

Kraków, 15.05.2022

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani Mgr inż. arch. Marty Pakowskiej
pt.: *„Technologia skanowania i modelowania 3D jako procesu rekonstrukcji i interpretacji
reliktów architektonicznych i archeologicznych na podstawie doświadczeń LabScan 3D PWr”*
wykonanej pod kierunkiem promotora Prof. dr. hab. inż. arch. Jacka Kościuka
i promotora pomocniczego dr inż. Bartłomieja Ćmielewskiego
na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej

1. Podstawa opracowania

- 1.1. Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej z dnia 20.12.2021 i zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej AiU PWr z dnia 21.12.2021
- 1.2. Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym, oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, (Dz.U. z 2016 r. Poz. 882 i 1311), oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30.09.2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym, oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z 2016 r. poz. 1586), oraz Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85).
- 1.3. Rozprawa doktorska w jednym wolumenie.
- 1.4. Inne dokumenty formalne.

2. Treść recenzji

Przedłożona do recenzji rozprawa ujęta została w jednym volumenie zawierającym tekst oraz ilustracje i plansze graficzne oraz tabele o łącznej objętości 222 stron komputerowego wydruku formatu A4 i podzielona została na cztery merytoryczne rozdziały. W *Wstępie* (1) znalazło się omówienie obszaru badań, wyjaśnienie uzasadnienia podjęcia tematu, celu pracy teza rozprawy oraz wyjaśnienie przyjętej konstrukcji pracy, dalej omówiono *Zastosowane metody badawcze* (2) precyzując w poszczególnych podrozdziałach narzędzia i technologie wykorzystane do zbierania danych, zastosowane oprogramowanie, zarówno specjalnie dedykowane do konkretnych urządzeń, jak i typu software dla rekonstrukcji 3D i stosowane do analizy danych, wreszcie technologie CNC używane do tworzenia kopii. W kolejności znalazła się *Analiza doświadczeń LabScan PWr* (3) odniesiona do badań wielkopowierzchniowych, badań w skali architektonicznej, odkształceń i zniszczeń konstrukcji oraz problematyki wytrzymałościowej, dedykowana celom konserwatorskim oraz badaniom z zakresu interpretacji odkrytych zabytków sztuki i w zakończeniu przedstawiono *Podsumowanie i wnioski* (4). Ponadto rozprawa zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, bibliografię, spis tabel, ilustracji oraz aneks zawierający specyfikację techniczną zastosowanych narzędzi. Na początku rozprawy zamieszczono także *Słownik pojęć* zawierający wyjaśnienie kilkudziesięciu terminów używanych w tekście, co w tego typu rozprawie staje się niezbędnym standardem, wobec niebywałego rozwoju technologii komputerowych i rozległej terminologii stosowanej przez poszczególne laboratoria czy kręgi badawcze.

Na wstępie kilka uwag na temat kierunku badań podjętych przez Autorkę dysertacji. Trudno dziś mówić o współczesnej ochronie dziedzictwa architektury i urbanistyki bez wykorzystania szeroko rozumianych technologii cyfrowych wspomagających procesy identyfikacji, dokumentacji, interpretacji, procesów planowania strategicznego i projektowania konserwatorskiego, promocji tego dziedzictwa, wreszcie monitoringu jego właściwego utrzymania i zarządzania. Istotną częścią tej rewolucji warsztatowo-technologicznej jest stałe doskonalenie i aplikacja narzędzi cyfrowych możliwych do dedykacji w tym skomplikowanym procesie, który w polskim systemie prawnym jest regulowany *Ustawą o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami*, ale jak dobrze wiemy z praktyki jest także uwarunkowany sprawnym i skoordynowanym zarządzaniem procesami strategicznego planowania krajowego, regionalnego i miejscowego, ochrony środowiska i ekosystemów kulturowych. Dlatego inicjatywę Pani Mgr inż. arch. Marty Pakowskiej podjęcia badań przyjmujących tezę, że „w badaniach obiektów zabytkowych, a także w

procesie konserwacji i adaptacji zabytków architektury do aktualnych potrzeb współczesne, zaawansowane metody dokumentowania stanowią wartościowe narzędzie o wielkim potencjale badawczym” (s. 11) uważam za szczególnie godną poparcia i wysoce pozytywnej oceny, zwłaszcza wobec tytułowej deklaracji o podstawowym znaczeniu technologii skanowania i modelowania 3D w procesach rekonstrukcji i interpretacji reliktyw architektonicznych i archeologicznych.

Jest tym bardziej cenny wkład do rozwoju dyscypliny architektura i urbanistyka, bo budujący teoretyczne założenia nowatorskiego warsztatu badawczo-projektowego w oparciu o wyjątkowo bogatą i prestiżową działalność *LabScan* Politechniki Wrocławskiej kierowanego przez prof. Jacka Kościuka, który należy do wybitnych badaczy rangi międzynarodowej i pionierów w zastosowaniu nowych technik cyfrowych w studiach nad pomnikami architektury światowej. Jego badania w ramach misji w Abu Mena - starożytnego miasta położonego na zachód od Deltę Nilu, niedaleko Aleksandrii, wpisanego na listę światowego dziedzictwa UNESCO, a później w Elephantine, Abydos (nekropolia Hor-Aha), Dahshour (Czerwona Piramida), Świątynia Seti w Gourną, Rejon Świątyni Luksorskiej, wreszcie jako architekta i konserwatora na terenie Athribis/Sohag (Egipt) i w Świątyni Hatszepsut (Polskie Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej) są bez wątpienia kontynuacją wkładu polskiej szkoły konserwatorskiej do nauki światowej, a ostatnie badania w Coricancha w Cusco i Machu Picchu stały się inspiracją dla dysertacji doktorskiej Pani Mgr inż. arch. Marty Pakowskiej, która bogate doświadczenia warsztatu *LabScan* i swojego Promotora wykorzystała jako materiał badawczy w konstruowaniu nowatorskiej konserwatorskiej metodologii warsztatowej sięgającej w obszary interdyscyplinarne. Jak sama przyznaje, materiał poddany analizie jest *„wynikiem prowadzenia prac z udziałem specjalistów z różnych dziedzin. Biorąc pod uwagę interdyscyplinarność prowadzonych badań starano się skrupulatnie przedstawić wszelkie dane techniczne, które mogłyby mieć istotny wpływ na analizę materiału w innych dziedzinach”* i dalej *„praca realizowana jest na pograniczu archeologii, architektury, muzykologii, branży IT oraz optyki”* (s.13).

Rozdział (2) Zastosowane metody badawcze jest opisem i analizą dostępnych technologii i narzędzi badawczych zastosowanych w rozprawie doktorskiej podzielonych na trzy kategorie odpowiadających procesowi badawczemu, a ściślej następującym po sobie metodologicznym sekwencjom: zbierania danych, przetwarzania danych oraz wykonywania kopii, które to działanie może lepiej, czytelniej dla nie do końca wprowadzonego Czytelnika byłoby określić „modelowaniem” lub „produkcją prototypową”, skoro ostatecznym, finalnym produktem jest numerycznie obrabiany materiał dający w efekcie trójwymiarową formę

wspomagającą proces interpretacji i rekonstrukcji reliktyw architektonicznych i archeologicznych. Autorka ma tu pełną świadomość wagi optymalnego doboru tych technologii i narzędzi oraz rozpoznania i zrównoważenia możliwości i ograniczeń tak technicznych jak i funkcjonalnych. Jak deklaruje „*podstawowa znajomość działania i specyfikacji technicznej pozwoli nie tylko na właściwy dobór narzędzi w zależności od sedna problemu badawczego, ale i późniejszą poprawną interpretację otrzymanych wyników*” (s. 14). Należy stwierdzić, że Autorka dysertacji wykazała się pełną wiedzą i znajomością dostępnych narzędzi badawczych i sięgnęła po metodę analizy strategicznej tych narzędzi i technologii (mowa o analizie SWOT - choć werbalnie nie ujawnionej) dla podejmowania optymalnych interpretacji i rekonstrukcji w ramach realizowanych projektów badawczych w rozdziałach 3 i 4.

Rozdział (3) *Analiza doświadczeń LabScan PWr* jest najobszerniejszą, liczącą ponad 100 stron częścią dysertacji podzielona na pięć podrozdziałów, w których Pani mgr inż. arch. Marta Pakowska przeprowadza szczegółową i wnikliwą analizę licznych i różnorodnych projektów badawczych i dokumentacyjnych zrealizowanych przez Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, zbudowane i kierowane przez Prof. Jacka Kościuka, w których to projektach uczestniczyła jako członek interdyscyplinarnego zespołu reprezentowanego przez specjalistów z zakresu architektury, archeologii, konserwacji zabytków, geodezji i kartografii. Imponujący obszar badań obejmuje nie tylko ważne monumenty historii architektury w Polsce, ale także zabytki Peru, Boliwii, Egiptu, Jordanii, Salwadoru, Hiszpanii, Sycylii, Cypru i Wyspy Wielkanocnej. Warte zwrócenia uwagi jest nie tylko sprzętowo-programowe wyposażenie *LabScan PWr*, ale przede wszystkim „ciężar gatunkowy” badanych obiektów i rozległość problematyki historyczno-konserwatorskiej. Można by mieć pewne obawy, czy ta rozległość będzie bezpieczna dla uzyskania wiarygodnych wyników i wniosków badawczych, ale po zapoznaniu się z pracą, warsztatem Autorki i jej wykazanymi kompetencjami naukowymi pragnę stwierdzić, że jest to praca na wysokim poziomie merytorycznym, mająca charakter kompleksowej innowacyjnej metody wielowątkowej i interdyscyplinarnej interpretacji obiektów i zespołów architektoniczno-urbanistycznych z uwzględnieniem problematyki ich konserwatorskiej ochrony - w oparciu o nowe technologie i narzędzia, których sposób zastosowania może być uznany jako modelowy i wyznaczający wysokie standardy badawcze.

Analiza materiału badawczego podzielona została na pięć obszarów specjalistycznych: wielkopowierzchniowe zespoły architektoniczno-urbanistyczne zachowane także w formie stanowisk archeologicznych jak np. kurhany Uniradz, łąźnie inkaskie i stanowisko Inkaraqay

w Machu Picchu, czy obiekty architektoniczne obiekty sakralne w Cuzco oraz Machu Picchu w Peru, badane były z zastosowaniem prospekcji lidarowej o dalekim zasięgu i uzupełniane krzyżowymi nalotami lidarowymi z wykorzystaniem platformy UAV, co zasadniczo zwiększało jakość skanowania wyrażoną gęstością punktów 3D /m², a tym samym doświadczalnie potwierdzało skuteczność i tym samym racjonalność użycia konkretnej metody pomiarowej. Autorka dokumentuje także interesujące doświadczenia użycia LIDARU zamontowanego na dachu samochodu i skanowanie zabudowy historycznego centrum Cuzco, co okazało się skuteczną rejestracją zabudowy przeznaczoną dla opracowań urbanistycznych. Szkoda, że Autorka nie podaje szacunkowych kosztów takich badań np. w odniesieniu do powierzchni *Ia* lub *Iha*, co być może stałoby się argumentem do sięgania po tego typu badania przez samorządy polskich miast i miejscowości historycznych, które opracowują plany ochrony dziedzictwa nie dysponując takim podstawowym zasobem danych. W skali architektonicznej skanowanie laserowe 3D ma szczególne znaczenie przede wszystkim poprzez osiąganą precyzję (rozdzielczość chmury punktów) dając nowe możliwości interpretacyjne. Autorka zwraca uwagę na znaczenie jakości skanowania dla rozszerzenia wiedzy o zabytku: „Przeprowadzenie interdyscyplinarnych badań oraz zastosowanie analiz i symulacji opartych na danych z laserowego skanowania 3D, pozwala na nowo przyjrzeć się tym obiektom, co często prowadzi do nowych odkryć lub nowych interpretacji” (s. 69). W opinii Autorki rozprawy, wbrew pozorom błędy pomiarowe kilku milimetrowe w kontekście obiektu architektonicznego są istotne, o czym świadczy przytoczony *casus* katedry św. Szczepana w Bourges i hipotetyczne jej związki z kompozycją planistyczną katedry Notre Dame w Paryżu możliwe do potwierdzenia na podstawie skaningu laserowego 3D. Jak interesująco relacjonuje w rozprawie, kluczowe dla ustalenia astronomicznej funkcji badanych w kompleksie Machu Picchu obiektów okazały się precyzyjna weryfikacja orientacji astronomicznej i symulacja przy pomocy wirtualnego modelu 3D w kontekście komputerowych planetariów *Stellarium* i *Chartes du Ciel*.

Bardzo szczegółowa analiza i symulacje komputerowe przeprowadzone przez Autorkę w unikalnych architektoniczne i wielce tajemniczych obiektach Machu Picchu doprowadziły do oryginalnych autorskich weryfikacji poglądów i hipotez, co bez wątpienia należy zakwalifikować jako istotny wkład naukowy w dziedzinie architektury i urbanistyki, a w szczególności historii architektury i ochrony zabytków architektury o czym świadczą cytowania prac publikowanych przez badaczy *LabScan 3D PWr*. Są także znaczącym osiągnięciem w badaniach nad inkaską metrologią budowlaną w Machu Picchu, a ogólnie rzecz biorąc w zastosowaniu współczesnych metod inwentaryzacji w badaniach

architektonicznych. W tym zakresie potwierdzono metodologiczną przydatność skanowania i modelowania 3D w definiowaniu i weryfikacji szczegółowych hipotez badawczych. Kolejnym obszarem badawczym uwzględnionym przez Autorkę jest analiza odkształceń i zniszczeń konstrukcji budowlanych i analizy wytrzymałościowe materiałów użytych do ich wzniesienia. Proponuje ona konkretną sekwencję działań polegających na specjalnej obróbce chmury punktów i jej specjalnej „filtracji” oraz rektyfikacji przestrzennej „dla uzyskania czytelnego obrazu ... [i] ... eksportowania wyników jako ortoobrazu w konkretnej zdefiniowanej skali” (s. 95). Tę wyżej zaproponowaną metodę skutecznie wykorzystano dla analizy deformacji płaszczyznowych w takich obiektach jak: konstrukcje quincha z Fuerte de Samaipata w Boliwii, obserwatorium El Mirador de Inkaraqai w Machu Picchu w Peru, a także w Polsce: wschodniej elewacji hali targowej przy ul. Piaskowej we Wrocławiu, południowej elewacji klasztoru Franciszkanów-Reformatów we Wrocławiu, dawnym Domu Kapituły na Ostrowiu Tumskim we Wrocławiu, Pałac Leipzigerów we Wrocławiu, a także suwnice linowe w kamieniołomach Gross-Rosen. Szczególnie deformacje jakie powstają w czasie eksploatacji obiektu, pracy jego konstrukcji i starzenia się materiałów mają nie tylko znaczenie nie tylko statyczne, ale także estetyczne i są składnikiem „autentyczności” obiektu, mającym istotne znaczenie dla kreowania koncepcji konserwacji lub restauracji zabytku. W pracy wykazano jednoznacznie przydatność opracowanych w LabScan PWr metod pozwalających na wszechstronną dokumentację, analizę i diagnozę obiektu zabytkowego pod tym względem.

Problematyka konserwatorska jest także ujęta w odrębnym ujęciu obszarowym, choć w zakresie zawężonym do problematyki hydrograficznej El Fuerte de Samaipata w Boliwii i detekcji porostów tamże, to jest to jednak cenna metodologicznie wskazówka potwierdzająca rozległe możliwości stosowanych przez Autorkę narzędzi i software, a generalnie technologii skanowania laserowego 3D w wykorzystaniu dla pełnego rozpoznania problematyki konserwatorskiej.

Wreszcie ostatni, piąty obszar zastosowań technologii i narzędzi cyfrowych to badanie obiektów zabytkowych rozumianych jako dzieła sztuki, co wymaga szczególnego, specjalistycznego podejścia i wyrafinowanych metod pozwalających wnikać poza bezpośrednio percepowaną strukturę badanego artefaktu. Takim fascynującym doświadczeniem jest przedstawiona przez Autorkę interpretacja i reinterpretacja reliktyw sztuki naskalnej w znanym nam już przypadku El Fuerte de Samaipata. Tym razem naukowa debata nad dziełem sztuki skoncentrowana na datowaniu rysunków i petroglifów naskalnych musiała być rozszerzona w sferę interpretacji formalnej, dla której istotne są niuanse kształtu,

konturu, linii, odczytywanych w różnych warunkach oświetleniowych, co może być bardziej skuteczne choć nie do końca doskonale dzięki zastosowaniu skomplikowanych metod PTM opartych na technologiach mappingu. I tu znów okazało się korzystne zastosowanie cyfrowych modeli 3D, replik badanego obiektu, pozwalające na eliminację sztucznych źródeł światła w wirtualnej rzeczywistości. Cała seria petroglifów pochodzących z El Fuerte de Samaipata została skutecznie zbadana zaproponowaną metodą.

Tu także znajdujemy serię ruchomych artefaktów archeologicznych poddanych eksperymentalnej interpretacji i rekonstrukcji przy zastosowaniu laserowego skaningu 3D wykonanej przez Autorkę w interdyscyplinarnym zespole badawczym w celu *„opracowania metodologii badawczej pozwalającej na rekonstrukcję zabytkowych instrumentów muzycznych, które uległy deformacji lub zniszczeniu”* (s. 145). I choć ten eksperyment także potwierdza skuteczność technologii cyfrowych, to wierne odtworzenie, a zwłaszcza osiągnięcie identycznego, lub zbliżonego do identycznego brzmienie instrumentu nie jest możliwe, stąd walor takich rekonstrukcji ma raczej znaczenie muzealne i historyczno-naukowe, niż praktyczne - artystyczno-koncertowe. Tu jednak należy ocenić aplikacyjny charakter oryginalnego eksperymentu zrealizowanego przez Panią mgr inż. arch. Martę Pakowską i absolutną jej znajomość technologii skanowania i modelowania 3D, a także innowacyjność prowadzonych badań nad szeroko pojętym dziedzictwem kulturowym. Nowym spojrzeniem na problem zaawansowanych technologii cyfrowych mającym wartość manifestu – przesłania jest przekonanie Autorki o ich stałej ewolucji w kierunku nadania im cech „przyjaznego” instrumentu badawczego doskonalącego warsztat badacza architektury, gdy wcześniej *„sztucznie rozdzielone procesy dokumentacji i analizy miały szansę znaleźć się ponownie w rękach badacza architektury”* (s. 191).

3. Podsumowanie i wnioski końcowe

Recenzowana praca doktorska Pani mgr inż. arch. Marty Pakowskiej pt.: *„Technologia skanowania i modelowania 3D jako procesu rekonstrukcji i interpretacji reliktyw architektonicznych i archeologicznych na podstawie doświadczeń LabScan 3D PWr”* wykonana pod kierunkiem promotora Prof. dr. hab. inż. arch. Jacka Kościuka i promotora pomocniczego dr inż. Bartłomieja Ćmielewskiego na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej w ocenie recenzenta w pełni spełnia wszystkie kryteria merytoryczne i formalne stawiane pracom doktorskim. Pod względem naukowym dysertacja reprezentuje

bardzo wysoki poziom, a podjęta problematyka o istotnych walorach poznawczych może być uznana jako znaczący wkład Kandydatki w rozwój dyscypliny architektura i urbanistyka w specjalności historia architektury i urbanistyki oraz ochrona zabytków.

Praca należy do dysertacji wysoce specjalistycznych i interdyscyplinarnych, ale choć napisana językiem używającym szerokiej terminologii technologicznej jest zrozumiała dla mniej wprawnych użytkowników narzędzi cyfrowych, jej konstrukcja jest „klasyczna” w układzie o logicznej narracji podążającej za klarownym tokiem rozumowania i przekonująco uzasadniającej zaproponowany program badawczy. Jest także dowodem na dojrzały warsztat naukowy odważnie sięgając do nowatorsko budowanych propozycji i hipotez. Jak już oceniono wcześniej, temat dysertacji i osiągnięte oryginalne wyniki zasługują w pełni na uznanie autorskiego wkładu Pani mgr inż. arch. Marty Pakowskiej w rozwój dyscypliny architektura i urbanistyka.

Recenzent niniejszym stwierdza, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. arch. Marty Pakowskiej pt.: *„Technologia skanowania i modelowania 3D jako procesu rekonstrukcji i interpretacji reliktyw architektonicznych i archeologicznych na podstawie doświadczeń LabScan 3D PWr”* spełnia wymogi Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* i zgodnie z wymogami art. 187. 1.

Tym samym recenzent uważa za w pełni uprawniony wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej oparty na w pełni pozytywnej recenzji przedłożonej rozprawy doktorskiej j.w. i po stwierdzeniu spełnienia wymagań określonych w art. 186 ust. 1 pkt 5. Ustawy (j.w.) wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. arch. Marty Pakowskiej do dalszych etapów procedury i publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Prof. dr hab. inż. arch. Andrzej Kadłuczka
Instytut Historii Architektury i Konserwacji Zabytków
Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej