

## **Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Adriana Błonki „Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms”**

### **1. Podstawa formalna opracowania**

Opinię opracowano na wniosek Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej, przesłany w piśmie z dnia 21.11.2025 r.

### **2. Charakterystyka rozprawy**

Rozprawa dotyczy problematyki kształtowania konstrukcji dźwigarów łukowych obiektów mostowych przy wykorzystaniu koncepcji wieszaków typu „network” (siatkowych). W okresie ostatnich 25 lat pojawiło się w Polsce dużo obiektów łukowych z wieszakami typu „network”. Są to głównie obiekty drogowe. Ostatnio pojawiły się także obiekty kolejowe i kładki dla pieszych. Konstrukcja łukowa typu network staje się obecnie atrakcyjnym rozwiązaniem dla przeseł o rozpiętości powyżej 50 m. Atrakcyjność wynika z niskich kosztów i ciekawej formy architektonicznej. Dlatego recenzowana praca wpisuje się w aktualny nurt badawczy i projektowy.

Głównym celem niniejszej rozprawy było zdefiniowanie oryginalnego algorytmu optymalizacji zdolnego do osiągnięcia redukcji kosztów w mostach łukowych z wieszakami typu network. Autor podjął się zadania o złożonym charakterze i pomimo dużej złożoności podsumował w formie tezy:

**Jest przestrzeń badawcza dla złożonych wielokryterialnych procesów optymalizacyjnych zastosowanych do analizy strukturalnej i kosztowej konstrukcji łukowych dźwigarów mostowych typu network.**

Doktorant w pracy podjął się rozwiązania zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej przęsła mostu łukowego typu network, uwzględniającej parametry geometryczne, materiałowe i strukturalne.

W ramach pracy doktorant wykonał:

- Przegląd literatury dotyczącej mostów łukowych z wieszakami typu network.
- Przegląd literatury dotyczący metod postępowania w procesie optymalizacji wielokryterialnej.
- Raport z przeprowadzonych procesów optymalizacyjnych z wykorzystaniem wielokrotnie złożonych modeli parametrycznych.

- Przedstawił szereg wniosków związanych ze skutecznością zastosowanych modeli i procedur.
- Dokonał wielu podsumowań w oparciu o analizy własne i dane literaturowe będących materiałem praktycznym dla badaczy i projektantów.
- Przedstawił dalsze zamierzenia związane z kontynuowaniem prac.

Praca liczy 297 stron, zawiera 279 rysunków i 30 tabele. Całość składa się z 8 rozdziałów poprzedzonych spisem treści, opisem symboli i oznaczeń oraz przyjętej w pracy terminologii. Zamieszczono spis literatury (136 pozycji + 23 źródła internetowe). Na końcu pracy znajduje się duży suplement A-F oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Praca została napisana w języku angielskim.

Pierwszy rozdział to część formalna, zawierająca spis stosowanych w pracy symboli lub oznaczeń. Stanowi wprowadzenie.

Rozdział drugi obejmuje przegląd literatury przedmiotu w zakresie dorobku naukowego i inżynierskiego dotyczącego dźwigarów łukowych z wieszakami typu network.

Rozdział trzeci w pierwszej części zawiera przegląd metod optymalizacji dla procesu optymalizacji globalnej konstrukcji. Dalej dokonano przeglądu typów mostów łukowych i rozwoju mostów łukowych z wieszakami typu network. Ponadto opisano podejście do projektowania i procesu optymalizacji. Przedstawiono podsumowanie rozważań wielu autorów w zakresie stosowanych metod optymalizacyjnych i otrzymanych rozwiązań.

Rozdział czwarty poświęcono zagadnieniom stateczności i efektów nieliniowych geometrycznie. Skupiono się na zagadnieniu wyboczenia w płaszczyźnie łuku. Przedstawiono podejście normowe (Eurokody) i teoretyczne. Zaprezentowano testy wykorzystanego oprogramowania dokonując jego weryfikacji. Wykonano także obliczenia dla modelu przęsła łukowego typu network. Rozdział zawiera podsumowanie wyników analiz związanych z identyfikacją postaci, form i mnożników obciążenia krytycznego.

W rozdziale piątym opisano zasady podejścia do optymalizacji i je przetestowano. Zastosowano algorytmy genetyczne połączone w pętli z uproszczoną ewolucyjną optymalizacją strukturalną. Optymalizacja została podzielona na dwa etapy, które z kolei podzielono na fazy. Sformułowano technicznie nierealny model wyjściowy w zakresie układu i liczby wieszaków. W zakresie konstrukcji jezdni i łuków model bazował na zrealizowanym projekcie przęsła kolejowego. Każda kolejna faza i etap iteracji charakteryzowały się rosnącym stopniem szczegółowości obliczeń i metody projektowania, wraz z redukcją liczby wieszaków. Koncepcja okazała się zbyt złożona i w rezultacie nie osiągnięto zamierzonych celów z powodu zbyt złożonej definicji problemu.

Rozdział szósty zawiera ulepszenia wynikające z pierwszej próby algorytmu optymalizacji. Wprowadzono kilka uproszczeń, między innymi redukcję konstrukcji do modelu płaskiego, zastąpienie betonu elementami ze stali konstrukcyjnej. Algorytm optymalizacji oparto na autorskim algorytmie genetycznym zakodowanym w języku Python. Uwzględniono możliwość mieszania i zmiany liczby wieszaków w procesie optymalizacji. Algorytm przetestowano na znanych konstrukcjach. Otrzymano w wyniku redukcję kosztów w każdym przypadku. Przeprowadzono symulację dla różnych długości przęseł i szerokości pomostu, osiągnięto optymalne wyniki. Przeprowadzono analizę wyników pod kątem znalezienia uniwersalnych zasad kształtowania mostów łukowych typu network, a także ustanowiono i przetestowano nowy typ układu wieszaków nazwany Modelem Wielowariantowej Rozbieżności Kątowej (MVADM) w porównaniu z optymalnymi układami typu CARSM znanymi z literatury.

W rozdziale siódmym autor przedstawił wnioski z przeprowadzonych badań, które obejmowały:

1. Opis wyników analizy geometrycznej nieliniowej w płaszczyźnie, w mostach łukowych typu network w porównaniu z rozwiązaniami analitycznymi i wynikami liniowej sprężystej analizy problemu własnego wybożenia.
2. Wnioski wyciągnięte z pierwszego algorytmu optymalizacji i sugerowane ulepszenia wynikające z pierwszego algorytmu optymalizacji, które zostały wdrożone do drugiego algorytmu optymalizacji,
3. Porównanie wyników optymalnych zorientowanych na koszt i masy/objętości z wytycznymi z literatury i rzeczywistymi konstrukcjami,
4. Autorskie rekomendacje dotyczące kształtowania zgodnie z otrzymanymi optymalnymi wynikami dotyczące głównie autorskiego systemu wieszaków MVADM.

Rozdział ósmy to skondensowane pomysły i przemyślenia autora dotyczące przyszłych badań związanych z tematyką dźwigarów typu network.

Poza główną częścią pracy autor zamieścił suplement, w którym zawarł następujące informacje:

- A. Kompleksowy przegląd algorytmów optymalizacji stosowanych w inżynierii lądowej, od historycznie najstarszych po nowoczesne metody. Autor podkreśla, że metody deterministyczne są szybsze dla znanych funkcji, ale metody meta-heurystyczne są bardziej elastyczne i nie wymagają ciągłości ani różniczkowalności funkcji celu.
- B. Uszczegółowienie opisu i wyników z „podejścia nr 1 – rozdział 5” do problemu optymalizacji.
- C. Opis procedur i programów opracowanych przez doktoranta na potrzeby procesu optymalizacji w podejściu nr 2 – rozdział 6.
- D – G. Opis i wyniki testów procedury optymalizacyjnej nr 2. Suplement jest istotnym a może nawet najważniejszym elementem pracy. Zawiera szczegółowe dane i otrzymane rozwiązania dla różnych wariantów szerokości i rozpiętości.

### 3. Ocena pracy

Praca zawiera komplet zagadnień potrzebny do zrealizowania celów. Formalnie praca jest napisana poprawnie i czytelnie. Recenzent nie ocenia języka angielskiego, ponieważ nie czuje się ekspertem językowym. Pomimo to trzeba podkreślić, że praca napisana jest w sposób zrozumiały.

Autor w pracy przedstawił szeroki przegląd literatury związanej z kształtowaniem łukowych dźwigarów typu network. Ten fragment pracy zasługuje na wyróżnienie, ponieważ przytoczono i omówiono wiele istotnych dla tematyki prac. Niestety w pracy nie ma praktycznie odniesienia do obiektów krajowych, których duża liczba pojawiła się w ciągu ostatnich 25 lat. Wykorzystany został jedynie most kolejowy w Krakowie. Być może jest to skutek małej liczby publikacji dokonań krajowych.

W kolejnych częściach pracy autor przestudiował i omówił szereg procedur optymalizacyjnych. Ta część pracy pozwoliła wyłonić procedury, które zostały zastosowane w późniejszych analizach. Przy szeroko zdefiniowanym, wielokryterialnym procesie optymalizacji wybór metod meta-heurystycznych był raczej oczekiwany.

Podejście do problemu optymalizacji opisane w rozdziale nr 5 wskazuje, że doktorant nie ma doświadczenia praktycznego w projektowaniu łuków typu network. Projektanci realizujący te zadania (w Polsce od ponad 25 lat - most na Wolin oddano w roku 2000) wiedzą, że nieistotny jest tam problem wybożenia w płaszczyźnie łuku. Postaci wybożeniowe, które doktorant

otrzymał ujawniają się w środkowej części łuku, ponieważ parametry EA i L wieszaków w tym miejscu dają najwyższą podatność. Ponadto w praktyce (zgodnie z wynikami zawartymi w doktoracie) współczynniki obciążenia krytycznego są daleko powyżej obciążeń obliczeniowych. Wyboczenie stężenia kratownicowego jest standardową procedurą. Jedyne problem wyboczenia z płaszczyzny łuków jest istotny w obszarze ramy portalowej.

Wniosek autora dotyczący różnicy mnożnika obciążenia krytycznego w liniowej analizie problemu własnego wyboczenia i nieliniowej analizie geometrycznej jest powszechnie znany w praktyce inżynierskiej i ma odzwierciedlenie w normach.

Inaczej się przedstawia problem stateczności swobodnego łuku z wieszakami i podwieszonym pomostem. Tam elementem wspomagającym stateczność jest obciążenie śledzące.

Innym istotnym problemem projektowym jest przyjęcie przekrojów i napięcia wstępnego wieszaków. Wieszaki w mostach nie mogą się zerować. Muszą być napięte wstępnie tak, aby obciążenia ruchome ich nie eliminowały z pracy. Głównym powodem takiego wymogu jest wytrzymałość zmęczeniowa. Dodatkowo taki warunek zapewnia w pełni kratownicową pracę dźwigara pod obciążeniem ruchomym. Ich zwis nie ma więc istotnego wpływu na sztywność i w praktyce nie ma potrzeby realizowania zagadnienia nieliniowego (uwzględnienie wyłączania się wieszaków). Niestety, wieszaki nie mogą być napięte w sposób dowolny. Wartość napięcia jest na ogół wynikiem działania ciężaru własnego konstrukcji pomostu. Dlatego w pierwszej fazie projektowania następuje proces dostrojenia konstrukcji tak, aby pomost był pod ciężarem własnym i wyposażenia belką ciągłą. Niedoszacowanie napięcia wieszaków wprowadza dodatkowe momenty zginające w pomost od ciężaru własnego i ryzyko ich zerowania się.

Ograniczenia opisane powyżej znacznie uproszczają proces optymalizacji. Doktorant częściowo to uczynił w drugim podejściu.

Pomimo powyższych uwag pracę należy uznać za osiągnięcie naukowe, które doprowadza do wniosków zbieżnych z ogólnym poglądem związanym z kształtowaniem łukowych dźwigarów typu network. Ciekawe rezultaty Doktorant uzyskał w zakresie liczby i rozkładu wieszaków. Proces optymalizacji praktycznie doprowadził do powszechnie znanych rozwiązań. Należy podkreślić, że wieszaki są po to, żeby podtrzymywać pomost (ściąg). W praktyce projektowej rozstaw wieszaków na pomoście jest podyktowany głównie wytrzymałością pomostu (podłużną i poprzeczną szczególnie w mostach drogowych).

Należy tu podkreślić, że ukośne wieszaki stanowią wykratowanie dla konstrukcji i zgodnie z powszechną wiedzą dotyczącą kratownic są odpowiednio nachylone. Aby uniknąć ściskania w polach przypodporowych wieszaki (krzyżulce) potencjalnie ściskane są niemal pionowe. Tak więc Doktorant wykazał, że drogą procesu optymalizacji można potwierdzić stosowane w praktyce projektowej rozwiązania.

Na szczególną uwagę i docenienie zasługuje warsztat naukowy Doktoranta. Ilość procedur opracowanych w autorskich programach oraz sprzęgnięcie ich w całość z systemem MES SOFiSTiK to duże osiągnięcie. Umiejętność tą można wykorzystać na wiele sposobów. Dodatkowo ilość wyników wymagających syntetycznego opracowania i sformułowania prawidłowych wniosków zasługuje na uznanie. Wszystko to można szczególnie docenić po zapoznaniu się z suplementem do pracy, w którym na niemal 100 stronach Doktorant przedstawił w opinii recenzenta najważniejsze elementy swoich dokonań.

Podsumowując ocenę ogólną można stwierdzić, że praca ma zdecydowanie naukowy charakter i pomimo szeregu uwag praktycznych jest wartościowym wkładem w rozwój teorii projektowania mostów łukowych z wieszakami typu network. Praca pokazuje też możliwości zastosowania procesów meta heurystycznych przy optymalizacji złożonych zagadnień technicznych.

#### 4. Pytania do pracy

1. Czym się kierowano w doborze napięcia wstępnego wieszaków.
2. Czy w procesie optymalizacji pozwalano na wyłączenie się wieszaków.
3. Czy optymalizowano przekroje wieszaków. Jeżeli tak to jakie stosowano założenia.
4. Czy uwzględniano w analizie wytrzymałościowej łuków fakt przesunięcia płaszczyzn krzyżujących się wieszaków.
5. W jaki sposób potraktowano pomost w procedurze optymalizacyjnej (tylko płyta sprężona?)
6. Czy rozwiązanie optymalne poddano sprawdzeniu efektów zmęczeniowych.

#### 5. Ocena końcowa pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Adriana Błonki „Optimization of Network Tied-Arch Bridges with Metaheuristic and Gradient-Based Algorithms” ma wartość pracy naukowej i spełnia wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. Dotyka bardzo aktualnych problemów współczesnego projektowania nowoczesnych mostów oraz wskazuje szerokie możliwości stosowania procesów optymalizacyjnych w praktyce.


Autor dokonał szeregu analiz z dziedziny statyki nieliniowej konstrukcji. Przeprowadził prace studyjne dotyczące rozważanych zagadnień i procedur lub metod ich rozwiązywania. Wybrał uzasadnione naukowo uproszczenia i sformułował prototypowy system przeprowadzenia wielokryterialnej optymalizacji poszukującej najlepszych rozwiązań strukturalnych. Autor wskazał możliwości zastosowania procedur metaheurystycznych połączonych w sposób automatyczny z komercyjnym systemem MES. Wszystko to składa się na oryginalne osiągnięcie naukowe mające realne perspektywy na wykorzystane w praktyce.

Praca ma zatem duże znaczenie praktyczne i jest przykładem dobrego wykorzystania nauki w praktyce. Wprawdzie praca nie nadaje się zdaniem recenzenta wprost do zastosowania, niemniej jednak pokazuje możliwości zaproponowanej metody i zawiera krytyczne podejście do oceny wyników. Stanowi zatem ważny krok na drodze do opracowania rozwiązań praktycznych. Opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazywał się ogólną wiedzą w rozważanej tematyce oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

#### 6. Wniosek końcowy

Na podstawie przedłożonej rozprawy stwierdzam, iż praca doktorska Pana mgr inż. Adriana Błonki spełnia wymagania [Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce](#) (Dz. U. 2024 poz. 1571) i może stanowić podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora.

**W związku z powyższym składam przed Wysoką Radą wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony**

  
Dr hab. inż. Krzysztof Żółtowski, prof. uczelni