



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

### RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

pt. „**Optymalizacja topologii kontinuum materialnego w poszukiwaniu form architektonicznych. Adaptacja wybranych metod inżynierskich do celów architektonicznych**” autorstwa mgr inż. arch. Sebastiana Białkowskiego, wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. arch. Anetty Kępczyńskiej-Walczak, prof. Pł.

Podstawą recenzji jest wystąpienie Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej prof. dr. hab. inż. Marka Lefika z dnia 13.06.2018 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 386 stron, na którą składają się cztery części: Wstęp, Metody numeryczne, Implementacja i Architektura. Praca zawiera również: Dodatek A, z kodem źródłowym programu tOposCore; Notację; Słownik pojęć; Spis akronimów; Spis rysunków; Spis tabel; Spis listingów; Bibliografię (97 pozycji) oraz źródła internetowe (24 pozycje). Główne części dysertacji podzielone są na rozdziały. W sumie praca składa się z siedmiu rozdziałów, podzielonych na odpowiadające im podrozdziały.

Należy stwierdzić, że struktura rozprawy doktorskiej jest opracowana bardzo dobrze i może stanowić przykład dla innych doktorantów i praca zasługuje na opublikowanie w formie monografii. W dalszej części recenzji recenzent, omawiając kolejne elementy pracy, podejmie próbę udowodnienia swojej tezy.

Część pierwsza – Wstęp – składa się z jednego rozdziału, w którym autor definiuje tematykę rozprawy doktorskiej, opisuje stan badań, określa cel, formułuje tezę pracy i w końcu przedstawia jej strukturę. Rozważania swoje doktorant rozpoczyna stawiając niezwykle interesujące pytanie: „Jakie zmiany w strukturze i formie budynku może przynieść rewolucja informatyczna, która objęła już niemal wszystkie domeny ludzkiej aktywności”. (strona 3) Znaczenie pytania wynika z faktu, że podstawowe współczesne struktury konstrukcyjne powstały jako rezultat XIX wiecznej rewolucji przemysłowej i są stosowane do dzisiaj.

W dalszej części wprowadzenia autor przedstawia rozwój cyfrowych narzędzi dla architektów. Prezentując syntetycznie historię CAD wspomina o pierwszym w Europie programie kreślącym widoki perspektywiczne WIDOK. Szkoda tylko, że doktorant nie wspomina o jego autorach (A. Szymiski, A. Szmidt i J. Ciring, którzy w roku 1979 opublikowali pracę *Badania nad współzależnością funkcji i formy w architekturze*. Programy na automatyczne kreślenie widoków perspektywicznych, *Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 99, Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego*). W roku 1980 autor niniejszej recenzji wraz z Andrzejem Koperskim również napisał program kreślący perspektywę na stole graficznym Digigraf, który znajdował się w ośrodku ETO Politechniki Białostockiej. Program ten wykreślał co prawda tylko linie poziome, ale bez wątpienia był jednym z pierwszych w Polsce programów komputerowej grafiki projektowej. Niestety program nie został nigdy opublikowany, a w posiadaniu recenzenta jest jedynie fotografia wykreślonego rysunku.

W podrozdziale zatytułowanym nieco kontrowersyjnie - „Architektura nowych technologii” – doktorant, powołując się na prace Anetty Kępczyńskiej-Walczak i Jana Słyka, porusza interesujący aspekt zastosowania technologii IT, pisząc: „Cyfrowe medium przyczyniło się do wytworzenia nowych zależności i warunków pomiędzy procesem projektowym, inżynierią i realizacją.” (strona 8) Jest to ujęcie nowatorskie, jako że zwykle w pracach poświęconych zastosowaniu IT w architekturze zagadnienia te rozpatrywane są oddzielnie, by nie powiedzieć – w opozycji do siebie. Doktorant omawiając poszczególne metody projektowania (architektura generatywna, parametryczna, projektowanie poprzez proces, systemy formotwórcze) wykazuje, że nowe technologie determinują powstawanie nowej architektury. W omówieniu tym autor wykazuje się znaczną wiedzą w zakresie komputacyjnych metod projektowania i umiejętnością syntetycznego przekazania obszernej wiedzy. W swoich rozważaniach nie ulega pokusie afirmacyjnego przedstawiania nowych poglądów, ale przytacza opinie krytyczne, w tym wyrażane również przez recenzenta.

Równie interesująca jest część poświęcona analitycznym metodom formowania architektury, rozpoczynając od architektury sił, czyli prac A. Gaudiego, P.L. Nervi czy F. Otto; poprzez architekturę performatywną i architekturę numeryczną. Przy omawianiu ostatniej wspomina o Metodzie elementów skończonych (MES), która zostanie szczegółowo omówiona w części drugiej. Prezentacja opiera się na dobrze dobranych źródłach literaturowych i jest wartościową częścią rozprawy doktorskiej.

Omawiając stan badań (1.2) autor koncentruje się na analizie metod numerycznych, a w szczególności MES (1.2.1) nie pomijając jednak metod optymalizacyjnych (1.2.2) zarówno konstrukcji o strukturze prętowej jak i ciągłej. Konstrukcje o strukturze ciągłej będą podstawowym typem rozpatrywanym w rozprawie.

Rozważania teoretyczne znajdują swoje podsumowanie w podrozdziale 1.2.3 o inżynierskich metodach numerycznych w architekturze, który ilustrowany jest interesującymi przykładami projektów architektonicznych.

Pisząc o procesie wytwórczym form stwierdza, że „... trójwymiarowe implementacje algorytmu optymalizacji topologicznej jako rezultat generują złożoną geometrię, która w tradycyjnym procesie wytwórczym jest niemożliwa do skonstruowania, ponieważ jej wykonanie jest bardzo drogie”. (strona 28) Jest to jednym z powodów podjęcia prezentowanych badań. Narzędzia optymalizacji topologicznej w architekturze są wykorzystywane rzadko, ponieważ „Obsługa takiego programu wymaga niekiedy, nie tylko wiedzy z zakresu mechaniki oraz wytrzymałości materiałów, ale również z metod

numerycznych, celem odpowiedniego dobrania modelu statycznego, typu elementu itp.” (strona 31)

Konkluzja ta determinuje cel i tezę rozprawy, które doktorant formułuje następująco: „badanie za pomocą autorskich narzędzi, jak projektowanie parametryczne wspomagane metodami numerycznymi może wpłynąć na poszukiwanie zoptymalizowanych form architektonicznych.” (strona 32)

Odpowiednio do celu definiowane są zadania cząstkowe i formułowana trzypunktowa teza pracy:

- o wspomagającej roli inżynierskich metod numerycznych w procesie poszukiwań architektonicznych;
- o wzbogaceniu procesu twórczego przez zastosowania algorytmu optymalizacji topologicznej;
- o efektywniejszym wykorzystaniu substancji budowlanej w rezultacie optymalizacji.

(strona 33)

Część druga rozprawy – Metody numeryczne – poświęcona jest Metodzie elementów skończonych oraz przeglądowi metod optymalizacji topologii trójwymiarowego kontinuum materialnego. Chociaż recenzent skłaniał by się do określenia – kontinuum materiałowego. Po zwięzłym omówieniu zastosowania, podstawowych założeń i algorytmu obliczeniowego autor prezentuje przyjęte przez niego założenie liniowości modelu w celu przyspieszenia procesu obliczeniowego. Należy zgodzić się z doktorantem, iż mimo że ograniczenia te są znaczne to w zupełności odpowiadają celom pracy. (strona 41)

Bardzo interesujące jest rozpatrzenie podejścia bezpośredniego w rozwiązywaniu układu równań liniowych i procedury iteracyjnej z użyciem algorytmów gradientu sprzężonego. W dysertacji przyjęto dwa sposoby działań w ramach algorytmu CG pomijając metodę bezpośrednią. Umożliwia to sprawdzenie, który sposób jest bardziej wydajny. Interesującym byłoby porównanie wydajności metody bezpośredniej, czego w pracy nie znajdujemy. (strona 55)

Część drugą zamykają rozważania o optymalizacji topologii trójwymiarowego kontinuum materialnego, czyli dobraniu odpowiednich wymiarów elementów konstrukcyjnych oraz optymalizacji ich kształtu. Praca zawiera się w nurcie dość nowej dziedziny z zakresu mechaniki konstrukcji i dla zrozumienia jej umiejscowienia użyteczny jest podrozdział 3.1.1, zawierający klasyfikację typów optymalizacji topologii opisaną w 2001 roku przez Rozwany’ego. Bazując na tej klasyfikacji autor przedstawia przegląd metod optymalizacji należących do grupy izotropowych i do dalszych prac wybiera metodę SIMP (Solid Isotropic Microstructure with Penalization). Jedynie w opisie Genetic Algorithms wkraść się błąd drukarski, który uniemożliwia zrozumienie wywodu (strona 60, wiersz 16 i 17).

Główny problem optymalizacji rozkładu materiału w danej przestrzeni (w ramach danego elementu konstrukcyjnego) definiowany jest w podrozdziale 3.2. Za główny cel optymalizacji autor przyjmuje maksymalizację sztywności konstrukcji. Mimo że jest to najprostszy model optymalizacji, to jak pokazują rozdziały następne jest to podejście dające duże możliwości optymalizacyjne. Definiując problem optymalizacji doktorant szczegółowo rozpatruje zarówno podejście dyskretne jak i gradientowe, wskazując na gradientowe jako bardziej wydajne pod kątem czasu potrzebnego do rozwiązania problemu. (strona 69)

W zamykającym część drugą podrozdziale 3.3, dyskutowane są warunki optimum oraz analiza wrażliwości, mająca znaczący wpływ na uproszczenie procedury obliczeniowej. Algorytm optymalizacji topologii został przedstawiony na rysunku 3.6, strona 74. Należy

stwierdzić, że zastosowany aparat matematyczny jest dobrze skorelowany z celem jakim jest optymalizacja kontinuum materialnego.

Logiczną kontynuacją wywodów części pierwszej i drugiej jest zaprezentowana w części trzeciej implementacja metod numerycznych. Jest to autorskie narzędzie, przystosowane jak twierdzi autor, do warsztatu współczesnego architekta. (strona 85) Recenzent chciałby zwrócić uwagę, że opinia o poziomie wiedzy matematyczno-konstruktorско-komputerowej architektów wydaje się zbyt optymistyczna. Co nie znaczy, że w najbliższych latach nie będziemy uczestnikami zmiany paradygmatu projektowania.

Część trzecia obejmuje strony od 85 do 237 (152 strony) i jako taka mogłaby być samodzielną rozprawą doktorską. Recenzent nie będzie szczegółowo opisywał poszczególnych elementów programu tOpos, a ograniczy się do podkreślenia jego najważniejszych zalet, jakimi są wydajność i intuicyjność obsługi. Doktorant słusznie zdecydował się na stworzenie nakładki do programu Rhinoceros3D z graficznym interfejsem do programowania wizualnego o nazwie Grasshopper3D. Jest to najpopularniejszy wśród architektów program oparty o zasady parametryczne. Taka decyzja zdecydowanie rozszerza potencjalny krąg użytkowników programu. Wybór Rhinoceros3D determinuje wybór języka programowania, czyli języka obiektowego C#. Jest to język hybrydowy stosujący różne paradygmaty projektowania. Najważniejszym, wykorzystanym w dysertacji, jest właśnie zasada projektowania obiektowego. Na podkreślenie zasługuje również wykorzystanie powstałej w 2006 roku technologii CUDA, umożliwiającej przeprowadzanie obliczeń na procesorach graficznych. Technologia ta pozwala na znaczną akcelerację przetwarzania problemów z dużą ilością danych.

W celu ułatwienia pracy z programem, interfejs tOpos został przez autora stworzony zgodnie z interfejsem Rhinoceros/Grasshopper. Rozdział „Implementacja” zawiera szczegółowy opis pracy z programem. Jest to część bardzo logiczna i napisana w miarę prostym językiem. Odnosi się to również do kolejnego rozdziału - „Biblioteka tOposCore”. Czytelnicy zaawansowani bez wątplenia będą usatysfakcjonowani zamieszczonymi w tym rozdziale „listingami”, czyli najbardziej istotnymi fragmentami kodu programu. Jest to niezwykle pomocne w zrozumieniu działania programu, a równocześnie niestety rzadko spotykane w pracach naukowych. Uwaga recenzenta o „w miarę prostym języku” wiąże się z faktem, że zrozumienie omawianego rozdziału wymaga pewnej wiedzy programistycznej. Nieopisane w rozdziale fragmenty kodu źródłowego autor zamieścił w Dodatku A na stronach 297 – 348.

Rozprawę zamyka część czwarta – „Architektura”, w której doktorant przedstawia przeprowadzone badania sprawdzające przydatność programu tOpos w praktyce architektonicznej. W kroku pierwszym porównuje wydajność programu tOpos i Millipede (dodatek do Grasshopper’a pracujący jedynie z wykorzystaniem CPU). Testy wydajności wykazały znaczną przewagę tOpos, szczególnie w bardziej skomplikowanych przypadkach. tOpos wykonał operację około 160 razy szybciej niż Millipede.

Oprócz zalet programu doktorant omawia również pewne jego niedoskonałości, które zdaniem recenzenta nie wynikają z popełnionych błędów, a są rezultatem przyjętych ograniczeń sprzętowych (cena!). Jak słusznie zauważa autor, nie ma to zauważalnego wpływu na wygląd finalnych form i nie powinno wpływać na proces formotwórczy. (strony 250 – 251)


Najważniejszym celem recenzowanej dysertacji jest określenie przydatności algorytmów optymalizacji topologicznej do celów architektonicznych. Dla potwierdzenia tezy dysertacji autor przeprowadził 9 testów (3 serie po 3 testy), które omówił w podrozdziale 6.5. Do wszystkich testów przyjął jednakowe ustawienia silnika optymalizującego. Wyniki zostały przedstawione w formie graficznej, co bez wątplenia jest jedną z zalet dysertacji. Każdy test zaprezentowany został według identycznego schematu (Warunki początkowe, Struktura, Architektura). Taki schemat metodologiczny ułatwia porównanie rezultatów testów. Podsumowując wyniki testów doktorant zauważa, że zastosowanie tOpos często daje nieoczekiwane rezultaty. Recenzent uważa to za zaletę proponowanego procesu optymalizacji, gdyż jak twierdził Ranulph Glanville „Człowiek może sobie wyobrazić tylko to co może sobie wyobrazić”.

Podsumowując należy stwierdzić, że przedmiot i zakres pracy oraz zamierzenia badawcze zostały sformułowane właściwie, stworzony przez Sebastiana Białkowskiego program tOpos nie ma odpowiednika na rynku, jest unikalnym, w pełni autorskim rozwiązaniem. Należało by życzyć autorowi możliwości dalszego rozwijania aplikacji, zgodnie z wnioskami oraz wytycznymi do dalszych badań zawartych w ostatnim podrozdziale dysertacji. Recenzowana rozprawa doktorska zasługuje na opublikowanie w formie monografii.

Zgodnie z Art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki „Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora albo pod opieką promotora i promotora pomocniczego, **powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne** (podkreślenie recenzenta) lub oryginalne dokonanie artystyczne, oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”. Ponadto „**Rozprawę doktorską może stanowić praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa** (podkreślenie recenzenta) lub artystyczna, jeżeli odpowiada warunkom określonym w ust. 1.”

Przyjęta w rozprawie doktorskiej metoda „Research by Design/Practice” jest zgodna z Ustawą. Pozwoliła ona na połączenie rozważań czysto teoretycznych z implementacją praktyczną wyników badań. Pracę należy uznać za bardzo wartościową, ukazującą perspektywę dalszego rozwoju zarówno metod projektowania jak i samej architektury. Całość wywodu wzajemnie się uzupełnia, tworząc spójną logiczną 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. Sebastiana Białkowskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej pracy z uwagi na jej wybitne walory praktyczne i naukowe.

  
31.08.2018