

Wydział Budownictwa i Architektury  
Katedra Architektury, Urbanistyki i Planowania Przestrzennego  
Politechnika Lubelska  
Ul. Nadbystrzycka 38D  
20-609 Lublin

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

PROMOTOR: prof. dr hab. inż. arch. Jacek Kościuk

PROMOTOR POMOCNICZY: dr inż. arch. Bartłomiej Ćmielewski

DOKTORANTKA: pani mgr inż. arch. Marta Pakowska

TYTUŁ PRACY: TECHNOLOGIA SKANOWANIA I MODELOWANIA 3D JAKO  
PODSTAWA PROCESU REKONSTRUKCJI I INTERPRETACJI RELIKTÓW  
ARCHITEKTONICZNYCH I ARCHEOLOGICZNYCH

### **Podstawa opracowania recenzji:**

1. Zlecenie prof. dr hab. inż. arch. Rafała Czenera, oznaczenie W1/4020/121/2021, realizujące uchwałę Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka Politechniki Wrocławskiej z dn. 20 grudnia 2021
2. Maszynopis pracy doktorskiej pani mgr inż. arch. Marty Pakowskiej pt.: „Technologia skanowania i modelowania 3D jako podstawa procesu rekonstrukcji i interpretacji reliktyw architektonicznych i archeologicznych”.

### **1. Ogólna charakterystyka pracy, zwięzły opis formalny dysertacji doktorskiej**

Przedłożona do recenzji praca doktorska pt.: „Technologia skanowania i modelowania 3D jako podstawa procesu rekonstrukcji i interpretacji reliktyw architektonicznych i archeologicznych”, została opracowana pod opieką promotorską pana prof. dr hab. inż. arch. Jacka Kościuka oraz promotora pomocniczego pana dra inż. arch. Bartłomieja Ćmielewskiego w Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej przez panią mgr inż. arch. Martę Pakowską. Dostarczony do recenzji egzemplarz ma formę oprawionego maszynopisu. Praca w formacie A4 liczy 222 strony tekstu jednostronnie wydrukowanego (łącznie ze spisami i aneksem – specyfikacją zastosowanych narzędzi). Dysertacja zaopatrzona jest w 170 ilustracji, 18 tabel i 316 przypisów dolnych. Numerowany spis bibliograficzny znajduje się na stronach 199-205 i zawiera 98 pozycji literaturowych oraz wykaz 205 źródeł internetowych. Ponadto w pracy zawarto streszczenia w języku polskim i angielskim.

Pracę rozpoczyna słownik pojęć używanych przez Autorkę (s. 5-8). Wstęp jest pierwszą numerowaną częścią pracy (s. 9-13), w którym Autorka określa obszar badań, formułuje cel pracy i tezę, uzasadnia podjęcie tematu oraz opisuje strukturę pracy. Rozdział 2 zatytułowany *Zastosowane metody badawcze*, zawiera zwięzły przegląd i opis zastosowanych narzędzi badawczych, urządzeń i metod (s. 14-55). Rozdział 3, który jest najobszerniejszą częścią

pracy przybliży zakres badań naukowych prowadzonych w Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D Politechniki Wrocławskiej (LabScan 3D). Rozdział zawiera podział na 5 podrozdziałów dotyczących: badań wielkopowierzchniowych (s. 56-67), badań w skali architektonicznej (s. 68-94), analiz odkształceń i zniszczeń konstrukcji oraz analiz wytrzymałościowych (s. 95-124), analiz do celów konserwatorskich (s. 125-128), oraz badań zabytków sztuki (s. 129-184). W rozdziale tym Autorka oprócz analizy badań prowadzonych w LabScan 3D PWr, odnosi się również do doświadczeń innych badaczy w celu porównania adekwatności różnych metod pomiarowych do uzyskanych efektów. Osobiste uczestnictwo Autorki w większości opisanych badań i analiz jest szczególnie istotne biorąc pod uwagę poruszaną tematykę.

Rozdział 4 zawiera *Podsumowanie i wnioski* (s. 185-192, oraz tabelę nr 18: s. 193-196). W tabeli w zwięzły sposób przedstawiono najważniejsze wnioski płynące z badań prowadzonych przez Autorkę.

### **1.1. Wybór tematu**

#### **Ocena tematu dysertacji, zakresu badań ich aktualności i przydatności**

Technologia skanowania i modelowania 3 D od kilkunastu lat stały się nieodłącznymi narzędziami pracy badaczy z wielu dziedzin: architektury, archeologii, historii sztuki, a także w studiach z zakresu urbanistyki czy gospodarki przestrzennej. Zastosowanie tych narzędzi stale się poszerza obejmując również inne dziedziny nauk (medycyna, kryminologia, transport, etc.). Przedstawione w pracy możliwości zastosowania narzędzi z pewnością nie wyczerpują tematu ale pokazują również jak może wyglądać udział architekta w badaniach interdyscyplinarnych. Użycie najnowszych zdobyczy techniki w inwentaryzacji obiektów o różnej skali pozwala na uzyskanie dokładniejszych wyników w krótszym czasie i eliminuje "ludzki błąd". Zebrane dane pozwalają na badanie obiektów pod wieloma względami przez specjalistów z różnych dziedzin, a także dają możliwość wykonania symulacji, kopii lub wręcz odtworzenia.

Podjęta przez Autorkę tematyka jest bardzo aktualna. Zainteresowania badawcze dotyczą możliwości wykorzystania technologii skanowania i modelowania 3D zespołów i pojedynczych obiektów architektonicznych i archeologicznych. Zakres czasowy badań obejmuje lata 2006 - 2021 i opiera się na dorobku laboratorium LabScan 3D, w tym badaniach realizowanych w ramach grantów naukowych. Zakres terytorialny odnosi się do obiektów zlokalizowanych w Polsce i Ameryce Południowej. Zainteresowania badawcze Autorki dotyczą również archeomuzykologii. Jako uczestniczka interdyscyplinarnego zespołu badawczego wykazuje przydatność badanych technologii i narzędzi do pracy z wrażliwymi i niewielkimi zabytkami, jakimi są instrumenty muzyczne.

Prezentowane wyniki badań w każdym z omawianych zakresów mogą stać się praktycznymi wskazówkami dla metodologii prowadzenia prac dokumentacyjnych, diagnostycznych i rekonstrukcji.

### **1.2. Cel i teza pracy**

Cytując za Autorką: „Celem pracy jest analiza wieloletniego dorobku Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D w dziedzinie zastosowania najnowszych metod inwentaryzacji oraz własnych doświadczeń”. Postawiony cel można uznać za **naukowo-**

**badawczy** dotyczący określenia relacji pomiędzy zastosowanymi technologiami a osiągniętymi efektami.

Z uwagi na praktyczny charakter prowadzonych badań i szczegółowe opisanie metodologiczne każdego z badanych przykładów, a także sformułowane na końcu pracy wnioski, zdaniem recenzentki Autorka osiągnęła również cel, który można określić jako **praktyczny lub aplikacyjny**: jest nim porównanie korzyści i efektów jakie niosą konkretne technologie zaawansowane w zestawieniu do technologii tradycyjnych (tabela 18). Są to bardzo konkretne wskazówki metodologiczne, szczególnie przydatne w wyborze metod badań w odniesieniu do różnej skali i specyfiki badanych obiektów.

Teza pracy została przytoczona na s. 11: „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”. W toku pracy Autorka udowadnia postawioną tezę, w szczególności poprzez analizę przypadków, gdzie zastosowanie nowych technologii pomiarowych doprowadziło do zmiany stanu aktualnej wiedzy na temat zabytku lub umożliwiło dokonanie nowych odkryć.

### 1.3. Konstrukcja pracy i jej zakres oraz metody badań

Praca posiada czytelną strukturę poszczególnych części. Zastosowane metody zostały dokładnie opisane w odniesieniu do kolejnych etapów prac badawczych wykonywanych przez Autorkę, czyli: zbierania danych, ich przetwarzania oraz wykonania kopii.

Rozdział 2 *Zastosowane metody badawcze stanowi* szeroki przegląd technologii i narzędzi do zbierania oraz obróbki danych. Jest to tym samym opis narzędzi badawczych używanych przez Autorkę w badaniach opisanych w dalszej części pracy. Opis poszczególnych narzędzi ma zwięzły i praktyczny charakter. Autorka każdorazowo stara się przybliżyć zasadę działania, historię rozwoju technologii oraz włączyć praktyczne uwagi odnośnie możliwości zastosowania.

Badane przez Autorkę technologie dotyczą w szczególności: systemów LiDAR, skaningu laserowego: technologii Leica HDS (P40), skanerów światła strukturalnego MLT (Next Engine), skanerów światła białego (Artec Eva), a także fotogrametrii cyfrowej bliskiego zasięgu i tomografii komputerowej. Każdej z technologii odpowiada dedykowane oprogramowanie. Autorka opisała wybrane programy, które były używane przez nią w prowadzonych badaniach. W części 2.2. zwięźle opisuje zasady działania poszczególnych oprogramowań, ilustrując je zrzutami ekranów przedstawiając interfejs oprogramowania. Część ta opiera się przede wszystkim na własnych doświadczeniach Autorki i pracowników LabScan 3D PWr oraz danych producentów sprzętu i oprogramowania. Napisana jest ciekawie i sama w sobie może stanowić wartościowy "podręcznik" lub poradnik. Dobrze się ją czyta i można wyczuć biegłą znajomość Autorki w obsłudze zarówno poszczególnych urządzeń jak i oprogramowania. Praktyczny charakter tej części pracy podnoszą dodatkowo pojawiające się odniesienia do aktualnych cen oprogramowania.

W ramach badań przedstawionych w części 2, Autorka wykonała testy porównawcze ręcznych skanerów światła strukturalnego: starszego modelu Artec Leo (Artec Eva) i nowszego Artec Spider. Do badań użyto modelu fizycznego wykonanego przy użyciu frezarki CNC na podstawie autorskiego modelu cyfrowego, co umożliwiło dokładne

porównanie wyników pomiarów - modeli uzyskanych w drodze skanowania. Wyniki badań wskazały na różnice w dokładności pomiaru pomiędzy deklarowaną przez producenta a uzyskaną (na korzyść realnego pomiaru) oraz zdecydowanie większą dokładność pomiaru urządzenia nowszego (Artec Spider). Jednak wielkość pliku - modelu opracowanego na podstawie chmury punktów z tego urządzenia była 3 krotnie większa niż w przypadku skanera Artec Eva/Leo, co jest szczególnie istotne pod kątem wygody pracy z danymi. Podobne badania porównawcze zostały wykonane przez Autorkę dla określenia dokładności pomiarów skanerów TLS Leica P40 i Leica RTC 360. W tym przypadku Autorka wykorzystwała model do zbadania przydatności obydwu skanerów do skanowania obiektów o powierzchniach ażurowych, znajdujących się w różnych odległościach. Badanie jednoznacznie wykazały znaczącą różnicę w deklarowanym i rzeczywistym procencie szumu.

Ostatnia część rozdziału drugiego dotyczy przeglądu metod i technologii druku cyfrowego i technologii frezowania CNC w celu tworzenia kopii. Tym samym Autorka wskazuje na przydatność poszczególnych urządzeń w wykonywaniu modeli fizycznych.

W rozdziale 3 *Analiza doświadczeń LabScan PWr* opisane są wybrane badania prowadzone w Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, podzielone ze względu na skalę badanych obiektów i cel badań. Jest to najobszerniejsza część pracy.

Badania wielkopowierzchniowe opisane przez Autorkę dotyczyły możliwości detekcji reliktyw architektonicznych i archeologicznych ukrytych pod pokrywą leśną na przykładzie stanowiska kurhanowego w Uniradzie, zespołu rutualnych łaźni inkaskich Chachabamba (Peru) i stanowisk archeologicznych Inkaraqay, Machu Picchu (Peru), oraz Kuelap. W każdym przypadku użyto systemu LiDAR na platformie UAV, konstrukcji autorstwa dra inż. Bartłomieja Ćmielewskiego. Różnorodność tematów badań, pokazuje na uniwersalność metody. Możliwe są badania terenów trudnodostępnych, pokrytych gęstą szatą roślinną, bez konieczności większej ingerencji w przyrodę. W każdym z przypadków wyniki badań wykazały istnienie nieznanymi obiektów w ramach stanowisk archeologicznych i tym samym dały podstawy do prowadzenia dalszych badań specjalistycznych (archeologicznych czy konserwatorskich).

Badania w skali architektonicznej (rozdział 3.2.) dotyczą przede wszystkim inwentaryzacji historycznych obiektów. Celem skanowania jest przede wszystkim zebranie danych dotyczących gabarytów i cech fizycznych obiektu, jednak często kolejne zagadnienia badawcze pojawiają się z czasem i baza danych jaką jest chmura punktów stanowi swoisty materiał źródłowy.

Wiele budowli i budynków pozornie dobrze znanych i opisanych, po przeprowadzeniu dokładnej inwentaryzacji z użyciem skanowania 3D, a także po wykonaniu ich cyfrowej rekonstrukcji nabiera nowego znaczenia. Jest to szczególnie istotne w przypadku obiektów będących przedmiotem badań archoastronomicznych. Pracownicy LabScan 3D zweryfikowali hipotezy o astronomicznej funkcji badanych w latach: 2012, 2014-2015, 2016-2018 obiektów kompleksu Machu Picchu. Dzięki wykonanemu skaningowi 3D i stworzeniu precyzyjnego modelu badane obiekty będą mogły w przyszłości służyć do dalszego stawiania i sprawdzania hipotez (np. Torreónu).

Wyniki pomiarów architektonicznych przeprowadzonych z użyciem skanowania laserowego weryfikują istniejący stan wiedzy na temat inkaskich obserwatoriów astronomicznych: obalają teorię o świątyni Corikancha jako miejscu obserwacji wschodzącego Słońca czy wskazują na znacznie bardziej doniosłą rolę jaskini w Lacco. Szczególnie widoczne różnice w inwentaryzacji obiektów mierzonych tradycyjnymi metodami pomiarowymi w odniesieniu do pomiarów przy użyciu skanera 3D widoczne były w przypadku obserwatorium Intimachay. Model komputerowy oraz symulacje światła Słońca i Księżyca dały w tym przypadku informacje o bardziej zaawansowanych możliwościach obserwacji astronomicznych i etapach budowy obserwatorium, niż wskazywał na to dotychczasowy stan wiedzy. Podobnie bardziej zaawansowanym niż dotychczas zakładano obserwatorium astronomicznym był obiekt w El Mirador de Inkaraqay. Z kolei w przypadku Sala do los Morteros, symulacje przeprowadzone na modelu 3D wykazały, że obiekt ten mógł mieć funkcję ceremonialną, a nie jak wcześniej zakładano obserwatorium astronomicznego.

Bogate doświadczenie i materiały zdobyte przez LabScan 3D w trakcie badań w Ameryce Południowej posłużyły również do analiz inkaskiej metrologii i zidentyfikowaniu przez A. Kubicką nieznanego dotychczas drugiego systemu miar (3.2.7.).

Opisane doświadczenia LabScan 3D udowadniają, że zastosowanie współczesnych metod pomiarowych w inwentaryzacji architektonicznej, modelowania 3D i symulacji komputerowej daje możliwość reinterpretacji istniejących hipotez, a także ponownego analizowania obiektów pod interesującym kątem, bez konieczności kolejnych badań terenowych. Przytoczone przykłady badań obiektów Ameryki Południowej są jedynie fragmentem dorobku LabScan 3D, jednak wystarczająco ukazują jak bardzo prezentowane technologie są przydatne do interdyscyplinarnych badań naukowych.

Kolejne zagadnienie badawcze dotyczą przydatności technologii skanowania i modelowania 3D do analiz odkształceń konstrukcji, zmian oryginalnej formy obiektu i przeprowadzenia analiz wytrzymałościowych (Rozdział 3.3.). Analizy odkształceń konstrukcji są szczególnie ważne w przypadku obiektów będących w stanie zagrożenia. Cykliczne pomiary, w tym skaning 3D dają możliwości precyzyjnego określenia stopnia zmian i kierunku zachodzących procesów. W rozdziale opisano przykłady obiektów z Ameryki Południowej i Wrocławia.

Bardzo ciekawy zdaniem recenzentki jest rozdział 3.3.2 opisujący badania zmian geometrii obiektu El Mirador w wyniku osuwania się ziemi. Problem pojawił się po pierwszym skanowaniu stanowiska, kolejne skanowanie umożliwiło analizę porównawczą zebranych danych w celu monitorowania zmian. Przydatność metody skaningu jako najdokładniejszego obecnie odzwierciedlenia zmian jest bezsprzeczna, jednak problem pojawia się w dostępności samej technologii. Spowodowało to przeprowadzenie przez pracowników LabScan 3D eksperymentu w celu użycia fotogrametrii cyfrowej do tego typu badań jako alternatywy dla skaningu 3D. Badania wykonano na przystosowanym do tego celu fragmencie ściany WA PWr. Problem badawczy dotyczył optymalnego rozwiązania w celu porównania deformacji stosunkowo płaskiej nawierzchni. Autorka szczegółowo przedstawia wyniki własnych badań eksperymentalnych, sprawdzających przydatność różnych skanerów i fotogrametrii cyfrowej, zaś wnioskiem jest możliwość użycia tej ostatniej jako najbardziej optymalnej i wygodnej metody monitorowania zabytku (El Mirador) w cyklu rocznym, z przesłaniem danych w celu opracowania wyników do ScanLab. Wskazana metodologia

zapewnia racjonalizację i optymalizację środków oraz nakładów w stosunku do oczekiwanego efektu.

W dalszej części pracy Autorka opisuje możliwości jakie daje skanowanie 3D jako metoda inwentaryzacji obiektu w procesie projektowym (podrozdziały: 3.3.3-3.3.7.). Hala targowa we Wrocławiu, klasztor franciszkanów-reformatów i ściana Domu Kapituły na Ostrowie Tumskim, stały się pretekstem do wykonania analiz w zakresie deformacji ścian pionowych. W przypadku dwóch ostatnich kilkudziesięcio centymetrowe odchylenia od pionu wykazane po skanowaniu stanowiły podstawę do podjęcia dalszych analiz konstrukcyjnych. Skanowanie posadzki w Pałacu Leipzigerów wykazało istotne zmiany poziomów, po wykonaniu odkrywek okazało się, że w problematycznych miejscach istniały znaczne uszkodzenia konstrukcji.

W zakresie analizy „do celów konserwatorskich” (rozdział 3.4.). Autorka przedstawia przykład skaningu petroglifów kompleksu El Fuerte de Samaipata w Boliwi, gdzie wskazano kolejne możliwości analiz: hydrograficznych oraz pod kątem monitoringu występowania porostów. Przedstawione w tym rozdziale „cele konserwatorskie” mogą być rozumiane jako przykładowe możliwości wykorzystania technologii cyfrowych, których zakres przydatności w konserwacji zabytków ciągle się poszerza.

W rozdziale 3.5. *Badania zabytków sztuki* Autorka opisuje przydatność skanowania i modelowania 3D w lepszym poznawaniu obiektów słabo widocznych i często trudnych do zidentyfikowania „ludzkim okiem” - petroglifów. Przykład analiz modeli 3D otrzymanych na podstawie skaningu petroglifów kompleksu El Fuerte de Samaipata w Boliwi daje przede wszystkim możliwość uczytelnienia ich kształtów. Autorka w ciekawy sposób opisuje również zagadnienia praktyczne związane ze skanowaniem w trudnym terenie, poruszając takie kwestie jak: dobór skanera, konieczność zacieniania stanowiska czy ładowania baterii.

Oprócz zabytków archeologicznych w większej skali Autorka opisuje również zastosowanie skanowania i modelowania 3D jako narzędzia badań zabytków ruchomych (część 3.5.2.) na przykładzie instrumentów muzycznych. Autorka była uczestniczką badań w interdyscyplinarnym zespole realizowanych w ramach grantu „Archeologiczne instrumenty muzyczne w polskich zbiorach muzealnych”. Autorka bardzo drobiazgowo opisuje wszystkie etapy przeprowadzonych badań, stosowaną metodologię i uzyskane efekty, a także określa przydatność każdej z użytych metod. Rekonstrukcja instrumentów jest możliwa na podstawie różnych danych źródłowych: zachowanych fragmentów instrumentu, opisów, ikonografii oraz porównaniu do znanych obiektów odniesienia. Autorka opisuje dotychczasowe doświadczenia w zakresie rekonstrukcji i wykonania kopii instrumentów między innymi słynnych skrzypiec z pracowni Stradivardiego.

W nawiązaniu do tezy pracy (odnoszącej się do zabytków architektury), część poświęcona badaniom zabytkowych instrumentów muzycznych wydaje się zbyt obszerna. Jest ona jednak bardzo ciekawa, pokazuje możliwości warsztatu badawczego Autorki, uwierzytelniając tym samym wyniki. Zastosowanie technologii cyfrowej rekonstrukcji czy wykonania kopii 3D tak delikatnych obiektów jak instrumenty muzyczne, daje wyobrażenie, że przytoczona metodologia z powodzeniem może być stosowana w pracy, na przykład z detalem architektonicznym.

Rozdział 4 zawiera *Podsumowanie i wnioski*. Autorka wyróżnia trzy obszary badań: wielkopowierzchniowe, w skali architektonicznej, zabytków sztuki. Dla każdego z nich wskazuje w pracy najbardziej adekwatne metody pomiaru, gromadzenia i obróbki danych. W tej części znajduje się również zwięzłe podsumowanie badań opisanych w rozdziale 3. We wnioskach zwraca uwagę na zmieniające się w czasie role i kompetencje badaczy architektury

i geodetów, wynikające z dostępności metod pomiarowych i obróbki danych. Obecnie dokumentacja i analiza znajdują się w zasięgu tego samego badacza, oczywiście o ile dysponuje on odpowiednim sprzętem, oprogramowaniem, umiejętnościami, wiedzą i doświadczeniem.

Rzeczywista struktura pracy przytoczona powyżej i numeracja rozdziałów różni się z opisaną w punkcie 1.4. *Struktura pracy*. Opisany w tym miejscu podział pracy (s. 13) nie odpowiada jej rzeczywistej hierarchicznej konstrukcji, w której występują liczne podrozdziały. Wydaje się, że Autorka planowała podzielenie pracy na 6 rozdziałów, jednak podczas finalnego formatowania struktura uległa zmianie. Tym samym opisana w podrozdziale 1.4. tematyka kilku zagadnień „przesunęła się” do innych części pracy np.: „w rozdziale 4 skupiono się na wykorzystaniu tych danych w opracowaniu wytycznych konserwatorskich (El Fuerta de Samaipata, obiekty zlokalizowane we Wrocławiu i Gross-Rosen)”. Jednak w dalszej części pracy w rozdziale 3.4. *Analizy do celów konserwatorskich* przytoczono jedynie przykład Fuerta de Samaipata zaś pozostałe opisano w części 3.3. *Analizy odkształceń i zniszczeń konstrukcji oraz analizy wytrzymałościowe*.

Chociaż w pracy nie wyodrębniono części dotyczącej stanu badań /przeglądu literatury, Autorka w jej toku powołuje się na liczne pozycje literaturowe i opracowania wyników badań dotyczących zarówno analizowanych obiektów jak i samych technologii. Wskazuje również na wagę aktualność publikacji będących wynikami badań prowadzonych w LabScan 3D.

## **2. Merytoryczna ocena dysertacji**

Recenzowana praca plasuje się w nurcie badań dotyczących możliwości zastosowania nowoczesnych technologii w warsztacie badacza architektury. Poruszana tematyka jest bardzo aktualna, wielodyscyplinarna i wielowątkowa. W pracy opisano zarówno metody jak i wyniki badań naukowych prowadzonych przy użyciu technologii skanowania i modelowania 3D, opisano oryginalne, autorskie eksperymenty badawcze, wskazujące na przydatność poszczególnych metod dla określonych celów.

Pod względem merytorycznym praca zasługuje na ocenę pozytywną. Temat został ujęty prawidłowo a wywód jest czytelny.

Autorka poddała analizie starannie wybrane przypadki z wieloletniego doświadczenia pracowników LabScan 3D oraz swoich własnych. Wybór miał na celu wskazanie na szerokie spektrum możliwości zastosowania technologii skaningu 3D i modelowania w procesie rekonstrukcji i interpretacji relikwów architektonicznych i archeologicznych. Zastosowane metody badań są właściwe.

Sposób przedstawiania wyników analiz jest czytelny i konsekwentny. Bogaty materiał ilustracyjny został odpowiednio dobrany.

Dokładne opisy, podpisy, legendy, adnotacje i odniesienia ułatwiają „poruszanie się” po pracy, świadczą o dużej wnikliwości Autorki oraz chęci jak najbardziej rzetelnego zaprezentowania wyników badań.

Zdaniem recenzentki cel pracy został przez Autorkę osiągnięty a teza udowodniona.

## **Uwagi szczegółowe**

### **2.1. Styl, język i poprawność użytych pojęć**

Strona edytorska pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Autorka opanowała warsztat naukowy. Praca napisana jest bardzo dobrym językiem polskim i jest przyjazna do czytania. Autorka posiada łatwość formułowania myśli, co jest szczególnie ważne w pracy naukowej. Wszystkie pojęcia używana są poprawnie, a zamieszczony na początku pracy słownik pojęć ułatwia czytanie.

### **2.2. Dobór materiału ilustracyjnego**

Autorka pracy rzetelnie przygotowała materiał graficzny, który ilustruje każdą część pracy czyniąc ją bardziej przystępną. Na ilustracje składają się zarówno zdjęcia i schematy działania poszczególnych urządzeń i wykorzystanej aparatury badawczej, zrzuty ekranów ukazujące możliwości użytego oprogramowania oraz materiał poglądowy dotyczący bezpośrednio badanych obiektów: zdjęcia, zestawienia uzyskanych wyników pomiarów i graficzne opracowanie wyników badań. Większość materiału ilustracyjnego pochodzi ze zbiorów LabScan 3D lub zostało opracowanych przez Autorkę. Ilustracje są różnorodne, czytelne i adekwatne do opisywanych treści.

### **2.3. Literatura**

Autorka przywołuje bogatą literaturę przedmiotu (98 pozycji). Większość pozycji bibliograficznych dotyczy badań z udziałem skaningu laserowego oraz bezpośrednio analizowanych obiektów. Wykorzystaną literaturę stanowią w większości pozycje anglojęzyczne, co związane jest ze specyfiką podjętego tematu. Autorka sięga przede wszystkim do publikacji najnowszych.

## **3. Podsumowanie**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska przygotowana przez panią mgr inż. arch. Martę Pakowską jest opracowaniem, które oceniam bardzo pozytywnie. Podjęta problematyka jest aktualna i ważna. Zastosowane metody i narzędzia badawcze zostały odpowiednio wybrane i wykorzystane, a postawione sobie przez Autorkę cele badawcze osiągnięte. Autorka biegle posługuje się warsztatem badawczym, analizuje uzyskane wyniki i konstruuje wnioski. Dysertacja oprócz walorów naukowych posiada walory praktyczne stanowiąc wskazówki dla metodologii użycia nowoczesnych technik pomiarowych w badaniach obiektów o różnych skalach.

## **4. Wniosek o dopuszczenie pracy do publicznej obrony**

Niniejsza recenzja daje podstawę do wyrażenia bardzo pozytywnej opinii o właściwym poziomie merytorycznym i naukowym rozprawy. Stwierdzam, że praca pani mgr inż. arch. Marty Pakowskiej „Technologia skanowania i modelowania 3D jako podstawa procesu rekonstrukcji i interpretacji reliktyw architektonicznych i archeologicznych”,



opracowana pod opieką promotorską pana prof. dr hab. inż. arch. Jacka Kościuka oraz promotora pomocniczego pana dra inż. arch. Bartłomieja Ćmielewskiego w Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej spełnia wymogi Ustawy o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. nr 65, poz. 595, z 2003 r. z późn. zmianami) i może stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora w dziedzinie architektury i urbanistyki. Wnioskuje o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.

Dr hab. inż. arch. Natalia Przesmycka,  
prof. Politechniki Lubelskiej



