

Poznań, 23.07.2023

**Prof. dr hab. inż. arch. Agata Bonenberg**  
Wydział Architektury Politechniki Poznańskiej  
Ul. Jacka Rychlewskiego 2 Poznań

**Opinia o rozprawie doktorskiej**  
**„Wytwarzanie addytywne w architekturze. Uwarunkowania, potencjał i**  
**konsekwencje dla metod projektowych”**  
autorstwa mgr inż. arch. Marcina Strzały,  
której promotorem jest dr hab. inż. arch. Krzysztof Koszewski

Rozprawa doktorska pt. „Wytwarzanie addytywne w architekturze. Uwarunkowania, potencjał i konsekwencje dla metod projektowych” dotyczy form przestrzennych realizowanych poprzez wydruk modelu cyfrowego. Szeroka popularyzacja zagadnień opisanych w dysertacji, jeżeli się w pełni dokona, stanowić będzie radykalną zmianę techniczno-technologiczno-kompozycyjną w architekturze. Ostatnie tak znaczące przewartościowanie w nastąpiło wraz z koncepcjami modernistycznymi z początku XX wieku, będącymi konsekwencją popularyzacji konstrukcji żelbetowych.

Wytwarzanie addytywne jest technologią, która rewolucjonizuje wszystkie dziedziny projektowe, w tym design i architekturę. Pozwala na tworzenie niestandardowych elementów i rozwiązań, niemożliwych do osiągnięcia tradycyjnymi metodami. Dzięki drukowaniu 3D można znacząco skrócić czas produkcji prototypów i elementów konstrukcji. Wytwarzanie addytywne ma ogromne zalety; pozwala na optymalizację wykorzystania materiałów, użycie materiałów biodegradowalnych do druku, zgodnie z dążeniem do zrównoważonych praktyk w architekturze. Pomimo ogromnych zalet problemem nadal jest wydajność technologii oraz skala jej działania. Rozwój i popularyzację ograniczają koszty parku maszynowego i materiałów. Pomimo to, najprawdopodobniej znajdujemy się na początku odkrywania nowych możliwości które wytwarzanie adytywne przyniesie. Podobnie jednak jak w przypadku technologii tradycyjnej – istotna wartość addytywnych metod produkcji zależy od umiejętności wykorzystania potencjału przez twórcę - architekta. Mgr Marcin Strzała potencjał ten przedstawia, definiuje i określa na kartach swej pracy doktorskiej.

### ***Charakterystyka formalna i struktura prac oraz metodologia***

Praca zawiera 282 strony, ze spisem literatury, źródłami ilustracji na stronach 283-313. Tytuł dysertacji „Wytwarzanie addytywne w architekturze. Uwarunkowania, potencjał i konsekwencje dla metod projektowych” w pełni odpowiada jej tematyce. Przedstawiona do oceny praca doktorska składa się z trzynastu rozdziałów. We wstępie Autor określa cele i zakres badań. W rozdziale drugim, o tytule *Tło badań* omawia związki architektury z materiałem i narzędziem oraz synergię obu elementów prowadzącą do wytwarzania addytywnego. W rozdziale trzecim *Stan badań* Autor omawia metody analizy źródeł oraz przedstawia wnioski. Rozdział czwarty poświęcony jest hipotezom badawczym, a także uwarunkowaniom i potencjałowi wykorzystania addytywnych sposobów produkcji oraz konsekwencjom ich wprowadzenia. Kończy go opis szczególnych rozwiązań jakie mogą być stosowane w różnych strategiach projektowych. *Metodyka badań* opisana została w Rozdziale piątym. Następnie Autor przedstawia bogaty katalog obiektów architektonicznych zrealizowanych w latach 2004-2020 przy użyciu addytywnych metod produkcji i zawierający 81 przykładów badawczych, na których opiera się praca (Podrozdział 6.4.). W kolejnych podrozdziałach omówione zostały kryteria wyboru wyżej wymienionych przykładów, źródła informacji o poszczególnych obiektach i ich parametrach oraz struktura pozyskanych danych. Rozdział siódmy dotyczy analiz ilościowej i porównawczej przykładów badawczych, poszerzona o wskaźniki ilościowe. Analizę jakościową wybranych obiektów architektonicznych zrealizowanych przy użyciu addytywnych metod produkcji oraz kryteria doboru tych przypadków Autor zawarł w Rozdziale ósmym. Opisuje tu wybrane według powyższych kryteriów przykłady: 72 - Cloud Affect, 80 - Nanjing Happy Valley Theme Park Gate, 54 - Trabeculae Pavilion, 55 - Sombra Verde Pavilion, 74 - Striatus, 76 White Tower, 44 - Digital Grotesque II, 56 - Digital Adobe, 22 - 3D Printed Structural Steel, 75 - MX3D Smart Bridge. Rozdział opatrzone jest wnioskami. Rozdział dziewiąty zawiera krytyczną ocenę zastosowanych metod badawczych. Rozdział dziesiąty otwiera część pracy poświęconą własnym dokonaniom Autora, który przedstawia projekt System Modular Light Cloud, opisując jego możliwości aplikacyjne. W rozdziale jedenastym, pt *Autorskie rozwiązania narzędziowe* Doktorant ujmuje osiągnięcia projektowe dotyczące materiałów komórkowych i regularnych teselacji przestrzeni. Weryfikację trzech postawionych hipotez badawczych w kontekście wyników badań zawiera Rozdział dwunasty. Pracę zamyka *Podsumowanie badań*.

### ***Ocena merytoryczna***

Mgr inż. arch. Marcin Strzała stawia sobie ambitny cel przeanalizowania architektury wytwarzanej addytywne, opisu i interpretacji jej natury. Upowszechnianie się teorii autorstwa praktyków i teoretyków tego nurtu (np. A. Mengesa) słusznie zainspirowało Marcina Strzałę do własnej wypowiedzi na tematy bliskie mu zawodowo i udział w tym, jakże aktualnym naukowym dialogu. Naturę architektury powstającej w efekcie wytwarzania adytywnego, Autor słusznie opisuje poprzez analizę trzech zagadnień: potencjału addytywnych metod produkcji (Podrozdział 4.1), jej konsekwencji dla metod

projektowych (Podrozdział 4.2) oraz rozwiązań samych metod (Podrozdział 4.3). W związku z tymi obszarami zainteresowania, mgr inż. arch. Marcin Strzała formułuje hipotezy:

- Hipoteza 1: Wykorzystanie potencjału metod addytywnych w realizacji obiektów architektonicznych wymaga projektowania zgodnie z logiką i skalą danej technologii.
- Hipoteza 2: Wykorzystanie potencjału metod addytywnych w realizacji obiektów architektonicznych wymaga opracowania nowych adekwatnych metod projektowych.
- Hipoteza 3: Wykorzystanie addytywnych metod produkcji pozwala na tworzenie heterogenicznych struktur wewnątrz homogenicznych materiałowo elementów prowadzących do jednoczesnej optymalizacji jakościowej (uzyskanie większej sprawności) oraz ilościowej (mniejsze zużycie materiału) w realizacjach architektonicznych.

Dla udowodnienia hipotez, przy porządkowaniu szerokiego wachlarza metod i narzędzi badawczych, Doktorant korzysta z koncepcji dot. metody I. Horvatha (str.52.) Tak dobrane metody i techniki badawcze dopełniają się wzajemnie. W ramach doktoratu wykonane zostały:

- analiza źródeł internetowych
- analiza źródeł literatury dostępnej online (Web of Science)
- analiza, weryfikacja i krytyka informacji źródłowych.

Szczególnie ważne w ocenie oryginalności pracy są, zdaniem recenzentki, nowe badania wykonane we własnym zakresie na potrzeby pracy doktorskiej:

- sporządzenie na aktualnego zbioru 81 wytworzonych adytywnie realizacji architektonicznych
- analiza ilościowa zbioru tych realizacji
- wybranie, w opraciu o ustalone kryteria, 10 szczególnych przykładów badawczych w celu przeprowadzenia analizy jakościowej
- stworzenie autorskich projektów wytworzonych adytywnie i metod projektowych
- krytyczna analiza i opis autorskich projektów

Zastosowane metody i narzędzia są odpowiednie dla postawionych problemów badawczych. Zagadnienia poruszone w pracy są uporządkowane hierarchicznie, od ogólnych, ilościowych, poprzez bardziej szczegółowe w części badań jakościowych, aż do konkluzji wynikających z części aplikacyjnej. Praca jest uporządkowana, a najistotniejsze rozdziały (2,3,8,10,11) mają osobno wyszczególnione, pośrednie wnioski. Dzięki temu cele badawcze zostały w pracy w pełni zrealizowane a tezy – potwierdzone.

Atutem pracy jest staranne argumentowanie doboru przykładów badawczych i kryteriów ich oceny.

Bardzo cenną częścią dysertacji jest osobiste doświadczenie projektowe w zakresie wytwarzania adytywnego, przedstawione w Rozdziale 10. Zawiera on uszczegółowiony opis projektów wraz z okolicznościami przeprowadzenia prac, wytworzonymi

narzędziami, oraz procesami. Krytyczna postawa wobec uzyskanych przez siebie rozwiązań, przedstawienie zalet i defektów, otwartość na kolejne wyzwania, świadczy o dojrzałym podejściu do nauki. Ta część pracy uwiarygodnia Autora, potwierdzając Jego rolę eksperta w omawianej tematyce.

### ***Ikonografia***

Ikonografia pracy jest bogata, zwłaszcza w części albumowej opracowania. Warstwa ilustracyjna bezpośrednio wynika z prezentowanych treści i bardzo dobrze ją uzupełnia. Bezpośrednio pod zdjęciami brak jest wskazania autora i źródła fotografii, ponieważ informacje te są zawarte w *Spisie ilustracji* na stronie 295. Ze względu na specyfikę pracy 243 ilustracje zostały pobrane ze źródeł internetowych, natomiast 34 pochodzi z archiwum lub zostały opracowane przez Autora. Autorskie zdjęcia osiągnięć projektowych są dużym atutem pracy. Zwraca uwagę dobra estetyka infografik rozdziału 7, str. 106-132.

### ***Bibliografia***

Bibliografia zawiera 154 pozycje, zawierające artykuły naukowe i pozycje monograficzne. Źródła literaturowe są dobrane dobrze, zgodne z tematyką doktoratu. Literatura jest aktualna; aż 15 pozycji należy do tzw. literatury najnowszej, czyli opublikowanej w przeciągu ostatnich 3 lat. Bibliografię uznać należy za bogatą.

### ***Uwagi szczegółowe i pytania***

- *Str. 14.* „Jednocześnie poszukiwanie możliwości realizacji tych filigranowych szkieletów nie miałoby sensu, gdyby nie rozwój sztuki tworzenia witraży, które to z kolei wymagały innowacji w produkcji i barwieniu szkła oraz odpowiedniego wytapiania i obróbki stali” Do tworzenia witraży w średniowieczu wykorzystywano profile ołowiane, nie stalowe.
- *Str. 31.* „finansowaniem projektem” powinno być „finansowaniem projektu”
- W przypadku, polecanej przez recenzentkę publikacji monograficznej tekst powinien zostać skorygowany redakcyjnie.
- Analizowane w doktoracie obiekty mają charakter elementów monolitycznych - trudnych do zmiany po zakończeniu procesu wytwórczego, w fazie użytkowania. Jakie są przemyślenia Doktoranta odnośnie sposobu dokonywania zmian przestrzennych w strukturach wytwarzanych addytywnie w trakcie ich użytkowania?

### ***Wniosek końcowy***

Przeprowadzona ocena pracy doktorskiej pt. „Wytwarzanie addytywne w architekturze. Uwarunkowania, potencjał i konsekwencje dla metod projektowych”, której autorem jest mgr inż. arch. Marcin Strzała pozwala stwierdzić, że spełnione zostały warunki ustawowe, a na kartach rozprawy doktorskiej przedstawiono oryginalne rozwiązania następujących problemów:

- Zewidencjonowanie i analiza zbioru 81 przykładów badawczych wytworzonych addytywnie
- Udowodnienie, że wykorzystanie potencjału metod addytywnych w realizacji obiektów architektonicznych wymaga projektowania zgodnie z logiką i skalą danej technologii.
- Wykazanie, że wykorzystanie potencjału metod adytywnych w realizacji obiektów architektonicznych wymaga opracowania nowych adekwatnych metod projektowych.

Przedstawiona dysertacja dowodzi, że mgr inż. arch. Marcin Strzała potrafi posługiwać się technikami i metodami badawczymi. Dysertacja wnosi nowe wątki poznawcze do dotychczasowego stanu wiedzy o architekturze i designie, przy czym zaproponowane metody teoretyczno-eksperymentalne mogą być aplikowane do szerokiego spektrum projektów dla wytwórstwa adydywnego.

Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej.

