dr hab. inż. arch. Aleksander Asanowicz, prof. PB
Wydział Architektury
Politechnika Białostocka

RPW/16063/2022
Data:2022-08-18

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

pt. „Dynamiczne relacje pomiędzy matematyką stosowaną, a projektowaniem architektonicznym" autorstwa mgr inż. arch. Anny Czech, promotorem której była dr hab. inż. arch. Krystyna Pokrzywnicka, prof. nadzw. PG, a promotorem pomocniczym dr inż. arch. Robert Juchnevic.
Podstawą recenzji jest wystąpienie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka Politechniki Gdańskiej, prof. dr. hab. inż. arch. Jakuba Szczepańskiego, z dnia 18.05.2022 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 214 stron, składającą się z wprowadzenia, siedmiu rozdziałów, konkluzji i wniosków, spisu tabel i grafik, bibliografii, streszczenia oraz wykazu dorobku naukowego i zawodowego.

Rozpoczynając recenzję należy odnieść się do tytułu rozprawy doktorskiej „Dynamiczne relacje pomiędzy matematyką stosowaną, a projektowaniem architektonicznym", a w szczególności do pierwszej części tego tytułu, zawierającą określenie „matematyka stosowana", a następnie zestawieniem tego pojęcia z architekturą.
Rozważyć należy, czy jest to zestawienie nowe. Odpowiedź na tak postawione pytanie jest oczywista i możemy ją znaleźć już w wypowiedzi Francisa Bacona, który pisał: „Wiele bowiem części natury nie może być wymyślonych [zrozumiałych] z wystarczającą subtelnością [nec satis subtiliter comprehendi], zademonstrowanych z dostateczną jasnością, ani dostosowanych do użycia z wystarczającą zręcznością, bez pomocy i interwencji matematyki; a wśród nich: Muzyka, Astronomia, Kosmografia, Architektura, Mechanika i wiele innych".
Matematyka i architektura zawsze były ze sobą powiązane i architekci używali matematyki z wielu powodów. Oprócz matematyki niezbędnej dla obliczeń konstrukcyjnych, od pitagorejczyków po czasy współczesne, architekci wykorzystują geometrię do określenia przestrzennego kształtu budynku, projektowania obiektów zgodnie z zasadami matematycznymi i estetycznymi i tworzenia form uznawanych za harmonijne.
Analiza projektowania architektonicznego pozwala zdefiniować projektowanie jako skomplikowaną aktywność umysłową, która realizuje się w dwóch płaszczyznach: pojęć i obrazów. Jednakże graficzny sposób poszukiwań ma pewne ograniczenia. Determinizm rysunku często przeszkadza, narzucając rozwiązania realizowalne graficznie, mimo, że umysł

rozwiązanie takie odrzuca. W tej sytuacji, konieczne jest rozszerzenie palety środków projektowania o inne środki notacji.

Analiza ewolucji metod komunikacji człowiek-maszyna ujawnia interesującą prawidłowość. Po epoce automatyzacji projektowania dokonało się przejście od programowania do bezpośredniego wprowadzania informacji tekstowej. Korzystając z klawiatury człowiek wykorzystywał do kontaktu z maszyną naturalny, tekstowy sposób komunikacji. Interfejs przyjął charakter manualno-znakowy. W miarę wzrostu stopnia skomplikowania programów i systemów operacyjnych ten sposób komunikacji również stawał się niewystarczający. W rezultacie powstał graficzny interfejs. Jego powstanie było zdeterminowane koniecznością uproszczenia zbyt skomplikowanych fraz poleceń. Zdania zostały zamienione rysunkami, piktogramami. Interfejs stał się bardziej ergonomiczny i programy stały się bardziej przyjazne dla użytkowników. „Przyjazność" oznacza, że ich efektywne wykorzystanie nie wymaga specjalistycznej wiedzy o programowaniu. Ich zastosowanie nie ogranicza możliwości projektanta i nie obniża jakości prac projektowych. Rozwój programów CAD wiązał się z podniesieniem efektywności instrumentów kreślarskich, automatyzacji procesu opracowywania dokumentacji technicznej, sporządzania specyfikacji materiałów budowlanych i wykończeniowych oraz wykonywania fotorealistycznych wizualizacji.

Dalszy rozwój technologii informatycznych, zarówno w zakresie sprzętu jak i oprogramowania doprowadził do powrotu do „programowania", wykorzystywania matematyki w twórczym procesie kreacji formy i funkcji. Przy tym, programowanie takie w sposób diametralny różni się od programowania pierwszej generacji. Łączy ono matematykę z graficznym interfejsem wprowadzania informacji, co jest typowe dla wszystkich programów do modelowania, opartych na zasadach parametrycznych. Potwierdza to słuszność, przyjętego w tytule sformułowania „dynamiczne relacje".

Powyższe rozważania są zgodne z określoną przez doktorantkę tematyką rozprawy i uzasadnieniem wyboru problematyki badawczej. Doktorantka uzasadniając wybór problematyki stawia tezę, iż „Szersze rozeznanie we współczesnych osiągnięciach zastosowań matematyki daje możliwość diametralnej, rewolucyjnej zmiany w podejściu do samego procesu projektowania architektonicznego". Pogląd ten staje się coraz popularniejszy wśród projektantów, szczególnie młodszego pokolenia. Zgadza się to również z obserwacjami poczynionymi przez recenzenta.

We wprowadzeniu znajdujemy również sformułowania zbyt uproszczone, jak stwierdzenie, że popularność narzędzi parametrycznych i algorytmicznych wynika ze wzrostu mocy obliczeniowej komputerów. Zmiana nie następuje tylko dlatego, że pojawia się narzędzie, a również dlatego, że następują zmiany w sposobie myślenia o projektowaniu. Doktorantka używa w rozprawie określenia „narzędzia", aczkolwiek wydaje się iż w tym przypadku określenie „media" byłoby właściwsze. Jako że rezultat działań jest często, jeśli nie zawsze, zaskakujący dla autora.

Recenzent zgadza się z poglądem doktorantki, że projektanci nie wykorzystują w pełni możliwości jakie niesie ze sobą zastosowanie matematyki. Szkoda, że w dysertacji nie znajdujemy choćby próby odpowiedzi dlaczego tak się dzieje. Czy wynika to ze zbytniego skomplikowania narzędzia, czy z jego niedostosowania do tradycyjnego sposobu myślenia architektów. Przypuszczalnie wymusiło by to rozszerzenie obszaru badań, aczkolwiek byłoby interesującym przyczynkiem do dyskusji.

Określenie zakresu rozprawy i opis metod badawczych zostało przeprowadzone w sposób właściwy. Poszczególne etapy są logicznie powiązane, poczynając od analizy historycznych zastosowań matematyki w projektowaniu, poprzez analizę matematycznego sposobu zapisu idei i wytycznych projektowych, a na analizie cyfrowej notacji kończąc.

Niezwykle interesujące są przeprowadzone przez doktorantkę badania i doświadczenia, włączające opracowywanie własnych skryptów matematycznych generujących formy przestrzenne. Działania te wpisują się w zdobywający coraz większą popularność nurt „Research by Design" - jeden z najbardziej efektywnych sposobów badań, łączących doświadczenie z jego naukową interpretacją. W tym kontekście wyjątkowo cenna jest prezentacja praktycznego zastosowania metod matematycznych w realnym projektowaniu.

We wprowadzeniu określony został cel rozprawy, jakim jest „zbadanie wzajemnych powiązań matematyki stosowanej i architektury, a w szczególności zbadanie zasadności stosowania metod matematycznych w procesie tworzenia form architektonicznych". Doktorantka formułuje szereg interesujących pytań: o uniwersalność stosowania metod matematycznych, możliwość optymalizacji parametrów i jej wpływ na efektywność procesu projektowania, zatracenie pierwiastka ludzkiego w architekturze. Wszystko to, w zamierzeniu doktorantki, powinno prowadzić do określenia „w jakich fazach projektowania, w jakim stopniu i w jakich aspektach sprecyzowanie matematycznego zapisu wymagań projektowych i stosowanie metod matematycznych stanowi efektywny wydźwięk dla końcowego projektu architektonicznego".

Zgodnie z celem rozprawy sformułowane zostały dwie podstawowe tezy badawcze. Teza pierwsza – metody matematyczne pozwalają udoskonalić kształtowanie form przestrzennych. Teza druga – metody matematyczne przyczyniają się do podniesienia jakości architektury dzięki możliwości wielokryterialnej optymalizacji takich aspektów jak nasłonecznienie, radiacja, obszar widoczności, uelastycznienia, estetyzacji i optymalizacji.

Sformułowania powyższe są w zasadzie poprawne, aczkolwiek wątpliwość budzi użycie sformułowania optymalizacja w odniesieniu do aspektów estetycznych („optymalne kształtowanie form przestrzennych"). Według recenzenta teza, że dzięki komputerom będziemy projektować lepiej nie jest do końca słuszna. Bez wątpienia będziemy projektować inaczej i uwzględniać w tym procesie aspekty dotychczas pomijane. W projektowaniu architektonicznym możemy mówić jedynie o rozwiązaniach quasi-optymalnych.

Kończący wprowadzenie opis stanu badań został opracowany z uwzględnieniem trzech aspektów: historycznego, współczesnego i ze względu na etap procesu projektowego. Takie podejście jest uprawomocnione. Jednakże przyjęty sposób prezentacji stanu badań jest zbyt lakoniczny i sprowadza się jedynie do wymienienia prac poświęconych poszczególnym aspektom. Równocześnie zauważyć należy brak takich autorów, jak na przykład M. Burry, J. Frazer, C. Soddu czy R. Krawczyk.

Rozdział drugi poświęcony jest projektowaniu algorytmicznemu, modelowaniu parametrycznemu i projektowaniu generatywnemu. Omawiając projektowanie parametryczne doktorantka słusznie zauważa, że projektowanie zawsze było projektowaniem parametrycznym, jako prekursora przywodząc Witruwiusza. Zwraca też uwagę na „parametryczność" zasad i środków kompozycji, takich jak geometryczna charakterystyka formy, podziały, stosunki wagowe, symetria, hierarchie, kolor, tekstura i proporcje. Wprowadzenie zapisu matematycznego determinuje konieczność zauważenia i określenia jak

największej ilości parametrów. Omawiając projektowanie parametryczne autorka przyjmuje postawę nieco zachowawczą, pisząc o braku elementu losowości. Wydaje się to być zbytnim uproszczeniem. Wprowadzenie *fuzzy logic* może zdecydowanie „zmiękczyć" modelowanie parametryczne. Ten sam skutek dałoby wprowadzenie parametrów subiektywnych.

Od projektowania parametrycznego doktorantka przechodzi do projektowania komputacyjnego i poświęca mu podrozdział 2.4 – Generowanie formy. Co jest o tyle niezręczne, że problemowi formy (kompozycji) doktorantka praktycznie nie poświęca uwagi, koncentrując się na analizach czynników funkcjonalnych. Jednocześnie należy zauważyć, że rozdział ten zawiera fundamentalne dla nowego procesu projektowania stwierdzenie – „celem projektanta okazuje się być nie wytworzenie bryły, a samego procesu tworzenia".
Jednym z problemów poruszanych w podrozdziale 2.4 jest optymalizacja. Doktorantka właściwie definiuje ogólny proces optymalizacji, nie uwzględnia jednak specyfiki projektowania architektonicznego.
Interesującym aspektem, poruszanym w rozprawie, jest zastosowanie algorytmów genetycznych. Doktorantka przytacza późne prace J. Frazera, pomija niestety jego fundamentalną pracę *An Evolutionary Architecture.* Brakuje również odniesień do wspomnianych wcześniej przez recenzenta R. Krawczyka i C. Soddu. Recenzent chciałby poznać pogląd doktorantki na prace C. Soddu związane z kreacją formy.
Dyskusyjnym jest traktowanie projektowania generatywnego jako rozszerzenia modelowania parametrycznego. W dyskusji oczekiwałbym wyjaśnienia co doktorantka rozumie pod pojęciem „rozszerzenie ideowe". Interesującym przyczynkiem do dyskusji jest problem złożoności (*complexity*) i stwierdzenie, że „projektowane formy przestrzenne w coraz większym stopniu wywodzą się ze współczesnych możliwości technologicznych". Pytanie, czy formy stają się coraz bardziej złożone dzięki narzędziom/mediom projektowania, czy też szukamy środków by zrealizować coraz bardziej złożone cele, pozostaje według recenzenta w dalszym ciągu pytaniem bez odpowiedzi.
Mimo dyskusyjnych rozważań, podrozdział zawiera bezdyskusyjne stwierdzenie, że sposób myślenia o matematycznym podejściu do projektowania ulega zmianie. Doktorantka kończy podrozdział 2.4 konstatacją, że „Idea projektowania parametrycznego i generatywnego, poprzez swoje funkcjonalne zastosowanie, wykracza szeroko poza sztukę i architekturę".

Rozdział trzeci opisuje próby cyfrowej notacji natury. Przyroda była i jest inspiracją dla projektantów, Frank Lloyd Wright projektował wieżowiec jednej mili zainspirowany źdźbłem zboża, S. Calatrava, struktury dworca w Lizbonie porównywał do palm, a P. Portoghezi pisał: „Od natury wywodzą się wszystkie archetypy architektoniczne powstałe w wyniku obserwacji". Rozdział zawiera interesujące rozważania na temat wykorzystania fraktali, jako środka kreacji architektonicznej, algorytmicznego odwzorowania struktur roślinnych i podaje własny skrypt generujący wielokolorową paproć na bazie fraktala. Rozdział ten zawiera interesujące przykłady zastosowania podejścia bionicznego w projektowaniu. Zabrakło jednak bardziej szczegółowego omówienia, jakie metody matematyczne zostały zastosowane w projektowaniu. Chociaż, z drugiej strony praca skierowana jest do architektów, a nie matematyków.
Kończąc rozdział doktorantka stwierdza, że dzięki cyfrowej notacji możemy umiejscowić zapis matematyczny między formami przyrody a architekturą. Jeśli tak, to czy rozdział ten nie powinien być częścią rozdziału drugiego, który mógłby też zostać uzupełniony o zwięzłe omówienie innych metod matematycznych, jak na przykład automaty komórkowe (*Cellular*

Automata), sztuczne sieci neuronowe (Artificial Neural Network) i bardziej szczegółowe omówienie algorytmów genetycznych.

Po przedstawieniu zarysu teoretycznego doktorantka przedstawia część rozprawy zatytułowaną Research by Design i prezentuje własne badania polegające na tworzeniu i analizie algorytmów generujących formy przestrzenne. Wykorzystuje program Grasshopper, stanowiący wtyczkę do programu Rhinoceros. Przedstawione przykłady świadczą o znacznej biegłości doktorantki w matematycznym modelowaniu form przestrzennych. Równocześnie doktorantka, opisując eksperyment z elipsoidalnie skręconymi wieżami pisze o błędzie w działaniu algorytmu przy generowaniu skrętu za pomocą mapowania grafowego (Rys.4.1.2h, i). Nie jest to błąd działania algorytmu, ale wynik błędnego zaprogramowania algorytmu przez projektanta. Recenzent rozumie, że jest to pewnego rodzaju skrót myślowy. Aczkolwiek trzeba przyznać, że uzyskane „błędne" rezultaty są inspirujące i raczej trudne do wyobrażenia bez pomocy komputera.
Należy podkreślić, że opracowane algorytmy, generujące formy przestrzenne znacznie rozszerzają twórcze możliwości projektanta, który jako istota ludzka „może sobie wyobrazić tylko to, co może wyobrazić". (Ranulph Glanville) Potwierdzają one znaczny potencjał kreacyjny projektowania parametrycznego i dowodzą dużej wiedzy matematycznej doktorantki.

Rozdziały od piątego do ósmego będą rozpatrywane łącznie, jako że każdy z nich jest poświęcony zastosowaniu metod matematycznych w procesie realnego projektowania, a różnią się jedynie obiektem projektowania (Centrum Plaza w Gdyni, Pirs Przyszłości w Gdyni, Armadillo Vault na Biennale w Wenecji i projekt CoDeFa). W prezentowanych projektach badania obejmowały bardzo szerokie spektrum problemów. Poniżej znajduje się wykaz problemów projektowych, rozwiązanie których było wspomagane metodami matematycznymi:

1. Reakcja na światło słoneczne (od odniesienia się do zabudowy otaczającej do dostępności światła dziennego w obiekcie i jego wpływu na komfort cieplny budynku).
2. Przewietrzanie – analiza wpływu ruchu mas powietrza na komfort użytkowania przestrzeni wokół projektowanych obiektów.
3. Analizy widokowe – maksymalizacja ilości mieszkań z widokiem na morze.
4. Estetyka - kreowanie elewacji.
5. Wieloaspektowa ewaluacja przestrzeni, w tym ochrona przed wiatrem
6. Dobrostan i zdrowie mieszkańców - ochrona pieszych, ochrona przed przemocą, niekorzystne zjawiska sensoryczne.
7. Kreacja formy – sklepienie o podwójnej krzywiźnie z bloczków wapiennych, bez stosowania zaprawy.
8. Powiązanie projektowania architektonicznego i procesów wytwórczych, w celu uzyskania zindywidualizowanych fasad drewnianych przy zachowaniu efektywności ekonomicznej.

Szczególnie interesujący wydaje się punkt 7, odnoszący się do projektu Armadillo Vault. Projekt ten potwierdza efektywność skoordynowanego matematycznego zapisu wytycznych konstrukcyjnych, architektonicznych oraz produkcyjnych. Należy zgodzić się z doktorantką, która twierdzi, że: „Złożony proces projektowania i wytwarzania form tego pokroju jest możliwy tylko przy pomocy zintegrowanego układu obliczeniowego". Znajdujemy tu również

interesującą uwagę, odnoszącą się do znaczenia doświadczenia i konieczności ręcznego korygowania błędów przez kamieniarzy.
Z kolei omawiając projekt CoDeFa doktorantka zwraca uwagę na niedostatek programów BIM, polegający na trudności koordynacji pewnych aspektów cyfrowej organizacji danych. Wymagało to stworzenia specjalnego skryptu, który umożliwił architektom podejmowanie bardziej świadomych decyzji. Należy zauważyć pewną ewolucję podejścia do procesu projektowania, polegającą na przejściu od „optymalizacji rozwiązań" do „podejmowania bardziej świadomych decyzji w procesie projektowania". Doktorantka zwraca uwagę na fakt, iż o ile „architekci wnieśli do projektu szereg postulatów, to nie wyrażali chęci przyswajania wiedzy z zakresu obsługi nowatorskich narzędzi projektowych". Stwierdzenie to niesie poważne implikacje. Po pierwsze potwierdza wcześniejszy postulat recenzenta odnośnie nauczania *matematyki dla architektów*. Po drugie, wskazuje na konieczność dynamicznego redefiniowania procesu edukacji na wydziałach architektury, odejście od sztywnych standardów kształcenia na rzecz wdrażania nowych sposobów/metod/mediów kreacji. W tym kontekście recenzowana praca ma wyjątkowo duże znaczenie dla przyszłości zawodu architekta. Nie zauważanie zmian w obszarach *poza architektonicznych,* jak uważa wielu projektantów, prowadzi do zubożenia twórczego procesu. Można w tym miejscu przytoczyć stwierdzenie Stanisława Lema – „z ewolucją się nie dyskutuje".
Doktorantka, podsumowując swoje rozważania, podąża za Stanisławem Lemem i stwierdza, że matematykę stosowaną odnajdujemy w wielu dziedzinach twórczości, co dowodzi istnienia wspólnych cech w szeroko rozumianym procesie projektowym. Wymaga to zmiany paradygmatu projektowania architektonicznego i przejścia od Corbusierowskiej „gry brył w świetle" do całościowego projektowania, obejmującego wszystkie jego aspekty równocześnie. Doktorantka twierdzi, że medium, umożliwiającym takie przejście jest działanie komputacyjne oparte na metodach matematyki stosowanej.

W zamykającym rozprawę rozdziale „Konkluzje i wnioski" doktorantka w sposób logiczny podsumowuje swoje rozważania i formułuje trzy wnioski. Wniosek pierwszy - możliwe jest generowanie form niemożliwych lub bardzo trudnych do zaprojektowania tradycyjnymi środkami. Wniosek drugi – możliwa jest poprawa jakości projektu architektonicznego, ponieważ wymusza dokładne precyzowanie celów projektowych. We wniosku trzecim doktorantka wiąże osiąganie celów zrównoważonego rozwoju i proekologicznych z zastosowaniem metod matematycznych. Przedstawione wnioski potwierdzają słuszność przejętych w rozprawie tez.

Uwagi redakcyjne do rozprawy.
Praca jest napisana poprawną polszczyzną, doktorantka umiejętnie i logicznie przeprowadza swój wywód. Wybrane studia przypadków są bardzo interesujące i ilustrują pełne spektrum problemów architektonicznego projektowania komputacyjnego. Zastrzeżenia można mieć jedynie w odniesieniu do strony redakcyjnej tekstu. W rozprawie brak jest numeracji stron, co uniemożliwiło recenzentowi podanie stron cytowanych wypowiedzi.

Podsumowując należy stwierdzić, że przedmiot i zakres pracy oraz zamierzenia badawcze zostały sformułowane właściwie i praca uzupełni istotną lukę w polskich opracowaniach odnoszących się do zastosowania matematyki stosowanej w projektowaniu architektonicznym. Pracę należy uznać za wartościową, porządkującą obecny stan wiedzy i ukazującą perspektywę dalszego rozwoju zarówno metod projektowania jak i samej

architektury. Przyjęta metoda badań pozwoliła na zebranie wszechstronnej informacji dotyczącej analizowanego problemu. Całość wywodu wzajemnie się uzupełnia, tworząc spójną logiczną całość.
Samodzielnym i oryginalnym dorobkiem Autorki są projekty ilustrujące zastosowanie różnorodnych narzędzi matematycznych. Praca pogłębia wiedzę o metodach projektowania komputacyjnego i jej wyniki powinny znaleźć zastosowanie w dydaktyce na wydziałach architektury.

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. 2017, poz. 1789), rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 10 lutego 2017 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postepowaniu habilitacyjnym oraz w postepowaniu o nadanie tytułu profesora – Rozdział 1 – Szczegółowy tryb przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich (Dz. U. 2017, poz. 271) oraz ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie mgr inż. arch. Anny Czech do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.