

Prof. dr hab. inż. Hanna Michalak  
Wydział Architektury  
Politechniki Warszawskiej  
Ul. Koszykowa 55  
00-659 Warszawa

Warszawa, 8 stycznia 2026 r.

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego  
pt. „Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z  
wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej”, opracowanej pod kierunkiem  
promotora dr. hab. inż. Waldemara Bobera, prof. PWr. i  
promotora pomocniczego dr. inż. arch. Kajetana Sadowskiego**

### **Podstawa opracowania recenzji**

1. Uchwała nr 141/16/RDND01/2024-2028 Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka z dnia 8.10.2025 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie architektura i urbanistyka Panu mgr inż. arch. Szymonowi Jankowskiemu. Przewodnicząca Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka prof. dr. hab. inż. arch. Marzanna Jagiełło, Politechnika Wrocławska.
2. Zlecenie o sygnaturze W1/4020/13/2025 Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka prof. dr. hab. inż. arch. Marzanny Jagiełło z dnia 13.10.2025 r. dot. opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. „Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej”.
3. Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późniejszymi zmianami).
4. Regulamin Nadawania Stopni Naukowych na Politechnice Wrocławskiej (wprowadzony uchwałą Senatu Politechniki Wrocławskiej nr 22/2/2024-2028 w dniu 24 października 2024 r.).
5. Rozprawa doktorska mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. „Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem

rozwiązań architektury responsywnej”, opracowana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Waldemara Bobera, prof. PWr. i promotora pomocniczego dr inż. arch. Kajetana Sadowskiego w postaci oprawionego egzemplarza w formacie A4 i płyty CD zawierającej pliki obliczeniowe do rozdziałów 4–10.

### **Ocena części formalnej dysertacji doktorskiej**

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. „Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej” jest jednotomowym opracowaniem w języku polskim zawierającym 349 numerowanych stron, w tym 331 stron w formacie A4 tekstu wraz z rysunkami oraz 18 stron załączników ujmujących schematy i wykresy z obliczeń numerycznych w zróżnicowanych, większych od A4 formatach.

Praca została opracowana i zgłoszona do oceny w dziedzinie nauk inżynierijsko-technicznych w dyscyplinie „architektura i urbanistyka”.

Treść dysertacji została przedstawiona w 11 rozdziałach i uzupełniona wymaganymi streszczeniami w językach polskim i angielskim, spisami grafik i tabel, zestawieniem bibliografii oraz załącznikami (rozdziały 12-17).

Rozdział 1 pt. „Wstęp” (str. 13–35) zawiera obszerne studia literaturowe dotyczące przedmiotu pracy, w tym historii koncepcji responsywności architektonicznej, problematyki architektury odpowiadającej na bodźce otoczenia, uwarunkowań technologicznych mających wpływ na rozwój architektury responsywnej, a także kierunki badań współczesnej architektury responsywnej, w tym z zakresu poszukiwań rozwiązań prośrodowiskowych.

Rozdział 2 pt. „Cel, zakres i tezy pracy” (str. 36–41) ujmuje uzasadnienie wyboru tematyki dysertacji, zdefiniowane cztery podstawowe cele pracy – obejmujące m.in.: systematyzację pojęć z zakresu modelowania, kształtowania i realizacji architektury responsywnej, ewaluacji wybranych modeli zachowań dla różnych typów struktur, opracowanie wybranych rozwiązań elementarnych dla fizycznych realizacji struktur responsywnych; prezentację wyników własnych prac modelowych i koncepcyjnych, a także sformułowane dwie tezy pracy.

Rozdział 3 „Logika kształtowania modeli zachowań struktur responsywnych” (str. 42–54) charakteryzuje wyniki badań literaturowych dotyczące sposobu funkcjonowania struktur responsywnych.

Rozdziały 4–11 stanowią główną część dysertacji ujmującą poszczególne etapy i wyniki badań własnych Doktoranta, tj. 4 – pt. „Podnoszenie efektywności modeli struktur dyskretnych w oparciu o sposób uzyskiwania stabilnych geometrii w wyniku analizy dynamicznych relaksacji” (str. 55–75); 5 – pt. „Responsywność struktur powłokowych – ewaluacja zagadnień elementarnych budowy i modeli zachowań zmian geometrii” (str. 76–105); 6 – pt. „Sposoby lokalnej zmiany układów naprężeń i ugięć w strukturach płytowych z zastosowaniem modyfikatorów punktowych” (str. 106–139); 7 – pt. „Kontrola geometrii i rozkładu naprężeń struktur ramowych z wykorzystaniem koncepcji modyfikatorów węzłowych” (str. 140–178); 8 – pt. „Podnoszenie skuteczności reakcji modeli zachowań przy użyciu preakcji” (str. 179–220); 9 – pt. „Modelowanie elementów systemów strukturalnych dla architektury responsywnej” (str. 221–254); 10 – pt. „Koncepcje implementacji responsywności topologicznej w rozwiązaniach architektury responsywnej” (str. 255–282) i 11 – pt. „Modele podnoszenia efektywności struktur z wykorzystaniem rozwiązań responsywności topologicznej” (str. 283–301).

Końcowe rozdziały dysertacji zawierają wymagane: 12 – pt. „Streszczenie rozprawy doktorskiej” (str. 302–303); 13 – pt. „Dissertation Abstract” (str. 304–305) oraz 14 – pt. „Spis grafik” (str. 306–312); 15 – pt. „Spis tabel” (str. 313–314); 17 – pt. „Załączniki – fizyczne i w formie cyfrowej” (str. 328–349).

Rozdział 16 pt. „Bibliografia” (str. 315–327) prezentuje zestawienie 200 pozycji literatury, głównie najnowszych – z ostatniej dekady – publikacji anglojęzycznych, w tym współautorskiego artykułu Doktoranta.

Praca została opracowana prawidłowo, zawiera: wzbogacające i ułatwiające percepcję – liczne autorskie schematy i grafiki, struktura dysertacji jest logiczna, bardzo bogate zestawienie wykorzystanego w badaniach piśmiennictwa. Świadczy o dużej wiedzy i fascynacji Doktoranta przedmiotową problematyką.

#### **Uwagi ogólne:**

Struktura spisu treści i przyjęte tytuły rozdziałów powinny w sposób ogólny odzwierciedlać zawartość i etapy badań dysertacji – rozpoczynając od nakreślenia stanu wiedzy w przedmiotowej tematyce; przyjęcia założeń, zakresu, celu i metodyki badań; przez scharakteryzowanie poszczególnych części badań, aż po prezentację ich wyników i wniosków końcowych. Struktura spisu treści przedmiotowej pracy nie ujmuje tradycyjnego zakończenia w postaci odrębnego rozdziału zawierającego podsumowanie i wnioski końcowe. Doktorant przedstawiał sukcesywnie cząstkowe wnioski i podsumowania w odniesieniu do problematyki każdego z rozdziałów 4–11.

Biorąc pod uwagę interdyscyplinarność tematyki dysertacji wydaje się zasadne oczekiwanie w części wstępnej pracy – w dedykowanym, odrębnym rozdziale/punkcie – zestawienia wykorzystywanych i przyjętych w dysertacji definicji oraz oznaczeń.

W rozdziale 1.1. podjęto dyskusję dotyczącą problematyki „Efektywności w architekturze” przybliżając poglądy prezentujące różne kryteria jej oceny, w tym np. minimum zużycia materiału, nakładu pracy, wpływu na środowisko naturalne. Brakuje natomiast – w części wstępnej pracy przyjętej przez Doktoranta – jednoznacznego usystematyzowania i zdefiniowania kryteriów oceny tej efektywności. Podobnie w odniesieniu do architektury responsywnej zostały zaakcentowane różne aspekty kształtowania tego rodzaju architektury podano, że: *„Architektura responsywna stanowiąc propozycję odpowiedzi na wymóg podnoszenia efektywności łączy w sobie modelowanie strukturalne, informatykę i mechatronikę”*, natomiast nie podjęto próby wprowadzenia – wyprzedzająco w stosunku do podstawowych analiz pracy – syntetycznej definicji jej przedmiotu, tj. architektury responsywnej.

Przedstawione uwagi mają charakter polemiczny, choć w odczuciu recenzenta – są uczciwie i porządkujące strukturę pracy. Wskazane są do rozważenia bądź uwzględnienia szczególnie – w przypadku opracowywania przez Doktoranta – publikacji naukowych na podstawie wyników badań dysertacji.

#### **Uwagi szczegółowe i redakcyjne:**

Spis treści został opracowany bardzo szczegółowo z wprowadzeniem podziału na odpowiednio numerowane rozdziały, podrozdziały, punkty i podpunkty. W przypadku rozdziału 2 brakuje konsekwencji w oznaczeniach i zasadach kształtowania nazewnictwa, tj. w podrozdziale 2.1 „Cel pracy” – wpisano odrębnie wyróżnione (kropkami) podstawowe cele dysertacji, później powtórzone w treści wymienionego podrozdziału oraz analogicznie w podrozdziale 2.2 „Tezy pracy” – wyróżnione cyframi dwie tezy, przytoczone ponownie w treści tego podrozdziału.

Tytuły rozdziałów/podrozdziałów powinny być rozszerzane i doszczegółowane w kolejnych – niższych podziałach hierarchii tekstu. Z tych względów, np. w przypadku podrozdziału 1.3. „Główne obecne kierunki badań responsywności strukturalnej” powinno się oczekiwać – w podtytułach niższego rzędu – sygnalizacji zdiagnozowanych kierunków badań responsywności strukturalnej. Przy czym np. punkt 1.3.1. został zatytułowany „Elementy systemu ruchu w strukturze responsywnej” i ujmuje charakterystykę elementów składowych przedmiotowych układów, a nie jak deklarowano w tytule podrozdziału – głównych kierunków badań.

Opracowanie graficzne hierarchii podziału spisu treści utrudnia jego percepcję i wykazuje drobne niekonsekwencje, tj. oznaczenie numeracji rozdziałów (np. 4) oraz podpunktów (np. 4.1.1.1) zostały wprowadzone z identycznym „wcięciem”, w kilku przypadkach numery stron rozdziałów/podrozdziałów nie zostały uporządkowane – „wyrównane do prawej”, np. 1.3.9 – str. 34, 2.2. (teza 2) – str. 36 itp.

W tekście dysertacji występują błędy przede wszystkim z zakresu interpunkcji, drobne usterki tzw. literówki, niezręczne bądź nieprecyzyjne sformułowania, w tym m.in.:

- str. 18 – pisownia małą literą nazwy kraju Stany Zjednoczone,
- str. 22 – błędne określenie „*wagi struktury*” – powinno być ciężar własny struktury/konstrukcji „*Podejście tej zradykalizowanej formy zmniejszania wagi struktury stało się przyczynkiem do wyewoluowania nowego określenia bardziej efektywnych struktur ultra-lekkich*”,
- str. 25 – w odniesieniu do rzeczowników policzalnych, powinno być „liczba siłowników”, w tekście jest „*Ilość siłowników* przemnożona przez ilość stanów wysuwu osiąga nadal wartości uniemożliwiające przeliczenie wszystkich układów w czasie rzeczywistym”,
- str. 25 – nieprecyzyjne określenie „*W symulacjach oraz obliczeniach realistycznie przyjmuje się, że siłowniki pracują liniowo*”,
- str. 26 – niezręczne sformułowanie „*Metoda ta mimo długiego stażu w badaniach naukowych jest stale rozwijana i pozwala coraz precyzyjniej określać odkształcenia*”,
- przypisy str. 26 – potoczne sformułowanie „*odpowiednie tempo generowania modeli*”,
- str. 28 – niezręczne określenie (sugerujące nie podejmowane w pracy budownictwo niskoenergetyczne) „*Sama analiza konstrukcji wymaga większej precyzji i szczegółowości danych użytkowania niż standardowe pasywne konstrukcje*”,
- str. 49 grafika 5 – brak informacji o źródle zawartych na wykresie informacji; opisy zawarte na wykresie powinny być doprecyzowane, tj. oś pozioma oznacza „wzrost analizowanego parametru” – należy określić ten parametr, analogicznie oś pionowa „efektywność” – należy rozszerzyć ten opis;
- w p. 3.2.1. (str. 50) zawarto mało precyzyjne określenia podstawowych właściwości systemów sterujących, w tym np. „*bezpieczeństwo uwzględniające niedokładności*”, „*bezpieczeństwo pod względem awaryjności*”,
- str. 60 – nieprecyzyjne sformułowanie „*Bardziej jednak miarowym wskaźnikiem pozostaje bezwzględna wartość naprężenia liczona w procencie wykorzystania przekroju prętów*”,

- str. 117 – potoczne sformułowania „Model waży 15,3 kg i mierzy 1,03m wysokości”, powinno być masa [kg] bądź lepiej ciężar własny [kN] i wysokość modelu [m];

- str. 135 grafika 42 – podpis powinien zawierać uzupełnienie – oznaczenia podano w tekście (dotyczy oznaczeń sytuacji A, B, C),

- str. 137 – powinno być połączenia śrubowe, a jest „Wszystkie miejsca połączeń śrubowanych z powłoką uzyskały usztywnienie naśladujące zachowanie powłoki o znacznej sztywności”, podobne sformułowanie zawarto w podpisie pod grafiką 110 (str. 281),

- str. 156 – brak numeru grafiki „Układ ten przedstawiono na grafice (\*\*\*)”,

- str. 266 – niekorzystne pod względem graficznym formatowanie,

- str. 270 i 273 grafiki 103 i 105 – słaba czytelność, odwrotnie zorientowane opisy usytuowane w pionie (moduł zewnętrzny/moduł wewnętrzny);

- str. 313–314 „Spis grafik” – jest zapisany z wykorzystaniem dużych liter, wydaje się – ze względu na czytelność – korzystniejsze stosowanie zapisu „jak w zdaniu”;

- str. 315 – poz. piśmiennictwa [1] – brak wydawcy monografii;

- str. 316 – poz. piśmiennictwa [32] – brakuje informacji dot. rodzaju pracy – licencjacka i uczelni;

- str. 317 – niepełna informacja dot. poz. [41] – brakuje informacji dot. rodzaju pracy – doktorska i uczelni;

- str. 332–349 – kolejność załączonych schematów i rysunków dotyczących poszczególnych rozdziałów nie została uporządkowana, załączono rysunki dot. rozdziałów 4, 11, 7, 6, 10, 7, 8, 5 i ponownie 6.

Wyszczególnione niedociągnięcia redakcji pracy bądź mało precyzyjne zapisy nie mają znaczącego wpływu na ogólną wysoką ocenę dysertacji pod względem formalnym. Wyjątkowo obszerny tekst podstawowy pracy został przedstawiony na 349 stronach i wzbogacony 117 grafikami (rysunkami, zdjęciami i schematami), 31 tabelami oraz licznymi załącznikami w wersji cyfrowej. Udział różnego rodzaju wymienionych usterek w stosunku do objętości całej pracy jest nieznaczny.

### **Ocena części merytorycznej dysertacji doktorskiej**

W części wstępnej dysertacji – na podstawie bogatych studiów literaturowych - podjęto dyskusję dotyczącą problematyki „Efektywności w architekturze” przybliżając poglądy ujmujące różne kryteria jej oceny, w tym np. minimum zużycia materiału, nakładu pracy, wpływu na środowisko naturalne. Przybliżono historię

koncepcji responsywności architektonicznej, a także architektury „kinetycznej”, „ruchomej”, „dynamicznej” z wpisaną w jej rozwiązania mobilnością mogącą mieć wpływ na funkcjonalność i efektywność wykorzystania przestrzeni. Scharakteryzowano złożoność problematyki architektury odpowiadającej na bodźce otoczenia, konieczność prowadzenia symulacji numerycznych predykcyjnych zachowania ich konstrukcji pod wpływem oddziaływań zewnętrznych oraz wdrażania odpowiednich systemów pomiarów elementów tej konstrukcji. Określono uwarunkowania technologiczne mające wpływ na rozwój architektury responsywnej, a w szczególności konieczność jej wyposażenia w odpowiednie systemy monitorowania, analizowania danych i reagowania na różnego rodzaju bodźce zewnętrzne i oddziaływania środowiskowe. Nakreślono także kierunki badań współczesnej architektury responsywnej, w tym m.in. prowadzące do poszukiwań rozwiązań prośrodowiskowych, przy czym jako kryterium w tym zakresie określono minimalizację zużycia materiału, racjonalne przygotowanie procesu inwestycyjnego i ograniczenie emisyjności (oddziaływania na środowisko naturalne). Zwrócono także uwagę na występującą w tego rodzaju architekturze konieczność odpowiedniego doboru modelu i zakresu ruchu, zaprojektowania systemu kontroli zmian geometrii, systemu zabezpieczeń na możliwość wystąpienia obciążeń wyjątkowych, a także systemów efektywnej zmiany geometrii. Scharakteryzowano podstawowe elementy składowe struktury responsywnej, tj. obejmujące *„system pomiaru środowiska, elementy statyczne struktury nośnej, elementy ruchome nośne, jednostka obliczeniowa i sterująca, model zachowania oraz system kontroli statyki struktury”*. Przy czym stwierdzono, że model zachowań ma największy wpływ na efektywność tego rodzaju architektury. Przedstawiono ewolucję architektury kształtowanej w oparciu o ideę zmienności, w tym uwzględnienia ruchu jej elementów – przede wszystkim w obrębie elewacji bądź wyposażenia wewnętrznego. Określono uwarunkowania tworzenia tej architektury i konieczność jednoczesnego wykorzystania osiągnięć z różnych dyscyplin. Wyjaśniono problemy dotyczące technik pomiarowych geometrii, sytuowania czujników pomiarowych zarówno na powierzchni, jak i wewnątrz struktury nośnej, a także uwarunkowania i dokładność prowadzenia tych pomiarów.

W rozdziale 2 uzasadniono przyczyny podjęcia tematyki badań, określono cztery podstawowe cele pracy, a także sformułowano dwie tezy pracy, tj.:

*„1. Bazowanie modeli zachowań architektury responsywnej może opierać się o algorytm ewolucyjny pod warunkiem współwystępowania razem z modelami deterministycznymi sterowania ruchem.*

2. *Algorytm ewolucyjny stosowany do doboru odpowiedzi na zmienne warunki obciążeń zewnętrznych pozwala na efektywne poszukiwanie tendencji i sposobów doboru geometrii, które następnie mogą zostać ujęte w predefiniowanych systemach sterowania strukturą*".

Rozdział 3 ujmuje wyniki studiów literaturowych dotyczących sposobu funkcjonowania struktur responsywnych. Schemat tych działań obejmuje badania wybranych parametrów środowiska zewnętrznego, przesłanie ich wyników do jednostki obliczeniowej wyposażonej w odpowiednie narzędzia walidacji danych, modele zachowań, obliczania reakcji, a następnie ich przesłanie do systemu reakcji – realizacji ruchu i walidacji systemów pomiarowych zmian geometrii i ruchu przedmiotowych struktur. Podane procedury mają charakter iteracyjny i są prowadzone do momentu uzyskania zakładanej dokładności geometrii danej struktury. Przybliżono ponadto podstawy budowy i współpracy poszczególnych elementów modelu działania struktur responsywnych, a w szczególności systemów pomiarów wybranych parametrów środowiska, jednostek obliczeniowych, systemów realizacji i pomiarów zmian geometrii, bezpieczeństwa użytkowania tych struktur i ich niezawodności.

Kolejne rozdziały 4–11 stanowią najważniejszą część dysertacji, tj. analizy i wyniki badań własnych Doktoranta. Mają podobną konstrukcję, tj. w częściach wprowadzających – na podstawie danych literaturowych – przedstawiany jest stan wiedzy z danego, bardzo specjalistycznego zagadnienia, następnie są prezentowane – założenia, sposób budowy stanowiska badawczego, metodyka badania i częściowe wyniki dotyczące skuteczności prezentowanych rozwiązań wraz z wnioskami.

W tej części pracy przybliżono podstawy teoretyczne metod poszukiwania optymalnych form struktur membranowych w różnych przypadkach obciążenia. Przy czym jako optymalne są rozumiane rozwiązania prowadzące do homogenizacji naprężeń układu konstrukcyjnego, zmniejszenia ich wartości maksymalnych oraz zwiększenia nośności struktury. Przybliżono historyczne metody tworzenia geometrii układów nośnych opartych o analizę kształtu krzywej łańcuchowej, poszukiwań form struktur rozciąganych, np. o tzw. minimalnej powierzchni. Stwierdzono, że *„Kształtowanie więc geometrii dla statycznych struktur z użyciem rozwiązań poszukiwania form jest znacznie mniej efektywne niż zastosowanie metody w strukturach responsywnych o zmiennej geometrii”*. Z tych względów dalsze badania zostały skoncentrowane na strukturach responsywnych i obejmują – w początkowej części – analizy numeryczne kratownicy przestrzennej opartej na rzucie kwadratu poddanej deformacjom wykorzystującym metodę dynamicznej relaksacji. Do modelowania numerycznego

przedmiotowej struktury zastosowano m.in. oprogramowanie Rhinoceros Grasshopper ze specjalistycznymi nakładkami. Symulacje numeryczne prowadziły do poszukiwania geometrii struktury, poddanej dwudziestu, zróżnicowanym układom obciążenia, przy zastosowaniu iteracyjnego wyrównywania naprężeń z wykorzystaniem rozwiązań dynamicznej relaksacji. Analizy zostały zakończone cennymi wnioskami dotyczącymi wpływu różnych czynników, w tym m.in. liczby iteracji obliczeń dynamicznej relaksacji, „geometrii wejściowej” – na efektywność badanej struktury.

Podjęto również badania nakładów energetycznych związanych z realizacją ruchu w strukturach responsywnych. Badania przeprowadzono wykorzystując autorskie rozwiązanie stanowiska badawczego wyposażonego w czujniki, aparaturę do pomiaru obciążenia wiatrem zintegrowaną z mikrokontrolerem zbierającym i przetwarzającym dane i współpracującym z oprogramowaniem Rhinoceros Grasshopper.

Kolejne rozdziały tej części dysertacji obejmują analizy responsywności układów powłokowych, ewaluacji modeli zmian ich geometrii, wprowadzania ruchu w miejscu podparcia za pośrednictwem odpowiednio ukształtowanych podpór bądź w obrębie powłoki – za pośrednictwem tzw. modyfikatorów punktowych. Badania te zostały rozszerzone o opracowanie modelu fizycznego strefy połączenia podpory z powłoką i ruchomej podpory z wykorzystaniem oprogramowania Autodesk Inventor 2024, elektronicznego systemu sterowania jej ruchem z użyciem mikrokontrolera Arduino Uno Rev3 i autorskiego oprogramowania. Model podpory został wydrukowany w technologii druku 3D z filamentu PLA. Model modyfikatora punktowego z układem siłowników i rdzeniem centralnym oraz model połączenia powłoki z modyfikatorem zostały opracowane w programie Autodesk Inventor 2024 i wstępnie zwymiarowane jako elementy konstrukcyjne stalowe.

Ponadto opracowano koncepcję fizycznego modelu powłoki ruchomej, np. z poliwęglanu bądź powłoki akrylowej, w którym w sposób prosty, wykorzystując zjawisko elastooptyczne, można dokonywać analiz występujących pod wpływem zadanych oddziaływań w tej strukturze naprężeń.

W kolejnym etapie badań podjęto problematykę responsywności układów dyskretnych reprezentowanych przez konstrukcje ramowe i struktury sztywne topologicznie. Przy czym do implementacji ruchu – w trzech płaszczyznach – zastosowano tzw. modyfikatory ramowe sytuowane w strefach węzłowych. Model takiej struktury został opracowany z wykorzystaniem oprogramowania Rhinoceros Grasshopper.

W części końcowej pracy podjęto rozważania na temat uwarunkowań i ograniczeń zastosowania struktur responsywnych podlegających znaczącym zmianom geometrii poddawanych różnorodnym schematom obciążeń. Stwierdzono m.in., że responsywność geometryczna ma wpływ na ograniczenia w formie użytkowania przestrzeni w strefach bezpośredniej bliskości struktury i wymaga – w tych strefach – tworzenia stref buforowych. Z tych względów zwieńczono te analizy prezentacją ograniczeń swobody kształtowania struktury, aby osiągnąć ich większą efektywność w stosunku do struktur statycznych.

Pracę wieńczą analizy modeli responsywnych topologicznie jako propozycji nowych narzędzi kształtowania ruchu w strukturach przy jednoczesnym zachowaniu ich pierwotnej formy zewnętrznej. Wykazano, że tego rodzaju responsywność topologiczna umożliwia kreowanie architektury responsywnej efektywnej – pod zużycia materiału na strukturę nośną w danych uwarunkowaniach użytkowania – stanowiących alternatywę dla struktur statycznych.

W wyniku przeprowadzonych wieloaspektowych interdyscyplinarnych badań Doktorant potwierdził słuszność postawionych w części wstępnej tez pracy.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. „Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej” jest bardzo wysoka.

Praca zawiera wnikliwe, wieloaspektowe, interdyscyplinarne analizy i badania naukowe Doktoranta wykorzystujące poza umiejętnym zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania numerycznego, również własne – autorskie algorytmy i programy; weryfikację i ewaluację wyników symulacji numerycznych na – indywidualnie przygotowanych przez Doktoranta – fizycznych modelach struktur, podpór i prętów; badania oddziaływań zewnętrznych na struktury responsywne na stanowisku badawczym przygotowanym według autorskiego projektu.

Z tak szeroko nakreślonego zakresu badań – potencjalnie mogącego stanowić zawartość merytoryczną 2–3 dysertacji – Doktorant wywiązał się znakomicie, udowadniając sformułowane tezy i osiągając zamierzone cele zdefiniowane w części wstępnej pracy.

Recenzowana rozprawa doktorska charakteryzuje się poprawną metodyką badań, oryginalnością ujęcia jej przedmiotu, wnioskami mogącymi mieć zastosowanie w praktyce kształtowania struktur responsywnych.

Prezentuje szerokie, interdyscyplinarne zainteresowania, pasję badawczą i dużą wiedzę teoretyczną Doktoranta obejmującą nie tylko dyscyplinę „architektura i

urbanistyka”, ale także dyscypliny pokrewne, w tym przede wszystkim „inżynieria lądowa, geodezja i transport”.

### Konkluzja

Przedłożona do recenzji dysertacja doktorska Pana mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. **„Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej”**, opracowana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Waldemara Bobera, prof. PWr. i promotora pomocniczego dr. inż. arch. Kajetana Sadowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim ujęte w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późniejszymi zmianami). W związku z powyższym wnoszę do Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Architektura i Urbanistyka Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego do dalszych etapów postępowania kwalifikacyjnego, przewidzianych trybem przewodu doktorskiego, w tym obrony publicznej.

W przypadku pozytywnego wyniku obrony **wnoszę o wyróżnienie dysertacji doktorskiej Pana mgr. inż. arch. Szymona Jankowskiego pt. „Kształtowanie modeli ruchu nowoczesnych systemów strukturalnych z wykorzystaniem rozwiązań architektury responsywnej” ze względu na rzetelność i dojrzałość warsztatu naukowego**; wnikliwe, wieloaspektowe, interdyscyplinarne analizy i badania naukowe wykorzystujące także własne – autorskie algorytmy i programy; weryfikację i ewaluację wyników analiz numerycznych z wykorzystaniem autorskich rozwiązań stanowisk badawczych, w tym m.in. obejmujących fizyczne modele struktur, podpór i prętów itd.



Prof. dr hab. inż. Hanna Michalak