



dr hab. inż. arch. Aleksander Asanowicz, prof. uczelni  
Wydział Architektury  
Politechniki Białostockiej

### RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

pt. „**Kształtowanie generatywne w poszukiwaniu form strukturalnych współczesnych obiektów pawilonowych**” autorstwa mgr inż. arch. Anny Stefańskiej, wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Wiesława Rokickiego.

Podstawą recenzji jest wystąpienie Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Architektura i Urbanistyka Politechniki Warszawskiej dr hab. inż. arch. Krystyny Solarek z dnia 27.02.2020 roku.

Zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym, celem niniejszej recenzji jest stwierdzenie czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej, a także umiejętność prowadzenia pracy naukowej.

Do recenzji przedłożono dysertację o objętości 215 stron, na którą składa się: Wstęp; Geneza i rozwój oraz aspekty projektowania obiektów pawilonowych; Inspiracje i poszukiwania w kształtowaniu pawilonów tymczasowych; Kształtowanie generatywne form strukturalnych; Badania i analizy własne; Podsumowanie i wnioski końcowe. Praca zawiera również: streszczenie w języku polskim i angielskim; wykaz źródeł ilustracji i tabel; bibliografię (94 pozycje) oraz wykaz źródeł internetowych (7 pozycji).

#### **Uwaga ogólna**

Przedstawiona do recenzji praca sytuuje się na granicy dwóch obszarów - konstrukcji i architektury, co stwarza określone trudności w dokonaniu jej oceny. Bez wątplenia recenzja opracowana przez konstruktora będzie różnić się od recenzji architekta, czy to innym akcentowaniem jej wad i zalet, czy to uznaniem za interesujące pewnych wątków pracy. Jako architekt, recenzent jest zainteresowany formą przestrzenną dzieła architektonicznego, jego estetyką, oddziaływaniem przestrzennym oraz procesem projektowania. Te zagadnienia będzie w głównej mierze obejmowała niniejsza recenzja, aczkolwiek w ścisłym związku z analizami „konstrukcyjnymi”, które przeprowadza Doktorantka.

## Uwagi redakcyjne

1. Niefortunne jest umieszczenie podrozdziału Struktura pracy przed opisem metodyki badawczej. Bardziej właściwa byłaby kolejność odwrotna.
2. W Podrozdziale 1.3.1 – Metody numeryczne jako przykład wykorzystania metody MES podany jest projekt pawilonu FracShell. Niestety Doktorantka nie podaje czasu realizacji i autorów oraz nie zamieszcza żadnej ilustracji.
3. Niewłaściwa numeracja podrozdziałów w rozdziale 2. Po 2.2.1 mamy 2.4.1, a następnie 2.3.
4. Doktorantka podając źródło cytowania podaje jedynie autora i rok publikacji, pomijając numer strony pracy, na której znajduje się cytowany fragment. Nie wydaje się to być właściwe.

Rozpoczynając recenzję należy odnieść się do tytułu rozprawy, w którym użyte zostały określenia – „kształtowanie generatywne” i „formy strukturalne”. Niestety w rozprawie doktorantka stosuje określenie formy strukturalne nie definiując uprzednio tego pojęcia. Czy są to formy w rozumieniu Curta Siegla, czy też chodzi o tłumaczenie z angielskiego structural = konstrukcyjny. Dobrze byłoby, gdyby ta definicja również znalazła się w podrozdziale 1.8, w którym Autorka definiuje kolejny element tytułu – projektowanie generatywne, aczkolwiek w sposób bardzo lakoniczny. Równocześnie we Wprowadzeniu Doktorantka pisze, że tematyka pracy dotyczy aspektu zastosowania projektowania parametrycznego i generatywnego, co wprowadza pewne zamieszanie. Niezależnie jednak od tego jakie narzędzie zostanie zastosowane, to teza, że „Poszukiwanie kształtu geometrycznego siatek strukturalnych to istotny czynnik w tworzeniu nowoczesnej architektury polegającej na odzwierciedleniu zamierzonego efektu plastycznego, a także racjonalizacji rozwiązań technicznych” (s.10) pozostaje w mocy.

Struktura rozprawy doktorskiej jest opracowana poprawnie, aczkolwiek można mieć niewielkie zastrzeżenia do proporcji i kolejności poszczególnych części.

**Rozdział 1 – Wstęp** – składa się z ośmiu podrozdziałów, w których Autorka prezentuje ogólne wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej, definiuje jej tematykę, opisuje stan badań, określa cel, formułuje tezy pracy, opisuje metodykę badawczą i w końcu przedstawia jej strukturę.

We Wprowadzeniu Doktorantka przedstawia ogólne problemy wykorzystania narzędzi cyfrowych do optymalizacji architektonicznej i za Wortmanem pisze o problemie braku dostatecznej wiedzy w zakresie optymalizacji oraz braku nowoczesnych, łatwych w użyciu narzędzi optymalizacyjnych. Równocześnie jednak nie określa co rozumie pod pojęciem optymalizacja. Czy kryterium jest zmniejszenie masy? Czy taka minimalizacja nie prowadzi do zwiększenia stopnia skomplikowania struktury, a co za tym idzie do zwiększenia kosztu jej realizacji i czy wtedy też możemy mówić o osiągnięciu optimum? Recenzent z dużym sceptycyzmem podchodzi do problemu optymalizacji w projektowaniu architektonicznym. Powinniśmy raczej mówić o quasi-optymalizacji. Oczywiście nie sposób nie zgodzić się z cytowanym przez Doktorantkę J. Słykiem, że głównym obszarem zainteresowań architekta staje się „dynamika procesów”, czy A. Penna, że architekt dzięki dostępności narzędzi pozwalających mu kontrolować proces fabrykacji oraz montażu przy jednoczesnej stałej optymalizacji materiału i geometrii jest w stanie czynnie nadzorować wszystkie aspekty powstawania budynku: (s. 10)

Opisując znaczenie konstrukcji w kształtowaniu formy, Doktorantka powołuje się na twórczość wybitnych projektantów – M. Nowickiego, S. de Chateaux, A. Gaudiego, F. Candelli, P. L. Nerviego, F.

Otto, R. B. Fullera, których sposób myślenia najtrafniej oddaje zacytowane przez Doktorantkę słowa Nerviego: „forma musi być koniecznym wynikiem, a nie pierwotną strukturą bazową”. (s. 12)

Doktorantka twierdzi, że w projektowaniu współczesnych pawilonów dominującą tendencją jest projektowanie zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju. Recenzent przypuszcza, że stwierdzenie to znalazło się w tekście ze względu na obecną modę, a nie realną sytuację. Przytaczanie jako przykładu obiektów Wystaw Światowych nie wydaje się być właściwe. Obiekty te same w sobie są zaprzeczeniem zrównoważonego rozwoju, jako efemeryczne obiekty jednorazowego użycia, jak papierowy kubek do kawy.

Kończąc rozważania o obszarze badań Doktorantka w sposób właściwy dla ich interdyscyplinarności słusznie zauważa, że „Komputerowe wspomaganie projektowania nie dotyczy wyłącznie tworzenia synergicznej formy, ale również konstrukcji obiektu”. I dalej – „Zawód architekta wymaga obserwowania i analizy nowych osiągnięć z wielu różnych dziedzin takich jak biologia, informatyka, matematyka, materiałoznawstwo, chemia czy fizyka. (s. 13)

W swoich rozważaniach Autorka przedstawia rozwój cyfrowych narzędzi dla architektów i stwierdza, że daje się zauważyć brak oprogramowania, które umożliwiłoby bardziej efektywne wykorzystywanie inspiracji bionicznych w projektowaniu. Dostępne obecnie programy nie pozwalają na wstępną analizę dobrania geometrii, rozstawu podpór, rodzaju i przekroju dobranych elementów, co jest szczególnie ważne na wstępnych kreatywnych etapach projektowania architektonicznego. Stwierdzenia te są zgodne z przytoczoną wypowiedzią W. Bonenberga, że większość architektów nie potrafi użyć programów CAD w kreatywny sposób. (s.13) Recenzent całkowicie zgadza się z tym twierdzeniem, widząc przyczynę tego zjawiska w braku odpowiednich narzędzi, a nie niechęci projektantów. Jednakże mimo tytułu podrozdziału – „Rozwój cyfrowych narzędzi dla architektów” – Doktorantka poświęca temu tematowi jedynie dwie linijki tekstu, ograniczając się do wyliczenia obecnego na rynku oprogramowania. Przy czym zestawia ze sobą tak różne programy jak Grasshopper czy Revit. Pozostawia to pewien niedosyt. Omawiając problem zastosowania nowych technologii w kształtowaniu form strukturalnych Doktorantka słusznie stwierdza, że głównym zadaniem „komutacyjnego wspomaganie projektowania staje się poszukiwanie relacji pomiędzy formą przestrzenną a jej optymalną strukturą nośną”. (s.14)

Oba omówione podrozdziały są wprowadzeniem do przedstawienia uzasadnienia podjęcia tematu, zawartego w podrozdziale 1.2 Wprowadzenia. Doktorantka omawia tu dwa aspekty. Pierwszy to przyjęcie jako obiektu badań pawilonów wystawowych, które jak pisał M. Kysiak, dzięki swemu prestiżowemu charakterowi i krótkiemu życiu użytkowemu są swego rodzaju obiektami doświadczalnymi i jako takie „Przyczyniły się do rozwoju prefabrykacji i poszukiwań konstrukcyjnych w celu osiągnięcia znacznych rozpiętości obiektów kubaturowych”. (s.16) Aspekt drugi odnosi się do konieczności badań i analiz stosowania współczesnych metod komputacyjnych, takich jak projektowanie parametryczne i generatywne, gdyż jak słusznie zauważa Autorka „Architektura staje się efektem nie tyle wizji architekta co wynikiem cyfrowej reprezentacji, wielokrotnie przeprowadzonych iteracji obliczeniowych modeli budynku i wyłonionych najbardziej optymalnych rozwiązań.” (s. 16)

Podkreślana przez Doktorantkę konieczność interdyscyplinarności w projektowaniu znajduje swoje odzwierciedlenie w podrozdziale odnoszącym się do stanu badań dwóch współpracujących ze sobą dziedzin: architektury i konstrukcji. Ten aspekt pracy Doktorantka rozpatruje w kontekście metod numerycznych i metod optymalizacyjnych, akcentując znaczenie algorytmizacji procesu tworzenia formy architektonicznej w procesie twórczym.

Określając przedmiot pracy, jej cel i związane z tym tezy rozprawy Doktorantka rozwija wspomniane już uprzednio aspekty możliwości algorytmicznego kształtowania struktur prętowych w oparciu o logikę konstrukcyjną i modelowanie generatywne (bez możliwości manualnych zmian formy strukturalnej). Determinuje to sformułowanie trzech podstawowych tez pracy. Są to:

1. cyfrowe modelowanie i fabrykacja umożliwiają nie tylko indywidualizację formy, ale również masową produkcję unikatowych elementów;
2. modelowanie parametryczne i wielokryterialna optymalizacja mają wpływ na ekspresję form architektonicznych;
3. inspiracje bioniczne stają się możliwe do wykorzystania dzięki narzędziom modelowania generatywnego i parametrycznego.

Dla udowodnienia powyższych tez Doktorantka przeprowadza analizę wybranych obiektów pawilonowych w celu określenia wpływu kształtowania generatywnego, opartego na algorytmach zainspirowanych przyrodą, na projektowanie struktur nośnych. Wnioski z przeprowadzonych analiz Doktorantka wykorzystuje w badaniach własnych. Zostały one podzielone na dwie części. W części pierwszej opracowany został algorytm do generatywnego kształtowania przestrzennych struktur prętowych (wykorzystano program Rhinoceros/Grasshopper). W części drugiej przeprowadzono obliczenia konstrukcyjne wybranych struktur w programie Robot Structural Analysis.

Część wstępna kończy się słownikiem terminów stosowanych w dysertacji, co ułatwia zrozumienie rozważań Autorki.

Podsumowując należy stwierdzić, że przedmiot i zakres pracy oraz zamierzenia badawcze zostały sformułowane właściwie. Niezależnie od pewnego chaosu, który wkraść się w rozważania zawarte we Wprowadzeniu ta część jest niezwykle istotna dla właściwego pozycjonowania pracy.

Wspomniane powyżej analizy istniejących obiektów pawilonowych są zawarte w Rozdziale 2 i 3. **Rozdział 2** – Geneza i rozwój oraz aspekty projektowania obiektów pawilonowych, liczący 39 stron, poświęcony jest prezentacji pawilonów powstałych na Wystawie Światowej (30 stron) i omówieniu aspektów kształtowania obiektów pawilonowych w XXI wieku. Część pierwsza pokazuje znaczną wiedzę Doktorantki o historii pawilonów, ale nie wnosi istotnych informacji do rozprawy doktorskiej. Zawiera ona wyłącznie opisy obiektów zgodnie z zaproponowanym przez Autorkę podziałem na cztery okresy historyczne. Podział ten, aczkolwiek właściwy, nie odpowiada problematyce poruszanej w rozprawie. Właściwszym byłby podział ze względu na stosowane ustroje konstrukcyjne. Problem konstrukcji pawilonów wystawowych omawiany jest jedynie fragmentarycznie na kilku przykładach (np. pawilony Francji i Philipsa w 1958, czy pawilon niemiecki i amerykański w Montrealu w 1967). Jedynie podrozdział 2.3 – Aspekty kształtowania obiektów pawilonowych w XXI wieku – ściślej wiąże się z badaniami, gdyż dopiero w ostatnich dekadach pojawiły się nowe narzędzia, umożliwiające „projektowanie inżynierskie” (Design Engineering). Co prawda, w omawianym rozdziale możemy znaleźć interesujące i właściwie sformułowane wnioski, odnoszące się zarówno do tendencji w kształtowaniu formy obiektu (s. 53), jak i stosowanych w procesie projektowania narzędzi (s. 63).

W **Rozdziale 3** – Inspiracje i poszukiwania w kształtowaniu pawilonów tymczasowych - analizowane są dwie grupy obiektów: Letnie Pawilony Serpentine Gallery i pawilony badawcze. Omówienie pawilonów Serpentine, aczkolwiek bardzo interesujące, to z punktu widzenia prowadzonych badań wydaje się być zbędne. Część druga jest o tyle zasadna, że zawiera odniesienia do metod i narzędzi projektowych użytych przy ich projektowaniu. Obiekty te powstały dzięki interdyscyplinarnemu podejściu opartemu na integracji architektury, inżynierii i biologii. Jak pisze Doktorantka, były one projektowane pod kątem możliwości optymalizacji materiałowej. W procesie

projektowania narzędzia komputerowe były wykorzystywane do optymalizacji topologicznej, strukturalnej i proekologicznej. (s. 80)

**Rozdział 4** jest wprowadzeniem do właściwego obszaru badań i poświęcony jest kształtowaniu generatywnemu form strukturalnych. Doktorantka podejmuje próbę zdefiniowania formy strukturalnej i pisze: „Forma strukturalna rozumiana jako efekt współdziałania architekta i konstruktora oraz innych specjalistów wskazuje na logiczny kierunek poszukiwań rozwiązań twórczych. Opisując formy strukturalne można zauważyć ich kształtowanie w oparciu o reguły matematyczno-geometryczne, statyczne (analizowanie przepływu sił fizycznych w budowlach), optymalizację (redukcję zbędnej geometrii konstrukcyjnej), itp.” (s. 89) Pewnym niedostatkiem jest brak odniesienia się do kanonicznej definicji formy strukturalnej, o istocie której, za C. Siegłem, M. Czarneckim pisze: „istotą formy strukturalnej jest oparcie jej budowy i estetyki na logice konstrukcji”.

W rozdziale tym Doktorantka właściwie nakreśla determinanty zmian w optymalizacji form strukturalnych w XXI wieku. Są to:

1. Wprowadzenie programów komputerowych, które z jednej strony umożliwiły cyfrową optymalizację, z drugiej zaś odtwarzanie struktur i zachowań bionicznych.
2. Rozwój technik budowlanych i procesów wytwarzania.

Interesująco definiuje też pojęcie optymalizacji w odniesieniu do architektury: „optymalizację należy rozumieć jako proces racjonalizowania rozwiązań technicznych”. (s. 91) Zwraca też uwagę, że podejmowanie tych działań jest najbardziej korzystne na wczesnym etapie projektowania. Wydaje się, że podejście zaproponowane przez Doktorantkę może pomóc w rozwiązaniu podstawowego problemu jakim jest poszukiwanie kompromisu między stroną techniczną i plastyczną. Podejście takie stało się możliwe w momencie pojawienia się programów wspomagających projektowanie generatywne. W omawianym rozdziale zostały one wymienione i omówiona została zasada ich działania.

Ważnym aspektem, który został omówiony w rozprawie jest topologia form strukturalnych i ich optymalizacja topologiczna metodą elementów skończonych. W podrozdziale 4.5 - Technologiczne aspekty kształtowania formy – Doktorantka omawia również wpływ współczesnej inżynierii materiałowej oraz prefabrykacji na proces powstawania obiektów pawilonowych.

We wnioskach do Rozdziału 4 Doktorantka pisze: „Zaawansowane programy komputerowe bazujące na algorytmach dostarczają architektom nowych narzędzi twórczych, co prowadzi do coraz bardziej złożonych geometrii strukturalnych”. (s. 109) Jest to jeden z powodów podjęcia tej tematyki w recenzowanej rozprawie. Temu problemowi poświęcona jest część badawcza, w której przeprowadzono analizy porównawcze struktur otwartych z uwagi na parametry minimalnej masy oraz masy odniesionej do powierzchni zadania. Celem badań jest również poszukiwanie zależności pomiędzy algorytmami kształtującymi formę architektoniczną a optymalizacją konstrukcji.

Badania przedstawione w **Rozdziale 5** stanowią próbę analitycznego poszukiwania zoptymalizowanych przestrzennych struktur prętowych. Rozdział rozpoczyna przedstawienie przedmiotu badań, jakim są formy strukturalne o zdefiniowanej powierzchni. Celem analizy jest optymalizacja ze względu na minimalizację masy struktur prętowych wygenerowanych algorytmicznie w oparciu o metody dyskretyzacji powierzchni. Badanie jest ukierunkowane na dobór odpowiedniej geometrii i metryki przestrzennych struktur prętowych. Dla osiągnięcia założonego celu przeprowadzono modelowanie kształtu i podziału struktur za pomocą programu Rhinoceros/Grasshopper z rozszerzeniami Lunchbox i Kangaroo2. Są to najpopularniejsze wśród architektów programy modelowania parametrycznego. Z kolei modele obliczeniowe wykonano w


programie Autodesk Robot Structural Analysis. Do przeprowadzania operacji modelowania i optymalizacji określone zostały: schemat statyczny, materiał i profile, obciążenia i warunki brzegowe. Założenia te urealniają teoretyczne założenia badawcze. Proces badawczy przebiegał w oparciu o cykl trzech badań, z których każde następne bazuje na wynikach badania poprzedniego. Dało to bardzo prawidłowy i czytelny schemat badawczy. Czytelność badań jest również rezultatem spójnego wewnętrznego schematu, identycznego w ramach każdego badania: założenia 1 – 7, analizy, wnioski. Wyniki badań są czytelnie prezentowane w formie tabel i wykresów słupkowych. Przeprowadzone prace badawcze zasługują na bardzo wysoką ocenę.

Wnioski z przeprowadzonych analiz mają duże znaczenie dla kształtowania formy przestrzennej. Pokazują one, że niezależnie od wprowadzonej w strukturze metryki podziałów, najważniejszą kwestią jest ustalenie geometrii przekrycia krzywoliniowego, jako że we wszystkich badaniach masa struktur krzywoliniowych była parokrotnie mniejsza od ich odpowiedników w strukturach płaskich, przy równoczesnym wzmocnieniu ekspresji formy. Przeprowadzone badania nie dają jednoznacznej odpowiedzi na pytanie o optimum. Pokazują jednakże quasi-optymalne warianty, zależne od założonego celu.

Podsumowaniem rozprawy jest **Rozdział 6**, w którym Doktorantka słusznie stwierdza, że „Projektowanie generatywne stanowi o nowych możliwościach w poszukiwaniu wielowariantowych rozwiązań, uzależnionych od warunków brzegowych. Proces projektowania generatywnego jest działaniem dynamicznym, polegającym na poznawaniu jakościowym oraz odkrywaniu nowych możliwości.” (s. 183) Doktorantka omawiając poszczególne metody projektowania (architektura generatywna, parametryczna, projektowanie poprzez proces, systemy formotwórcze) wykazuje, że nowe technologie determinują powstawanie nowej architektury. Zgadając się z Doktorantką recenzent stwierdza, że rezultaty przeprowadzonych badań potwierdzają sformułowane w rozprawie tezy.

Pracę należy uznać za wartościową, ukazującą perspektywę dalszego rozwoju zarówno metod projektowania jak i samej architektury. Całość wywodu wzajemnie się uzupełnia, tworząc spójną całość.

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska będąca przedmiotem recenzji spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.). Wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie mgr inż. arch. Anny Stefańskiej do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



1.06.2020