametrię – pozwoliła na efektywną i czytelną prezentację wyników. Wideotachimetria stwarza geodetom nowe możliwości, otwierając drogę do fascynującego wymiaru świata geoprzestrzeni. Połączenie innowacyjnych technologii pomiarowych z tradycyjnymi zapewnia niezrównaną dokładność i szczegółowość. Dzięki temu możliwe było uzyskanie precyzyjnych danych przestrzennych, a także informacji dotyczących kształtu, koloru czy wielkości inwentaryzowanego pałacu.

Agnieszka Porządna
Wojciech Masiakowski



Rys. 8. Elewacja północna i zachodnia