

16 lipca 2019 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
p. Mgr inż.arch. Karola G. Kowalskiego pt. „Modelowanie
parametryczne w projektowaniu obiektów architektonicznych o formie
swobodnej”

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie pisma p. Dr hab.inż. Marii Kaszyńskiej, prof. ZUT, Dziekan Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, z dnia 17 maja 2019 roku informującego o powołaniu mnie na recenzenta tej dysertacji. Promotorem recenzowanej pracy doktorskiej jest p. Prof. ndzw. dr hab.inż.arch. Krystyna Januszkiewicz.

1. Uwagi wstępne

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska o wyżej podanym tytule wykonana w 2019 roku na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, której treść zaprezentowano w jednym tomie liczącym 400 stron ponumerowanych. Zasadnicza część pracy poprzedzona jest spisem treści oraz krótkim wstępem. Całość rozprawy jest podzielona na cztery główne części, które mają swe wewnętrzne podziały w postaci rozdziałów i podrozdziałów. W tekście pracy znajduje się kilkaset ilustracji i rysunków ponumerowanych, z których większość składa się z więcej niż jednego materiału graficznego, dlatego prawdziwa ich liczba jest znacząco większa niż wynikałoby to z przyjętej numeracji. Spis podstawowych, źródłowych informacji naukowych liczy 248 pozycji bibliograficznych. W części końcowej podano wykaz wszystkich ilustracji oraz ich źródeł, również internetowych wraz z zestawieniem tabelarycznym przeanalizowanych obiektów architektonicznych.

2. Analiza ogólna rozprawy doktorskiej

We wstępie Autor nakreśla ogólnie zakres obszaru poznawczego, którego dotyczy recenzowana dysertacja, oraz przedstawia podobnie ogólne uzasadnienie podjęcie się przedmiotowego zadania badawczego. W części pierwszej podano zamierzenia naukowo-badawcze, określono pole i zakres przeprowadzanych badań i sprecyzowano ich przedmiot oraz cel prezentując dokładnie uzasadnienie wyboru tematów badawczej. Dalej w tej części Doktorant omówił metodykę prowadzonych przez siebie badań, uzasadnił wybór narzędzi modelujących do przeprowadzania eksperymentów naukowo-badawczych, podał kryteria doboru obiektów

architektonicznych będących przedmiotami prowadzonych badań i analiz oraz określił aktualny stan wiedzy w tym zakresie poznawczym zarówno w Polsce jak i na świecie.

Druga część recenzowanej pracy dotyczy rozważań poświęconych roli modelu w projektowaniu architektonicznym. Autor omawiając jego rodzaje definiuje także integralnie z nim związany proces modelowania oraz ich, tj. modelu i modelowania, ewolucję na przestrzeni dziejów wraz ze zmianami technologii dotyczącymi sposobów ich opracowania, wytwarzania oraz praktycznych zastosowań. Prezentowane są tu opisy form swobodnych stosowanych w architekturze i w inżynierii budowlanej, metody ich definiowania także przy użyciu współczesnych technik cyfrowych i technologii im towarzyszącym takich jak np. szybkie modelowanie za pomocą druku 3D czy też skanowanie trójwymiarowe. Dużo uwagi poświęcono także szerokiemu środowisku technologii informatycznej BIM (Building Information Modeling).

Część trzecia stanowiąc jedną z głównych merytorycznych części dysertacji jest poświęcona modelowaniu form swobodnych w procesach określanych jako projektowanie parametryczne. Zaprezentowano tu definicje analogowego i cyfrowego projektowania oraz modelowania parametrycznego wraz podstawowymi ich systemami. Omówiono główne cechy parametrycznej formy swobodnej i jej wielowymiarowe uwarunkowania w przestrzeni parametrycznej uwzględniając również determinanty strukturalno-materiałowe oraz technologiczne ograniczenia związane z procesami wytwarzania elementów konstrukcyjnych i architektonicznych, a także ich montażu.

W ostatniej czwartej części pracy zawarto bardzo obszerne podsumowanie wyników uzyskanych w toku realizacji zamierzonego procesu badawczego omawiając szczegółowo przyjętą trójdzielność pola badań, prezentując wnioski dotyczące wpływu zastosowań technik parametrycznych w procesach projektowych na formę architektoniczną obiektów o złożonej, skomplikowanej geometrii, która jest utożsamiana także z formą określaną terminem swobodnej. Rozważano szeroko powstałe niedawno pojęcie „tektoniki cyfrowej” wraz z towarzyszącymi jej zjawiskami. W końcu części czwartej zamieszczono rozważania dotyczące terminu *parametrycyzmu* jako możliwej nazwy nowego stylu w architekturze XXI wieku. Całość kończą stosowne podsumowania wraz z wykazami literatury oraz wykazem ilustracji i ich źródeł.

3. Analiza szczegółowa

Projektowanie obiektów o skomplikowanej geometrii było zawsze procesem bardzo złożonym oraz trudnym i stanowiło znaczące wyzwanie nie tylko dla architektów i konstruktorów, lecz także dla większości pozostałych uczestników procesu inwestycyjnego. Nowatorskie koncepcje techniczne, technologiczne i materiałowe, będące przewyższeniem dotychczas obowiązujących ograniczeń, stanowiły przełomowe rozwiązania, których pierwsze pozytywne zastosowania wyznaczały daty kolejnych okresów rozwoju architektury i epok ewolucji inżynierii budowlanej. Tradycyjne techniki budowlane wymagały stosowania metod

projektowania także określanych mianem tradycyjnych, co w połączeniu z używaniem materiałów konstrukcyjnych również uważanych za tradycyjne dopełniało obraz sztuki budowania w dawnych okresach historycznych. Szersze wprowadzenie na przełomie XVIII i XIX wieku żelaza, jako ówczesnie bardzo drogiego materiału budowlanego, spowodowało konieczność znaczącego wzrostu zakresu różnych umiejętności projektantów obiektów budowlanych, co głównie dotyczyło złożonych procesów obliczeń statycznych i wymiarowania konstrukcyjnego. W konsekwencji nastąpiło wyodrębnienie się zawodu inżyniera budowlanego odpowiedzialnego tylko za wybraną, matematycznie opracowaną i ściśle technicznie uzasadnioną część dokumentacji projektowej. Kolejne etapy ewolucji technologii budowlanych powodowały w następnych dekadach konieczność stosownej rozbudowy zespołów projektowych, co diametralnie zmieniało charakter ich pracy wymuszając używanie coraz to bardziej zaawansowanych narzędzi projektowych i procedur inwestycyjnych. Stosowanie modeli fizycznych było od czasów starożytnych naturalnym i bardzo efektywnym narzędziem projektowym. Dynamiczny rozwój metod komputerowych i wprowadzenie modeli numerycznych obiektów niemal na wszystkich etapach ich projektowania jeszcze bardziej przyspieszyło procesy ewolucji sposobów opracowania, przygotowania i wymiany w czasie rzeczywistym informacji dotyczących aktualnego stanu dokumentacji projektowej między wszystkimi uczestnikami procesów inwestycyjnych. Praktyczne początki szerokiego zastosowania komputerów osobistych są datowane na pierwszą połowę lat 80. minionego już wieku i zrewolucjonizowały one nie tylko metodologie projektowania lecz także procesy i sposoby wykonywania początkowo części, a później już całych obiektów architektonicznych. Znamiennym przykładem jest użycie z powodzeniem dopiero na przełomie lat 80. i 90. XX wieku dwuwarstwowych struktur przestrzennych jako konstrukcji nośnych choćby niewielkich przekryć dachowych mających formę na przykład paraboloidy hiperbolicznej. Liczba precyzyjnych danych koniecznych do prawidłowego scalenia takiego systemu jest ogromna i może być realnie kontrolowana z powodzeniem jedynie za pomocą technik komputerowych. Kształty struktur złożonych najczęściej z tysięcy elementów składowych i mające mniej lub bardziej skomplikowaną formę są lub niekiedy muszą być wielokrotnie modyfikowane w trakcie procesu projektowego, co niesłychanie utrudnia i bardzo spowalnia cały ten proces. Zastosowanie odpowiednich narzędzi komputerowych wykorzystujących dowolnie przyjętą liczbę oraz formę parametrów matematycznych jest znaczącym usprawnieniem tego typu procesów w odniesieniu do projektowania obiektów o formach dowolnych. Obecnie wydaje się, że jedynym poważnym ograniczeniem w kształtowaniu form architektonicznych możliwych do wykonania jest kreatywność samego projektanta.

Na tym skrótowo nakreślonym tle tematyka recenzowanej dysertacji należy do grupy bardzo aktualnych problemów badawczych stanowiących przedmioty coraz to liczniejszych i złożonych badań naukowych, których wyniki mają duże znaczenie teoretyczne i praktyczne. Cele i tezy pracy zostały sformułowane bardzo kompetentnie. W naszym kraju zagadnienia te są jeszcze stosunkowo mało

rozpoznane w zakresie modelowania parametrycznego jako kategorii poznawczej w procesach określania nowych zjawisk pojawiających się w architekturze współczesnej. Recenzowana rozprawa doktorska została pomyślana jako próba precyzyjnego zdefiniowania terminu i zasad procesów „modelowania parametrycznego”, szczególnie w odniesieniu do projektowania obiektów o formach swobodnych tj. posiadających kształty o bardzo niekiedy złożonej geometrii. Definicja formy swobodnej została przedstawiona na stronach 76 i 77.

Kompleksowe rozważania i analizy dotyczące znaczenia modelu oraz procesu modelowania w projektowaniu architektonicznym są zawarte części drugiej tej pracy doktorskiej. Omówiono i przedstawiono na reprezentatywnych przykładach historycznych rolę modelu fizycznego nie tylko w projektowaniu obiektów prototypowych bądź unikatowych, ale głównie w standardowych procesach inwestycyjnych, gdzie służy on do dokładnej i jednoznacznej wymiany informacji między uczestnikami takich procesów. Za bardzo wartościowe należy uznać analizy poświęcone znaczeniu modelowania strukturalnego i architektonicznego w działaniach twórczych m.in. Filippo Brunelleschiego, Michała Anioła, Christophera Wrena, Gustawa Eiffela, Władimira Szuchowa czy Antonio Gaudiego, a w czasach nam bliższych koncepcjom projektowym wynikającym z badań modelowych prowadzonych m.in. przez Eduardo Torroję, Felixa Candellę, Pier Luigi Nerviego, Richarda Buckminstera Fullera, Freia Otto, Heinza Islera oraz Sergio Musmeciego. Dzięki результатам prac tych twórców można było w sposób bezpieczny i ekonomiczny realizować - w technologiach projektowych określanych przez Doktoranta jako analogowe - obiekty o formach dowolnych. Doświadczenia zdobyte podczas tych procesów przyczyniły się w istotny sposób do rozwoju bardziej zaawansowanych technologii projektowych stosujących narzędzia elektroniczne i obecnie określanych mianem cyfrowych. Współczesne rodzaje tych technologii umożliwiają dzięki stosowaniu druku 3D szybkie prototypowanie, wszechstronną i kompleksową analizę konstrukcyjno-architektoniczną bardzo skomplikowanych rozwiązań technicznych, sprawną wymianę nawet olbrzymiej ilości informacji projektowych stosowaną w środowisku BIM, stającym się teraz ogólnościatowym standardem procedur projektowych.

Część trzecią zatytułowaną "Modelowanie form swobodnych w projektowaniu parametrycznym" poświęcono temu nowemu rodzajowi projektowania prezentując jego definicję oraz podając definicję modelu parametrycznego i opisując zasady jego stosowania w procesie projektowania form swobodnych w przestrzeni parametrycznej z zastosowaniem rodziny krzywych i powierzchni NURBS. Spośród bardzo wielu pozytywnych cech tej rozprawy recenzent pragnie podkreślić dbałość Doktoranta o zapoznanie czytelnika jego pracy z etymologią terminów używanych w jej treści. Na szczególnie wysokie moje wyróżnienie zasługuje bardzo rzetelne objaśnienie pochodzenia i znaczenia terminu „algorytm” zaprezentowane na stronie numer 188, co w literaturze przedmiotu nie jest zjawiskiem częstym. Wprawdzie Autor przedstawił działalność Space Structures Research Center założonego przez Profesora Zygmunta Makowskiego w połowie lat 60. ubiegłego wieku na University of Surrey w Wielkiej

Brytanii jednak czuję się w obowiązku podkreślić przełomową rolę *formex algebry*, opracowanej w tymże ośrodku przez Profesora Hoshyara Nooshina i nierozzerwalnie z nią związanego języka programowania Formian. Było to pierwsze udane zastosowanie projektowania parametrycznego w praktyce inżynierskiej i architektonicznej. Zasady *formex algebry* w zakresie stosowania parametrów projektowych zostały następnie szeroko implementowane w niemal wszystkich późniejszych programach komputerowych służących do projektowania obiektów o dowolnych formach geometrycznych. Za ten fundamentalny wkład twórcy *formex algebry*, Profesor Hoshyar Nooshin, otrzymał niedawno prestiżowe wyróżnienie w postaci Torroja Medal przyznane mu przez międzynarodowe stowarzyszenie IASS.

W trzeciej części recenzowanej pracy analizowano także wiele spektakularnych obiektów architektonicznych o złożonych formach geometrycznych posiadających unikatowe postaci systemów konstrukcyjnych, które zostały zrealizowane dzięki kompleksowemu zastosowaniu technologii CAD/CAM oraz przy użyciu nowatorskich rodzajów materiałów budowlanych.

Ostatnia czwarta część zawiera - zgodnie z jej tytułem - podsumowanie wyników realizacji zamierzenia naukowo-badawczego Doktoranta oraz sformułowane przez niego wnioski końcowe potwierdzające przyjętą tezę, iż stosowana coraz powszechniej technologia projektowania parametrycznego wpływa znacząco na współczesne koncepcje i realizacje architektoniczne oraz ma istotny wpływ na metody przygotowania oraz późniejszego montażu elementów składowych budynków. Zamieszczono tu wyniki bardzo bogatych analiz porównawczych przeprowadzonych na przykładach 51 stosownie wybranych obiektów architektonicznych. Interesujący postulat dotyczący terminu „tektoniki cyfrowej” może być traktowany jako znaczący komponent dynamicznie rozwijających się teraz kryteriów oceny i może on być zaakceptowany w teorii architektury współczesnej. Rozpatrywany i analizowany jest w tej części szeroki wpływ nowych zasad projektowania nie tylko na sferę percepcji architektury lecz także na potencjalną możliwość ewolucji zachowań społecznych i kulturowych odbiorców, czy też inaczej mówiąc użytkowników tak kształtowanej architektury.

Układ pracy należy uznać za prawidłowy i odpowiadający jej charakterowi oraz zakresowi tematycznemu. Autor umiejętnie posługuje się stosownymi narzędziami edytorskimi przynależnymi tzw. warsztatowi naukowemu. Liczne przypisy, znacznie poszerzające zakres przekazywanych treści, są dogodnie umieszczone poza głównym nurtem narracji w tekście i łatwo dostępne dla czytelnika. Strefowanie tekstu poprzez różnicowanie szerokości kolumn oraz „gęstości” tekstu sprzyja również lepszej percepcji przekazywanych treści.

Jakość zdjęć, rysunków, ilustracji i innych form graficznych jest dobra i bardzo dobra. Formy graficzne złożone z wielu części są stosownie podpisywane, a ich części składowe są bliżej opisywane tam w oddzielnych fragmentach wyróżnionych symbolami np. a, b, c ... itd. Wprawdzie odpowiednio przygotowany czytelnik powinien prawidłowo przypisać stosowną część opisu do stosownej części ilustracji, jednak uważam, że dla precyzyjnego procesu przekazywania informacji w pracach

naukowych odpowiednie części ilustracji powinny być wyraźnie oznaczone odpowiednimi symbolami, w tym przypadku literowymi.

Język narracji jest bardzo dobry i klarownie przedstawia niekiedy złożone pojęciowo zagadnienia, co jest korzystną cechą recenzowanej pracy i co jest jednocześnie bardzo ważne dla czytelnika tekstów naukowych przyczyniając się do prawidłowej i jednoznacznej percepcji wszystkich przekazywanych informacji. W tekście recenzowanej dysertacji zauważono drobne błędy literowe, które jednak nie mają wpływu na ogólnie wysoką ocenę merytoryczną tej pracy doktorskiej. W przypadku publikacji całości lub części tej dysertacji należy dokonać wnikliwej analizy redakcyjnej i na przykład termin „medeler” (patrz str. 19) podać w zapewne prawidłowej postaci jako „modeler”. Podobna uwaga odnosi się do prawidłowej formy zapisu ważnej postaci światowej nauki jaką był Thomas Young (patrz str. 79). Ponadto należałoby wyeliminować wielokrotne powtarzanie dat urodzin i ewentualnie śmierci podawane w nawiasach przy nazwiskach wybitnych twórców, których dzieła są analizowane w tej rozprawie.

Nazewnictwo i terminologia naukowo-techniczna stosowane w rozprawie są ogólnie również prawidłowe. Postuluję jednak, aby w oryginalnych diagramach planowanych w przyszłości do publikacji Autor zmienił termin „siła” na moim zdaniem bardziej odpowiednie określenie w postaci słowa „obciążenie”. Uzasadnieniem tego postulatu może być np. fakt, że niekiedy znaczące naprężenia i odkształcenia konstrukcji nośnej obiektu są powodowane przez wpływy termiczne, które w żadnym przypadku nie można nazwać siłami. Dodatkowo wnoszę, aby Autor w opisie konstrukcji kratownic przestrzennych zamiast określenia „węzły kulkowe” stosował termin „węzły kulowe”, bądź „węzły sferyczne”, jako określenia od dawna przyjęte do stosowania w polskim nazewnictwie naukowo-technicznym. Mam wrażenie, że niektóre terminy techniczne Doktorant przetłumaczył dosłownie z języka angielskiego i wprawdzie ogólne ich znaczenie odpowiada rzeczywistości to jednak lepiej jest stosować określenia powszechnie już zaakceptowane w terminologii polskiej. W przyszłych publikacjach sugeruję Autorowi znaczącą modyfikację definicji pojęcia „geometria” podaną na stronie nr 128, ponieważ w tym ujęciu może ona budzić poważne kontrowersje szczególnie w relacji do innego zamieszczonego w tym zdaniu terminu jakim jest „sztywność”.

Fakty i zdarzenia naukowe są podawane w pracy rzetelnie. Muszę jednak stwierdzić, że niektóre dane przedstawione odnośnie rezultatów pracy mojej osoby zostały na stronie nr 122 nieprecyzyjnie zaprezentowane, chociaż wcześniej odnośnie tych samych faktów i zdarzeń podano je na stronie nr 36 w sposób poprawny. Doprecyzowując chodzi głównie o to, że pierwszy innowacyjny system fundamentowania został w 1987 roku opracowany tylko przeze mnie osobiście i w panujących ówczasie warunkach prawno-ustrojowych musiał zostać opatentowany w formie patentu pracowniczego, gdzie jego właścicielem musiała być uczelnia, w tym przypadku Politechnika Wrocławska, która wносиła stosowne opłaty, a nazwisko twórcy wynalazku było oczywiście zawsze podawane.

4. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Recenzent jest pod wrażeniem ogromu i zakresu wiedzy Doktoranta dotyczącej nie tylko zagadnień bezpośrednio związanych z tematyką badań i analiz przeprowadzanych w jego dysertacji, ale także umiejętności w sprawnym i prostym przekazywaniu niekiedy bardzo złożonych treści naukowo-technicznych. Tematyka pracy dotyczy bardzo aktualnych zagadnień poznawczych, których kompleksowe opisy oraz analizy na obecnym etapie ich rozwoju należą do bardzo trudnych wyzwań naukowych. Rzetelność z jaką wszystkie zadania badawcze zostały wykonane przez Doktoranta jest gwarancją tego, że ta dysertacja – jako jego autorskie oryginalne opracowanie naukowe - może być w przyszłości źródłem sprawdzonych informacji dla badaczy zajmujących się ewolucją numerycznych metod projektowania obiektów architektonicznych, a w szczególności technik parametrycznych oraz ich roli i znaczenia w czasach nam współczesnych. Uwzględniając wszystkie powyższe uwagi oświadczam, że bardzo wysoko oceniam przedmiotową rozprawę doktorską autorstwa p. Mgr inż.arch. Karola G. Kowalskiego.

5. Wniosek

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa p. Mgr inż.arch. Karola G. Kowalskiego pt. „Modelowanie parametryczne w projektowaniu obiektów architektonicznych o formie swobodnej” spełnia warunki stawiane przez obowiązującą ustawę o tytule i stopniach naukowych i może być podstawą dla dalszych etapów przewodu wszczętego na Wydziale Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w sprawie nadania Kandydatowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Biorąc pod uwagę wysoką rzetelność oraz jakość naukową recenzowanej dysertacji wnoszę o możliwość jej nagrodzenia.

