

Andrzej Gołębniak

## Rola nowych technik dokumentacyjno-pomiarowych w interdyscyplinarnych działaniach badawczo-konserwatorskich

### The role of new documentation and measurement techniques in interdisciplinary research and conservation activities

---

**Słowa kluczowe:** archeologia, badania interdyscyplinarne, CAD, dokumentacja konserwatorska, fotografia cyfrowa, fotogrametria cyfrowa, GIS, innowacyjne techniki, LIDAR, naziemne skanowanie laserowe 3D, przestrzenne bazy danych, skanowanie światłem strukturalnym

---

---

**Key words:** archaeology, interdisciplinary research, CAD, documentation, digital photography, digital photogrammetry, GIS, innovative techniques, LIDAR, close range photogrammetry, spatial data bases, laser scanning

---

Jestem archeologiem, który od wielu lat współpracuje z przedstawicielami różnych dyscyplin nauki, głównie architektury, historii sztuki i architektury krajobrazu<sup>1</sup>. Nie jest to przypadek, bowiem od pewnego już czasu interdyscyplinarny wymiar badań obiektów i przestrzeni zabytkowych zyskał status normy. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy jest coraz większa liczba przedsięwzięć badawczo-konserwatorskich realizowanych w ramach zakrojonych na szeroką skalę programów. Wiele spośród nich prowadzi do głębokich ingerencji, wymagających kompleksowego rozpoznania historii i struktury zabytkowego obiektu. Skala dokonywanych odkryć zmusza przy tym do poszukiwania sposobów, które usprawniłyby i podniosły wartość wykonywanej dokumentacji, tak na poziomie badań, jak i realizacji konserwatorskich. Równoległe, niemal całkowitej zmianie uległ sposób gromadzenia i analizy zgromadzonych materiałów, co sprzyja wymianie myśli pomiędzy reprezentantami różnych dyscyplin. Proces ten opiera się obecnie na wielostronnym zastosowaniu cyfrowego sposobu zapisu obrazu, wykorzystaniu najnowszych technik komputerowych, użyciu laserowych urządzeń pomiarowych i przestrzennych baz danych<sup>2</sup>.

Prowadząc swoje prace w tej zmieniającej się rzeczywistości miałem zaszczyt pracować z najlepszymi i dla najlepszych, i to w miejscach szczególnie ważnych dla polskiej historii i kultury<sup>3</sup>. Wszystko to sprawia, że efektem tych prac jest spory bagaż doświadczeń,

przemysłów i ustaleń, którymi chciałbym podzielić się z czytelnikami „Wiadomości Konserwatorskich”. Żyjąc bowiem w czasach rewolucyjnej transformacji, wręcz rewolucji, której motorem napędowym są nowe techniki i technologie, stawiać musimy na otwartą wymianę poglądów. Tylko bowiem w ten sposób zredukować będziemy mogli liczbę „ofiar”, które każda rewolucja po sobie zostawia<sup>4</sup>.

Świadomość konieczności wykorzystania najnowszych zdobyczy techniki w dziedzinie opieki nad zabytkami legła przed laty u podstaw stworzenia w Krajowym Ośrodku Badań i Dokumentacji Zabytków placówki, której zadaniem miało być wypracowywanie podstawowych norm badawczych i dokumentacyjnych, uwzględniających zastosowanie najnowszych zdobyczy techniki. Pracownia Badań Interdyscyplinarnych, bo tak nazywała się ta placówka, za główny poligon swoich działań obrała Wilanów. Przez pięć lat, korzystając z przychylności Dyrektora Muzeum, oczekującego stworzenia przejrzystego systemu gromadzenia i przetwarzania wiedzy, udało się stworzyć podstawy systemu określanego dziś jako „archeologia wilanowska”<sup>5</sup>. Był to pierwszy w kraju sposób oparty na szerokim zastosowaniu technik cyfrowych, łączących we wspólnym języku komputerowym wszystkie aspekty pracy badawczej i wszelkich czynności dokumentacyjnych, zamkniętych w spójnej logicznie, przestrzennej bazie danych. System ten miał być w zamiarach Dyrekcji KOBiDZ materiałem dla ogólnośro-

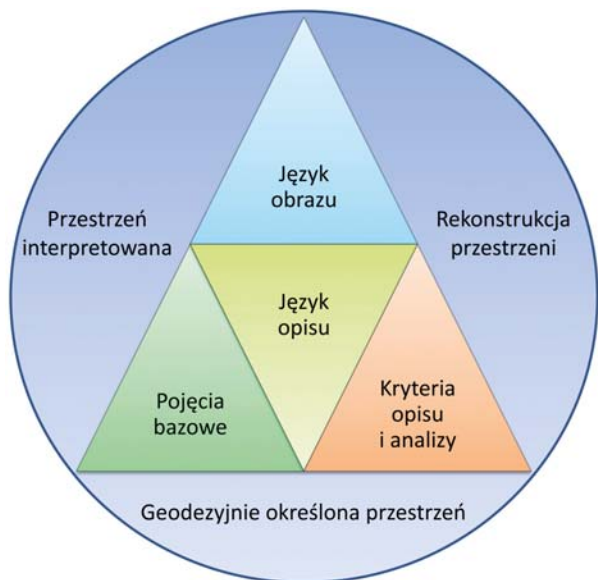
---

\* INCEDO3D, ul. Kościuszki 41, Ostrówek, 05-205 Klembów

dowiskowej dyskusji, której konkluzje trafić miały do osób decydujących o formie i sposobach szeroko pojętej opieki nad zabytkami. Niestety, w wyniku restrukturyzacji KOBiDZ, przeprowadzonej w początkach 2007 r., Pracownia została zlikwidowana, a KOBiDZ wycofał się z badań prowadzonych w Wilanowie. I chociaż dzisiaj

można powiedzieć, że badania wilanowskie udało się z powodzeniem zakończyć, to jednak trudno jest ukryć fakt, że jeden z podstawowych, dalekosiężnych celów tych badań nie został zrealizowany (ryc. 1).

Pojawianie się nowych technik od zawsze prowadziło do pozytywnych zmian metodyki działań badawczo-



Ryc. 1. Schemat działania zespołu archeologów Pracowni Badań Interdyscyplinarnych Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków (obecnie Narodowy Instytut Dziedzictwa) stosowany podczas prac badawczych, prowadzonych na terenie królewskiej rezydencji w Wilanowie. Należy zwrócić uwagę na uznanie nadrzędnej roli zdefiniowanej geodezyjnie przestrzeni i upodmiotowienie „języka obrazu”, jako podstawy treści dokumentacji i interpretacji dokonywanych odkryć. Opr. A. Gołębniak

*Fig. 1. Functional diagram of the archaeological team of Interdisciplinary Research Laboratory of the KOBiDZ (now National Heritage Board of Poland), used during the research work carried out in the royal residence in Wilanów. Attention should be drawn to the recognition of the key role of defined geodesic space and empowerment „visual language”, as the basis of content of the document and interpret the findings.*



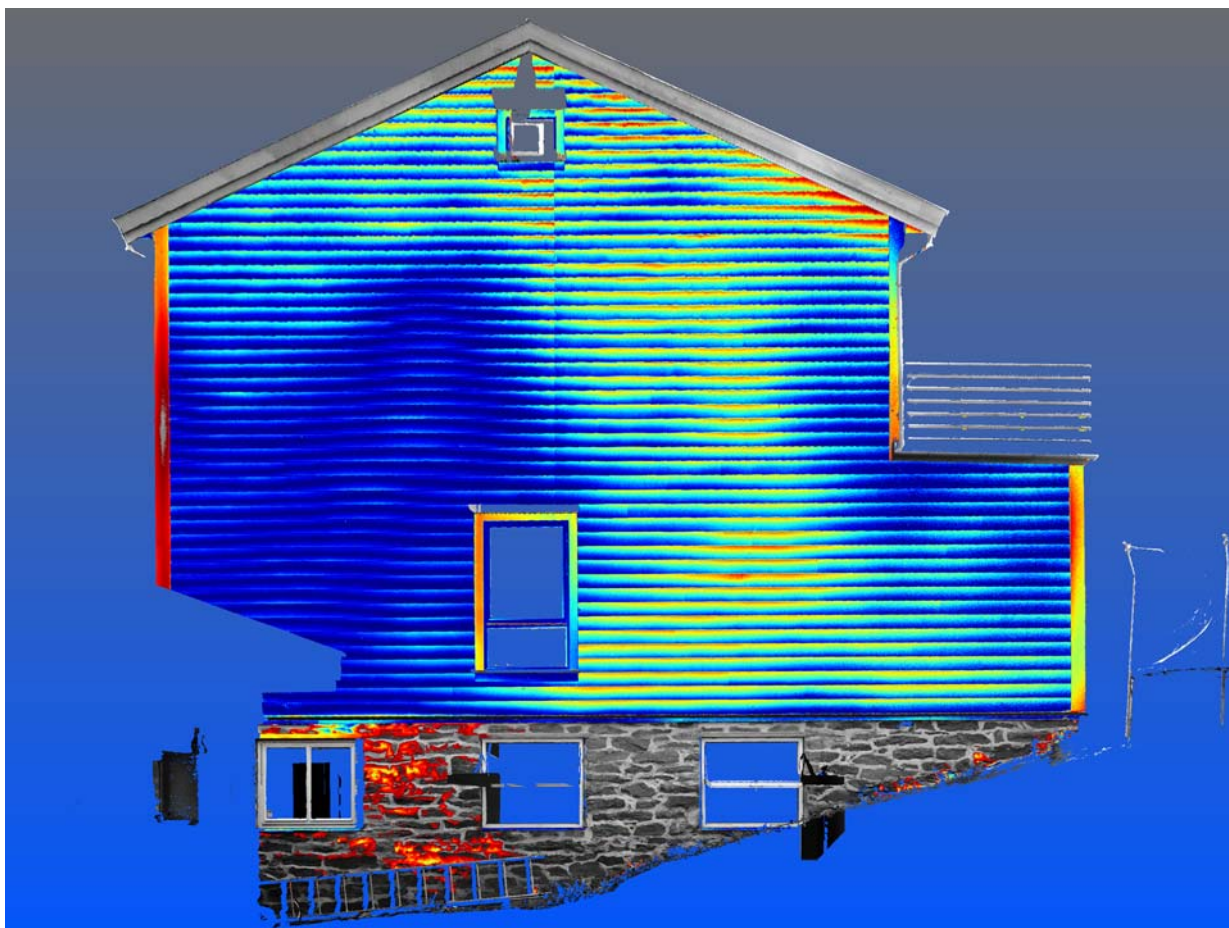
Ryc. 2. Geodezja jest nauką o praktycznym zastosowaniu geometrii w dziele określania wielkości i kształtu ziemi oraz ustalania położenia punktów na jej powierzchni. Dzięki zastosowaniu nowoczesnego sprzętu pomiarowego i nowych programów komputerowych wykorzystujących ich moc, stworzona została szansa łatwego tworzenia przestrzennych bazy danych oraz skalibrowanych, trójwymiarowych modeli badanych powierzchni. Uczyniło to z zasad geodezji podstawę metodycznego działania. Fot. A. Gołębniak

*Fig. 2. Geodesy is the science of practical application of geometry in work of determining the size and shape of land and positioning of points on its surface. Thanks to modern measuring equipment and new computer programs using their power, a chance of easy creation of spatial database and calibrated, three-dimensional models of the investigated space appeared. These undoubted benefits have established roles of surveying as a foundation of methodological activities.*



Ryc. 3. Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie – fasada ogrodowa Pałacu. Wynik skanowania laserowego w formie kolorowej chmury punktów. Wyk. INCEDO3D Archiwum Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie

*Fig. 3. Museum of King Jan III's Palace in Wilanów – Garden facade of the Palace. The result of laser scanning in the form of a colored point cloud*



Ryc. 4. Bergen – analiza odchyleń ściany szczytowej zabytkowego budynku drewnianego, wykonana przy użyciu skanera FARO X-330 i oprogramowania JRC Reconstructor 3D. Wyk. B. Gotembnik/INCEDO3D

Fig. 4. Bergen – analysis of deviations of the gable wall of historic wooden building, made by scanner FARO X-330 and software JRC 3D Reconstructor



Ryc. 5. Łazienki Królewskie w Warszawie – rzeźba parkowa Alegoria Wody. Wynik podstawowej rejestracji, wpisującej obiekt w geodezyjną przestrzeń zabytkowego parku w skali 1:1 (półprodukt)  
Wyk. INCEDO3D Archiwum Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie

Fig. 5. Łazienki Królewskie Park in Warsaw – the park sculpture „Allegory of Water”. The result of the basic laser registration, setting the object into geodetic space of the park, in a scale of 1:1 (intermediate)



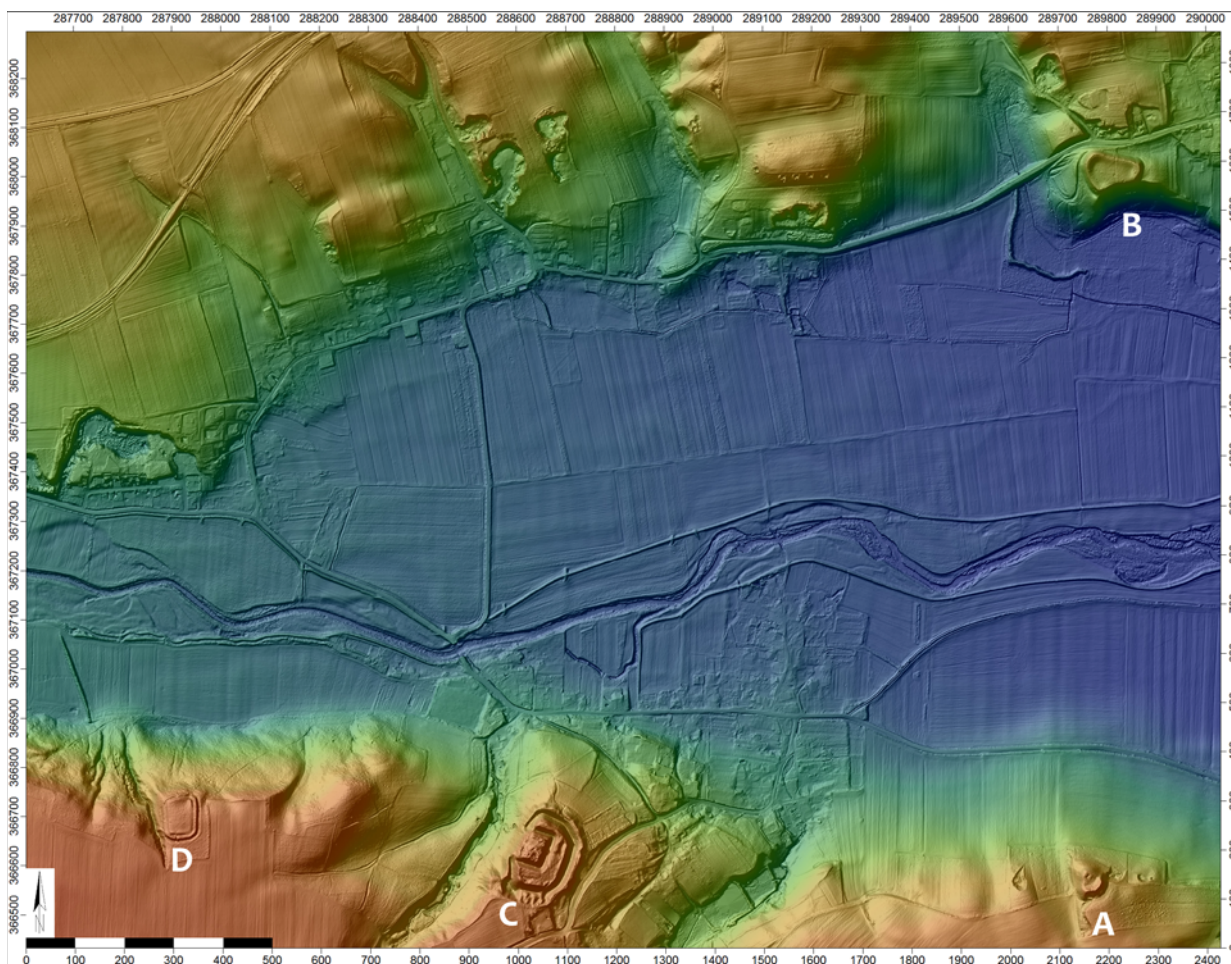
-konserwatorskich, zawsze usprawniając przy tym proces tworzenia dokumentacji. Nie inaczej jest obecnie, z tym że przy dzisiejszym tempie rozwoju technicznego zamknięta została droga procedur wdrożeniowych. Nie ma już czasu na polemikę i wybór optymalnych rozwiązań, bowiem nowe techniki, jeszcze często przed opracowaniem zasad ich użycia, podlegają kolejnym usprawnieniom i modyfikacjom. Będąc aktywnym uczestnikiem tego „wyścigu” wiem, że w wielu przypadkach jest on twórczy, chociaż zdarzają się okoliczności, w których tak nie jest. Często dochodzi bowiem do sytuacji, w której chęć zastosowania nowego urządzenia lub oprogramowania bez należytego poznania i zrozumienia wszystkich jego technicznych uwarunkowań prowadzi do niekontrolowanych zubożeń, częściowej utraty danych lub utrwalenia ich w nieprzydatnej formie. W dłuższej perspektywie to zagrożenie wydaje się być jeszcze większe i to z wielu powodów, nie zawsze zależnych od wykonawcy prac czy instytucji gromadzącej informacje o zabytku. Warto zatem dokonać przeglądu podstawowych spośród stosowanych obecnie technik i wskazać na ich dobre i złe strony, zwracając przy tym uwagę na wspomniane niebezpieczeństwa.

Na wstępie tych rozważań warto zwrócić uwagę na czynnik odgrywający bodaj najważniejszą rolę w procesie unowocześniania warsztatu badawczego (a także i konserwatorskiego, jeśli ten ma być kompatybilny z dokumentacją naukową). Jest on wspólny dla niemal wszystkich zaawansowanych nowinek technicznych, choć nie zawsze jest wymogiem *sine qua non* dla ich zastosowania. Mam tu na myśli pomiar geodezyjny. Dziś to właśnie geodezja, dzięki nowoczesnym technologiom, innowacyjnym technikom cyfrowej obróbki obrazu i nowym aplikacjom komputerowym, stała się podstawą niemal każdego nowoczesnego działania. To nie przypadek, że producenci nowych modeli aparatów cyfrowych połączyli matrycę z odbiornikiem GPS. Pozycja geodezyjna, mierzona wartościami współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$  staje się wartością obecną w każdej przestrzennej bazie danych, a te w szybkim tempie stają się podstawowym narzędziem sprawnego administrowania zasobami, także w sferze opieki nad zabytkami. Trudno jest obecnie wyobrazić sobie np. wiarygodnie wykonaną rejestrację fotogrametryczną, pozbawioną precyzyjnie zmierzonych koordynatów. Tych przykładów wymaganej obecności urządzeń pomiarowych i osób sprawnie je obsługujących można byłoby podać więcej. Stała się zatem geodezja nie tylko partnerem w pierwszej fazie prac badawczo-konserwatorskich, ale także spoiwem dla interdyscyplinarnych projektów i gwarantem poprawnej realizacji całego zadania (ryc. 2).

Wraz z nowymi urządzeniami pomiarowymi pojawiła się w pracy badawczej niespotykana dotychczas precyzja.

Ryc. 6. Łazienki Królewskie w Warszawie – rzeźba parkowa Alegoria Wody. Docelowy wynik rejestracji powstałej po połączeniu dwóch technik dokumentacyjnych (skanowania i fotogrametrii krótkiego zasięgu) i zastosowaniu programu prezentacyjnego. Wyk. INCEDO3D/Feel3D, Archiwum Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie

Fig. 6. Łazienki Królewskie in Warsaw – the park sculpture Allegory of Water. The target score of registration, formed after the merger of two documentation techniques, laser scanning and close range photogrammetry and the use of the presentation software

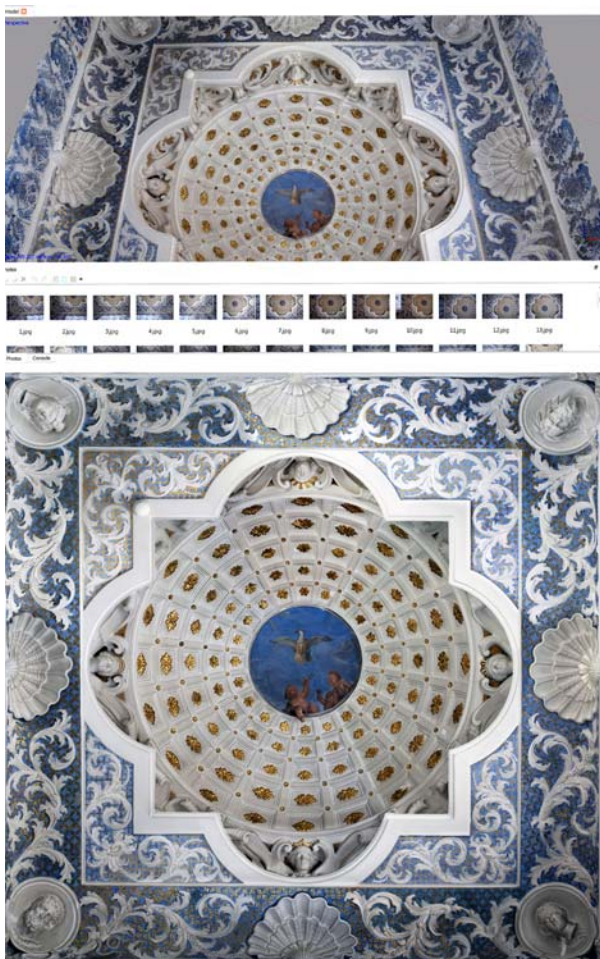


Ryc. 7. Złotoryja – Obiekty obronne z różnych okresów na terasach Kaczawy w pobliżu Złotoryi: A – grodzisko ze starszych faz wczesnego średniowiecza w Rokitnicy, B – grodzisko z młodszych faz wczesnego średniowiecza w Wysocku, C – zamek w Rokitnicy z XIII-XIV w., D – nowożytny obóz wojskowy. Oprac. M. Legut-Pintal

Fig. 7. Defensive structures from different periods, situated on the Kaczawa terraces, near Złotoryja: A – stronghold of the older phases of the early Middle Ages in Rokitnica, B – stronghold of the younger phases of the early Middle Ages in Wysock, C – castle in Rokitnica from 13<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> c., D – modern military camp

Użycie urządzeń geodezyjnych nowej generacji, w tym w pierwszym rzędzie laserowego skanera 3D, pozwalające określić położenie milionów punktów z milimetrową dokładnością, z odległości kilkuset metrów, staje się powoli wykładnią badawczej i konserwatorskiej rzetelności. Zmierzona precyzyjnie trójwymiarowa przestrzeń jest bowiem jedyną w pełni obiektywną wartością referencyjną jej stanu na czas wykonywania rejestracji. Wartością niezmienną co do swej treści i formy, zapisanych w wartościach ponadczasowych, a więc uniwersalnych. Efekt pracy skanera staje się zatem obiektywnym zapisem stanu rzeczywistego. Wydaje się więc, że tak jak i każdy proces badawczy, także i przebieg prac konserwatorskich zyskał narzędzie określające przestrzenie z należytą precyzją każdy z etapów prowadzonych prac. Należy przy tym podkreślić, że możliwość efektywnego użycia tego samego instrumentu na etapie badań i konserwacji zbliża ze sobą dwa te procesy, zapisując ich wynik w zintegrowanym środowisku przestrzennej bazy danych. Tak oto, dzięki nowym technologiom, prace konserwatorskie stały się rozwinięciem i zwieńczeniem procesu badawczego. Trudno o lepszą informację dla ludzi opiekujących się zabytkami (ryc. 3).

Skanery laserowe 3D pojawiły się w naszym kraju już ponad 10 lat temu. Od tego czasu zdążyły przejść dość istotną ewolucję, poprawiając dzięki modyfikacjom precyzję pomiaru i jakość obrazu<sup>6</sup>. Podstawy techniki pozostają jednak wciąż te same. Urządzenie, wysyłając z ogromną częstotliwością wiązki lasera, zbiera informacje o pozycji geodezyjnej każdego fragmentu powierzchni rejestrowanego obiektu, budując jego trójwymiarowy obraz, złożony z gęstej chmury punktów. Najnowsze generacje tych urządzeń są w stanie wykonywać pomiary z prędkością miliona punktów na sekundę, mierząc obiekt z odległości kilkuset metrów z milimetrową dokładnością. Sprzęgnięcie skanera z wbudowanym (lub dołączanym) cyfrowym aparatem fotograficznym pozwala obecnie chmurę tę przedstawić w formie rzeczywistego obrazu, jakością nie odbiegającego od cyfrowej fotografii. Rzecz w tym, że ten fotorealistyczny obraz jest w swej istocie aktywnym, trójwymiarowym modelem w skali 1:1, w którym każdy z setek milionów punktów tworzący ów model ma swoją pozycję geodezyjną. Precyzja pomiaru jest tu sprawą nadrzędną, bowiem skaner rejestruje anomalie niewi-



Ryc. 8. Wilanów, Muzeum Pałacu Króla Jana III – zrzut z ekranu widoku aksonometrycznego modelu 3D plafonu Pokoju Farfurowego oraz jego ortofotograficzna wersja. Wyk. INCEDO3D, Archiwum Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie

Fig. 8. Museum of King Jan III's Palace in Wilanów – screenshot of 3D model of the ceiling of Farfurovy Room and its orthophotographical version

doczne gołym okiem, co przekładać się może na wiele użytecznych analiz. Nie od dziś wiadomo, że analiza powierzchniowa pozwala wychwycić miejsca zawilgoceń i zmian temperatury, nie mówiąc już o mechanicznych odkształceniach i uszkodzeniach, których znajomość jest niezbędna przy ocenie stanu zachowania zabytku i śledzeniu tempa jego zmian (ryc. 4).

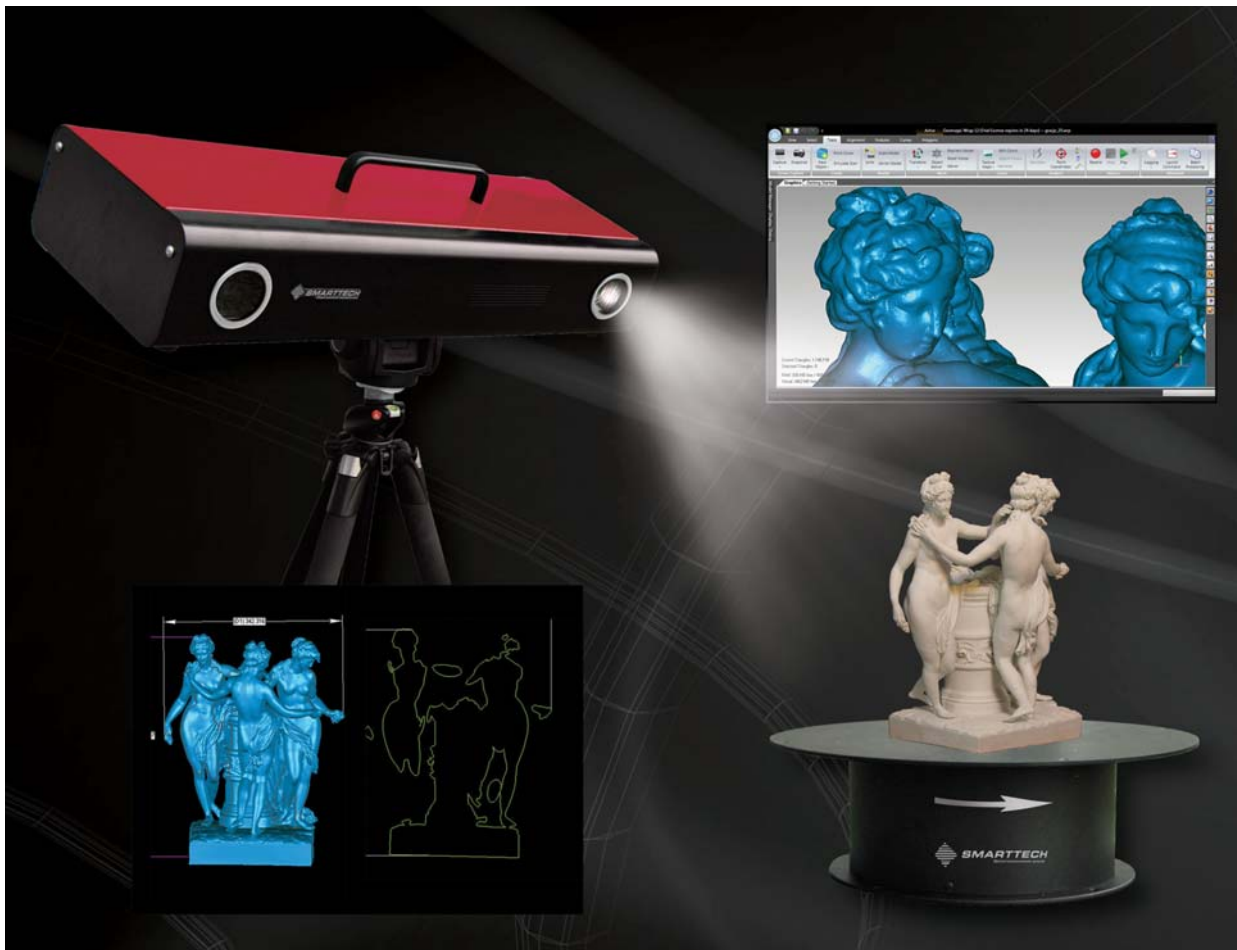
Wspominam o zaletach skanera laserowego 3D w pierwszej kolejności, bo też i wartość tej techniki przewyższa znacznie wszystkie pozostałe. Niestety, w pierwszych latach stosowania tego urządzenia nie wszyscy wykonawcy zadbali o należyty poziom świadczonych usług. I chociaż trudno jest zepsuć sam proces skanowania, to jednak brak umiejętności wykorzystania oprogramowania służącego do obróbki chmury punktów był dla wielu odbiorców prac poważnym problemem. Do tego zdarzały się przypadki stosowania dość nieuczciwej praktyki, która polegała na dostarczeniu wyniku prac na nośnikach cyfrowych, których nie można było otworzyć bez zakupu specjalistycznego oprogramowania. Takie działania zraziły wielu administratorów obiektów zabytkowych. Trudno dziwić się takiej reakcji, bowiem usługa ta była jeszcze do niedawna bardzo kosztowna.

Ale czasy się zmieniły. Skanerów jest „na rynku” usług już znacznie więcej, zatem pojawiła się i konkurencja. Spowodowało to spadek cen i wyraźny wzrost jakości usługi. Warto zaznaczyć, że dzieje się też tak i z powodu modyfikacji samego sprzętu i rozwoju programów obsługujących chmurę punktów. Poza tym nie ma już dzisiaj obawy, że rozmiar pliku tworzącego model uniemożliwi efektywne jego wykorzystanie. Dzisiaj obraz taki można przesyłać nawet przez Internet, nie zważając przy tym na zbyt wyśrubowane parametry komputera.

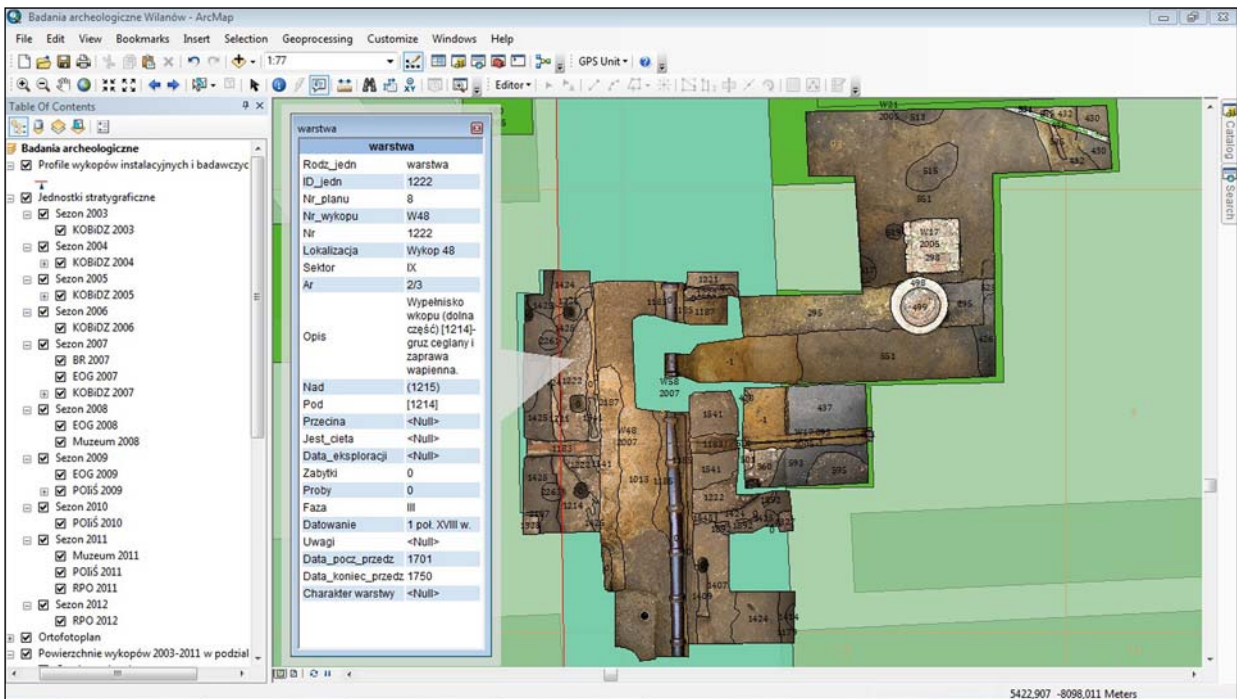
Dokładność pomiaru skanera jest podstawowym wykładnikiem wartości wykonanej pracy. Określa się ją w momencie przypisania markerom wartości geodezyjnych i podnosi, zagęszczając chmurę punktów. W wyniku tego procesu każdy z milionów punktów otrzymuje swoje współrzędne  $x$ ,  $y$  i  $z$ . Część badaczy, a zapewne i konserwatorów, nie przywiązuje wagi do nadmiernej precyzji pomiaru, w tym też i pomiaru geodezyjnego. Unikam dyskusji na ten temat, bowiem wychodzę z założenia, że efekt pracy osoby wykonującej dokumentację powinien być *a priori* dziełem o najwyższym z możliwych stopniu precyzji (ryc. 5).

Trzeba pamiętać, że dokumentacja wykonana przy użyciu skanera, poprzez swój uniwersalny wymiar, staje się produktem możliwym do wykorzystania przez różnych specjalistów i to do różnych celów, w tym też i projektowych (że nie wspomnę już o możliwości monitorowania postępujących zmian) – musi więc być dokładna. Jestem zatem zdania, że decydując się na zamówienie skanowania warto wymagać od wykonawcy produktu o możliwie największym zagęszczeniu chmury punktów i najwyższej dokładności geodezyjnego pomiaru. To prawda, że pliki takie zajmują mnóstwo pamięci, ale warto jest mieć je w archiwum, bowiem jak wspomniałem, przy obecnym poziomie technicznym „odchudzenie” takiego pliku i aktywne jego wykorzystanie nie stanowi już problemu<sup>7</sup> (ryc. 6).

Rozpatrując wartość dokumentacyjną skanów laserowych 3D nietrudno zauważyć, że kolejną ich zaletą jest fakt równoległej rejestracji szerokiego, zdefiniowanego geodezyjnie kontekstu. A więc ponownie przestrzeń staje się czynnikiem istotnym, poszerzającym pole obserwacji i podnoszącym jej wartość, nie mówiąc już o stawianych diagnozach oraz wnioskach. To kolejny dowód, że rejestracja przestrzeni właśnie, dopisująca kontekst do przedmiotu naszych zainteresowań, narzuca interdyscyplinarny wymiar prowadzonych prac. Warto zatem przywołać tu jeszcze jeden sposób rejestracji przestrzeni, zbliżony w swym działaniu do skanowania laserowego. Jest nim technika LIDAR<sup>8</sup>. To rejestracja wykonywana z powietrza, obejmująca swoim zasięgiem dowolną przestrzeń i dokumentująca ją z niespotykaną dotychczas dokładnością. Wspominam o niej, bowiem analiza otrzymanego obrazu umożliwi nie tylko ustalenie zasięgu zabytkowych przestrzeni, ale także i niuansów ich pierwotnego rozplanowania przestrzennego. Jest zatem nie tylko narzędziem archeologów, ale też historyków architektury, krajobrazu i pośrednio konserwatorów. Warto pamiętać przy tym, że jakość rejestracji dostarcza



Ryc. 9. „Trzy gracje”, rejestracja wykonana przy użyciu skanera wykorzystującego promienie światła strukturalnego. Wyk. Smarttech  
 Fig. 9. „The Three Graces”, registration made by a scanner that uses structured light ray



Ryc. 10. Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie, „strona” przestrzennej bazy danych GIS, obrazująca epizod poszukiwań archeologicznych, związanych z odkrywaniem negatywu fontanny na Tarasie Górnym i ukazujący relację stratygraficzną zarejestrowanych jednostek stratyfikacji. <http://gis.muzeum-wilanow.pl/archeologia>

Fig. 10. Muzeum of King Jan III's Palace in Wilanów, „page” of the spatial GIS database, showing the episode of archaeological research, related to discovery of the fountain's negative, found on the Upper Terrace of the king's garden and showing stratigraphical relation between registered stratification units. <http://gis.muzeum-wilanow.pl/archeologia>

też informacji o geograficznym i przyrodniczym kontekście zabytkowej przestrzeni. Możliwość dysponowania danymi LIDAR, do niedawna niezmiernie droga, jest od pewnego czasu dostępna, dzięki zasobom osiągalnym przez Internet: [www.cotgik.gov.pl](http://www.cotgik.gov.pl), udostępnianym za przystępną cenę dla niemal całej powierzchni naszego kraju<sup>9</sup> (ryc. 7).

Popularność innowacyjnych technik pomiarowych wciąż wzrasta, a to głównie za sprawą formy produktu finalnego, który jest *de facto* zwymiarowanym, trójwymiarowym i fotorealistycznym obrazem, czyli mówiąc inaczej, zwizualizowaną, aktywną (ruchomą) formą przestrzenną. I jako że łączyć może w sobie kilka podstawowych cech, w tym przede wszystkim pomiarową, jest na wiele sposobów formą funkcjonalną, działającą poprzez trójwymiarowy obraz na wyobraźnię, co nie pozostaje bez znaczenia w procesie badawczym czy też konserwatorskim. Nie dziwi zatem wielka popularność cyfrowych metod fotogrametrycznych, rozwijających się w ostatnich latach tak dynamicznie. Fotogrametria bliskiego zasięgu, bo taką oficjalną nazwę otrzymała metoda łączenia zdjęć cyfrowych, stosowana jest z powodzeniem od blisko trzydziestu lat<sup>10</sup>. Z początku dwumiarowa, sprowadzająca się do wykonywania ortofotografii, przybrała u schyłku ubiegłego wieku także formę trójwymiarową. Z początku nie budziła większego zainteresowania reprezentantów nauk humanistycznych, dopóki nie zostały opracowane automatyczne algorytmy, pozwalające składać serie zdjęć w jeden, spójny obraz 3D. Skoro zatem metoda ta staje się tak popularna, warto przyjrzeć się jej z bliska, pozostawiając przy tym sprawy techniczne fachowcom<sup>11</sup>.

Fotogrametria cyfrowa 3D zawdzięcza swoją popularność opinii o łatwości, z jaką uzyskiwany jest trójwymiarowy obraz. To właśnie ta pozorna przystępność techniki czyni ją obecnie jednym z wiodących sposobów wykonywania dokumentacji. Piszę „pozorna”, bowiem podobnie jak w czasie zmierzchu fotografii analogowej, kiedy to starannie dobrane kadry zastąpiły setki zdjęć cyfrowych o charakterze reportażowym, tak i robione z ręki „foty”, składane przez automatyczne funkcje programów fotogrametrycznych, nierzadko wprowadzają do zbiorów dokumentacji chaos. Rzecz w tym, że wszystkie innowacyjne aplikacje związane z tworzeniem trójwymiarowych rejestracji, czy to laserowych, czy fotogrametrycznych, wykonywanych z powietrza czy też z ładu, mają swoją podstawę w skomplikowanych zasadach geodezji. Wracamy zatem i w tym przypadku do wyrażonej uprzednio myśli o wiodącej roli precyzyjnego pomiaru w procesie tworzenia podstaw naukowej (konserwatorskiej) dokumentacji. Innymi słowy, należy raz jeszcze podkreślić, że czynnikiem utrzymującym jej ład są precyzyjnie pomierzone punkty, stanowiące część osnowy i wpisujące dokumentowany obiekt w szerszy kontekst przestrzenny. Przypomnę zatem, że tylko zmierzona przestrzeń jest w pełni obiektywnym czynnikiem, łączącym złożoną rzeczywistość badawczo-konserwatorską w spójną całość (ryc. 8).

Świadomość takiego stanu rzeczy sprawiła, że dokonany został przełom w dotychczasowym myśleniu o zasadach tworzenia i archiwizowania dokumentacji. Dotyczy to zresztą wszystkich uczestników prac przy zabytkowym obiekcie czy też historycznej przestrzeni. Zanim przejdę do omówienia konsekwencji takiego stanu rzeczy, powrócę do spraw związanych z wykonywaniem trójwymiarowej dokumentacji fotogrametrycznej, bowiem kusząca funkcja składania trójwymiarowej przestrzeni „z automatu” nie wydaje się być rozwiązaniem w pełni bezpiecznym. Otóż takie wykonywanie dokumentacji, szczególnie dla znacznych powierzchni, niesie ze sobą ryzyko powstania pomiarowych błędów. Próba udowodnienia, że algorytmy łączące piksele pozwalają wiernie (w rozumieniu metrycznym) odwzorować dokumentowaną przestrzeń, jest nieprawdziwa. Wystarczy porównać efekt takiej pracy ze stanem faktycznym (mierząc odległość pomiędzy skrajnymi punktami wybranej płaszczyzny). Podobnie niekorzystnie wypadnie porównanie efektu rejestracji fotogrametrycznej z wynikiem skanowania laserowego. Skala tego błędu jest różna i zależy od kilku czynników, w tym przede wszystkim od jakości aparatu, liczby i sposobu wykonywania zdjęć, które mają podstawowy wpływ na stopień pokrycia sąsiadujących kadrów i ich ostrości (w tym rzecz jasna i jej głębi).

Pozostawiając na boku techniczne uwarunkowania będące powodem tych niedoskonałości, warto podkreślić, że wbrew pozorom nie jest to technika prosta. I chociaż już wszyscy liczący się na rynku producenci oprogramowania fotogrametrycznego wprowadzili kuszącą funkcję automatycznego łączenia zdjęć, to w przypadku prac dokumentacyjnych funkcja ta stosowana być powinna z rozwagą. Nie przez przypadek jest ona główną atrakcją tańszej, podstawowej wersji programów. Jest jednak i druga, znacznie droższa wersja, zawierająca m.in. możliwość pozycjonowania geodezyjnego i nie przez przypadek nosi ona miano „profesjonalnej”<sup>12</sup>. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że wtórne przypisywanie wartości geodezyjnych i pozycjonowanie dokumentowanego obiektu po zakończonym procesie automatycznego składania niesie ze sobą ryzyko popełnienia błędu – szczególnie w przypadku dokumentowania większych płaszczyzn. Być może zgubione podczas łączenia zdjęć 5 czy 10 centymetrów nie dla wszystkich będzie miało znaczenie, jednak już wpisane do pamięci komputera (a są to dane podlegające zapisowi i komputerowemu przetworzeniu) może okazać się dewastujące. Jestem przy tym zdania, że pojęcie błędu pomiarowego, czy też marginesu takiego błędu, powinno być z zasady wyeliminowane ze wszystkich prac prowadzonych w obrębie zabytkowych przestrzeni. Każda praca ma bowiem swoje parametry oceny, z których tym najważniejszym i jak sądzę, najłatwiejszym do weryfikacji, jest ocena dokładności pomiarowej (ryc. 9).

Skoro mowa o błędzie pomiarowym, warto wspomnieć o innych sposobach wykonywania trójwymiarowej dokumentacji, a mianowicie o skanowaniu promieniami światła strukturalnego<sup>13</sup>. Jest to technika,





Ryc.11. Łazienki Królewskie w Warszawie – rekonstrukcja Mostu Chińskiego. Model 3D wpisany w dzisiejszą przestrzeń parkową (wizualizacja). Wyk. INCEDO3D (model I. Żyła, montaż R.Solecki), Archiwum Muzeum Łazienki Królewskie w Warszawie

Fig. 11. Łazienki Królewskie park in Warsaw – reconstruction of the Chinese Bridge. 3D model entered in space of the present day park (visualization)

która wykorzystuje efekt deformacji linii promienia światła oświetlającego powierzchnię dokumentowanego przedmiotu. Proste linie promieni ulegają zniekształceniu natrafiając na nieregularną płaszczyznę obiektu, co rejestrowane jest przez kamerę i analizowane w komputerze. Metoda ta jest niewątpliwie jednym z bardziej precyzyjnych sposobów wykonywania trójwymiarowych rejestracji, stosowanych jednak głównie przy sporządzaniu dokumentacji zabytków o małych gabarytach. Osiągnięta dzięki rozwojowi tej techniki precyzja stała się powodem kolejnej dyskusji, tym razem dotyczącej granicy dokładności. Okazuje się bowiem, że dzięki zastosowaniu najnowszych skanerów wykorzystujących promień światła, dokładność odwzorowania powierzchni liczyć można w mikronach, a nawet w dziesiątych ich częściach. Czy zatem i tu trudno jest o konsensus? Wydaje się, że niestety tak, chociaż powtórzę, że nadmiar precyzji nikomu nie zaszkodził, zaś jej brak zaszkodził wielu. Nie ulega przy tym wątpliwości, że w celu sporządzania wartościowej dokumentacji stosować należy metody najlepsze, w tym te najbardziej dokładne. Natomiast decyzję o tym, którą z nich uznać za wiodącą, pozostawić należy tym, którzy potrafią jasno określić priorytety formalne i funkcjonalne i którzy za ten wybór ponoszą odpowiedzialność.

Omawiając wszystkie powyższe techniki trójwymiarowego zobrazowania obiektu lub przestrzeni warto zwrócić uwagę na to, że każda z nich może być zapisana w kilku zasadniczych postaciach. Jest to siła nowych

technologii, które poprzez zmienność formy zapisu i zobrazowania przestrzeni zyskują możliwość łączenia odmiennych technik rejestracyjnych. I tak przestrzeń uzyskana dzięki połączeniu zdjęć cyfrowych w programie fotogrametrycznym może być przekształcona w siatkę trójkątów lub chmurę punktów, co stwarza możliwość połączenia jej z przestrzennym wynikiem skanowania. Ta niewątpliwa dogodność rysuje ciekawą przyszłość dla ewolucji form dokumentacyjnych. Bo jeśli do tego dodamy możliwość wykonywania wybranych w wirtualnej przestrzeni rzutów ortogonalnych i generowania przekrojów w dowolnie wygranym miejscu, obliczania kątów, odległości i powierzchni, jeśli fotorealistyczna forma zyskać może wyrys wektorowy i to dowiązany do rzędnych geodezyjnych, spełniając inżynierskie normy projektowe, to nietrudno przewidzieć, że trójwymiarowa, cyfrowa forma dokumentacyjna zyska wkrótce status normy.

Możliwość zapisania w pamięci komputera zobrazowanej przestrzeni, która dzięki najnowszym aplikacjom staje się aktywna w każdym jej polu, otworzyła szansę przypisania wszystkim jej elementom nie tylko geodezyjnej pozycji, ale także i jej cech charakterystycznych<sup>14</sup>. Otwarta została zatem droga dla stworzenia jednej, a następnie wielu baz danych, które mogą być przypisane konkretnemu miejscu i to niekoniecznie przez jednego specjalistę. Definiując przestrzeń zyskano osnowę, precyzyjnie zdefiniowane metrycznie i obrazowo środowisko, w którym lokować można różnego

typu informacje, gromadzone przez przedstawicieli różnych specjalizacji i dyscyplin nauki. To pojemna baza przestrzenna, porządkująca i sortująca obrazy, dane tabelaryczne i opisowe. To wreszcie środowisko przetwarzające i analizujące tę wiedzę. Określane jest mianem Systemu Informacji Geograficznej (GIS, od angielskiego *Geographic Information System*) i stosowane jest z powodzeniem od wielu już lat w naukach społecznych i przyrodniczo-geograficznych<sup>15</sup>. Po raz pierwszy w Polsce, w obszarze przestrzeni zabytkowej, system ten zastosowany został podczas prac konserwatorskich i badawczych, prowadzonych na terenie Muzeum Pałacu króla Jana III w Wilanowie<sup>16</sup> (ryc. 10).

Teoretycy GIS twierdzą, że siłą systemu jest jego uniwersalizm. To prawda – współrzędne określające przestrzeń są obiektywne i niezmiennie. Prawdą jest też i to, że wszystko co nas otacza, nawet wartości niematerialne, ma swoje, możliwe do określenia miejsce. Oznacza to, że w pamięci komputera zapisywać możemy niemal wszystkie kategorie zjawisk, a od naszej wiedzy, doświadczenia i wyobraźni zależeć będzie struktura budowanej bazy. Kryteria budowy są tu niezmiernie ważne, bowiem największą siłą współczesnych, przestrzennych baz danych, jest możliwość przenikania się ich treści. Przy łatwości wyszukiwania opisanych zjawisk lub określonych cech i możliwości stosowania rozbudowanych funkcji przetwarzania zawartych w bazach informacji system GIS staje się narzędziem uniwersalnym, wielofunkcyjnym. Staje się analitycznym archiwum zawierającym nie tylko różnego rodzaju informacje czy też ilustracje, ale też i przestrzenne modele 3D. Jego siłą jest możliwość sukcesywnego uzupełniania i modyfikowania jego treści (ryc. 11).

Należy przy tym pamiętać, że podstawą baz danych może być dowolnie wybrana przestrzeń bądź obiekt. Może nią być fragment obiektu, a nawet jego detal i to w kilku wersjach, tworzonych przez przedstawicieli nie zawsze pokrewnych specjalności. Wszystko zależy od wizji twórcy bazy i oczekiwań jej odbiorców. Rzecz w tym, że nie tylko komputerowi programiści, ale ludzie obdarzeni wyobraźnią i wrażliwością mogą mieć znaczący wpływ na kształt i wartość budowanej bazy. Pamiętać

bowiem należy, że jej równie ważnym atutem jest możliwość wykorzystania zbioru informacji dla celów popularyzatorskich i edukacyjnych, daleko wykraczających poza oczekiwania samych specjalistów. Nie bez znaczenia pozostaje tu fakt łatwości, z jaką zawartość bazy, rzecz jasna odpowiednio zabezpieczonej, może być upubliczniona – chociażby poprzez dostęp internetowy. Próba taka została z powodzeniem zastosowana w Wilanowie, gdzie entuzjaści historii królewskiej rezydencji śledzić mogli przebieg badań archeologicznych, a następnie oceniać część ich wyników w umieszczonej na stronie Muzeum bazie. To cenne doświadczenie, które warto powielać, szczególnie, że od tamtego czasu minęło już kilka lat i obecne narzędzia programowe dają znacznie szersze możliwości.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt technicznej rewolucji. Otóż sposób i tempo wprowadzania innowacyjnych technik dokumentacyjnych, dynamika rozwoju komputerowego sprzętu i niekontrolowany zalew rynku nowymi rozwiązaniami programowymi wymuszają wśród zwolenników innowacyjności działania oparte na szybkiej decyzji i dużej dozie ryzyka. Ci, którzy starają się sprostać nowym wyzwaniom, muszą angażować nie tylko swoją wiedzę, czas i znaczne środki. Muszą przede wszystkim zdążyć opanować nową technikę, nowy program, zanim pojawi się kolejna jego wersja. Muszą ją zrozumieć i wdrożyć, zanim nie rozpocznie się produkcja nowego typu aparatury. Wszystkie te działania stoją w całkowitej sprzeczności z próbami odgórnego narzucenia dyrektyw, norm i standardów. Nic tak nie zabija rozwoju, jak sztywne reguły, którymi przesiąknięty jest dzisiejszy świat urzędniczy. Kończę zatem swój tekst apelem, zwróconym do tych instytucji i instytutów centralnych, które normy takie próbują narzucać. Zostawcie metodykę działań tym, którzy śledzą rozwój narzędzi ją kształtujących. Nie wytyczajcie kierunków działania, bo próba narzucenia nowych norm jest działaniem, które rozwój hamuje. Pozostańcie w sferze wartości fundamentalnych, egzekwując jedynie poszanowanie dla dwóch zasadniczych działań: prawidłowego pomiaru i precyzyjnej rejestracji trójwymiarowego obrazu.

---

## LITERATURA

- [1] Crutchley S., Crow P., *The Light Fantastic. Using airborne lidar in archaeological survey*, English Heritage, Swindon 2009.
- [2] Dziubek A., *Skaner 3D na bazie strukturalnego oświetlenia*, praca magisterska, Uniwersytet Wrocławski, Wydział Matematyki i Informatyki, Wrocław 2009.
- [3] Gołembnik A., *Problemy i perspektywy współczesnej archeologii ( przyczynek do dyskusji o metodyce badań stanowisk w obrębie miast zabytkowych)*, [w:] Radom: korzenie miasta i regionu, T. 3. *Archeologia w obliczu wyzwań współczesności*, IAiE PAN, Warszawa 2012, s. 73-107.
- [4] Gołembnik A., „*Archeologia Wilanowska*” – wyniki badań 2003-2011, *Z Otchłani Wieków, Rocznik 66*, Nr 1-4/2011-2012, s. 72-83.
- [5] Gołembnik A., *Metodyka archeologicznych badań terenowych w dobie przemian technologicznych*, [w:] Nawarstwienia historyczne miast, Forum naukowe 2008, red. M. Wardas-Lasoń, Kraków 2012, s. 237-259.

- [6] Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., *GIS – Obszary zastosowań*, PWN, Warszawa 2008.
- [7] Kovalev V.A., Eichinger W.E., *Elastic Lidar: Theory, Practice and Analysis Methods*, Wiley, Hoboken 2004.
- [8] Kraszewski B., *Określanie zakresu wykorzystania modeli stereoskopowych naziemnych zdjęć cyfrowych do odtwarzania wnętrza pomieszczeń*, Biuletyn WAT, vol. LX, nr 3, 2011, s. 277-290.
- [9] Pilecki R., *Zastosowanie naziemnego skanera laserowego*, Mechanika, Czasopismo Techniczne, Zeszyt 26, Rok 109, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2012, [www. http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR\\_ZastosowaniaNaziemnego.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf).
- [10] Waldhäusl P., Ogleby C., *3×3-Rules for Simple Photogrammetric Documentation of Architecture*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, Melbourne, 1994, pp. 426-429.
- [11] Davis O., *Processing and Working with LiDAR Data in ArcGIS: A Practical Guide for Archaeologists*, The Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales, Aberystwyth 2012, <http://www.rcahmw.gov.uk/media/259.pdf>

<sup>1</sup> [www.incedo3D.com](http://www.incedo3D.com)

<sup>2</sup> Gołębniak A., *Problemy i perspektywy współczesnej archeologii (przyczynek do dyskusji o metodyce badań stanowisk w obrębie miast zabytkowych)* [w:] Radom: Korzenie Miasta i regionu, Tom 3. Archeologia w obliczu wyzwań współczesności, IAiE PAN, Warszawa 2012, s. 73-107.

<sup>3</sup> Wspomnę tu o dwóch najważniejszych: Wilanów i Krzyżtopór.

<sup>4</sup> W archeologii brak szybkiej reakcji wyższych uczelni sprawił, że absolwenci większości instytutów nie są przygotowani do właściwego wykorzystania najnowszych zdobyczy techniki. Efektem braku wiedzy jest improwizacja, która w wielu przypadkach kończy się porażką badacza.

<sup>5</sup> Gołębniak A., „Archeologia Wilanowska” – wyniki badań 2003-2011, *Z Otchłani Wieków*, Rocznik 66, Nr 1-4/2011-2012, s. 72-83.

<sup>6</sup> Pilecki R., *Zastosowanie naziemnego skanera laserowego*, Mechanika, Czasopismo Techniczne, Zeszyt 26, Rok 109, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2012, [www. http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR\\_ZastosowaniaNaziemnego.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i7/i6/i4/r15764/PileckiR_ZastosowaniaNaziemnego.pdf).

<sup>7</sup> Pisząc o zaletach skanowania należy zwrócić szczególną uwagę na nowe możliwości tej techniki. Być może ich znajomość może pomóc przyszłym zleceniodawcom jasno precyzować swoje oczekiwania i wymagania wobec wykonawców. Po pierwsze pamiętać należy o tym, że wynik skanowania jest częścią złożonego procesu. Składa się nań etap pomiarowy, w czasie którego wykonywanych jest wiele sesji, składanych później w model ostateczny. Podstawą złożenia jest pomiar punktów referencyjnych (markerów), znajdujących się w obrębie skanowanego obiektu. Należy w tym miejscu podkreślić, rozwijając wątpliwości opiekunów zabytkowych powierzchni, że nowa generacja oprogramowania może łączyć je w całość wykorzystując charakterystyczne punkty, a nie siatkę markerów, które mogą stanowić zagrożenie dla zabytkowej powierzchni.

<sup>8</sup> *Light Detection and Ranging*. Rozwinięcie angielskojęzycznego skrótu oznacza wykrywanie i określanie położenia za pomocą światła. Nie wdając się w opisy szczegółowe, należy wiedzieć, że technika ta zbliżona jest zasadą działania do radaru. Technika różni się od radaru tym, że zamiast impulsu dźwiękowego wysyłany jest promień laserowy: V.A. Kovalev, W.E. Eichinger, *Elastic Lidar: Theory, Practice and Analysis Methods*, Wiley 2004; S. Crutchley, P. Crow, *The Light Fantastic. Using airborne lidar in archaeological survey*, English Heritage, Swindon 2009; S. Wiley-Blackwell, O. Davis, *Processing and*

*Working with LiDAR Data in ArcGIS: A Practical Guide for Archaeologists*, The Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales, Aberystwyth 2012.

<sup>9</sup> Analizę otrzymanych zdjęć wykonuje się poprzez zastosowanie specjalistycznego oprogramowania, dostępnego także poprzez aplikacje *freeware*. Warto jednak ja zlecić wyspecjalizowanej firmie.

<sup>10</sup> P. Waldhäusl, C. Ogleby, *3×3-Rules for Simple Photogrammetric Documentation of Architecture*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, Melbourne, 1994, pp. 426-429.

<sup>11</sup> Kraszewski B., *Określanie zakresu wykorzystania modeli stereoskopowych naziemnych zdjęć cyfrowych do odtwarzania wnętrza pomieszczeń*, Biuletyn WAT, vol. LX, nr 3, 2011, s. 277-290.

<sup>12</sup> Znaczna różnica w cenie sprawiła, że najbardziej popularna „na rynku” jest wersja podstawowa. W związku z tym większość firm usługowych oferuje produkt niepełnowartościowy, w którym wartość geodezyjna dołączana jest niejako wtórnie, po wykonaniu złożenia trójwymiarowego „modelu”. Jest to zła praktyka, w wyniku której zamawiający otrzymuje produkt o zafałszowanej dokładności, a więc niepełnowartościowy. Warto jest zatem zapytać wykonawcę o rodzaj oprogramowania i warto we własnych pomysłach inwestycyjnych przewidzieć większy wydatek na pełnowartościowy produkt.

<sup>13</sup> Dziubek A., *Skaner 3D na bazie strukturalnego oświetlenia*, praca magisterska, Uniwersytet Wrocławski, Wydział Matematyki i Informatyki, Wrocław 2009.

<sup>14</sup> W przypadku tych ostatnich, dzięki zastosowaniu nowych technik dokumentacyjnych, uzyskano możliwość dołączenia do tradycyjnego języka opisu także i szczegółowo odwzorowanego wizerunku obiektu, wraz z jego kontekstem. W archeologii ta forma graficznego przedstawienia zyskuje miano „języka obrazu”.

<sup>15</sup> Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R., *GIS – Obszary zastosowań*, PWN, Warszawa 2008.

<sup>16</sup> Nie do przecenienia jest na tym polu praca wykonana przez zespół konserwatorów Międzyuczelnianego Instytutu Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, kierowany przez prof. Andrzeja Kossę. Pełna baza GIS zastosowana została także w przypadku trwających 10 lat badań archeologicznych: Gołębniak A., *Metodyka archeologicznych badań terenowych w dobie przemian technologicznych*, [w:] *Nawarstwienia historyczne miast*, Forum naukowe 2008, red. M. Wardas-Lasoń, Kraków 2012, s. 237-259.