

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. arch. Szymona Jankowskiego

pt. Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej

zrealizowanej pod opieką promotora dr hab. inż. Waldemara Bobera, prof. PWr
oraz promotora pomocniczego dr inż. arch. Kajetana Sadowskiego

Recenzję opracowano w odpowiedzi na pismo dr hab. inż. arch. Marcina Brzezickiego, prof. PWr – przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka Politechniki Wrocławskiej z dnia 23.02. 2026 roku, powołującego się na uchwałę nr 192/23/RDND01/2024-2026 tejże Rady z dnia 18.02.2026 roku w sprawie zmiany recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora Panu mgr inż. arch. Szymonowi Jankowskiemu w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie architektura i urbanistyka.

Podstawę merytoryczną recenzji stanowią:

- egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej,
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

1. Charakterystyka wstępna rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska liczy 331 stron wydruku komputerowego, do którego dołączono 18 wielkoformatowych plansz, oprawionych wraz z tym wydrukiem w zwarty tom. Zasadniczy tekst rozprawy zamieszczony jest na 289 stronach. Poprzedzony jest stroną tytułową oraz spisem treści, a dopełniony streszczeniami w języku polskim i angielskim, spisem grafik, spisem tabel, bibliografią i wykazem załączników. Część merytoryczna rozprawy doktorskiej podzielona jest na 11 rozdziałów. Struktura wewnętrzna każdego z nich jest wielopoziomowa, w rezultacie czego spis treści obejmuje łącznie 270 pozycji. W spisie grafik wyszczególniono 117 pozycji, w spisie tabel - 31 pozycji, a w bibliografii - 200 pozycji.

2. Analiza zawartości rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska odnosi się w tytule i treści do architektury responsywnej rozumianej jako architektura dostosowująca formę do zmiennych warunków środowiskowych, podlegających ciągłemu pomiarowi. Celem responsywności jest ograniczenie wydatku energii niezbędnego do wybudowania i utrzymania obiektu architektonicznego. Architektura responsywna mieści się w szerszym nurcie architektury kinetycznej wprowadzonej do dyskursu architektonicznego w XX wieku. Specyficzną cechą architektury responsywnej jest obecność modułu obliczeniowego, który przetwarza aktualizowaną na bieżąco informację o stanie środowiska na parametry definiujące przemieszczenia ruchomych komponentów obiektu architektonicznego.

Responsywność jest wykorzystywana w architekturze do kształtowania ruchomych powłok zewnętrznych w celu minimalizowania wydatku energii na utrzymanie komfortu cieplnego budynków lub do kształtowania ruchomych systemów konstrukcyjnych, w celu ograniczenia wydatku energii na realizację obiektu architektonicznego. Doktorant ograniczył zainteresowanie responsywnością do drugiego aspektu. Dzięki zdolności do rekonfiguracji kształtu, konstrukcja responsywna jest w stanie odpowiadać na obciążenia charakteryzując się mniejszą masą niż konstrukcja klasyczna. Autor w większym stopniu skupił uwagę na modelowaniu procedur obliczeniowych, w mniejszym – na inżynierskim kształtowaniu struktur responsywnych. Przedstawiona rozprawa doktorska ma charakter interdyscyplinarny. Autor ubiega się o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie architektura i urbanistyka, ale treść rozprawy odnosi się także do obszarów zainteresowań dyscyplin naukowych inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Początkowa część rozprawy, obejmująca rozdziały 1-4, dotyczy zagadnień ogólnych. W rozdziale 1 przedstawiono dotychczasowy stan badań nad responsywnymi systemami konstrukcyjnymi. Autor odniósł się w tym rozdziale do 123 pozycji literatury, spośród 200 wymienionych w bibliografii. Wiele z tych pozycji zostało przytoczonych ponownie w kolejnych rozdziałach rozprawy. W rozdziale 2 przedstawiony został cel i tezy pracy. Autor wyszczególnił deficyty w dotychczasowych badaniach nad strukturami responsywnymi i określił obszar własnych badań. Za wiodące uznał zagadnienie kształtowania modeli zachowań struktur responsywnych. W rozdziale 3 Autor scharakteryzował tę procedurę w oparciu o wiedzę upowszechnioną w literaturze przez dotychczasowych badaczy.

Rozdział 4 stanowi pierwszy rozdział części badawczej. Na wstępie Autor przywołuje XX-wieczne metody kształtowania konstrukcji oparte na badaniach empirycznych prowadzonych przez Antonio Gaudiego, Freia Otto i Heinza Islera jako podstawę autorskiego opracowania modeli symulacyjnych. Opisu stosowanych przez nich metodologii nie poparł niestety odniesieniami do literatury. W dalszej części rozdziału opisał model symulacyjny kratownicy przestrzennej oraz założenia i rezultaty symulacji przeprowadzonej w oprogramowaniu Rhinoceros Grasshopper. Oprogramowanie to wraz ze współpracującymi z nim nakładkami jest wiodącym narzędziem dla wszystkich symulacji komputerowych opisanych w rozprawie. Dla zmiennych przypadków obciążeniowych poszukiwano takich konfiguracji geometrycznych struktury, dla których zróżnicowanie naprężeń w poszczególnych prętach kratownicy jest jak najmniejsze. Dokonywano tego metodą iteracji zmieniających konfigurację wejściową w oparciu o opracowany przez Autora algorytm ewolucyjny. Kryterium celu była efektywność rozumiana jako minimalizacja energii koniecznej do rekonfigurowania struktur w trakcie eksploatacji oraz bezpieczeństwo konstrukcji, które wymaga, aby czas rekonfiguracji był jak najkrótszy, na co wpływają moc obliczeniowa, liczba iteracji oraz liczbą ruchomych komponentów struktury responsywnej i zakres ich zmienności. Metodologia przedstawiona w tej części rozprawy została zastosowana w badaniach omówionych w kolejnych rozdziałach.

Dalsza część rozprawy, obejmująca rozdziały 5-11, dotyczy analizy możliwości zastosowania responsywności w powłokach, ramach przestrzennych oraz kratownicach przestrzennych. W tych rozdziałach zagadnienia budowy algorytmów oraz modeli obliczeniowych zachowań struktur responsywnych zostały wybiórczo uzupełnione o projekty komponentów odpowiedzialnych za wprowadzenie ruchu do poszczególnych ustrojów konstrukcyjnych. Rozdziały 5 i 6 są dedykowane strukturom powłokowym. W rozdziale 5 Autor zajął się zmianą postaci geometrycznej powłoki podpartej w czterech punktach jako efektu ruchu podpór.

Opracowane zostały dwa alternatywne modele ruchomych podpór, w tym jeden z nich w formie fizycznej i przeprowadzone zostały badania w zakresie sterowania ruchem podpór oraz wpływu tego ruchu na zmianę geometryczną całej powłoki i rozkład naprężeń. Badania opisane w rozdziale 6 dotyczą zastosowania modyfikatorów punktowych w celu dokonywania zmiany kształtu powłoki. Opracowano modele symulacyjne dwóch typów takich modyfikatorów: pięciopunktowego z zastosowaniem czterech teleskopowanych siłowników oraz dwupunktowego z zastosowaniem jednego takiego siłownika. Analizy wykonane w MES przedstawiają wpływ działania modyfikatorów na rozkłady naprężeń w powłoce, a dla modyfikatora dwupunktowego również rozkład naprężeń w samym modyfikatorze.

Rozdział 7 dotyczy zmian geometrii ramy przestrzennej za pomocą modyfikatorów węzłowych. Modyfikatory są siłownikami teleskopowymi łączącymi dwa sztywno połączone pręty ramy, mocowanymi do tych prętów w sąsiedztwie węzła. Rozpatrzono zastosowanie modyfikatorów węzłowych w ramach o polach czworokątnych oraz trójkątnych. Zadaniem modyfikatorów jest korekta odkształceń ustroju ramowego wywołanych obciążeniami zewnętrznymi w kierunku redukcji utraty przez pręty prostoliniowości. Ujawnione rezultaty symulacji komputerowych wykazują, że algorytm opracowany przez Autora jest skuteczny w uzyskiwaniu pożądaných geometrii w czasie nie narażającym konstrukcji na obniżenie jej bezpieczeństwa.

W rozdziale 8 Autor powrócił do zagadnienia kształtowania responsywnej kratownicy przestrzennej o topologii znanej z rozdziału 4. Powodem jest zwrócenie uwagi na nie analizowany wcześniej problem zachowania się kratownic w stadiach pośrednich, tzn. pomiędzy przejściem z konfiguracji wyjściowej do wynikowej, co ze względu na czas trwania obliczeń i pracę siłowników nie jest procesem natychmiastowym. Analizom poddane zostały modele kratownic zbudowanych wyłącznie z prętów teleskopowanych. W rezultacie tak szerokiej możliwości ruchu, postaci geometryczne symulowanych kratownic responsywnych wykazują się nieregularnością i dużą zmiennością form pod wpływem zmiany obciążenia. Tematyka ta jest kontynuowana w rozdziale 9. Autor zbadał modele, w których teleskopowanie jest ograniczone do tylko niektórych prętów oraz zajął się kształtowaniem węzłów kratownicy w celu eliminacji mimośrodowości prętów w węzle, umożliwiając mimo to obrót każdego pręta względem pozostałych. Zbudowane zostały modele wirtualne oraz fizyczne takich węzłów.

W rozdziale 10 Autor przedstawił koncepcję responsywności topologicznej. Zaprezentowano ją na przykładzie ram przestrzennych z wbudowanymi ruchomymi elementami, których rekonfiguracja zmienia ustrój konstrukcyjny nie na poziomie relacji miarowych, ale koincydencji i przylegania prętów. Zaprojektowany został model symulacyjny oraz wykonany model fizyczny pojedynczego kwadratowego pola ramy przestrzennej, z wewnętrznym prętem, zdolnym do obrotu względem środka kwadratu i przyjmowania położenia diagonalnego lub równoległego do jego boków. Model symulacyjny został poddany badaniom z zastosowaniem algorytmu ewolucyjnego. Analizę statyczną, uwzględniającą 6 przypadków obciążeniowych, przeprowadzono dla struktur responsywnych oraz klasycznych o niezmiennym skratowaniu. Porównano wyniki ugięć, wykazując większą efektywność struktur responsywnych. Tematyka responsywności topologicznej jest kontynuowana w rozdziale 11. W tym rozdziale Autor zajął się kwadratową ramą płaską, której wewnętrzne skratowanie może być modyfikowane od pojedynczego pręta diagonalnego, dzielącego kwadrat na dwa trójkątne pola, do układu prętów, wprowadzającego podział kwadratu na 12 pól czworokątnych lub trójkątnych. Jak poprzednio, porównano ugięcia w ustrojach klasycznych i responsywnych dla 6 przypadków obciążeniowych. Porównanie wykazało przewagę ram responsywnych.

3. Ocena merytoryczna

Rozprawa jest obszerna pod względem objętości i obejmuje zagadnienia, które wykazują pewną odrębność wobec siebie, ale łącznie przedstawiają wieloaspektowy zbiór rozwiązań dla struktur responsywnych. Spoiwem jest zogniskowanie badań na zagadnieniach czasu reakcji konstrukcji na zmianę obciążenia. Jest on pochodną zastosowanych algorytmów, dostępnej mocy obliczeniowej oraz charakteru i zakresu pracy mechanicznej siłowników. Przeprowadzone badania wpisują się w obrane ramy, ale nie wypełniają ich szczerze. Rozległość zakreślonych ram jest nadmierna jak na możliwości pojedynczego badacza oraz ograniczenie czasu badań do okresu kształcenia w szkole doktorskiej. Zakres ilościowy przeprowadzonych badań odpowiada, a nawet przekracza zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim. Dociekliwość autora oraz kompleksowość opracowania poszczególnych zagadnień dowodzą jego kompetencji do samodzielnego prowadzenia działalności naukowej. Przyczyną niedosytu jest m.in. nie zawsze zrozumiała wybiórczość zagadnień do detalicznego opracowania. Pod tym względem rozprawa doktorska przedstawia się jako opis badań, z których każde stanowiło wyodrębnioną całość, a zgromadzenie ich w jednym tomie było działaniem wtórnym, podporządkowanym wymogom przewodu doktorskiego.

Niewątpliwym mankamentem rozprawy przedstawianej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego w dyscyplinie architektura i urbanistyka są szczątkowe odniesienia do głównych zainteresowań tej dyscypliny. W obiektach architektonicznych konstrukcja stanowi komponent konieczny, ale kluczowe są funkcja i forma. Dla funkcji niezbędna jest szczelność przegród zewnętrznych. Jest ona gwarantowana, gdy materiał jest sztywny i wypełnia niezmiennie geometrycznie pola ustroju konstrukcyjnego, lub elastyczny w przypadku dopuszczenia zmienności geometrycznej tych pól. Autor prawie nie odnosi się do tego zagadnienia, zarówno w tych miejscach gdzie morfologia responsywnego ustroju konstrukcyjnego nie stwarza problemu w zapewnieniu szczelności, jak i tam gdzie go powoduje.

Problemów nie stwarzają zmiany geometrii struktur powłokowych ponieważ nie naruszają ciągłości powłoki. Problemów nie powinny powodować również przedstawiane w rozprawie rozwiązania dedykowane ustrojom ramowym, wykorzystujące modyfikatory węzłowe oraz responsywność topologiczną. Powierzchnie ograniczające przestrzeń zajmowaną przez responsywną ramę pozostają niezmiennie. Ta właściwość pozwala na stosowanie sztywnego materiału osłonowego. Zamknięcie mechanizmów w osłoniętej przestrzeni stanowi duży atut, zarówno ze względu na niekolizyjność z przestrzenią służącą do wypełniania funkcji obiektu architektonicznego, jak i dlatego, że eksponowana ruchomość konstrukcji mogłaby być trudna do zaakceptowania dla użytkowników. Atut ten nie został jednak przez Autora wypunktowany. Zasadne pozostaje jednak pytanie: jak stosować w takim przypadku system monitoringu zachowań konstrukcji oparty na zastosowaniu kamer, wzmiankowany w punkcie 7.5.2?

Największym problemem jest zapewnienie szczelności w przypadku zastosowania teleskopowanej kratownicy przestrzennej jako konstrukcji dachu. Problem ten został zauważony przez Autora w punkcie 9.6 i skwitowany stwierdzeniem, że wymaga rozwiązania w dalszych badaniach. Jest to jednak problem kluczowy. Wobec braku rozwiązania, całość badań nad responsywnymi mechanizmami kratownic przestrzennych ma charakter wybitnie teoretyczny. Autor nie skorzystał również z okazji, aby odnieść się do tego problemu w punkcie 9.2.5, gdzie rozważa ograniczenie ruchu struktury do przemieszczeń węzłów tylko jednej warstwy, bo to może mógłby być klucz do rozwiązania problemu.

Niewątpliwym mankamentem rozprawy jest brak podsumowania. Struktura opisanych badań jest dość chaotyczna. Tym bardziej brakuje skróconych uogólnionych wniosków. Praca jest zbiorem analiz o wybitnie teoretycznym charakterze. Cenne byłoby poznanie poglądu Autora nt. realnych możliwości praktycznego zastosowania wypracowanych koncepcji z pełniejszym uwzględnieniem aspektów technicznego i ekonomicznego. Brakuje refleksji nt. wydatku energii na wytworzenie ruchomych komponentów struktur responsywnych, który byłby nieporównywalnie większy niż niezbędny do wytworzenia sztywnych elementów konstrukcji o takiej samej masie. Czy autor uważa, że analiza dwuwarstwowej kratownicy responsywnej wyznaczonej na planie kwadratowej siatki o wymiarach 3 x 3, w której rozważane jest wbudowanie 132 siłowników teleskopowych (punkt 7.6.1), jest z praktycznego punktu widzenia racjonalna? Nie dotknięto choćby dygresją problemu akceptacji przez użytkowników wprowadzenia ruchu do konstrukcji, co niewątpliwie wpłynęłoby na obniżenie poczucia bezpieczeństwa w aspekcie psychologicznym. Prawdopodobnie o nagłym zakończeniu rozprawy doktorskiej bez podsumowania zadecydowały względy czasowe, wynikające z faktu realizowania przewodu doktorskiego w ramach szkoły doktorskiej.

Być może pośpiechem należy też tłumaczyć niejednokrotnie pojawiające się nieścisłości lub sprzeczności, np. w punktach 1.3.10 i 3.1.1 znajdują się identyczne zdania: „Pomiar wielkości...” ze zmienionym tylko jednym słowem, które decyduje o innej wartości logicznej każdego ze zdań. Autor w wielu miejscach, opisując miarowo geometrię całych struktur oraz pojedynczych komponentów, nie wyjaśnia czy wymiary te dotyczą skalowanego modelu czy realnej konstrukcji. W punkcie 7.4.2 możemy wyczytać o 70 cm jako odległości międzywęzłowej oraz 35 i 37 cm jako średnicach prętów. Czy błąd polega na pomyleniu jednostek, czy pomyleniu wymiarów realnego obiektu ze skalowanym modelem? Inną rzeczą jest, że w opracowaniu inżynierskim jednostką długości powinien być milimetr. Przytoczone niejasności są tylko przykładami. W całym opracowaniu pojawia ich się więcej.

4. Ocena formalnej strony rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska jest obszerna pod względem objętości. Na taką opinię wpływa liczba stron wydruku oraz pojedyncze odstępy pomiędzy wierszami. Tekst został napisany poprawnym językiem. Właściwa autorowi swoboda posługiwania się słowem pozbawia tekst zwięzłości oczekiwanej w opracowaniu naukowym z dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych. Często rozbudowane opisy służą wytłumaczeniu zagadnień, które mogłyby być wyjaśnione bardziej komunikatywnie za pomocą rysunku. Struktura tekstu również nie sprzyja komunikatywności, np. punkt 1.2.1 o objętości około 2,5 stron wydruku stanowi jeden akapit.

Autor używa niekiedy pojęć i sformułowań, które w pierwszej chwili mogą budzić niepewność lub konsternację. Brakuje zdefiniowania pojęć, których zakres występowania jest nawet na gruncie nauk inżynieryjno-technicznych dość wąski, jak np. „relaksacja dynamiczna”. Brak wyjaśnienia pojęcia „architektura responsywna” i jasnego wskazania, kto i kiedy użył go po raz pierwszy. Niektóre sformułowania nie są dość trafne, jak np. „budowa stanowiska badawczego”, która sugeruje działania na obiektach materialnych w realnej przestrzeni, podczas gdy dotyczy zaprojektowania środowiska symulacyjnego. Pomimo przewagi zagadnień teoretycznych, Autor przedstawia w rozprawie doktorskiej również rezultaty badań nad fizycznymi modelami komponentów struktur responsywnych, stąd brak precyzji w tym zakresie wprowadza w niepewność przynajmniej na etapie lektury spisu treści.

Mankamentem formalnym jest nadmierna długość tytułów rozdziałów, punktów i podpunktów oraz tytułu samej rozprawy doktorskiej. Bez uszczerbku dla odzwierciedlenia zawartości mógłby on być skrócony do formy: „Kształtowanie modeli ruchu systemów strukturalnych architektury responsywnej”. Nadmiernie rozbudowana struktura rozprawy w połączeniu z niepotrzebnie zawiłymi frazami słownymi obniżają znacznie jej komunikatywność.

Zdecydowanym mankamentem jest niska jakość bibliografii. Wielokrotnie podany jest tylko autor, tytuł publikacji, bez informacji o wydawcy lub tytule czasopisma oraz o numerach stron w przypadku czasopism. Wprawdzie rozprawa doktorska, drukowana w kilku egzemplarzach na prawach rękopisu nie jest publikacją w klasycznym znaczeniu, ale pretendent do uzyskania stopnia naukowego powinien wykazywać się w tym zakresie daleko większą starannością.

5. Wniosek końcowy

Zgodnie z zapisami w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce opinia recenzenta rozprawy doktorskiej powinna rozstrzygać, czy rozprawa wypełnia warunki określone w Art. 187 pkt 1 i 2 oraz 4. W związku z powyższym stwierdzam co następuje:

- W bibliografii wykazanych zostało 200 pozycji literatury, do których Autor wielokrotnie i w różnych kontekstach odwoływał się w poszczególnych rozdziałach rozprawy doktorskiej. Wykazane pozycje są aktualne, większość z nich została opublikowana w ostatnich latach i odnoszą się do całego spektrum zagadnień podejmowanych w rozprawie doktorskiej. Na tej podstawie oraz w oparciu o ujawnioną w treści wiedzę nieopartą odsyłaczami stwierdzam, że rozprawa wypełnia warunek Art. 187 pkt 1 w zakresie prezentacji ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata.
- Na podstawie analizy przedstawionej w punkcie 2, nawet z uwzględnieniem krytycznych uwag wymienionych w punkcie 3, stwierdzam, że Pan mgr inż. arch. Szymon Jankowski wykazuje się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, czym dopełnia warunek zawarty w pkt 1 Art. 187 Ustawy.
- Na podstawie opinii zawartej w punkcie 2 o wieloaspektowości i kompleksowości przedstawienia zagadnienia architektury responsywnej oraz nowatorskim charakterze koncepcji i opracowania zagadnienia responsywności topologicznej stwierdzam, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czym wypełniony zostaje warunek zawarty w pkt 2 Art. 187.
- Stwierdzam, że do rozprawy dołączone zostało streszczenie w języku angielskim, które w sposób zwięzły, ale wyczerpujący przybliży zawartość rozprawy, czym wypełniony został warunek opisany w Punkcie 4 Art. 187.

W oparciu o przedstawione powyżej uzasadnienie stwierdzam, że przedłożona przez mgr inż. arch. Szymona Jankowskiego rozprawa doktorska pt. **Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej** wypełnia wszystkie wymogi ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, stawiane rozprawom doktorskim. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie przedłożonej rozprawy do publicznej obrony.

Marek Puchalski